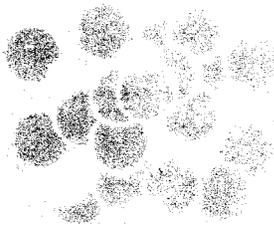




E. T. S. DE
INGENIEROS DE MINAS

PROSPECCION
de
Minerales Radiactivos



POR

J. SUAREZ FEITO

DEPARTAMENTO DE PUBLICACIONES



E. T. S. DE
INGENIEROS DE MINAS

COMUNICACION

NUMERO 10

FUNDACION SUAREZ - PANDO

PROSPECCION **de** **Minerales Radiactivos**

POR

J. SUAREZ FEITO

CAPITULO I

SISTEMA BASADO EN LA IONIZACION DE LOS GASES

Región de voltajes reducidos.- Consideremos el esquema fundamental (Fig. 1.1) que se emplea en los contadores que más adelante estudiaremos con detalle.

En él, un cátodo cilíndrico, generalmente, y un ánodo, constituido por un hilo axial, están sometidos a una cierta diferencia de potencial. El cilindro va lleno de un gas o mezcla de gases a presión reducida. El hilo va conectado a un circuito, capaz de medir los cambios de voltaje o los impulsos que puedan originarse a causa de la ionización del gas por la entrada en el tubo de las distintas partículas. La resistencia R tiene por objeto que el impulso pueda ser registrado en el aparato correspondiente, y el condensador C expresa la capacidad total del circuito.

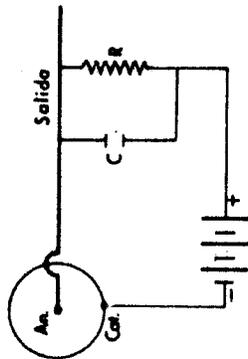


Fig. 1.1

Veamos lo que ocurre cuando variamos el voltaje del contador. Cuando éste es nulo no hay variaciones en el potencial del hilo central, excepto aquellas debidas a la llegada al azar de iones negativos individuales a dicho hilo. Si aplicamos un pequeño voltaje se establece un campo en el espacio comprendido entre el ánodo y el cátodo, y los iones positivos que se forman se dirigen

al cátodo o cilindro, y los negativos, al hilo axial o ánodo. El tamaño del impulso que aparece en éste viene determinado por el número de cargas que le llegan y la capacidad de dicho hilo y, en pequeña parte, por la de la rejilla del triodo en el primer escalón de amplificación.

Región de Cámaras de Ionización.- Para voltajes reducidos V_0 , los electrones producidos cuando las partículas procedentes de un mineral radiactivo o de la radiación cósmica ionizan un átomo del gas del contador, no producen ionizaciones posteriores, y el número de ellos que llega al hilo central es igual al producido en el proceso inicial de ionización, menos los que han desaparecido por recombinación. Este último número es reducido en la mayor parte de los contadores, puesto que los campos son elevados y las presiones pequeñas.

El tamaño del impulso es independiente del voltaje aplicado, hasta que éste llega a un valor V_p en el cual se producen electrones secundarios por choques en el seno del gas (Fig. 1.2).

Región proporcional.- Cuando el voltaje alcanza el valor V_p , antes citado, el impulso que aparece en el hilo será mayor en razón a los iones adicionales formados por los choques. El electrón --- pierde la mayor parte de su energía cinética cada vez que choca con un átomo, recuperando la energía suficiente para producir nuevas ionizaciones en el espacio libre comprendido entre dos choques. El electrón primitivo y los originados en choques sucesivos son de nuevo acelerados por el campo, produciendo nuevos electrones por nuevos choques. Así se forma un flujo de electrones denominado Townsend, que fué el investigador que hizo los primeros trabajos importantes sobre el particular.

El valor menor del voltaje, para el cual se observa el proceso acumulativo de ionización, o sea, formación de electrones secundarios, se denomina voltaje umbral V_p de la región proporcional. La diferencia de voltaje viene dada por la expresión

$$dV = 1,60 \times 10^{-7} \frac{An}{C}$$

en donde C es L
y A el factor de
tarde. En esta
mero de iones qu
ello, factible
fa y otra beta,
entre el número
proporcional A
es decir, del n
la llegada al co
voltaje. A parti
A depende del t
proceso se forma
tamaño del impuls
Sin embargo, si
so ionizante, po
formación de 10^4
de amplificación
lente a 10^{11} par
referido tamaño
cual el valor ef

La región de
pulso inicial en
porcionalidad.

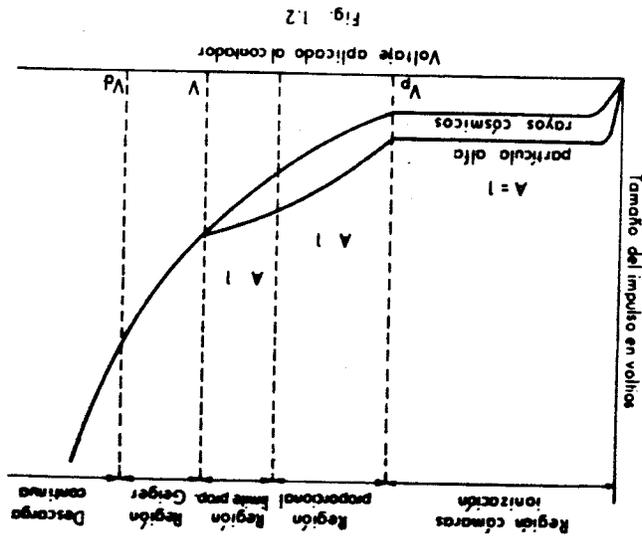
Región Geiger.-
cia A, del tamaño
que se llega a u
el tamaño del im
del número de io
dor de una partí
teriza porque lo
osciloscopio son
nifi inversa de
de constante. E
denomina voltaje
se es función de

en donde C es la capacidad, n el número de electrones primarios y A el factor de amplificación del gasto que describiremos más tarde. En esta región el tamaño final del impulso depende del número de iones que se forman en el proceso ionizante, siendo, por ello, factible diferenciar entre la llegada de una partícula alfa y otra beta, por ejemplo, ya que existe una gran diferencia entre el número de iones producidos por una y otra. En la región proporcional A es independiente del tamaño inicial del impulso, es decir, del número de electrones primarios que se forman por la llegada al contador de una partícula, y va creciendo en el voltaje. A partir de un cierto valor de este último, el valor de A depende del tamaño del impulso. Así se observa que si en un proceso se forman diez pares de iones y el valor es de 10^7 , el tamaño del impulso corresponde a la llegada de 10^8 partículas. Sin embargo, si en las mismas condiciones tiene lugar otro proceso ionizante, por ejemplo, debido a una partícula alfa con la formación de 10^4 pares de iones, la aplicación del mismo factor de amplificación $A = 10^7$ nos daría un tamaño del impulso equivalente a 10^{11} pares de iones. En general esto no se observa y el referido tamaño del impulso queda limitado a 10^9 iones; por lo cual el valor efectivo de A en este caso es de 10^5 .

La región de voltaje en la cual A depende del tamaño del impulso inicial en escala no muy grande, se denomina límite de proporcionalidad.

Región Geiger.- Cuando sigue aumentando el voltaje la dependencia A, del tamaño inicial del impulso, es más pronunciada hasta que se llega a un determinado valor de dicho voltaje, en el cual el tamaño del impulso que llega al hilo central es independiente del número de iones primarios n formados por la llegada al contador de una partícula. Es la región denominada Geiger, y se caracteriza porque los impulsos que se observan en la pantalla de un osciloscopio son todos de la misma amplitud. El valor de A es función inversa de n, con lo que para cualquier voltaje, nA permanece constante. El mínimo voltaje para el cual esto sucede, V_G se denomina voltaje umbral de la región Geiger. El tamaño del impulso es función del voltaje aplicado, aumentando con este último.

Como se puede ver en la Fig. 1.2, cuando se alcanza un cierto valor V_g del voltaje, el contador entra en descarga. En la Fig. 1.2 se muestra el gráfico en el que se indican todas estas regiones.



CAPITULO II

CAMARAS DE IONIZACION

Como hemos indicado en el capítulo anterior, operan en la región de menor voltaje. El proceso ionizante que se origina como consecuencia de la llegada a la cámara de una partícula se mide sin que sufra ninguna amplificación en el gas. La diferencia de potencial aplicado hace que los electrones se dirijan al ánodo, produciendo su llegada un cambio dV en el potencial del mismo, que puede medirse con los circuitos auxiliares que indicamos en otro lugar.

Hay dos tipos diferentes de cámaras de ionización. En unos se detectan los impulsos debido a las diferentes partículas individualmente, mientras que en otros se determina la ionización total producida en un cierto tiempo.

Toda cámara de ionización tiene un cierto fondo, debido a tres tipos de radiación: 1°. Contaminación de partículas alfa en el interior. 2°. Radiación cósmica; y 3°. Radiactividad natural en sus proximidades.

La contaminación por partículas alfa puede reducirse a un valor muy pequeño, pintando el interior de la cámara con negro de carbón u otros compuestos orgánicos muy puros como el colodión. Por lo que respecta a la radiación cósmica, no es posible reducirla a niveles mínimos en el laboratorio, ya que para ello habría que trabajar a grandes profundidades. Por ello, lo más convenient-

Como veremos en el capítulo siguiente el boro absorbe un neutrón

misma trifluoruro de boro BF₃.
Introducir en el interior de la
de este elemento, o bien hay que
tida con boro o algún compuesto
neutrones lentos ha de ir reves-
Si la cámara ha de contar --
en la Fig. 2.1.

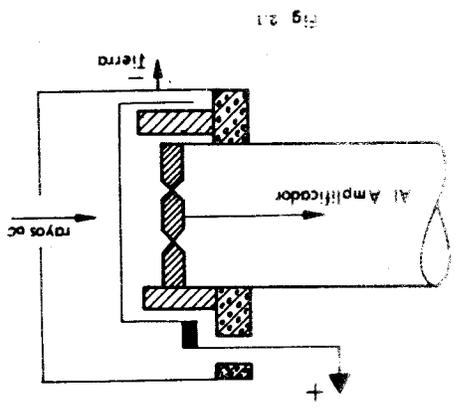


Fig 2.1

Para detectar partículas al-
fa y protones los electrodos sue-
len disponerse en las cámaras de
una forma análoga a la indicada
en la Fig. 2.1.

La forma y tamaño de la cámara vienen determinados normalmen-
te por la naturaleza y número de partículas a detectar. Así, por
ejemplo, si se desean contar partículas alfa, la cámara puede --
ser de proporciones muy reducidas, con objeto de que tenga un vā-
lor muy pequeño el fondo debido a la radiación cōsmica y a la --
contaminación. El tamaño no debe superar al alcance de las partí-
culas alfa en el gas que contenga la cámara. Por el contrario, --
para protones de energía elevada, el alcance de estos puede ser
grande comparado con las dimensiones de la cámara, ya que, por --
ejemplo, un protón de 10 Mev. recorre en el aire, aproximadamen-

te, una distancia de un metro.
Si la cámara ha de contar --
neutrones lentos ha de ir reves-
tida con boro o algún compuesto
de este elemento, o bien hay que
Introducir en el interior de la
misma trifluoruro de boro BF₃.

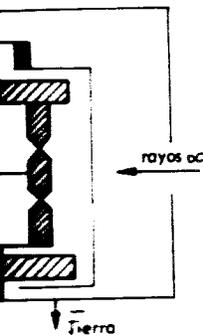
Las fluctuaciones estadísticas del fondo total debido a las
tres causas antes indicadas constituyen fundamentalmente el lí-
mite que fija el menor proceso ionizante que se puede detectar --
en cada instrumento.
El espesor conveniente para absorber esas radiaciones.
des de la cámara de material adecuado, normalmente plomo y con --
ción de las proximidades se pueden disminuir haciendo las pare-
1.500 ms. y de 6 a 4.500 ms. Los efectos debidos a la contamina-
horizontal. Este número crece a altitudes mayores, siendo de 3 a
1,5 rayos cōsmicos por minuto por centímetro cuadrado de sección
general puede admitirse, en un nivel próximo al mar, que inciden
te es determinar su importancia y tenerla en cuenta. Como regla

lento
En e
cidos
tal co
terior
Esta
croñon
se mue
tema.
Y se a
variac
Estas
dismin
del imp
es que
ble y
En
talle
el cam
gada de
se mide
total
Para
donde
especifi
través
carga d
Por
se deta
La dife
reside

Como regla
que inciden
do de sección
siendo de 3 a
la contamina-
do las pare--
plomo y con -
nes.

debido a las
mente el lí--
ede detectar -

ados normalmen
ctar. Así, por
ámara puede --
ne tenga un va
mica y a la --
e de las partí
l contrario,--
tos puede ser
ya que, por -
aproximadamen-



be un neutrón

lento y se produce una partícula alfa, que es la que se detecta.

En el caso de neutrones rápidos se cuentan los protones producidos al incidir dichos neutrones sobre un material hidrogenado, tal como la parafina, dispuesto bien en el interior o en el exterior de la cámara.

Estos aparatos son también sensibles a las perturbaciones microfónicas. Si las distintas partes de la cámara de ionización se mueven unas con relación a otras, varía la capacidad del sistema. Si la carga en el electrodo colector permanece constante y se altera el valor de dicha capacidad, el resultado será una variación en el potencial o, lo que es lo mismo, en el impulso. Estas perturbaciones pueden reducirse aumentando la capacidad o disminuyendo el potencial de barrido; no obstante, ambos procedimientos no son convenientes, ya que o bien reducen el tamaño del impulso o el tiempo de colección. En consecuencia, lo mejor es que toda la estructura del instrumento sea lo más rígida posible y que vaya montado sobre soportes libres de vibraciones.

En las cámaras de ionización con circuito integrador, cuyo detalle veremos en el capítulo destinado a circuitos electrónicos, el cambio de potencial en el electrodo colector, debido a la llegada de iones correspondientes a diferentes procesos ionizantes, se mide a intervalos de tiempo. Este potencial indica la carga total Q colectada durante el intervalo.

Para cada partícula se tiene

$$Q = ne = slpe \quad (2.1)$$

donde n es el número total de iones formados; s , la ionización específica en iones/cm.atm. en el gas; l , el recorrido medio a través de la cámara; p , la presión en atmósferas del gas, y e , la carga del ión.

Por el contrario, existen otras cámaras de ionización en que se detectan los impulsos individuales debidos a cada partícula. La diferencia entre este último tipo y el citado anteriormente reside en el circuito asociado.

Para comprender mejor los fenómenos que tienen lugar en los

aparatos de detección pasados en la ionización de los gases, vamos a dar algunas indicaciones sobre el movimiento de Iones y

electrones a través de aquéllos, desde que se originan hasta que alcanzan el electrodo correspondiente. Bajo la acción del campo

eléctrico sufren numerosas colisiones con las moléculas del gas, estableciéndose una velocidad media en función de una constante

llamada "movilidad", según la ecuación siguiente:

$$v = \frac{KE}{p}$$

(2.2)

en el cual v es la velocidad; k , la movilidad; E , el valor del

campo, y p , la presión. Si v se expresa en cm./seg.; E , en volt./cm., y la presión en atmósferas, la dimensión de k es cm./seg./

/vol./cm./atm. Los estudios realizados han demostrado que los iones positivos tienen movilidades de 1,4 cm./seg. en el aire en

condiciones normales de temperatura y presión, y los iones negativos, de 1,8 cm./seg. La experiencia nos dice que k se mantiene

constante mientras el campo no alcance valores altos o la presión sea muy baja; el primer extremo se da solamente en las proximidades del hilo central. Asimismo, el valor de k depende en

alto grado de la pureza del gas que llena la cámara. Los iones y electrones recorren entre dos colisiones sucesivas distancias variables que, promediadas, dan un valor que se

conoce con el nombre de recorrido libre medio.

En el caso de una esfera que se mueve a través de otras del mismo diámetro, dicho recorrido viene dado por la expresión

$$L = \frac{1}{1 + n\pi r^2} = \frac{1}{n\pi r^2 + 1}$$

(2.3)

donde L es el recorrido libre medio en centímetros; n , el número de esferas blanco por centímetro cúbico, y r , el radio de cada una; σ recibe el nombre de sección eficaz y representa el área de la sección geométrica de cada esfera útil para el choque.

En el caso anterior hemos supuesto que las esferas permanecen

estacionarias. Pero en realidad, las moléculas se mueven al azar con velocidad media dependiente de la temperatura y con una energía media proporcional a kT , siendo k la constante de Boltzmann y T la temperatura absoluta, por lo que la ecuación (2.3) debe ser modificada. Se demuestra que para una distribución de Maxwell de las velocidades moleculares, el recorrido libre medio vale

$$L = \frac{1}{\sqrt{2}n\sigma^2} \quad (2.4)$$

Esta ecuación se emplea en el estudio del movimiento de los iones positivos o negativos a través de un gas.

Cuando se trata del movimiento de electrones hay que tener en cuenta dos factores: 1º, la dimensión del electrón es pequeña comparada con la de la molécula del gas; 2º, el electrón se mueve mucho más de prisa que estas últimas, que se las puede considerar casi como estacionarias en relación con aquél. En este caso la ecuación a utilizar es

$$L = \frac{4}{n\pi r^2} \quad (2.5)$$

La movilidad de los electrones supera a la de los iones positivos o negativos en un factor comprendido entre 10^3 y 10^4 .

En campos moderados todos los electrones formados en el gas alcanzan el electrodo correspondiente, excepto los que desaparecen en el camino hacia éste. Las cargas positivas y negativas, al pasar unas junto a otras, pueden dar origen a átomos neutros. La recombinación normalmente tiene lugar cuando un ión positivo y otro negativo pasan a pequeña distancia con energía cinética no muy elevada. Si la aproximación se verifica a partir de una distancia grande, es posible alcanzar considerables velocidades relativas y la probabilidad de recombinación es baja. Para que esta recombinación se verifique es necesario que las partículas pierdan energía por choque con otras moléculas, pudiendo también realizarse en las proximidades de un tercer elemento como una pared

u otra molécula.

$$\frac{dN_1}{dt} = \beta N_1 N_2 = - \frac{dN_2}{dt} \quad (2.6)$$

que se transforma si, como es normal, el número de iones positivos y negativos es el mismo en

$$\frac{dN}{dt} = \beta N^2 \quad (2.7)$$

Por consiguiente, nos indica el grado en que desaparecen los iones, y que su vida media será:

$$\frac{1}{t} = \beta N \quad (2.8)$$

En el aire, al nivel del mar, los rayos cósmicos y la radiactividad natural producen una ionización continua, y asimismo, los iones se recombinan también continuamente. Alcanzado el equilibrio, el número de los que se forman es igual que los que desaparecen, con lo que se tiene

$$\frac{dN}{dt} = \beta N^2 = q \quad (2.9)$$

que combinada con la ecuación anterior resulta

$$N = qt \quad (2.10)$$

donde q es el grado de producción de iones por centímetro cúbico por segundo y atmósfera; t, la vida media en segundos, y N, la concentración en equilibrio de iones por centímetro cúbico en el presente.

En el proyecto de cámaras de ionización hay que tener en cuenta que los iones alcanzan el electrodos colector en un tiempo comparable con su vida media, ya que de otra manera una fracción apreciable de los mismos se perderá por recombinación.

Hasta aquí nos hemos referido a los iones positivos y negativos. La recombinación de los electrones con los iones positivos es mucho menos probable.

La recombinación puede favorecerse por determinadas circunstancias, como es el caso de que después de originarse un par de iones, éstos no se separen lo suficiente por la acción del campo o vuelvan a chocar de nuevo por colisión con otros átomos. Un segundo caso es la llamada "recombinación por columna", que tiene lugar cuando se forma una zona densa de ionización; entonces es evidente que aunque el número total de iones no sea muy elevado, están localizados en un espacio muy reducido y, por tanto, N puede alcanzar en determinados sitios valores muy elevados.

Los choques de los iones y electrones con las moléculas del gas pueden ser de dos clases: elásticos e inelásticos. Los primeros se producen a energías muy reducidas y en ellos existe conservación de la energía cinética y de la cantidad de movimiento. Cuando el valor del campo aumenta, el ión adquiere más energía en cada recorrido libre medio, pudiendo alcanzar una cantidad igual a uno de los niveles energéticos del átomo o molécula blanco, produciendo choques inelásticos, en los que hay conservación de la cantidad de movimiento, pero no de la energía cinética. Este umbral cinético es alto para los gases monoatómicos, algo inferior para los diatómicos y mucho menor para las moléculas poliatómicas. Por último, cuando el ión o electrón adquiere una energía igual o mayor que el potencial de ionización del átomo o molécula blanco, puede producir un par de iones, con lo que se da lugar a un proceso ionizante.

Si en vez de tratarse de una partícula cargada, tal como las alfa, beta, protones, etc., incide sobre el contador radiación gamma, el desprendimiento de electrones tiene lugar por efecto fotoeléctrico, efecto Compton o producción de pares, como explicaremos detalladamente en el capítulo correspondiente a los destellos.

CAPITULO III

CONTADORES PROPORCIONALES

En este apartado vamos a estudiar los contadores en la región proporcional.

El voltaje que existe en el hilo central es $V = \frac{Ane}{C}$, en donde A es la amplificación del gas y n el número de electrones formados en la ionización inicial. Si V se expresa en voltios, e es la carga del electrón en microculombios, y C , la capacidad en el hilo central en microfaradios. Al atravesar cada electrón inicial la región próxima al ánodo es dotado de energía suficiente para producir nuevos electrones por colisión, que, a su vez, pueden originar otros, y así sucesivamente. De esta forma cada electrón inicial da lugar a una serie o cascada de electrones. La amplificación del gas A se define como el número de electrones adicionales producido por cada electrón inicial. Es igual a la unidad en la región inferior al umbral de la región proporcional y muy superior a 1 en el umbral de la región Geiger.

Esencialmente se emplea el contador proporcional para discriminar diferentes radiaciones, para lo que es necesario, que si llega una cierta radiación y el aparato proporciona al final un impulso de suficiente amplitud para ser registrado, otra radiación incidente, de menor energía, no produzca un impulso lo suficientemente grande para ser igualmente registrado o bien determinar adecuadamente. Esta exclusión es esencial si los impulsos que se desean estudiar tienen un fondo elevado de otros más peque

espacio libre antes de que alcance el hilo central. Si el voltaje se incrementa, la distancia crítica, en la cual comienza la ionización, aumentará hacia la periferia, y como el electrón empieza a ionizar, progresivamente más cerca de ésta, se aumenta rápidamente el número de electrones y tenemos el comienzo del conocido flujo Townsend. Si expresamos por α el número de pares de iones formados por un electrón en cada centímetro de avance hacia el hilo central, se tiene:

$$dN = \alpha N dx \quad (3.1)$$

en donde dN es el número de electrones nuevos formados por N electrones en una distancia comprendida entre x y $x + dx$. La cantidad α se denomina primer coeficiente de Townsend y es función de la intensidad del campo y de la naturaleza y presión del gas. Si α es independiente de x , integrando la ecuación anterior, se obtiene:

$$N = N_0 e^{\alpha x} \quad (3.2)$$

en donde N_0 es el número inicial de electrones.

Apliquemos esta teoría al problema concreto del contador. En este caso el campo varía inversamente proporcional a la primera potencia del radio, pudiendo determinarse, para unas ciertas condiciones dadas, el número de electrones que llegan al hilo central.

Hagamos previamente algunas consideraciones acerca de los iones positivos.

En la ionización se produce, al mismo tiempo que un electrón, un ión positivo. Este ión se dirige hacia la periferia del cilindro, y puesto que el campo que atraviesa es decreciente conforme avanza, no contribuye de forma apreciable al proceso de ionización acumulativa, recorriendo el espacio lentamente comparado con los electrones que se dirigen al hilo central. El flujo total de electrones se forma antes de que los iones positivos hayan recorrido una distancia apreciable. La presencia de estos iones produce una carga de espacio que altera el campo en sus proximidades, siendo esta disminución del campo la razón principal que hace cesar la descarga del contador. Sin embargo, sus efectos no son importantes en un contador proporcional, y podemos prescindir de

Es particularmente despreciable su efecto, en el caso de que existan moléculas complejas. La emisión de electrones secundarios, debidos a la recombinación y al bombardeo de iones positivos del

mayores.
sencia la ionización se incrementa y los impulsos obtenidos son -
ciertas condiciones, esto no es exacto, ya que a causa de su pre-
te no juega un papel importante en el fenómeno, si bien, bajo - -
Supondremos también que si en el flujo existe algún fotón, es

prescindirse de éstas y tomar la media sin cometer un grave error.
práctica, despreciando las fluctuaciones, demuestra que puede - -
hecho de obtenerse resultados concordantes entre la teoría y la -
sion matemáticas es muy pesada y complicada; por otra parte, el -
cuenta las fluctuaciones para un razonamiento riguroso, la discus-
zación superior o inferior a la media antes citada. Si tenemos en
demuestra que individualmente un electrón puede producir una ioní-
es igual a la ionización media del mismo. El estudio estadístico
da por cualquier electrón a lo largo de cada trayectoria parcial
ciones. Esta hipótesis equivale a decir que la ionización produci-
tivos formados; igualmente supondremos despreciables las fluctua-
tral al mismo tiempo que es despreciable el número de iones nega-
único medio por el cual las cargas negativas alcanzan el hilo cen-
lectronegativos, y supondremos que el flujo de electrones es el -
En lo que sigue no consideraremos los contadores con gases e-

gativos se mueven muy lentamente comparados con los electrones.
el flujo, y, por tanto, el carácter de la descarga. Los iones ne-
oxígeno, el cloro o el flúor, los cuales alteran fundamentalmente
ce solamente en gases fuertemente electronegativos, tales como el
La captura de electrones para formar iones negativos se produ-
tadores.

nes y a las altas intensidades de campo con que trabajan los con-
go, la recombinación es en extremo improbable a las bajas presio-
nación, el aspecto de la cuestión cambia por completo. Sin embar-
nes o bien los iones positivos desaparecen a causa de la recombi-
ción no tiene lugar en una extensión apreciable. Si los electro-
naturalidad de la descarga. Supondremos primero que la combina-
ellos. A continuación haremos algunas hipótesis relativas a la -

no comienza con
ría hacia el
de colisiones
El factor de
dio del alambre.
que, como puede
mos, pues, escri
ner que está
volaje umbral,
Denominare
se en su últim
ge hacia el
el hecho de que
proporcional. E
cha el citado
za. El valor má
el cual el proc
Cuando el
r_2, el campo
dor. Si supone
radio interior
tricos, el cá
el caso de un
considerem
y la práctica
catodo, es tam

cátodo, es también despreciable. La concordancia entre la teoría y la práctica autoriza hacer estas hipótesis de simplificación.

Consideremos ahora la formación del flujo de electrones. En el caso de un contador tenemos dos electrodos cilíndricos concéntricos, el cátodo y el hilo central. Sea el radio del hilo r , el radio interior del cátodo, r_2 , y V , el voltaje aplicado al contador. Si suponemos un punto dentro del cilindro de radio r ($r_1 < r < r_2$), el campo en él vendrá dado por la expresión:

$$E = \frac{V}{r \log \frac{r_2}{r_1}} \quad (3.3)$$

Cuando el voltaje se eleva lentamente se alcanza un valor en el cual el proceso multiplicador que hemos llamado flujo comienza. El valor mínimo V_p del voltaje, que permite se ponga en marcha el citado proceso, se denomina voltaje umbral del contador - proporcional. El significado físico de este voltaje descansa en el hecho de que es el mínimo en el cual un electrón que se dirige hacia el hilo central adquiere energía suficiente para ionizarse en su último recorrido libre antes de alcanzar éste.

Denominaremos r_0 el radio en el cual aparece el flujo. En el voltaje umbral, $r_0 = r_1$, y con bastante aproximación podemos suponer que está ligado con el voltaje por una relación lineal. Podemos, pues, escribir:

$$r_0 = r_1 \frac{V}{V_p} \quad (3.4)$$

que, como puede observarse, da r_0 midiendo los voltajes y el radio del alambre.

El factor de amplificación A viene determinado por el número de colisiones ionizantes que produce el electrón en su trayectoria hacia el hilo, es decir, por la ecuación (3.2). Si el fenómeno comienza con un electrón único, se tiene:

$$A = e^{\int a dx} \text{ ya que } N_0 = 1 \quad (3.5)$$

El número de colisiones ionizantes dependientes del recorrido libre, el cual es, a su vez, función de la energía.

Calculamos ahora el valor de A.

El aumento de energía e experimentado por un electrón en un recorrido libre medio l, dentro de un campo E, es:

$$e = eEl \quad (3.6)$$

Ionización específica, α , es la inversa de dicho recorrido libre medio, o sea,

$$l = \frac{1}{\alpha} \text{ y } E = \frac{C}{V} \text{, sustituyendo se tiene:}$$

$$e = \frac{C}{V} \frac{\alpha r}{\alpha r}$$

Ahora bien, $\alpha = N\sigma$, donde N es el número de átomos o moléculas por unidad de volumen y σ la sección eficaz, con lo que resulta:

$$e = \frac{N\sigma r}{C V}$$

En nuestro caso podemos considerar que la sección eficaz de ionización varía linealmente con la energía, es decir, $\sigma = ae$, con lo que la expresión anterior se transforma en

$$e = \left(\frac{Nra}{C V} \right)^{1/2}$$

Recordemos que $\alpha = N\sigma = Nae$, con lo que obtenemos

$$\alpha = \left(\frac{r}{C V e N a} \right)^{1/2}$$

Tomemos ahora el valor medio de α en el intervalo $r_0 - r_1$ de radios del contador.

La integral será

$$\alpha = \int_{r_0}^{r_1} \left(\frac{r}{C V e N a} \right)^{1/2} dr$$

La mediana M tiene por valor:

$$M = \frac{r_0 - r_1}{1} (C V e N a)^{1/2} \int_{r_0}^{r_1} r^{-1/2} dr =$$

del recorrido li--

electrón en un -

s:

icho recorrido li

tiene:

itosos o molécu--

con lo que resul

ción eficaz de -

ecir, $\sigma = a\epsilon$, -

ms

ralo $r_0 - r_1$ de

=

$$\begin{aligned}
&= \frac{2}{r_0 - r_1} (CvNa)^{1/2} \cdot \left[r^{1/2} \right]_{r_1}^{r_0} = \\
&= \frac{2}{r_0 - r_1} (CvNa)^{1/2} (r_0^{1/2} - r_1^{1/2}) = \\
&= \frac{2}{r_0 - r_1} (CvNa)^{1/2} \left[\left(\frac{r_0}{r_1} \right)^{1/2} - 1 \right] r_1^{1/2} = \\
&= \frac{2}{r_0 - r_1} (CvNa r_1)^{1/2} \left[\left(\frac{r_0}{r_1} \right)^{1/2} - 1 \right]
\end{aligned}$$

Teniendo en cuenta la ecuación (3.4) y sustituyendo, sale

$$M = \frac{2}{r_0 - r_1} (CvNa r_1)^{1/2} \left[\left(\frac{v}{v_p} \right)^{1/2} - 1 \right] \quad (3.7)$$

La ecuación (3.5), en el supuesto de ser x independiente de x , es

$$A = e^{ax} \quad (3.8)$$

Y como $x = r_0 - r_1$, reemplazando este valor y el (3.8) en la ecuación (3.9), se obtiene definitivamente

$$A = \exp 2(a\epsilon N C r_1 v)^{1/2} \left[\left(\frac{v}{v_p} \right)^{1/2} - 1 \right] \quad (3.9)$$

que define la amplificación A del gas en función de cantidades medibles experimentalmente. Las experiencias para comprobar la dependencia de A de estas cantidades han estado, en general, conformes con la teoría. Sin embargo, se han observado ciertas desviaciones muy interesantes, porque ayudan a comprender mejor el mecanismo de la descarga.

Consideremos en primer lugar los efectos de los voltajes elevados. Cuando el voltaje se eleva progresivamente existe conformidad entre la teoría y la práctica hasta que A alcanza el valor 10^4 , aproximadamente. Con voltajes más elevados la amplitud del -

Impulso aumenta con dicho voltaje de una forma más rápida que lo expresado por la ecuación (3.9), lo que ocurre cuando el contador entra en el límite de la región proporcional, la supera y penetra en la región Geiger. Este incremento más rápido indica que algo interviene, aparte del flujo Townsend, y que nuestras hipótesis simplíficas no son ciertas. Supongamos, por ejemplo, que se han formado en el flujo fotones y que alcanzan el cilindro, donde pueden ser puestos en libertad fotoelectrones, los cuales, a su vez, se dirigen hacia el alambre y son el origen de nuevos flujos. La amplitud del impulso será superior a lo expresado por la ecuación (3.9), que no supone la formación de los referidos fotones. Si además se liberan nuevos electrones por los iones positivos -- que alcanzan el cilindro, obtenemos el mismo resultado anterior. Parece probable que con amplificaciones por encima de 10^4 comienza a tener influencia la carga de espacio. La teoría de la limitación de la descarga por la carga de espacio ha sido desarrollada por Montgomery. Realmente la principal característica de la región proporcional es que los impulsos grandes no crecen con el voltaje de una forma tan rápida como los pequeños. Este hecho puede atribuirse a los efectos de la carga de espacio para aquellos con producción de más iones positivos. Como el campo próximo al alambre disminuye con esta carga de espacio, el flujo tiende a crecer, y de aquí que este efecto sea más sensible en los impulsos grandes.

Otra desviación importante se hace patente cuando se usa una mezcla de gases y ésta se varía incrementando el porcentaje del gas monoatómico, pues hace su aparición otro fenómeno adicional -- al flujo Townsend, que tiende a producir más electrones y, por tanto, impulsos mayores de los indicados por la ecuación (3.9). La experiencia revela una limitación importante para dicha ecuación, especialmente con gases monoatómicos y diatómicos, ya que empieza a fallar con amplificaciones próximas a 100, mientras que con gases poliatómicos proporciona valores de A que alcanzan a 10^4 . Puede explicarse esto observando que el fenómeno es debido al bombardeo del cilindro por los iones positivos. El bombardeo por los iones positivos monoatómicos y diatómicos produce emisión de electrones.

traces, viene, De
ite esto. De
y la mezcla de
pio, partes
rápido de A
te bombardeo
ta un despres
principal que
suprimido est
damos metano
a una mezcla
antes de supr
damos solamen
de resultados
A la vista
gas o mezcla
un estrecho
y diatómicos,
los poliatómicos
los monoatómicos
pen y, en cons
con el uso, y
los contadores
aquellos que
que un contado
cuentas antes
ta lleno de ga
ración es algo
tanto, menor e
ga. El potencia
fónicos puros
nico. Así, por
ra con un pote
gón (permanec
bien con ello
tes característ

rápida que lo
do el contador
pera y penetra
ica que algo -
s hipótesis --
mplo, que se -
cilindro, donde
uales, a su --
nuevos flujos.
o por la ecua-
idos fotones.
s positivos --
ado anterior.

ima de 10^4 co-
eoría de la li-
sido desarro-
erística de la
crecen con el
Este hecho pue-
para aquéllos
o próximo al -
jo tiende a de-
en los impul--

do se usa una
porcentaje del
mo adicional -
nes y, por tan-
ón (3.9). La -
icha ecuación,
ya que empieza
as que con ga-
azan a 10^4 . Pue-
bido al bombar-
deo por los io-
sión de elec--

trones, mientras que con los iones positivos poliatómicos no ocu-
rre esto. De aquí que los gases monoatómicos y diatómicos puros
y la mezcla de monoatómicos con poliatómicos, tal como, por ejem-
plo, partes iguales de argón y metano, produzcan un aumento más
rápido de A con V que el que se deduce de la ecuación (3.9). Es-
te bombardeo del cátodo por los iones positivos, del cual resul-
ta un desprendimiento de electrones, es posiblemente el factor -
principal que influye en el rápido incremento de A con V, siendo
suprimido este efecto por las moléculas más pesadas. Así, si aña-
dimos metano a un contador lleno con argón, es necesario llegar
a una mezcla del 75 por 100 de metano y del 25 por 100 de argón
antes de suprimir por completo dicho efecto, mientras que si aña-
dimos solamente un 10 por 100 de éter, hay coincidencia aceptable
de resultados con la ecuación (3.9).

A la vista de esto, prácticamente puede utilizarse cualquier
gas o mezcla de gases en un contador proporcional, requiriéndose
un estrecho control del voltaje si se emplean gases monoatómicos
y diatómicos, por lo que es más conveniente, en general, emplear
los poliatómicos. Las desventajas de estos últimos respecto a --
los monoatómicos, son: 1°, que las moléculas poliatómicas se rom-
pen y, en consecuencia, el contador cambia de características --
con el uso, y 2°, que el potencial umbral y el de operación de -
los contadores con gases poliatómicos es más elevado que el de -
aquellos que contienen gases monoatómicos; Spatz ha demostrado -
que un contador Geiger puede efectuar como término medio 10^{10} --
cuentas antes de inutilizarse por rotura de sus moléculas si es-
tá lleno de gas poliatómico; para un contador proporcional la du-
ración es algo mayor debido a que el flujo es más pequeño, y, por
tanto, menor el número de moléculas descompuestas en cada descar-
ga. El potencial umbral de los contadores llenos con gases polia-
tómicos puros puede reducirse algo por adición de un gas monoató-
mico. Así, por ejemplo, un contador a base de metano puro opera-
rá con un potencial más bajo por adición de un 10 por 100 de ar-
gón (permaneciendo fijo el contenido de metano), mejorándose tam-
bién con ello su eficacia, a la par que se mantienen sus restan-
tes características.

Aparte de los efectos originados por los iones positivos hay que considerar también los de los fotones formados en la descarga, ya que producen electrones cuando los iones positivos no han llegado al cátodo, o sea al mismo tiempo que se está verificando la descarga; Tienen gran diferencia de tiempo con los electrones que se originan con la llegada de iones positivos. La deducción de la ecuación (3.9) presupone la ausencia de fotones, y las diferencias observadas entre la teoría y la práctica pueden también ser debidas a ser falsa esta hipótesis. Los fotones producirían una ionización adicional y, como consecuencia de ello, el incremento de V con V sería más rápido que el indicado por la referida ecuación (3.9). En el flujo es presumible que se formen fotones, ya que, como resultado de las colisiones, los átomos se encuentran en estados excitados, los cuales perderán la mayor parte de su energía por radiación; la duración de dichos estados, del orden de 10^{-10} segundos, mientras que el tiempo medio entre dos colisiones es algo mayor. También habría de tenerse en cuenta la radiación de recombinación, la cual no es probable se produzca en el flujo a causa de ser baja la presión y elevado el campo. Sin embargo, la recombinación en el cátodo aparece, cuando inciden sobre él los iones positivos, que, por tanto, se convierten en átomos neutros. Consideremos de nuevo el comportamiento de los fotones. Ya hemos indicado que provienen de los átomos excitados de los gases monoatómicos o diatómicos que normalmente se emplean en los contadores y que tienen energías, por lo general, mayores que el umbral fotoeléctrico del cátodo. Así, por ejemplo, para el hidrógeno, la serie de Lyman comienza a los 10 voltios, aproximadamente, y la radiación del átomo de helio, que vuelve a su estado fundamental, es decir, al nivel 2P, corresponde a una energía de cerca de 20 voltios. El umbral fotoeléctrico del cobre y del latón está próximo a tres voltios, y como consecuencia, los fotones procedentes de los átomos excitados, si alcanzan el cátodo, hay que esperar produzcan la emisión de fotoelectrones. De igual manera, los fotones que son emitidos en el cátodo, como radiación de recombinación, están dotados de una energía muy superior al umbral fotoeléctrico. El hecho de que la ecuación (3.9) no suponga la existencia de fotones nos obliga a alguna aclaración en este sentido.

Hay pruebas
Los resultados
gases monoatómicos
Los fotones
de esa especie
ciclo más rápida
Los fotones
gases monoatómicos
Los resultados
Hay pruebas
series en la deno-
ne, denominada
Rose y Kottl con-
se midió V en fun-
dos y perforador
parcibirse dife-
dor se llena co-
dos perforados
guenos, probabi-
de las perforac-
gases poliatómi-
la hipótesis de
cho de que los
sos grandes es-
trada. Unicame-
flujo pequeño,
madamente, para
crementarán con-
valor 10⁻¹⁰ antes
dos indician de-
El comporta-
res pequeños de-
mente en la reg-
La naturaleza e-
umbral no es un-
se en la fig. 3.
práctico se refi-

s positivos hay
s en la descar--
positivos no han
está verificando
los electrones
La deducción --
nes, y las di--
pueden también
s producirían -
llo, el incre--
por la referida
ormen fotones,
se encuentran
parte de su --
s, del orden de
los colisiones
la radiación -
ca en el flujo
Sin embargo, la
sobre él los -
tomos neutros.
nes. Ya hemos
os gases monoá
los contadores
el umbral foto
rógeno, la se-
ente, y la ra-
fundamental, es
cca de 20 vol-
está próximo
ocedentes de -
e esperar pro-
a, los fotones
combinación, es
fotoeléctrico.
tencia de fo-

En el caso de gases poliatómicos no hay radiación fotónica como resultado de neutralización, y sí iones predisociados; por el contrario, en los gases monoatómicos y diatómicos sí existen fotones de esa procedencia, produciéndose a causa de esto una variación más rápida de A con V , que la indicada por la ecuación (3.9).

Los fotones procedentes de estados excitados, en el caso de gases monoatómicos y diatómicos, contribuyen a alterar también los resultados de la ecuación (3.9).

Hay pruebas experimentales de que los fotones se hallan presentes en la descarga, tal como la efectuada por Wilkening y Kanne, denominada "localización de la descarga", y la ejecutada por Rose y Korff con cátodos perforados. En este último experimento se midió A en función de V con contadores dotados de cátodos sólidos y perforados. Los resultados obtenidos demostraron que podían percibirse diferencias para los grandes impulsos cuando el contador se llena con gases monoatómicos y diatómicos; utilizando cátodos perforados se advirtieron diferencias en los impulsos más pequeños, probablemente a causa de escapar algunos fotones a través de las perforaciones. No se observaron alteraciones análogas con gases poliatómicos, lo que contribuye a dar mayor consistencia a la hipótesis de la no existencia de fotones en este caso. El hecho de que los fotones son de importancia solamente en los impulsos grandes es debido probablemente a la baja eficacia fotoeléctrica. Únicamente un número reducido de ellos se produce en un flujo pequeño, y solamente una fracción (del orden de 10^4 , aproximadamente, para los cátodos corrientemente empleados) de ellos incrementarán con electrones dicho flujo. Así A debe aproximarse al valor 10^4 antes de que los fotones procedentes de estados excitados influyan de manera apreciable en el aumento del flujo.

El comportamiento de los contadores proporcionales para valores pequeños de A ha sido estudiado por Rose y Ramsey, especialmente en la región próxima al voltaje umbral. Como es lógico, dada la naturaleza estadística del proceso en que se forma el flujo, el umbral no es una cantidad fija; sin embargo, como puede observarse en la Fig. 3.1., las curvas tienden hacia la horizontal. El gráfico se refiere a tres contadores, llenos con una mezcla de ar

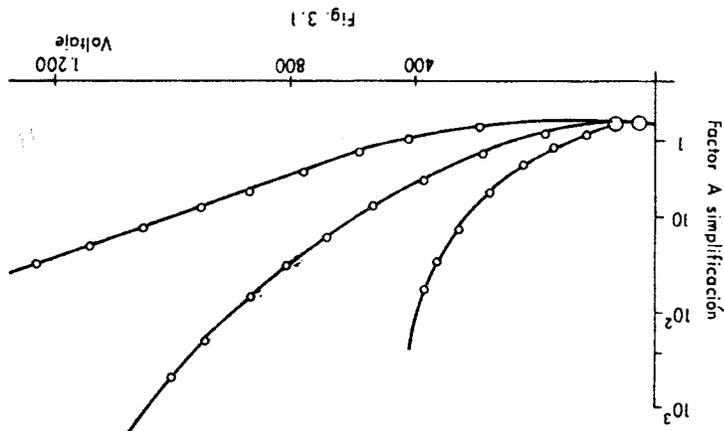


Fig. 3.1



Contadores proporcionales para usos especiales. Contadores de neutrones. Neutrones lentos. - Para detectar esta clase de neutrones, los contadores proporcionales se llenan con trifluoruro de boro, BF₃, que es un gas a la temperatura ambiente. Cuando un neutrón penetra en este gas, entra en interacción con los núcleos de boro según la reacción:

El voltaje umbral, indicado por la ecuación (3.9) es el correspondiente al punto en el cual la parte de línea recta de la curva, si extrapolamos hacia abajo, corta a la abscisa para un valor de A igual a la unidad (puesto que por debajo del voltaje umbral ya hemos dicho que A = 1); es decir los voltajes umbrales indicados por la referida ecuación están todos en una horizontal de ordenada igual a la unidad. Las curvas experimentales se diferencian de las teóricas en razón a que en estas últimas hemos despreciado las fluctuaciones y hemos supuesto una energía media para los electrones del flujo. Dichas fluctuaciones son de tener en cuenta para valores de A mayores que la unidad, y se pueden despreciar para A superior a 10 ó 20.

En la cual se indica la...
 Por tener...
 lentos muy elev...
 de de producir...
 cio. El contad...
 tre los impuls...
 por rayos beta...
 El empleo...
 bien por su in...
 uso.
 El límite...
 ción

os presiones dife-

(3.9) es el co- -
línea recta de la -
abcisa para un va-
ajo del voltaje um-
ltajes umbrales in-
una horizontal de
ntales se diferen-
rimas hemos despre-
ergía media para -
son de tener en --
y se pueden des--

Contadores de neu-
base de neutrones,
Fluoruro de boro,
uando un neutrón -
os núcleos de boro

+ Q

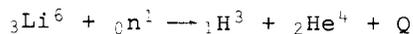


en la cual se forma B^{11} en estado excitado, Q indica la energía -
desprendida de la reacción.

Por tener el boro una sección de captura para los neutrones -
lentos muy elevada, esta reacción tiene una probabilidad muy gran-
de de producirse. La partícula alfa resultante y el núcleo de li-
tio producen una ionización intensa a lo largo de un corto espa-
cio. El contador proporcional puede distinguir, por otra parte, en-
tre los impulsos debidos a esta reacción y los menores producidos
por rayos beta. El valor de Q es $2,316 + 0,006$ Mev., según Bethe.

El empleo de otros compuestos de boro no ha dado resultado, -
bien por su inestabilidad o por cambiar de características con el
uso.

El litio también reacciona con los neutrones, según la ecua-
ción



originándose una partícula alfa de 2 Mev. de energía.

No es conveniente utilizar gases que contengan litio aparte -
de ser su sección eficaz menor. Por otro lado, no son muy numero-
sas las reacciones en las que se emiten partículas α . El trifluo-
ruro de boro comercial se compone de una mezcla de los isótopos
 B^{10} y B^{11} , aproximadamente, 19 por 100 del primero y 81 por 100
del último.

Por desgracia la reacción primeramente citada sólo es aplica-
ble al B^{10} , no ejecutando el B^{11} ninguna función útil en este --
sentido.

Es posible medir con estos contadores (BF_3) el número de neu-
trones con una energía dada, haciendo el experimento con ciertos
tipos de pantallas absorbentes. Así, por ejemplo, una pantalla de
cadmio de 1/2 a 1 mm. de espesor es prácticamente opaca para los
neutrones lentos y transparente para los neutrones dotados de - -
energías superiores a 1 ev. Pueden emplearse igualmente bórax y -
carburo de boro de diferentes espesores, siendo el grado de absor-
ción inversamente proporcional a la velocidad de los neutrones, -
siendo, por tanto, computable el efecto de un espesor dado.

Contadores para otra clase de partículas. - Los contadores proporcionales son útiles, para detectar partículas alfa y protones, siendo aquellas el primer tipo de radiación que se estudió en los primitivos aparatos. Las partículas alfa tienen una ionización específica muy alta, produciendo por término medio 30.000 pares de iones por centímetro en el aire en las condiciones normales, y ca si el doble de este número próximas al fin de su recorrido. Los electrones o los rayos cósmicos producen, por término medio, de 30 a 100 pares de iones por centímetro, y si un electrón con poca energía se encuentra próximo a finalizar su trayectoria, sólo da origen, como máximo, a 1/10 de los iones por centímetro, producidos por una partícula alfa. Por otra parte, como un contador proporcional, entrega impulsos cuya magnitud es proporcional, al número de iones inicialmente formado, distinguirá sin dificultad entre las partículas alfa y los electrones.

Estos contadores detectan al mismo tiempo la radiación cósmica y las partículas alfa procedentes de la contaminación del material del mismo. Si las condiciones exteriores no cambian pueden considerarse estos efectos como una radiación de fondo, que se puede calcular por otros medios y restarla del resultado final. Para aumentar la eficiencia de un contador de esta clase suele introducirse en su interior una hoja delgada de triesteatato de glicerina, platino u oro.

Neutrones rápidos. - Los contadores proporcionales pueden emplearse igualmente para detectar neutrones rápidos, a cuyo fin se consideraran los efectos de las partículas "rebotadas". Un neutrón rápido puede chocar con un núcleo de los átomos del gas que llenan el contador o del material que le rodea y producir otro núcleo que se mueva a través del mismo y que normalmente posee una ionización específica muy alta.

El neutrón al chocar con un núcleo hace que este se mueva a gran velocidad y en virtud de la disposición asimétrica de la corteza electrónica hace que el átomo en sí no sea neutro, sino que presente una parte como si fuera cargado.

ales pueden emplear-
a cuyo fin se con-
das". Un neutrón rá-
del gas que llenan
ducir otro núcleo -
ente posee una ioni-

ne este se mueva a -
simétrica de la cor
a neutro, sino que

la radiación cósmi-
taminación del mate
co cambian pueden -
de fondo, que se --
resultado final. Pa
ta clase suele in--
riestearato de gli

contadores propor-
alfa y protones, -
se estudió en los
una ionización es
30.000 pares de
es normales, y ca
recorrido. Los -
rmino medio, de -
electrón con poca
ectoria, sólo da
fmetro, produci-
un contador pro-
porcional, al nú-
sír dificultad en

La autonomía de un protón de 1 Mev. de energía en el aire es de 1.3 cm., aproximadamente, produciendo unos 12.000 pares de iones por centímetro, y, como máximo, un tercio de los producidos por una partícula alfa. Por consiguiente, los protones dotados de esta energía pueden distinguirse también fácilmente de las partículas beta.

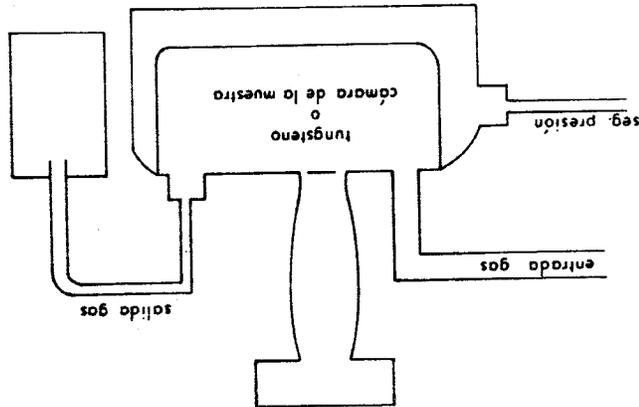
Para detectar las partículas alfa y los protones se puede emplear cualquier gas en el contador, si bien algunos gases son más convenientes que otros. Así debe evitarse el empleo de aire o de oxígeno a causa de la formación de iones negativos.

Para conseguir que las partículas alfa y los protones sean detectados por el contador, se las hace pasar a través de una lámina delgada.

Tiempo de resolución de un contador proporcional.- Para valores pequeños de A, el factor principal que influye en el tiempo de resolución es el tiempo de recorrido de los electrones que se forman en el proceso de ionización inicial. En las condiciones usuales de trabajo se puede afirmar que la captura completa de ellos tiene lugar en un período inferior a un microsegundo. Cuando el valor de A aumenta, el flujo es mayor y se dejan sentir los efectos de la carga de espacio. Si el voltaje es muy alto, cada vez influyen más la citada carga y la pequeña movilidad de los iones positivos, alcanzando el tiempo de resolución el valor de varios centenares de microsegundos.

Modelos.- La disposición de sus elementos y el circuito electrónico son semejantes a los detectores Geiger, que más tarde describiremos, diferenciándose en los gases empleados, según los usos a que se destine, y en las ventanas que dan paso a las partículas. Es corriente emplear contadores de corriente gaseosa, a través de las cuales el gas fluye continuamente (Fig. 3.2). En algunos tiempos la muestra puede introducirse dentro del volumen gaseoso mediante una plataforma que puede adoptar tres posiciones: una para colocarla, otra segunda anterior a la circulación del gas, y la tercera de funcionamiento.

Prueba rápida de un contador. - Se puede realizar conectándolo a un osciloscopio, en tanto que una fuente radiactiva, generalmente pequeña, se sitúa en las proximidades del detector. En la pantalla aparecerán impulsos de diferente tamaño. Conforme aumenta el voltaje en la región proporcional, el tamaño de estos impulsos aumenta hasta un determinado valor del voltaje, en que todos ellos son prácticamente iguales, que es el umbral de la región Geiger. Asimismo, disminuyendo el voltaje llega un momento en que el impulso no sufre amplificación alguna ($A = 1$), es el valor umbral de la región proporcional.



Mecanismo
mente los con
cos o bien m
nos, la auto
responde
con son del
oscopio el
tiene, aprox
de la amplifit

CONTI



r conectándolo a -
 tiva, generalmente
 tador. En la pan--
 Conforme aumenta -
 de estos impulsos
 en que todos - -
 l de la región -
 un momento en que
 , es el valor um-

CAPITULO IV

CONTADORES GEIGER. CONTADORES NO AUTO-EXTINTORES

Mecanismo de descarga.- En este apartado consideraremos solamente los contadores que contienen gases monoatómicos o diatómicos o bien mezclas de ambos. Tales gases no producen, como veremos, la autoextinción de la descarga. En la región del voltaje correspondiente al contador Geiger, todos los impulsos que se producen son del mismo tamaño. Si observamos en la pantalla de un osciloscopio el impulso producido en un contador, observaremos que tiene, aproximadamente, la forma que indica la Fig. 4.1. El valor de la amplitud es un voltio o superior.

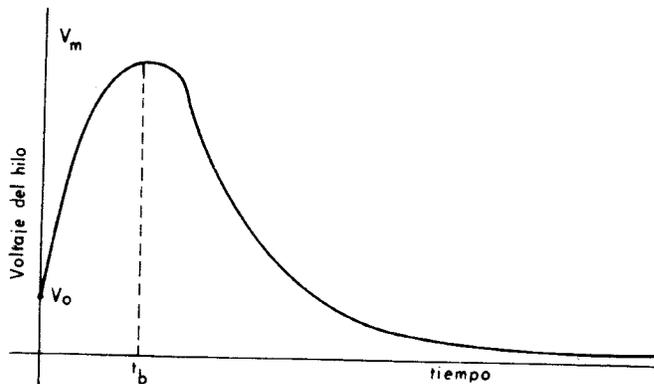


Fig. 4.1

un rápido crecimiento
 ormente, por un decreci
 primera parte se la -
 contador entra en descar-
 de un microsegundo. Se
 que se produce en el
 hilo central, la cual
 normal es función de
 ntal. Si el potencial
 or V_0 por captación de
 o t, será:

(4.1)

idad del circuito.

na cada impulso es:

(4.2)

opc.

la resistencia grande
 lo se llamó a estos -

por resistencia extin-
 tectan un amperímetro



43

y un voltímetro en el circuito de la batería obsérvase que no se puede mantener una descarga constante en el contador, a no ser -- que el voltaje sobrepase un cierto valor mínimo. Por otra parte -- una descarga continua exige que la corriente a través del gas -- exceda también de un cierto valor mínimo. La corona característi- ca del referido contador se expresa en la Fig. 4.3 (En ocasiones, una descarga continua se la denomina corona.)

Toda corriente que pase a través del contador lo hace también por la resistencia R, llamada resistencia de extinción. Cuando a- quél opera a un voltaje V_0 superior al mínimo, el exceso del vol- taje o sobrevoltaje es evidentemente $V_0 - V_{\min}$.

Cuando el contador entra en funcionamiento, circula corrien- te, y hay que restar la caída de tensión Ri_{\min} de V_0 .

Si $V_{\min} > V_0 - Ri_{\min}$ el potencial a que estamos operando es in- ferior a V_{\min} , y puesto que este voltaje no es suficiente para -- mantener la corona, cesa la descarga en el contador, con lo cual se corta aquella. Si, por el contrario, V_0 sobrepasa a Ri_m en una cantidad apreciable, tal que $V_{\min} < V_0 - Ri_m$ la descarga continúa. El "plateau" o intervalo de voltaje en que puede operar un conta- dor semejante, dependerá del valor de Ri_{\min} , y dentro de él, la - descarga cesa a causa de la resistencia.

Desgraciadamente el uso de la resistencia extintora en los -- contadores tiene grandes limitaciones.

Las corrientes mínimas medidas en diferentes detectores osci- lan entre 0,1 y 3 microamperios. Si $R = 10^8$ ohms, $Ri = 10$ voltios y queda muy poca autonomía. El aumento de resistencia limita la - rapidez con la cual el aparato puede trabajar, ya que dos proce- sos que originen dos impulsos se producen en un espacio de tiempo menor al de recuperación, y como por otra parte este aumento favo- rece el "plateau" de contador, son dos hechos en contraposición, razón por la cual las resistencias extintoras apenas se emplean, habiendo sido sustituidos por circuitos de extinción, que descri- biremos en el capítulo de circuitos auxiliares, en los que el po- tencial de trabajo cae por debajo de V_{\min} durante un período de - 10^{-4} segundos, con lo cual cesa la descarga, apareciendo acto se-

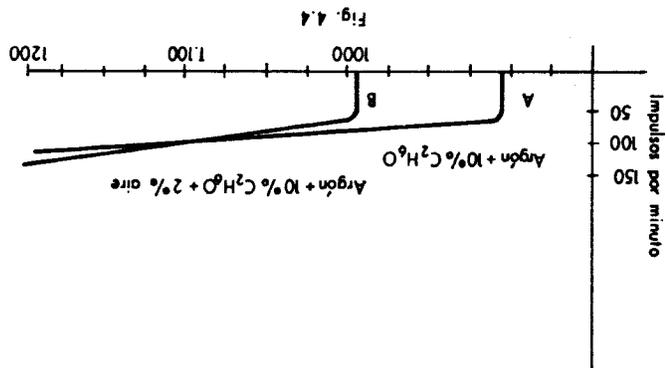
dro es probable se forme un electrón secundario y se origine un nuevo flujo.

Ahora es cuando se comprende mejor el significado de V_{\min} , que es el valor del voltaje para el cual se produce como mínimo un electrón secundario por cada cubierta de iones positivos, que al llegar al cilindro se neutraliza. Si cada una de éstas produce un electrón secundario, éste origina un nuevo flujo, que a su vez produce una nueva cubierta de iones positivos, etc., y la descarga continuará indefinidamente. Esta descarga no es realmente continua en el tiempo, como se ha indicado anteriormente, sino que consiste en una serie de impulsos contiguos, cuyos intervalos se solapan algunas veces.

Igualmente estamos ya en condiciones de percatarnos de la función de la resistencia o del circuito extintor, que es mantener el potencial del alambre por debajo del valor V_{\min} , hasta que se hayan neutralizado todos los iones positivos.

Una vez que esto ocurra no existe otro mecanismo para la producción de electrones secundarios y, por tanto, cesa la descarga. El circuito o la resistencia de extinción hacen posteriormente que el contador recupere su potencial normal de trabajo, con lo que queda en disposición de detectar nuevas partículas. Para reducir en lo posible el tiempo en que el contador no puede efectuar nuevas detecciones es conveniente que la recuperación de las condiciones normales de trabajo se haga en el espacio más breve posible. En general es del orden de 10^{-4} segundos.

En algunos casos el flujo inicial Townsend no es muy grande y la cubierta de iones positivos puede no contener los suficientes para hacer que el campo decrezca en las proximidades del hilo por debajo del potencial de descarga. Los fotones formados en el flujo inicial, cuando inciden sobre el cilindro, producen el desprendimiento de nuevos electrones, los cuales al llegar a la región próxima al hilo producirán nuevos flujos. Como consecuencia de ello se produce el fenómeno denominado "descarga múltiple" observado por Ramsey y Montgomerys. Cuando el campo en la proximidad del hilo llega a ser tan pequeño que no se producen nuevos flujos cesa la descarga.



Curvas características. - Existen dos muy importantes para los contadores Geiger. La primera expresa el número de impulsos en la unidad de tiempo en función del voltaje (Fig. 4.4) cuando el gas

Tratándose de radiación gamma hay que tener en cuenta que el número de fotoelectrones que se forman en el gas es normalmente pequeño comparado con el que procede de las paredes, y puesto que la eficiencia fotoeléctrica de estas superficies es en general baja, un contador será menos eficiente cuando detecte radiación gamma.

La eficiencia será buena cuando se trate de detectar partículas altas, que producen alta ionización específica; pero pueden surgir dificultades cuando se trata de radiación beta blanda.

La eficiencia será buena cuando se trate de detectar partículas altas, que producen alta ionización específica; pero pueden surgir dificultades cuando se trata de radiación beta blanda.

$$G = 1 - e^{-slp} \quad (4.3)$$

La eficiencia G viene definida por la relación

como la probabilidad de que registre la llegada de una partícula que haya penetrado en su interior.

Eficiencia del contador. - Se define la eficiencia de un contador

... de un contador -
... de una partícula

... radiación

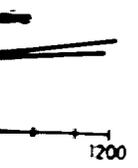
(4.3)

... partícula; 1, la lon
... p, la presión del -
... desarrollo en serie -

... de detectar partícu--
... ffica; pero pueden --
... rión beta blanda.

... en cuenta que el
... gas es normalmente -
... paredes, y puesto que
... es en general ba-
... tectate radiación gam

... rtantes para los con
... de impulsos en la --
... 4.4, cuando el gas -



que contiene y la radiación a la que está expuesto permanecen -
constantes.

En la Fig. 4.4 están dibujadas dos de estas curvas: la A, para un gas cuya composición es argón con 10 por 100 C_2H_6O , y la B, el mismo gas con 2 por 100 de aire. Estas curvas se caracterizan por un rápido crecimiento desde el potencial inicial hasta el umbral de la región Geiger y por un trozo más o menos recto después, cuya pendiente es pequeña ("plateau"). Más allá, el crecimiento del voltaje va seguido de un rápido incremento en los impulsos por unidad de tiempo y el contador deja de ser útil para efectuar medidas.

Es una curva integral en la cual se registran todos los impulsos superiores a un cierto tamaño.

Si la región del "plateau" es poco inclinada, ello indica que en la misma todos los impulsos son de un cierto tamaño máximo y sirve de comprobación para saber que el contador funciona verdaderamente en la región Geiger, ya que hemos definido ésta como proceso productor de impulsos del mismo tamaño, independientemente de la mayor o menor ionización originada por la causa ionizadora inicial y también para ponernos a cubierto de las fluctuaciones del potencial si operamos hacia la mitad de la referida región.

La segunda curva característica es la que da el potencial inicial en función de la presión del gas del contador (Fig. 4.5). Es común a todas el alcanzar valores mínimos cuando la presión es de algunos milímetros, creciendo después lentamente cuando aumenta la presión. Las variaciones más rápidas de estas curvas se producen en la región de 1 cm de presión, que no se emplea en los contadores, ya que los Geiger se utilizan para presiones comprendidas entre 7 y 20 cms.

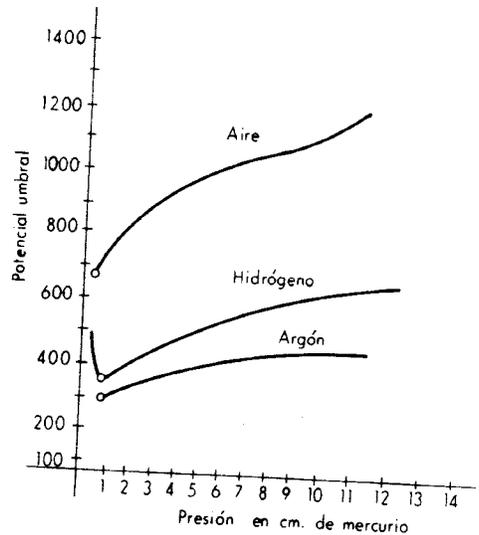


Fig. 4.5

Para valores superiores a 1 cm, el crecimiento es prácticamente lineal. Observando la Fig. 4.5 se ve que el potencial umbral depende de la naturaleza del gas. Para los gases nobles dicho potencial es inferior a los de los gases diatómicos, como el hidrógeno y el nitrógeno, y en las mezclas es intermedio entre el de los constituyentes. Como es deseable un potencial umbral reducido, son preferidos los gases nobles. En este sentido se emplean ampliamente el neón y el argón. Este último es barato y tiene una ionización específica elevada. No debe utilizarse argón extramadamente puro porque aumenta las dificultades debidas a los estados metaestables, siendo satisfactorio el argón comercial con el 2 por 100 de impurezas. El kriptón y el xenón son excelentes, pues ambos tienen alta ionización específica y potenciales umbrales bajos. Sin embargo, se utilizan poco, por ser caros. El helio tiene potencial umbral pequeño, pero ionización específica reducida, por la que hay que operar con altas presiones si no se quiere tener voltajes elevados. El nitrógeno y el hidrógeno tienen potenciales umbrales elevados, y el último, una ionización específica muy baja. El oxígeno da lugar a la formación de iones negativos.

Efecto de los iones negativos. - Si se produce un ion negativo en el contador es acelerado por el campo y se dirige hacia el hilo central, siendo su movilidad del mismo orden que la de los iones positivos. Estos iones pueden llegar a la proximidad del hilo después que el flujo Townsend se encuentra en la región de potencial elevado y después, también que la cubierta de iones positivos se ha alejado lo suficiente para que el campo próximo al hilo haya recuperado parcialmente su valor normal.

Los iones negativos pueden perder su electrón en dicha región debido al alto valor del campo; el cual puede dar origen a un nuevo flujo, que originará a su vez un nuevo impulso. Por otra parte los iones negativos pueden producir ionización por choque en las proximidades del hilo, que es también la causa de la formación de un nuevo flujo, y como normalmente se habrá producido la recuperación del primer impulso, el contador registrará otro nuevo, que es espúreo.

Efectos debidos a la ionización por choque: permanecen como se encuentran en la naturaleza del gas; para los gases nobles, la ionización es de 10¹⁰ se ven en el interior del tubo, en estado gaseoso, en esta forma haremos indicaciones para desexcitar la carga añadiendo hidrógeno y el hidrógeno media del estado tamaño del impulso mostrado que este potencial del ánodo alambre central por contador con potencial negativo con respecto

amiento es prácticamente -
el potencial umbral de--
gases nobles dicho poten--
micos, como el hidrógeno
medio entre el de los --
cial umbral reducido, son
ido se emplean ampliamen--
ato y tiene una ioniza--
se argón extramadamente
das a los estados metaes--
ercial con el 2 por 100
xcelentes, pues ambos -
ciales umbrales bajos.
ros. El helio tiene po--
específica reducida, por
si no se quiere tener -
ógeno tienen potenciales
ción específica muy ba--
iones negativos.

duce un ión negativo en
e dirige hacia el hilo -
den que la de los iones
proximidad del hilo des--
la región de potencial
de iones positivos se
o próximo al hilo haya -

lectrón en dicha región
ede dar origen a un nue--
impulso. Por otra parte
ción por choque en las
ausa de la formación de
á producido la recupera--
trará otro nuevo, que -

Efectos debidos a los estados metaestables.- Supongamos que un átomo se encuentra en estado metaestable como resultado de una descarga; permanecerá en él hasta que tenga lugar una radiación o se produzca un choque, en la cual la energía del estado metaestable se transforme en energía cinética. Estos estados se producen en los gases nobles, y su vida media antes de producirse la radiación es de 10^{-4} segundos superior. No les afecta el campo y se mueven en el interior del contador. Pueden chocar con las paredes del tubo, en estado metaestable o bien pueden emitir radiación según hemos indicado; pues bien, de cualquiera de las dos formas se pueden originar electrones secundarios. Si éstos surgen después que la cubierta de iones positivos ha recorrido una fracción importante del radio del tubo, pueden dar lugar a nuevos flujos y, por tanto, a nuevas descargas; las que a su vez dan lugar a nuevos estados metaestables, que produciendo nuevos electrones secundarios y nuevos flujos hacen que la descarga sea continua en el contador. Por ello los gases nobles puros no sean convenientes para su empleo en los contadores, debiendo existir un gas extraño para desexcitar los estados metaestables por choque; lo que se logra añadiendo hidrógeno en pequeña cantidad. El choque entre el argón y el hidrógeno tiene lugar en un tiempo inferior a la vida media del estado metaestable.

Tamaño del impulso.- En la exposición teórica anterior hemos demostrado que este tamaño, o lo que es lo mismo, el cambio en el potencial del ánodo, está ligado con la carga Q , que llega al alambre central por la relación:

$$Q = nCdV \quad (4.4)$$

donde n es el número de cuentas y C la capacidad. Así, pues, la carga Q , para un impulso, es proporcional a dV . Sin embargo, dicho valor de Q aumenta cuando tiene lugar el fenómeno de "extra-descarga", lo que acontece cuando la capacidad del sistema es pequeña y el voltaje elevado.

Contador con potencial reversible.- Si el alambre central se hace negativo con respecto al cilindro, el detector puede seguir traba

Jando en la región Geiger. El mecanismo de la descarga es, sin embargo, totalmente diferente. Al producirse el flujo de electrones éstos se dirigirán hacia el cilindro, y puesto que se mueven en una zona en la que el campo es cada vez menor, el proceso multiplicativo disminuirá. Por el contrario, los iones positivos penetran en regiones donde el campo es cada vez mayor, llegando un momento en que en un recorrido libre medio puedan adquirir suficiente energía para producir ionizaciones por colisión. De esta manera se originan nuevos electrones cuando los iones positivos se dirigen al alambre central; estos electrones alcanzan el cilindro, pudiendo producir a su vez nuevos electrones por choque, que también van a dicho cilindro, por lo cual no contribuyen a que la descarga continúe. Los iones positivos, sin embargo, alcanzan el hilo central en tiempos relativamente grandes, después que los electrones lo han hecho en el cilindro. Así se puede producir un impulso inmediatamente de un proceso ionizante o después de transcurrido un espacio de tiempo apreciable, lo que depende de si el ion inicial se formó cerca o lejos del hilo. Estos intervalos distribuidos al azar entre el momento en que tiene lugar el proceso de ionización inicial y la aparición del impulso se denominan tiempos de retardo.

Por otra parte, los iones positivos no llegan todos a la vez; por lo cual también tendrán estos contadores unas fluctuaciones considerables en la forma y tamaño del impulso.

Contadores con rejilla. - Korff y Ramsey construyeron un contador cuyo cilindro tenía 5,6 cms. de diámetro, al mismo tiempo que dispusieron una rejilla de un centímetro de diámetro alrededor del hilo central. Como el flujo aparece solamente en la vecindad de este último, la posición de la rejilla no afecta al citado flujo. El tamaño del impulso viene dado por la diferencia de potencial entre la rejilla y el hilo central.

Cuando el cilindro exterior se hace negativo con respecto a la rejilla, todos los electrones producidos en el espacio más exterior se acelerarán en su movimiento hacia la rejilla; prescindiendo del escaso número que sea atrapado por ésta, la mayoría la

do cual e
mucho más
elevada,
sea lento
puesto que
carga. La
de, este
hacia que
ros
na total
rísticas
leculas
por 100
forman
los tam
lecula c
contador
contador
la.
del cont
ventaja
zarse, e
ga tan
ya que
tador pu
Las
carga co
excesivo
pronto
de entre
el hecho
en
nada
trabajo

de la descarga es. sin -
se el flujo de electro
y puesto que se mueven
menor, el proceso mul-
los iones positivos pe-
vez mayor, llegando un
puedan adquirir sufi--
por colisión. De esta -
do los iones positivos
alcanzan el cilin
electrones por choque, que
contribuyen a que la
embargo, alcanzan el
después que los -
se puede producir un
ante o después de trans
que depende de si el
o. Estos intervalos dis
tiene lugar el proceso
impulso se denominan - -

Llegan todos a la vez;
mas fluctuaciones -
also.

destruyeron un contador
al mismo tiempo que dis
simetro alrededor del -
ante a la vecindad de -
afecta al citado flujo.
diferencia de potencial -

ativo con respecto a la
a el espacio más exte--
la rejilla; prescindiendo
esta, la mayoría la - -

traspasan y producen impulsos como si no existiera. Se precisa so-
lamente una pequeña diferencia de potencial entre la rejilla y el
cilindro. Cuando esta diferencia se hace cero, el contador entra
en descarga continua. La explicación de este fenómeno reside en -
el hecho de que los electrones producidos en el espacio compendi-
do entre la rejilla y el cilindro alcanzan aquella al azar, y tan
pronto como la atraviesa cada uno, aparece un impulso. Una rápida
sucesión de cuentas, con intervalos variables, equivale a una des-
carga continua.

Las ventajas de utilizar rejilla son: que el voltaje del con-
tador puede ser reducido y que se acorta el tiempo de resolución,
ya que los iones positivos dejan de tener influencia en la descar-
ga tan pronto como alcanzan la rejilla, habiendo recorrido sola-
mente, en este caso, un quinto del radio del cilindro. Como des-
ventajas se tienen que aumenta la complejidad en la construcción
del contador y que algunos electrones son atrapados por la reji-
lla.

Contadores autoextintores.- Bajo este epígrafe estudiaremos los -
contadores llenos con gases poliatómicos, o sea aquellos cuya mo-
lécula consta de cuatro o más átomos. Normalmente se añaden a és-
tos también gases monoatómicos o diatómicos, que frecuentemente -
forman la fracción mayor. Así, es corriente la proporción de 90 -
por 100 de argón y 10 por 100 de vapor de alcohol etílico. Las mo-
léculas poliatómicas en cantidad conveniente alteran las caracte-
rísticas de la descarga de tal forma que el contador actúa de for-
ma totalmente diferente al tipo no autoextintor arriba descrito.

Trost señaló que la adición de algunos compuestos orgánicos -
hacía que la descarga del contador se cortara por sí misma; es de-
cir, este hecho se debía a algún mecanismo interno de dicha des-
carga. Tal propiedad permite suprimir el circuito de extinción. -
Puesto que la razón principal de que el tiempo de recuperación -
sea lento en los contadores no autoextintores es la resistencia -
elevada, aparentemente, los autoextintores tendrán dicho tiempo -
mucho más corto, y de aquí que se les denomine contadores rápidos.
Lo cual es un nombre ficticio, ya que como veremos el tiempo re--

querido por uno de estos detectores para efectuar un ciclo completo de su mecanismo de descarga es mayor que para el contador no autoextintor.

La elección de un gas para un contador autoextintor debe de hacerse de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- Primera.- Debe poseer alta eficiencia. Segunda.- Tiempo corto de resolución. Tercera.- Plateau amplio y plano. Cuarta.- Coeficiente de temperatura mínima; y Quinta.- Duración máxima. También es conveniente operar a un potencial reducido.

Teoría de la operación. - Mongomerys y Stever señalan que una de las diferencias más importantes entre los contadores no autoextintores y los autoextintores, es que en aquellos, cuando los iones positivos que se originan en el flujo, alcanzan el cilindro, se producen electrones secundarios que dan lugar a que la descarga continúe, mientras que en los autoextintores no se forman dichos electrones secundarios.

Para comprender el fenómeno consideremos los significados de tiempo de insensibilidad y tiempo de recuperación. Supongamos que se produce un impulso. Habrá un tiempo, acto seguido, mientras actúa el mecanismo de descarga durante el cual, si se produce otro proceso ionizante, en el contador no es detectado; es lo que llamamos tiempo de insensibilidad. Al final de él, si aparece un proceso ionizante, se observaría un impulso tan pequeño que estaría en el límite para poder ser detectado. Si dicho proceso tiene lugar poco tiempo más tarde, el impulso será mayor, y, por último, después de un cierto tiempo, este impulso alcanzará su amplitud normal. Se define el tiempo de recuperación, tal que dos impulsos consecutivos, espaciados en este intervalo de tiempo tengan la amplitud normal. Stever explica estos tiempos por el movimiento de la cubierta de iones positivos (Fig. 4.6).

Cuando esta cubierta se mueve hacia el cilindro, el campo entre aquella y el hilo aumenta hasta alcanzar el valor normal.

La propiedad característica de las moléculas poliatómicas, y que es de gran importancia en el funcionamiento del contador, se

un ciclo comple
l contador no -

intor debe de -
es:

- Tiempo corto
arta.- Coefi--
áxima. También

n que una de -
s no autoextin
ndo los iones
cilindro, se -
la descarga -
forman dichos

gnificados de
Supongamos que
o, mientras ac
produce otro
es lo que lla-
parece un pro
o que estaría
ceso tiene lu-
por último,
su amplitud -
e dos impulsos
o tengan la am
movimiento de

, el campo en-
r normal.

liatómicas, y
contador, se

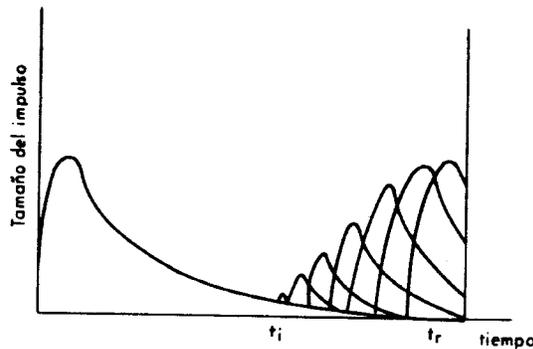


Fig. 4.6

refiere a que si absorben energía se disocian antes de que la emi-
tan en forma de radiación. Las moléculas monoatómicas y diatómi-
cas en general radian la energía que han absorbido. Las moléculas
poliatómicas pesadas que contienen cuatro o más átomos son las -
más propicias a la predisociación.

La extinción, como ya hemos indicado, es el proceso mediante
el cual cesa la descarga. Ahora bien, existen tres clases diferen-
tes de extinción en un contador autoextintor: a) Extinción de los
fotones en el flujo general; b) Extinción electrostática del flu-
jo por la carga de espacio de los iones positivos, y c) Extinción
de la emisión secundaria de electrones cuando los iones positivos
alcanzan el cátodo.

A continuación veremos el papel que desempeñan los gases po-
liatómicos en la extinción en los casos a) y c), ya que el b) ha
sido ya tratado.

Examinemos la función que realiza el gas poliatómico en el -
flujo inicial. Los constituyentes poliatómicos más corrientemente
empleados en los contadores son el metano y el vapor de alcohol.

Consideremos un contador con argón-metano operando en la re-
gión proporcional, en la cual el tamaño del impulso es proporcio-
nal al número de iones formados en el proceso inicial de ioniza-
ción. Suponiendo que los electrones se multipliquen por colisio--

nes sucesivas y que no contribuyan a la formación del flujo, los fotoelectrones Roff y Rose obtuvieron una fórmula para la amplificación del gas que está de acuerdo con la experiencia, siempre que exista suficiente cantidad de metano en el contador. Cuando esta se reduce en exceso se encuentra que la amplificación del gas aumenta con el voltaje de una forma más rápida que la expresada por la fórmula, lo que indica que hay entonces una fuente adicional de electrones. La relación que existe entre este efecto y la naturaleza de la superficie del cátodo induce a los investigadores citados anteriormente a sugerir que los fotoelectrones del cátodo contribuyen a incrementar el flujo. Para voltajes elevados no hay coincidencia entre los valores que da la fórmula y los obtenidos por medio de experiencias.

Los mismos investigadores sugieren que los choques que producen la excitación de las moléculas poliatómicas dan origen a su descomposición en lugar de la emisión de fotones, lo que está de acuerdo con los experimentos de Glocker, en los cuales se introdujeron en un dispositivo con fotocélula lleno con gas metano electrones dotados de una energía de 17 eV, sin que fuese posible medir ninguna corriente fotoeléctrica.

El principal papel desempeñado en el flujo por un gas poliatómico, en un contador que contiene una mezcla de gases, es absorber los fotones emitidos por el gas inerte (argón), que se producen en gran cantidad.

Veamos ahora con detalle esta absorción. Cuando una molécula absorbe un fotón pasa a un estado excitado, pudiendo volver a su estado fundamental por uno de los siguientes medios:

- 1º Disociación de dicha molécula (predisociación); 2º Radiación (fluorescencia), y 3º Desactivación por choque. Este último proceso no tiene lugar en un tiempo inferior a 10^{-8} segundos, que es el tiempo normal de colisión en los detectores que se emplean corrientemente. El segundo implica un tiempo de radiación de 10^{-10} segundos, y el primero se verifica dentro de un tiempo comprendido entre 10^{-11} y 10^{-13} segundos, que depende de la anchura de los niveles. Las moléculas diatómicas generalmente, y algunas poliatómicas ligeras, poseen estados electrónicos estables y, por tanto,

ción del flujo, los
para la amplifi
riencia, siempre -
contador. Cuando -
amplificación del --
pida que la expresa
es una fuente adi-
entre este efecto y
ce a los investiga-
fotoelectrones del
a voltajes elevados
a fórmula y los ob-

choques que produ-
s dan origen a su -
es, lo que está de
s cuales se introdu
a gas metano elec-
a fuese posible me-

por un gas poliató
s gases, es absor--
gía), que se produ-

ando una molécula
iendo volver a su
sios:

lación); 2° Radia--
que. Este último -
a 10^{-3} segundos, que
res que se emplean,
de radiación de 10^{-8}
tiempo comprendi-
e la anchura de los
e, y algunas polia--
estables y, por tan-

to, no se disocian, sino que emiten de nuevo la energía absorbida de forma que los fotones que se producen en la descarga no se extinguen con los referidos gases, y, en cambio, si se produce esta extinción con otros tales, como el metano y el amoníaco.

Así la fotodescomposición del metano, que es conocida, muestra en la región ultravioleta un espectro de absorción continuo a 1 mm. de mercurio de presión, comprendido entre $1.560_{\text{Å}}$ y $850_{\text{Å}}$. Los fotones emitidos por el argón excitado alcanzan un intervalo comprendido en $1.070_{\text{Å}}$ y $790_{\text{Å}}$ y por ello son extinguidos por el metano.

Igualmente se ha podido comprobar la descomposición del vapor de alcohol en contadores rápidos, que en el flujo inicial ha sido atribuida en parte al impacto de los electrones y en parte a la fotodisociación teniendo lugar una descomposición posterior cuando los iones del alcohol alcanzan el cátodo. Algunos de los productos primarios de la descomposición son a su vez gases extintores, ya que son normalmente radicales libres que se combinan para formar moléculas orgánicas de cadena más corta.

Sin embargo, con el uso continuado del contador se escinden las moléculas de cadena larga del vapor, y los productos finales de la descomposición no son gases extintores, tales como el hidrógeno, el oxígeno y los hidrocarburos pesados, que se depositan en las paredes y al cabo de cierto tiempo es necesario proceder al cambio del tubo del contador después de 10^{-10} cuentas. El metano tiene una duración inferior a los alcoholes poliatómicos normalmente utilizados.

Vamos a considerar, finalmente, la neutralización y la subsiguiente emisión de electrones secundarios. Cuando un ión de argón se aproxima a una distancia inferior a 10^{-7} cms. de la superficie del cátodo, su campo es suficientemente grande para capturar un electrón del metal. La mecánica cuántica permite calcular la probabilidad de que el electrón procedente de la superficie metálica neutralice el ión. La diferencia correspondiente al nivel energético del electrón capturado en su átomo ϕ y el del nivel libre en el ión I (potencial de ionización) se emite en forma de radiación

Y su valor depende del lugar que ocupen los niveles excitados. Si $I > 2\phi$ se liberan como promedio dos electrones de la superficie metálica, uno de los cuales neutraliza el ión y otro se convierte en un electrón secundario.

Para determinar si un gas es extintor o no lo es, es necesario estudiar su espectro de absorción en las longitudes de onda correspondientes a una energía de excitación I - ϕ . Si dicho espectro es difuso o continuo y corresponde a la descomposición en esta región, el gas hará que el contador sea autoextintor. Pongamos como ejemplo el alcohol etílico. Su energía de ionización es de 11,3 e.v., y la molécula neutra se forma, aproximadamente, a 1700 μ por encima del estado fundamental. El espectro del vapor del alcohol muestra una absorción continua por debajo de los 2000 μ yendo acompañado de fotodescomposición. De aquí que lógicamente el vapor del alcohol haga al contador autoextintor.

Sin embargo, lo dicho hasta ahora en los párrafos que anteceden se refiere a contadores que contienen un gas poliatómico puro. Si consideramos detectores autoextintores con una mezcla de un gas autoextintor y otro que no lo es veamos cómo se elimina la emisión secundaria. Puesto que un contador que contiene 90 por 100 de argón y 10 por 100 de alcohol es autoextintor, es necesario razonar por qué los iones de argón no alcanzan el cátodo cuando existe una pequeña cantidad de alcohol en presencia. La explicación se basa en la magnitud relativa de los potenciales de ionización de los dos gases: 11,3 voltios para el C^2H^5OH y 15,7 voltios para el argón. La transferencia del electrón se verifica mientras la cubierta de iones atraviesa el contador. Durante este tiempo cada ión de argón efectúa 10^5 choques con las moléculas de alcohol, y puesto que la energía de ionización del átomo de argón es mayor que la de la molécula de alcohol, se puede efectuar la cesión de un electrón de ésta al ión de argón. El proceso inverso, es decir, el paso de un electrón del átomo de argón al ión de alcohol es energéticamente imposible, ya que las energías cinéticas son del orden de 0,1 e.v.r. La diferencia entre las dos energías de ionización se puede emitir como radiación en forma de uno o más fotones o hacerse manifestar como energía cinética en un cho-

los centrales
tendencia a la
que son normales
poseen algunas
conveniente. Si
existe tendencia
Ya hemos
condensar agua
te y por ello
pesados se enc
que se ha expli
de los contado
Algunos im
extinción (est
contadores e
El tiempo
deposita en la
a cinco o seis
cuando un comp
esta. Los elec
dor y, por tan
ción, con la
za que el cons
Respecto a
de argón puro
La longitud
tadores es al
El potencial
es menor que
necesitas gases
en los tipos
que se utilizan

que inelástico.

En los tipos más corrientes de contadores autoextintores con mezclas gaseosas, el potencial de ionización del gas poliatómico es menor que el del gas inerte.

El potencial umbral y de operación de los contadores autoextintores es algo más alto que el de aquellos que no lo son.

La longitud y horizontalidad del "plateau" dependen de la naturaleza del extintor. En este sentido es recomendable el empleo de argón puro y alcohol absoluto.

Respecto a estabilidad y características varían con el uso, ya que el constituyente extintor se descompone en la acción de extinción, con lo cual aumenta el número de moléculas en el contador y, por tanto, la presión y el potencial umbral que depende de ésta. Los efectos de polimerización son perjudiciales, ya que cuando un compuesto tiene un número de átomos de carbono superior a cinco o seis el sólido o líquido a la temperatura ambiente y se deposita en las paredes del contador.

El tiempo de recuperación es mayor en los contadores no autoextintores en razón a la resistencia extintora o circuito de extinción (este último disminuye algo el citado tiempo).

Algunos investigadores han demostrado que el funcionamiento de los contadores autoextintores depende de la temperatura, lo que se ha explicado por el hecho de que los compuestos orgánicos pesados se encuentran al estado de vapor a la temperatura ambiente y por ello cualquier disminución en esta temperatura que pueda condensar aquellos hace que se depositen sobre la cubierta del contador.

Ya hemos indicado que en los contadores llenos con halógenos existe tendencia a la formación de iones negativos, lo que no es conveniente. Sin embargo, Present ha demostrado que estos gases poseen algunas de las propiedades de los valores orgánicos, y aun que son normalmente diatómicos, en su banda de absorción muestran tendencia a la fotodisociación. Igualmente pueden operar con hidrógenos centrales gruesos. La acción de los iones negativos es practi-

camente nula debido a que solamente una pequeña fracción del gas es halógeno.

Semiconductores como detectores de radiaciones. - Los semiconductores se pueden aplicar para la detección de partículas tales como electrones, partículas alfa, protones, iones pesados y productos de fisión, siendo su gran ventaja el reducidísimo tamaño que tienen, ya que su área activa no pasa en los modelos mayores de 100 mm x 10 mm. Están constituidos por una difusión superficial de fósforo en un tipo p de silicio de alta resistividad, con lo que se forma una unión n-p próxima a la superficie de una placa de silicio (Fig. 4.7)

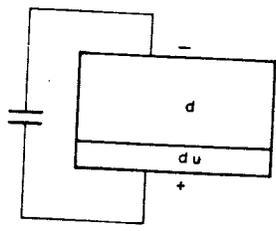


Fig. 4.7

Este dispositivo es en esencia una cámara de ionización en estado sólido con respuesta de 1 milimicrosegundo, inmejorable resolución y variación de la altura del impulso con la energía de la partícula dentro de un amplio intervalo de esta de forma lineal. La difusión superficial, inferior a una micra, hace de ventana de entrada despreciable. El volumen sensible comienza en la superficie y se extiende en profundidad, dependiendo del voltaje aplicado y de la resistencia de la base de silicio. La profundidad de este volumen sensible en micras viene dada por la fórmula siguiente $t = \frac{3}{1} (\rho V) 1/2$, donde ρ es la resistividad del tipo p de silicio en ohm-cm., y V, el voltaje aplicado en voltios.

El número de pares de iones n es en los semiconductores igual a $\frac{E(e.v.)}{3,25}$, en tanto que en las cámaras de ionización se expresa por $\frac{E(e.v.)}{25}$. Por consiguiente, para igualdad de energías, la corriente anódica es mucho mayor en los primeros.

Para la detección de neutrones lentos se dispone sobre el semiconductor una cubierta de boro o litio, y cuando se trata de

ón del gas

semiconducto
tales como
productos



cción en es
rable reso
gía de la
a lineal.
ventana de
a superfi-
je aplica-
dad de -
la siguien
de silen-

pres igual
se expresa
as, la co-

re el se-
ata de -

neutrones rápidos, de un compuesto hidrogenado, con objeto de que los neutrones al interaccionar con los materiales anteriores den origen a partículas cargadas que puedan detectarse.

El semiconductor, cuyos circuitos van totalmente transistorizados, se conecta de forma análoga a los contadores corrientes a un amplificador y a una escala integradora. Su escaso peso y tamaño les hace insustituibles en muchas aplicaciones, tales como en medicina y en los cohetes espaciales. En un futuro próximo es de esperar, por sus notables cualidades, que su campo de aplicación se extienda ampliamente.

- CAPITULO V

DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DEL CONTADOR GEIGER-MULLER

Los elementos de que consta fundamentalmente al exterior - - son: la caja metálica protectora, con los mandos y escalas correspondientes y un tubo conectado a la misma (Fig. 5.1).

Tubo del contador.- Se construye de latón o cobre y debe ir dotado de aberturas o ventanas de - aluminio, plástico u otro material que permita el paso de la - radiación beta, las cuales se - pueden proteger con una cubierta cilíndrica desplazable o giratoria del mismo material del tubo, con objeto de interceptar la referida radiación beta y dar paso exclusivamente a la radiación - gamma.

Va lleno de un gas tal como el argón y un alcohol poliatómico a poca presión, con objeto de aumentar la movilidad de los - - electrones.

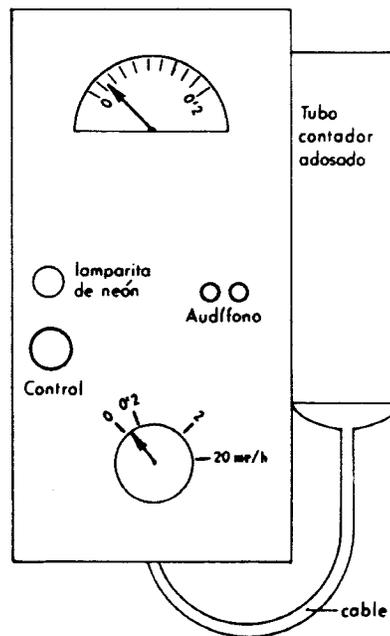


Fig. 5.1

Este tubo que hace de cátodo, se halla sometido a un potencial negativo de unos 900 voltios, respecto a un hilo coaxial de cobre o wolframio que lo atraviesa por medio de un aislante.

Caja del contador. - En ella se hallan los circuitos extintor, si no es autoextintor, amplificador e integrador, que van unidos por medio de un condensador al hilo del tubo. En el integrador va intercalado un aparato de medida, cuyas desviaciones son sensiblemente proporcionales al número de impulsos por unidad de tiempo. En su interior van las baterías que suministran la alta tensión al tubo del contador y las que alimentan los restantes circuitos.

Modo de utilizar el Geiger. - Son cuatro fundamentalmente las posiciones del mando del aparato en el sistema Geiger, si bien en algunos casos existe alguna posición más, con objeto de ajustar el circuito del aparato.

Los medidores de la mayoría de los contadores están graduados en millicientgens por hora (mr/h) o en impulsos por segundo.

El Roentgen es la unidad patrón para medir rayos X; pero debido a la similitud entre éstos y los rayos gamma se utiliza también para la medida en los contadores.

Posición de reposo. - Es la posición del aparato cuando no se realiza trabajo alguno con él.

En este caso conviene tener en cuenta las dos observaciones siguientes:

Primera. - Debe mantenerse el mando en el punto O, o en la indicación O. Esta observación es de especial interés, puesto que si por olvido dicho mando queda en cualquiera de las restantes posiciones se establece la conexión con el circuito, y si esto ocurre durante un espacio largo de tiempo (unas horas), se produce la descarga de las pilas, y como consecuencia de ella, la inutilización del aparato hasta que se repongan de nuevo.

Segunda.- El tubo metálico ha de mantenerse dentro de la empuñadura o bien acoplado a las abrazaderas, con las ventanas de plástico si las tuviese, tapadas con la cubierta metálica con objeto de protegerle y evitarle desperfectos.

Posición de trabajo.- Cuando se trate de determinar la radiactividad de una roca o mineral, se efectuarán las siguientes operaciones:

Primera.- Se toma el tubo cogiéndole por el extremo superior que va unido al cable, dejando libre la parte anterior de dicho tubo.

Segunda.- Se coloca el mando mediante un giro en la posición de máxima sensibilidad, en donde esté indicado, el menor valor en miliroentgens 0,2 o bien en impulsos por segundo. La aguja del microamperímetro marcará entonces unos ciertos valores, oscilantes entre un máximo y un mínimo, que corresponde a la radiación o fondo cósmico en aquel lugar y momento. Se tomará el valor máximo, - que se anotará.

Esta determinación del fondo cósmico debe hacerse varias veces al día, y durante diez minutos, aun dentro de un mismo sector, y es inexcusable efectuarla en cada uno de los diferentes que se visiten. Con objeto de que no influya en esta determinación la posible radiactividad de los materiales que rodean al prospector, el tubo del contador se colocará en el aire y a distancia conveniente del suelo.

Tercera.- Una vez efectuada esta operación y manteniendo el mando en la posición de máxima sensibilidad, se acercará el tubo a las rocas minerales objeto de estudio, llevando las ventanas de plástico o de aluminio al descubierto. Si el mineral no es radiactivo, la aguja del microamperímetro seguirá marcando los valores correspondientes al fondo cósmico. Si por el contrario presentase radiactividad, la aguja marcará valores superiores y aun puede salirse del límite de la escala; en este caso, se separará del mineral o roca rápidamente el tubo del aparato, pues es nocivo su contacto. A continuación se coloca el mando en la posición siguien--

te: dos milliroentgen o de sensibilidad media y se aproxima de nue-
vo al mineral el tubo del contador; si la aguja se fuese a tope to-
davía en esta escala, se repite la misma operación de separar el
tubo y colocar el mando en la posición de sensibilidad mínima (20
milliroentgen). Si en esta nueva posición se fuese a tope la agu-
ja, ello nos indicaría que estamos en presencia de un mineral de
radiactividad muy elevada.

Como norma general, debe hacerse notar que siempre que en una
determinada escala la aguja del amperímetro se va a tope con vio-
lencia, es preciso pasar el mando a la posición siguiente.

Observaciones. - Siempre que en una zona se observe un fondo cósmi-
co alto, es conveniente investigar con cuidado las rocas circun-
dantes, si bien este fenómeno es a veces independiente de la ra-
diactividad de las mismas. No obstante, es necesario hacer notar
esta circunstancia.

Caso de encontrar minerales radiactivos, es preciso anotar --
cuidadosamente los valores que marca la aguja del amperímetro, en
la escala correspondiente, tomando nota de la provincia, término
municipal y paraje, así como recoger muestras de los materiales --
que indican radiactividad, en puntos distintos a lo largo del fi-
lón, dique o zona mineralizada para poder conocer su riqueza y al-
titud, en los dos primeros casos, su potencia y corrida, --
siendo preciso cuando no existen afloramientos proceder a efec-
tuar pequeñas calicatas en diferentes lugares con el fin de cono-
cer los datos anteriormente expresados.

Para conservar en buen estado el aparato no debe abrirse nun-
ca la tapa metálica de éste, ni mucho menos tratar de arreglar en
sus conexiones interiores el mal funcionamiento del mismo. En tal
circunstancia, se remitirá a un taller especializado para ser nue-
vamente puesto a punto.

Es muy importante proteger el detector contra la humedad, ya
que debido al alto voltaje a que se ve sometido el tubo se pueden
producir cortocircuitos en el contador.

Debe mantenerse alejado de toda materia radiactiva, tales co-

proxima de nue
se a tope to
de separar el
dad mínima (20
tope la agu--
mineral de

re que en una
tope con vio-
niente.

fondo cósmi
ocas circun-
de la ra--
hacer notar

no anotar --
perímetro, en
cia, término
materiales -
largo del fi-
riqueza y, al
y corrida, -
der a efec- -
fin de cono-

abrirse nun-
e arreglar en
nismo. En tal
para ser nue

edad, ya
no se pueden

ta, tales co-

no minerales, recipientes que los han contenido, ropas, etcétera, ya que entonces se contamina y queda inutilizado durante un espacio de tiempo más o menos largo, según la intensidad de la radiación recibida.

Las lecturas no deben hacerse en la proximidad de relojes, brújulas y otros instrumentos que tengan esfera luminosa, ya que éstas contienen un compuesto radiactivo de radio estroncio.

Todos los datos que se hayan tomado en el campo y cuantas observaciones se estimen pertinentes, se anotarán cuidadosamente en un diario, levantándose al mismo tiempo un croquis de las zonas reconocidas con objeto de poderlas encajar con facilidad en los mapas nacionales, a escala 1:50.000, del Instituto Geográfico y Catastral o del Instituto Geológico y Minero de España.

Para calibrar el contador, este va provisto de una pastilla radiactiva que colocada a la distancia del tubo que indica el manual de instrucciones debe dar una lectura fija. Si no es así se eleva a dicha lectura mediante el mando de control.

CAPITULO VI

SISTEMA DE CENTELLEO

Destellómetro o escintilómetros.- Esencialmente constan (Fig.6.1) de un material luminiscente, constituido por un cristal transparente, que en el caso de la detección de partículas gamma es de yoduro sódico, un dispositivo de protección para evitar la pérdida de luz, y que consiste en una capa reflectora de aluminio o de óxido de magnesio que cubre la sustancia luminiscente (en el caso del aluminio el espesor ha de ser muy reducido para prevenir la formación de electrones secundarios), un acoplamiento óptico entre ésta y el fotomultiplicador con objeto de que sea mínima la reflexión en esta superficie, el tubo fotomultiplicador y un circuito eléctrico para registrar los impulsos análogo a los empleados para el contador Geiger.

El fotomultiplicador.- Está constituido normalmente por un tubo de cristal alojado en otro más exterior, de metal. Una de las bases de aquel lleva en su interior un recubrimiento de un metal emisor o fotocátodo, a base de antimonio y cesio, y que se prepara por evaporación alternativa de capas de estos dos metales, oxidados en parte. Es conveniente que la emisión termoiónica del fotocátodo sea la menor posible, con objeto de disminuir las corrientes del fondo. También se han empleado algunos fotocátodos con cesio activado con antimonio de sodio y potasio.

A continuación del cátodo va el sistema multiplicador, consti

1. INTRODUCCION
Este estudio tiene como
objetivo analizar los
aspectos de la
política en el
contexto de la
economía de la
zona.
El estudio se
realiza en el
contexto de la
economía de la
zona.
El estudio se
realiza en el
contexto de la
economía de la
zona.
El estudio se
realiza en el
contexto de la
economía de la
zona.

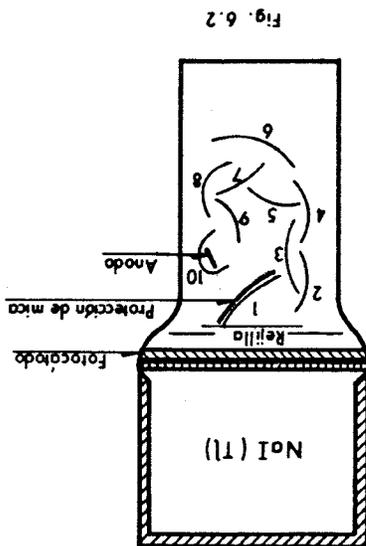


Fig. 6.2

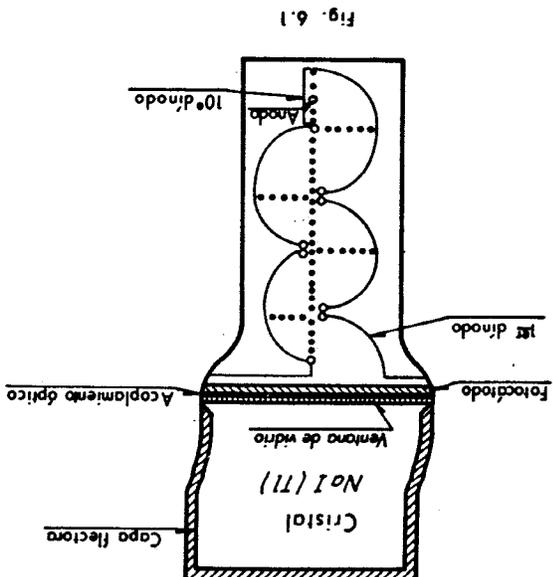


Fig. 6.1

Una cara multiplicación
 Una cara multiplicado
 ra, hasta n
 lo que hay q
 multiplicado
 de iones pos
 ca entre el
 el potencial
 te al ánodo
 que guían a
 tante se dis
 canzar hasta
 rencia de po
 están relati
 ción de elec
 una malla qu
 En el sí
 diez.
 nado circula
 sistemas fun
 te fotoelect
 Con el f
 dos de antím
 taje. Esta d
 planean entreg
 tas, pero qu
 magnésio, qu
 Mas reci
 fotocátodo d
 nánscence,
 Las rejilla

tuído por una serie de plaquitas metálicas o dinodos, entre las -
cuales existe una diferencia de potencial y que son bombardeadas
por los electrones; lo que hace que se desprendan más partículas
de esta clase, que finalmente alcanzan el ánodo de salida.

Las radiaciones que llegan al aparato excitan el material lu-
miniscente, con lo cual se emiten fotones que al incidir sobre el
fotocátodo dan origen a la producción de electrones.

Más recientemente se han utilizado también dínodos de plata-
magnesio, que son más estables a las densidades de corriente al-
tas, pero que presentan la desventaja de que los tubos que las em-
plean entregan impulsos cuya altura varía con la velocidad de con-
taje. Esta dificultad no existe en los multiplicadores con dínodo-
s de antimonio-cesio.

Con el fin de enfocar de la forma más conveniente la corrien-
te fotoelectrónica hacia el sistema de dínodos, se utilizan dos -
sistemas fundamentales, el llamado de capa (Fig. 6.1) y el denomi-
nado circular (Fig. 6.2). El número de dínodos es normalmente de
diez.

En el sistema de caja cada dínodo, excepto el décimo, tiene -
una malla que recubre al dínodo precedente, que aumenta la colec-
ción de electrones secundarios. Como los dínodos de alto voltaje
están relativamente separados de los de voltaje reducido la dife-
rencia de potencial por etapa puede ser más elevada, pudiendo al-
canzar hasta 190 voltios. El sistema circular que se emplea bas-
tante se diseña cuidadosamente para producir líneas eléctricas -
que guían a los electrones. El último dínodo encierra parcialmen-
te al ánodo para que no causen perturbaciones las variaciones en
el potencial de éste. Asimismo se introduce una protección de mi-
ca entre el fotocátodo y el ánodo para evitar la realimentación -
de iones positivos de éste a aquel. La amplitud del impulso de un
multiplicador circular es sensible a los campos magnéticos, por -
lo que hay que disponer una protección para evitar esto. En gene-
ral, basta un cilindro de metal μ de un milímetro de espesor.

Una característica del fotomultiplicador es un factor de mul-
tiplicación G , que da el número de electrones resultantes, por ca

Acoplamiento Óptico.- Otro factor que afecta la amplitud del impulso producido por el destello es el acoplamiento óptico C_{op} entre el escintilador y el fotomultiplicador. Si n es el número de fotones que emite el escintilador, $C_{op} \times n$, nos da el de los que inciden sobre el fotocátodo. C_{op} es de ordinario menor que la unidad, pero puede aproximarse a ella cementando adecuadamente el cristal fotomultiplicador. Como hemos indicado anteriormente, el escintilador va rodeado por una capa reflectora de aluminio u óxido de magnesio y, en su parte inferior, va dotado de una ventana de vidrio para la transmisión de la luz al fotocátodo. El acoplamiento de esta ventana a la base del fotomultiplicador, en cuyo interior va depositada la fotocélula de antimonio-césio, se hace con aceite de sílica de alta viscosidad o con aceite mineral.

Hay que hacer notar que un electrón primario no produce siempre el mismo número de electrones G a la salida. Si G es el factor de multiplicación medio, el tamaño del impulso oscila alrededor de este valor. Cerca del 10 por 100 de los impulsos son superiores a $2G$ o inferiores a $G/2$, y solamente un pequeño número son mayores que $3G$ o menores que $G/3$.

Hay que hacer notar que un electrón primario no produce siempre el mismo número de electrones primarios, originados por distintas formas de dispersión en el tubo. Esta corriente está integrada por un gran número de impulsos debidos a electrones primarios, originados por distintos formas de dispersión en el tubo.

La corriente oscura, o sea el número de impulsos que no corresponden a destellos, determina la cantidad menor de radiación que puede detectarse. Esta corriente está integrada por un gran número de impulsos debidos a electrones primarios, originados por distintas formas de dispersión en el tubo.

El producto de la sensibilidad del cátodo por el factor de multiplicación, fija la amplitud del impulso producido para un destello determinado.

Otra característica importante es la sensibilidad del cátodo E_c , es decir, el número de electrones originados por cada fotón, E_c que depende en gran parte de la longitud de onda incidente, siendo el valor máximo alcanzado el 10 por 100.

El producto de la sensibilidad del cátodo por el factor de multiplicación, fija la amplitud del impulso producido para un destello determinado.

Otra característica importante es la sensibilidad del cátodo E_c , es decir, el número de electrones originados por cada fotón, E_c que depende en gran parte de la longitud de onda incidente, siendo el valor máximo alcanzado el 10 por 100.

da electrón primario procedente del fotocátodo. Aumenta rápidamente con el voltaje total aplicado, el cual se divide en intervalos iguales entre los diferentes dinodos.

Cuando se usan cristales de antraceno se puede emplear bálsamo del Canadá, debiéndose utilizar en todos los casos un material de índice de refracción, muy próximo al del cristal.

Con esta disposición, C_{op} puede llegar a valer 0,8; aunque, sin embargo, se admite por término medio el valor 0,5. Cuando no es posible hacer esto, puede emplearse una guía luminosa consistente en una varilla de lucita (polimetil-metacrilato) que une el cristal y el fotomultiplicador. La luz que procede del primero se transmite en la guía por las reflexiones totales internas en las partes no cubiertas de la varilla de lucita y por las reflexiones en la superficie metálica que rodea el resto. En el primer caso, las pérdidas son aproximadamente del 50 por 100 y no dependen de la longitud de la varilla, supuesto que sea suficientemente transparente, y en el segundo, son sólo del 20 por 100 para varillas de pequeña longitud, aumentando con ésta por las pérdidas debidas a las reflexiones en la superficie metálica. Los escintiladores líquidos tienen la ventaja de que se puede obtener un buen contacto óptico entre el cristal y el fotomultiplicador.

Eficiencia luminiscente. - Es otra característica que afecta a la amplitud del impulso, y se le designa con la letra ϵ . Si una partícula dotada de alta energía pierde parte de ésta. E, al atravesar el cristal, se emiten K fotones, siendo

$$K = \epsilon \frac{E}{h\nu} \quad (6.1)$$

en donde ν es la frecuencia media de la luz emitida por aquél, ϵ da el porcentaje de energía absorbida que se transforma en luz. Es muy importante conocer exactamente la cantidad de energía absorbida en el material.

Hay que hacer notar que ϵ no es independiente de la energía, o mejor dicho, de la velocidad de la partícula incidente, lo cual es debido al hecho de que la ionización específica más elevada va asociada con la velocidad más pequeña, y es sabido que en algunos escintiladores las partículas altamente ionizantes tienen una ϵ

más pequeña que las que lo son más debilmente. Se puede observar esto, en especial, en los cristales orgánicos.

Considerando todos los factores arriba expuestos, el número de electrones producidos a la salida del fotomultiplicador viene dado por la expresión

$$P = G E_c C_{op} \frac{E}{h \nu} = GZ \quad (6.2)$$

siendo Z el número de electrones primarios. Si la capacidad a la salida es C, el voltaje correspondiente al impulso, al final, del fotomultiplicador, es

$$V = \frac{C}{e} G E_c C_{op} \frac{E}{h \nu} = \frac{C}{eGZ} \quad (6.3)$$

en la cual e es la carga del electrón.

Otro extremo que hay que considerar al aplicar las dos ecuaciones anteriores es el tiempo en el que el impulso aparece en la salida del fotomultiplicador. Hasta ahora hemos considerado solamente el número total de fotones emitidos por el cristal, el número de electrones procedentes del fotocátodo y el de electrones a la salida del fotomultiplicador, sin considerar el hecho de que los fotones no se emiten instantáneamente. El tiempo requerido por la partícula para atravesar el cristal es en todos los procesos nucleares ordinarios de unos 10^{10} segundos, ya que la dimensión de aquel es de varios centímetros, y la velocidad de la partícula, del orden de 10^{10} cm./seg. El intervalo de tiempo durante el cual se produce la emisión de luz, es mucho mayor variando según las sustancias entre 3×10^{-9} seg. y algunas horas. Fig. (6.3).

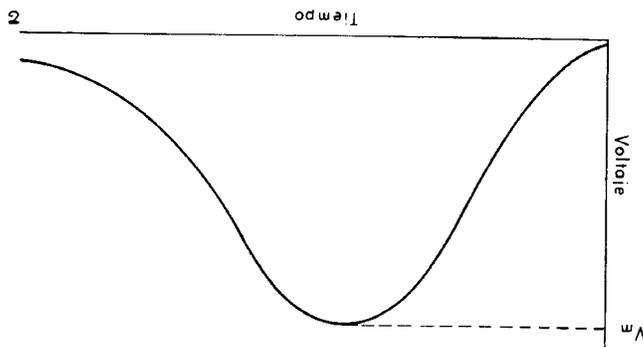


Fig. 6.3

Para obtener el po del circuito, función de la p, por otra parte, no es mucho mayor Cuando el ap que se consigue que la anchura de t > 1 . En genera tiene una amplitud cias orgánicas, inorgánicas. Por último, formada por los gas de los electri so total, y que el oscopio cuando Tres métodos ción con la ayuda individuales. 2? Las caracteri tudiar los circu de cámaras de fon En el método cial de material nar durante largo de la energía de así almacenada, sustancia en cues la energía va acc longitud de onda onda más corta que fundamental que la l excite a su vez,

uede observar

s, el número -
licador viene

(6.2)

apacidad a la
al final, del

(6.3)

las dos ecua--
aparece en la
siderado sola-
istal, el núme
electrones a
becho de que -
o requerido -
dos los proce-
que la dimen--
tidad de la par
tiempo durante
r variando se
ras. Fig.(6.3).

Para obtener impulsos grandes τ_c , que es la constante de tiempo del circuito, debe ser bastante mayor que τ , constante de extinción de la pulsación luminosa. Así, si $\tau_c = 10\tau$, $V_m = 0,8 V_0$. Por otra parte, la disminución de la amplitud del impulso si τ_c no es mucho mayor que τ puede ser considerable.

Cuando el aparato se emplea como contador rápido es deseable que la anchura del impulso sea pequeña para evitar solapes, lo que se consigue con τ_c reducida, con tal que se tenga solamente $\tau_c > \tau$. En general se emplea $\tau_c < 10^{-6}$ segundos, con lo cual se obtiene una amplitud suficiente en los cristales a base de sustancias orgánicas, pero no así con los elaborados con sustancias inorgánicas.

Por último, hay que observar que en el impulso representado en la Fig. 6.3., la curva no es tan suave ya que en realidad está formada por los numerosos impulsos correspondientes a las descargas de los electrones primarios de los cuales se compone el impulso total, y que pueden ser observados en la pantalla de un osciloscopio cuando el tiempo es lo suficientemente grande.

Tres métodos diferentes se utilizan para detectar la radiación con la ayuda de destellómetros: 1° Registro de los impulsos individuales. 2° Método de integración. 3° Método de acumulación.

Las características de los dos primeros los trataremos al estudiar los círculos asociados, como ya indicamos en el capítulo de cámaras de ionización.

En el método de acumulación es preciso emplear un tipo especial de material luminescente, que tiene la propiedad de almacenar durante largos períodos de tiempo una considerable cantidad de la energía de la radiación absorbida por ellos. Esta energía, así almacenada, puede ser liberada posteriormente iluminando la sustancia en cuestión con luz visible o infrarroja. La cesión de la energía va acompañada de la emisión de luz, que es de la misma longitud de onda que la de la luz fluorescente y de longitud de onda más corta que la de la luz que origina dicha cesión. Es fundamental que la luz que ilumina la sustancia almacenadora no la excite a su vez, por lo que debe ser de longitud de onda larga. Pa

Aplicación del método. - La característica principal del método de centelleo es su alta eficiencia, es decir, la relación del número de partículas detectadas al de partículas incidentes. Así, la detección de la radiación electromagnética y de las partículas cargadas es posible con un rendimiento de casi el 100 por 100 a través de una amplia gama de energías, que solamente disminuye para las muy altas y bajas. Para estas últimas, la dificultad que existe es que los destellos a que dan lugar son tan débiles que no todos producen electrones primarios en el fotocátodo del multiplicador. El límite energético para las mejores geometrías, material luminescente y fotomultiplicador y una detección al 100 por 100, oscila entre 1 y 2 kev. Para altas energías (radiación gamma), como la mayor parte de los cristales tienen un espesor de dos pulgadas, aproximadamente, si se utiliza el yoduro sódico, como mínimo es absorbida un 70 por 100 de la radiación gamma dura, ya que es un material pesado; si se desea aumentar la absorción hasta el 90 por 100 el cristal debe tener un espesor doble. Con cristales de

res de difícil acceso. equipo anejo a él, lo que puede ser interesante en algunos lugares de la radiación, es decir, la excitación del material luminescente, puede llevarse a cabo lejos del fotomultiplicador y del equipo anejo a él, lo que puede ser interesante en algunos lugares de difícil acceso.

La ventaja principal del método de almacenamiento es que la energía almacenada en función del tiempo. Las medidas pueden estimarse esto calibrando la degradación de la energía almacenada en función del tiempo.

No obstante, ello no presenta ninguna dificultad, ya que en las medidas puede estimarse esto calibrando la degradación de la energía almacenada en función del tiempo. La intensidad de la radiación con la cual ha sido excitada. Sin embargo, la cantidad de energía liberada no depende de la energía total recibida solamente, sino que es también función del tiempo transcurrido entre la irradiación y la cesión. La intensidad de la radiación con la cual ha sido excitada. Sin embargo, la cantidad de energía liberada no depende de la energía total recibida solamente, sino que es también función del tiempo transcurrido entre la irradiación y la cesión.

La intensidad de la radiación con la cual ha sido excitada. Sin embargo, la cantidad de energía liberada no depende de la energía total recibida solamente, sino que es también función del tiempo transcurrido entre la irradiación y la cesión.

El proceso de fotoelectro... una amplia... incidente. La... los productos de frecuencia... Aunque... máximo, la... so está do...

sustancias orgánicas, para alcanzar el mismo rendimiento que con el Na I, debe aumentarse el espesor cuatro veces, aproximadamente. El empleo de cristales de gran espesor implica bastantes dificultades, entre otras el no ser aptos para trabajos precisos, su elevado coste y su dificultad de obtención.

Radiación electromagnética.- Se detecta por medio de los electrones secundarios producidos en el material. La radiación electromagnética produce destellos en un escintilador a consecuencia de los tres procesos elementales siguientes: 1° Absorción fotoeléctrica; 2° Dispersión Compton, y 3° Producción de pares electrón-positrón. El primero da lugar a electrones de una energía $h(\nu_0 - \nu_{K,L,M...})$, siendo ν_0 la frecuencia de la radiación incidente, y $\nu_{K,L,M...}$, la frecuencia de absorción del átomo en sus diferentes órbitas. El cuanto cede su energía total al electrón. Puesto que la absorción en el nivel K (el menos excitado) es la más probable, el proceso fotoeléctrico produce impulsos que son casi de tamaño uniforme. En materiales pesados luminiscentes, como el NaI, es casi el que predomina para energías del orden de centenares de k.e.v. En los materiales orgánicos, el proceso Compton es más corriente, aun en la región de los rayos X, en razón a la pequeña probabilidad de producirse la absorción fotoeléctrica en los átomos de carbono y oxígeno. Recientemente se han fabricado líquidos orgánicos luminiscentes que contienen átomos pesados; con ellos, el proceso fotoeléctrico puede jugar un papel importante.

El proceso Compton proviene de la cesión al escintilador de una amplia gama de energías de la radiación gamma monocromática incidente. La energía original se divide en dos partes, puesto que los productos resultantes son un electrón y una partícula gamma de frecuencia más baja que la incidente.

Aunque pueden aparecer todas las comprendidas entre 0 y dicho máximo, la mayor parte de los electrones originados en este proceso están dotados de una energía muy próxima al valor máximo.

$$E_{ma} = \frac{2(h\nu_0)^2}{mc^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2h\nu_0}{mc^2}} \quad (6.4)$$

Para la misma cantidad de energía transferida al cristal, el destello luminoso producido por un electrón de 1 Mev. es casi veinte veces mayor que el originado por una partícula alfa de la misma energía. Esta disminución de la eficiencia con densidades de excitación más altas es también ostensible, en el caso de la radiación electromagnética. Los rayos X de 100 Kev. dan origen a una densidad de ionización más alta que la radiación gamma de una energía superior a 0,05 Mev., siendo la eficiencia luminiscente de los materiales orgánicos menor para los rayos X que para los rayos gamma. Para los rayos X blandos el efecto es muy pronunciado.

Para la misma cantidad de energía transferida al cristal, el destello luminoso producido por un electrón de 1 Mev. es casi veinte veces mayor que el originado por una partícula alfa de la misma energía. Esta disminución de la eficiencia con densidades de excitación más altas es también ostensible, en el caso de la radiación electromagnética. Los rayos X de 100 Kev. dan origen a una densidad de ionización más alta que la radiación gamma de una energía superior a 0,05 Mev., siendo la eficiencia luminiscente de los materiales orgánicos menor para los rayos X que para los rayos gamma. Para los rayos X blandos el efecto es muy pronunciado.

Por el corto tiempo de extinción del destello se emplean también los líquidos y sólidos orgánicos para detectar las partículas gamma, que tienen su principal inconveniente en que su eficiencia luminiscente depende de la ionización específica de la partícula incidente. Las sustancias orgánicas, lo que es de considerable importancia en los trabajos con circuito de coincidencia. En las sustancias orgánicas, lo que es de considerable importancia en los trabajos con circuito de coincidencia. En las sustancias orgánicas, lo que es de considerable importancia en los trabajos con circuito de coincidencia.

El cristal que ha demostrado ser más eficiente para detectar la radiación gamma es el de yoduro sódico activado con talio, en razón a su alto número atómico, lo cual permite detener la radiación gamma dura en un espesor de varios centímetros, a su alta eficiencia luminiscente y al hecho de que esta eficiencia no depende de la energía de la radiación incidente. Sus principales inconvenientes son los de ser afectado por el aire y el de tener que ser empleado con una cubierta protectora hermética, ya que si no se toma esta precaución se oscurece y pierde efectividad. La constante de tiempo para la extinción del destello es mayor que en las sustancias orgánicas, lo que es de considerable importancia en los trabajos con circuito de coincidencia.

en el caso de que -
ría, del orden de va -
de materiales pesa -
electrones aumenta -
tómico del material
cuya probabilidad
transmitida al -
producen destellos

ente para detectar
vado con talio, en
e detener la ra -
ímetros, a su alt -
sta eficiencia no -
. Sus principales
aire y el de tener
rmetría, ya que si
e efectividad. La -
ello es mayor que -
derable importan -
a.

lo se emplean tam -
ctar las partícu -
e en que su efi -
específica de la -

da al cristal, el
el Mev. es casi -
tícula alfa de la
a con densidades -
en el caso de la -
Kev. dan origen a
ción gamma de una
ría luminiscente -
s I que para los -
es muy pronuncia -

do. A causa de su alta ionización específica, los electrones de -
10 Kev. tienen una respuesta pequeña en los materiales orgánicos.

Partículas cargadas.- Producen el destello luminoso por la ioniza -
ción directa y la excitación que causan en el material luminiscen -
te. En aquellos cristales que poseen una eficiencia luminiscente
casi independiente de la ionización específica de la partícula, la
cantidad de luz emitida es proporcional a la energía transferida
al material a lo largo de cada segmento del recorrido; para aque -
llos otros en que no se verifica esta independencia la cantidad
de luz emitida para iguales cantidades de energía absorbida varía
a lo largo del recorrido, decreciendo sensiblemente el final de -
éste, en donde la velocidad es menor, y por ello la ionización y
la excitación, mayores. Así la cantidad total de luz producida -
por un electrón rápido es muy aproximadamente proporcional a la -
energía total de la partícula si ésta es detenida en el escintila -
dor, ya que el decrecimiento en la eficiencia luminiscente comien -
za solamente a bajas energías, y de este modo una parte relativa -
mente pequeña de la energía total es afectada por dicho decreci -
miento. En general, la elección de un material efectivo para de -
tectar partículas cargadas se rige por normas similares al caso -
de la radiación gamma. Para partículas fuertemente ionizantes son
recomendables las sustancias del grupo del Zn CdS, aunque no pro -
ducen impulsos de altura uniforme, aun para partículas monoenergé -
ticas, cuando se usan en forma de polvo, siéndo preciso utilizar
= solo cristal.

Neutrones.- Se detectan por medio de reacciones secundarias. Los
neutrones rápidos de una energía superior a 1 Mev. producen deste -
llos de luz a causa de los protones, originados en los materiales
luminiscentes que contienen hidrógeno, es decir, las sustancias -
orgánicas. Estos protones tienen una eficiencia luminosa más pe -
queña en el cristal que los electrones de la misma energía a cau -
sa de su ionización específica más alta. Asimismo, las amplitudes
de los impulsos producidos por neutrones no rápidos son, por tér -
mino medio, mucho más pequeños que las de los electrones de igual
energía. Los protones de varios centenares de Kev. producen des -

Distinción entre los diferentes tipos de radiación. - Es un problema más complicado que la sencilla detección, en especial cuando aparecen juntas varias clases. Esta diferenciación es posible utilizando el método de la velocidad del neutrón.

La velocidad del neutrón decrece en proporción al incremento de la velocidad de la reacción. En el caso de neutrones con energías superiores a las térmicas es conveniente que el escintilador tenga concentraciones más bien altas de litio y boro, ya que la sección eficaz de captura de litio y boro es muy alta en el litio, se puede obtener una alta eficiencia para esta clase de neutrones usando materiales luminiscentes que contengan solamente pequeñas cantidades de estos elementos. En el caso de neutrones con energías superiores a las térmicas es conveniente que el escintilador tenga concentraciones más bien altas de litio y boro, ya que la sección eficaz de captura para los neutrones térmicos es muy alta en el litio, se puede obtener una alta eficiencia para esta clase de neutrones usando materiales luminiscentes que contengan solamente pequeñas cantidades de estos elementos. En el caso de neutrones con energías superiores a las térmicas es conveniente que el escintilador tenga concentraciones más bien altas de litio y boro, ya que la sección eficaz de captura para los neutrones térmicos es muy alta en el litio, se puede obtener una alta eficiencia para esta clase de neutrones usando materiales luminiscentes que contengan solamente pequeñas cantidades de estos elementos.

Para la medida de neutrones de energía moderada puede emplearse cualquier reacción que produzca partículas cargadas o radiación gamma como producto final, aunque el rendimiento podría ser muy bajo a consecuencia de ser pequeñas las secciones eficaces de captura. La detección se hace particularmente difícil cuando los neutrones de baja energía se hallan juntos con otras radiaciones de las cuales deban distinguirse.

Para la medida de neutrones de energía moderada puede emplearse cualquier reacción que produzca partículas cargadas o radiación gamma como producto final, aunque el rendimiento podría ser muy bajo a consecuencia de ser pequeñas las secciones eficaces de captura. La detección se hace particularmente difícil cuando los neutrones de baja energía se hallan juntos con otras radiaciones de las cuales deban distinguirse. Para la medida de neutrones de energía moderada puede emplearse cualquier reacción que produzca partículas cargadas o radiación gamma como producto final, aunque el rendimiento podría ser muy bajo a consecuencia de ser pequeñas las secciones eficaces de captura. La detección se hace particularmente difícil cuando los neutrones de baja energía se hallan juntos con otras radiaciones de las cuales deban distinguirse.

a el fotomultiplica-
dos. Los resultados
os neutrones, agrava
mitada al protón pro
gía del neutrón ori
gías distribuídas de
son muy eficientes
de varias pulgadas -
netran en la sustan-
res con producción -

derada puede emplear
cargadas o radia- -
amiento podría ser
ecciones eficaces de
difícil cuando los
a otras radiaciones

boro y los crista--
se emplean con este
os resultantes no -
ligado se debe a la
altamente ionizadas.

neutrones térmicos es
una alta eficien
ndo materiales lumi
tidades de estos -
superiores a las
naya concentraciones
ción eficaz de captu
remento de la velo-

ción.- Es un proble
especial cuando -
ción es posible uti

lizando los distintos comportamientos de los materiales luminis-
centes a las diversas radiaciones. Si además se pueden registrar
la distribución y tamaño de los impulsos a la salida del fotomul-
tiplicador, es posible obtener conclusiones sobre la naturaleza -
de la radiación, puesto que cada partícula o cuanto de determina-
da energía, produce una distribución de amplitud de impulsos, ca-
racterísticas en cada escintilador. El mejor procedimiento sería
tener para cada radiación un escintilador determinado que actuase
bajo su acción y no bajo la de los restantes, como ocurre cuando
se trata de diferenciar partículas cargadas de la radiación gam-
ma seleccionando capas delgadas de materiales de número atómico -
reducido, usadas como escintiladores, que tienen una eficiencia -
muy alta para aquéllas y muy baja para la radiación gamma, por la
escasa probabilidad de que ésta sea absorbida en una capa de poco
espesor de material ligero. Por otra parte, la distinción es sen-
cilla observando la distribución de los impulsos.

Un problema muy interesante es la detección de neutrones de -
poca energía en presencia de radiación gamma. Un detector para -
partículas alfa, revestido con boro o litio y que contenga ZnS, -
por ejemplo, sirve para este fin. El efecto de la partícula alfa
producida en la reacción del neutrón con el boro o el litio, pre-
domina si la capa SZn es sólo lo suficientemente gruesa para ab-
sorber por completo las partículas cargadas.

Los efectos de la radiación gamma en capas tan delgadas son
extraordinariamente pequeños. La dificultad del método estriba en
que únicamente pueden registrarse un número reducido de neutrones,
que son aquellos de los cuales proceden las partículas alfa que -
emergen de la capa delgada de boro o litio y que pueden penetrar
en la de SZn; aquellos otros que reaccionan con el litio o con el
boro a una distancia mayor que el alcance de las partículas carga-
das, no hay posibilidad de detectarlos.

Los contadores con boro líquido realizan esta diferenciación
de forma distinta a la descrita anteriormente. El líquido que con-
tiene boro se dispone de forma que las partículas incidentes ten-
gan que atravesar un gran espesor del mismo: la radiación gamma -
produce impulsos grandes en elevado número y solamente algunos pe

quenos! los impulsos debidos a las particulas alfa originadas por la reaccion de los neutrones con el boro, son siempre de pequena amplitud, por lo que es facil distinguirlos mediante el empleo de un discriminador.

Determinación de la energía con el destellómetro. - Es posible determinar la energía de la radiación incidente observando la distribución de la altura de los impulsos producidos, ya que para cada tipo de radiación el destello luminoso emitido es función directa de la energía cedida al material luminescente. En aquellos materiales en los que la eficiencia luminescente es independiente de la ionización específica de la particula, el tamaño del impulso es directamente proporcional a la energía absorbida, y en aquellos otros en los que dicha eficiencia depende de la ionización, la amplitud del impulso puede calibrarse en función de la energía absorbida, para cada tipo de particula. Por tanto, la energía de la radiación incidente puede determinarse comparando las distribuciones de alturas observadas con el gráfico calibrado. Si la particula se absorbe totalmente en el escintilador, la amplitud del impulso es una medida de la energía total de aquella. La energía de las particulas alfa y de los electrones se puede conocer con relativa facilidad si el alcance de las mismas es inferior a las dimensiones del cristal. En el caso de la radiación gamma, el problema es más complicado, ya que la energía cedida al escintilador es igual a la de la radiación $h\nu_0$. El destello luminoso se puede producir por proceso fotoeléctrico, en que la energía comunicada al cristal es

$$E_a = E_{h\nu_0} - E_{K,L,M}$$

(siendo $E_{K,L,M}$ la energía absorbida por los diferentes niveles electrónicos del escintilador), por proceso Compton, donde la energía entregada al cristal alcanza un amplio espectro de valores, por último, por producción del par electrón-positrón, en el cual la energía cedida es $E_a = E_{h\nu_0} - 2m_0c^2$. En el proceso Compton



originadas por
re de pequeña
e el empleo de

Es posible de-
vando la dis-
ya que para ca
s función di-
. En aquellos
independiente
ño del impul-
ida, y en aque
a ionización,
de la energía
la energía de
o las distribu
do. Si la par-
amplitud del
a. La energía
conocer con -
inferior a las
gamma, el pro-
l escintilador
noso se puede
ía comunicada

ntes niveles -
, donde la e-
tro de valores
trón, en el -
proceso Comp-

ton la curva de distribución energética presenta un máximo muy -
pronunciado, que viene a partir dado por el valor expresado ante-
riormente al tratar de dicho proceso, y a partir del cual es posi-
ble determinar la energía de la radiación gamma original.

De lo expuesto se deduce que, aunque dicha radiación sea mono-
energética de valor $h\nu_0$ puede dar lugar a tres máximos correspon-
dientes a la altura del impulso, uno por cada proceso. El conoci-
miento de la relación que existe entre los mismos permite atri-
buirlos a una sola energía $h\nu_0$ cuando la radiación gamma inciden-
te es polienergética.

El procedimiento más rápido para diferenciar las alturas de -
los impulsos es utilizar un selector de amplitud de varios cana-
les, que describiremos brevemente en el capítulo dedicado a cir-
cuitos electrónicos. En cada canal solamente se registran los im-
pulsos comprendidos en un cierto intervalo de voltajes previamen-
te ajustado.

Descripción práctica y manejo del testellómetro. Aunque existen
diferentes modelos de estos aparatos, todos ellos obedecen a un
esquema general (Fig. 6.4)

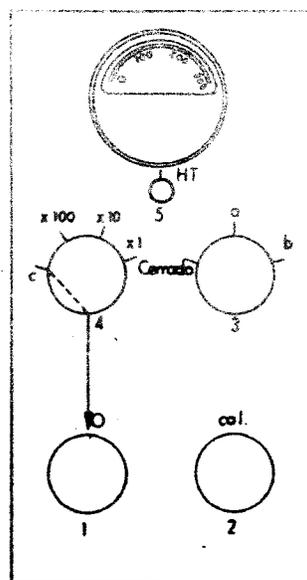


Fig. 6.4

Para detectar radiación gamma el cristal
es de yoduro sódico activado con talio y
va ópticamente acoplado al cátodo de un
fotomultiplicador, muy corrientemente de
10 etapas. A la salida de éste los elec-
trones van a un ánodo colector. La micro-
corriente pasa a un circuito amplificador
y normalizador y de allí a un circuito in-
tegrador y divisor, donde se encuentra un
microamperímetro que nos da directamente
la lectura en cada caso.

El modo de empleo es el siguiente: El
mando del microamperímetro (4) se coloca
en la indicación 1, y el 3, en a, y des-
pués de medir el fondo se pone en contac-
to con el mineral efectuándose la lectura

correspondiente; si la aguja se va a tope se pasa a la indicación 10, que expresa hay que multiplicar por 10 las lecturas del microamperímetro, y si todavía no fuese suficiente esta escala se pasa a la 100, en la que como máximo se miden 30.000 impulsos/seg. El fototubo va dentro de la envoltura del aparato, con el cristal situado debajo del microamperímetro.

El mando 1 sirve para llevar la aguja del microamperímetro a coincidir con el 0, teniendo el mando 4 en c.

El control de la tensión se efectúa mediante una línea roja - sobre el amperímetro.

Colocando el mando 5 en HT, la aguja deberá alcanzar, como mínimo, dicha línea roja.

El mando 3 sirve para disminuir las oscilaciones de la aguja, lo cual es de especial interés al levantar planos radiométricos.

El mando 2 se utiliza para calibrar el instrumento, lo cual permite que diferentes aparatos que trabajen en lugares distintos nos den resultados comparables, por ajuste de las características del circuito.

Para ello el instrumento va dotado de una pastilla de calibrado que contiene en su parte central una pintura de radio. Colocados ambos sobre una superficie plana, se sitúa la pastilla a la distancia que fije el manual de instrucciones correspondiente, con lo cual en el amperímetro se deberá leer una cierta lectura, también indicada en el manual. De no ser así, se corrige la referida lectura con el mando 2 de calibre.

Ello habrá descorregido el ajuste del cero, lo que nos obligará a corregirlo de nuevo, calibrando el aparato otra vez después de hecha aquella operación.

Así se hace todas las veces necesarias hasta que el destellómetro esté perfectamente ajustado.

Tanto los tubos Geiger como los de centelleo, llevan asociados sus circuitos electrónicos (amplificadores, escalas, selectores de amplitud etc.).

PROBLEM

Efecto

de ósmico

tan manera

diremos qu

ción ósmi

tra como m

ren alguna

tales como

La inf

existente

tura y dep

un contador

costa; la

talmente a

feramente

Efecto

les radia

ción gama,

de el conta

roca, aprox

escasa en

Si de

sa a la indicación
lecturas del micro
sta escala se pasa
impulsos/seg. El
con el cristal si

microamperímetro a

e una línea roja -

alcanzar, como m_i

iones de la aguja,
os radiométricos.

umento, lo cual -
lugares distintos
as características

astilla de calibra
de radio.

se sitúa la pasti
ciones correspon
leer una cierta -
r así, se corrige

lo que nos obliga
otra vez después

que el destelló-

, llevan asocia--
escalas, selecto-

CAPITULO VII

PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN CUANDO SE USA EN DETECTOR GEIGER

Efecto de fondo.- Ya nos hemos referido anteriormente al fondo cósmico, que es preciso tener en cuenta siempre que se detectan minerales radiactivos y a la forma de determinarlo. Ahora añadiremos que el fondo general es debido, de una parte, a la radiación cósmica que constantemente bombardea la tierra y que se muestra como muy penetrante, y de otra, a que todas las rocas contienen alguna radiactividad, siendo las más radiactivas las ígneas, tales como el granito, y las menos radiactivas, las calizas puras.

La influencia de la radiación cósmica sobre la radiactividad existente en un lugar determinado es variable; aumenta con la altura y depende de las alteraciones cósmicas. Se puede medir con un contador, situándose en un barco a bastante distancia de la costa; la radiactividad registrada en este caso se debe fundamentalmente a la radiación gamma de los rayos cósmicos, afectada ligeramente por la procedente del aire, barco, instrumentos, etc.

Efecto de absorción.- Las partículas emitidas por los minerales radiactivos sufren el efecto de absorción, incluso la radiación gamma, que es la de mayor alcance; por lo cual, la que recibe el contador de esta clase proviene de una capa superficial de roca, aproximadamente, de 30 cms., siendo, por tanto, su medida escasa en profundidad.

Si de las rocas pasamos al aire, la radiación gamma tiene un

Este efecto es más de tener en cuenta cuando se están realizando prospecciones en un terreno, que es radiactivo. Aunque la ley sea muy baja, si hay un tonelaje considerable de mineral, las indicaciones del contador pueden ser muy elevadas a causa de la -

que puede inducir a equivocaciones graves, por lo que se refiere a la ley del mineral que se ensaya. Es obvio que un trozo grande de mineral radiactivo emitirá más radiaciones en total que uno pequeño. Este efecto es más de tener en cuenta cuando se están realizando prospecciones en un terreno, que es radiactivo. Aunque la ley sea muy baja, si hay un tonelaje considerable de mineral, las indicaciones del contador pueden ser muy elevadas a causa de la -

Efecto de masa. - Es muy importante no olvidar este efecto, porque puede inducir a equivocaciones graves, por lo que se refiere a la ley del mineral que se ensaya. Es obvio que un trozo grande de mineral radiactivo emitirá más radiaciones en total que uno pequeño. Este efecto es más de tener en cuenta cuando se están realizando prospecciones en un terreno, que es radiactivo. Aunque la ley sea muy baja, si hay un tonelaje considerable de mineral, las indicaciones del contador pueden ser muy elevadas a causa de la -

Efecto de la topografía. - Hay que tener en cuenta este efecto respecto a la influencia de la radiación cósmica. En un terreno llano el aparato recibe, sin que nada lo obstaculice, la totalidad de aquella; pero si se trata, en cambio, de zanjas o terreno muy quebrado, se aprecia alguna disminución en la influencia del efecto cósmico, y, por último, éste es muy reducido en el interior de las minas.

Efecto de cubiertas. - Existen muchas regiones en que las rocas y filones están cubiertos por un espesor variable de tierra de la cual constituye una grave dificultad si éste es de alguna magnitud. La experiencia nos dice que bastan cinco centímetros de recubrimiento para que los resultados se enmascaren por completo y aun pasen inadvertidos minerales radiactivos de baja ley. Son especialmente poco favorables las zonas en que están cubiertas por escombros, las rocas subyacentes. Se puede, por el contrario, contar de radiactividad la zona de recubrimiento y ayudar de esta forma a descubrir los minerales radiactivos situados debajo de ella.

Investigar.

aproximarse en la -
radiactiva si quie-
una masa grande de -
necesario aproxi--
riales que se desea

nes en que las rocas
de tierra de la
si éste es de alguna
cinco centímetros de
escaren por completo
de baja ley. Son -
están cubiertas por
por el contrario, con
y ayudar de es-
situados debajo de

cuanta este efecto
En un terreno -
la totali--
de zanjas o terreno
la influencia del
en el inte- -

este efecto, por
lo que se refiere
que un trozo grande
total que uno pe

se están reali--
Activo. Aunque la -
de mineral, las
a causa de la -

masa; en este caso, siempre hay que proceder al análisis químico para tener resultados exactos antes de ejecutar cualquier labor de investigación. También se producen indicaciones erróneas cuando se coloca el contador en grietas y oquedades.

Sin embargo, este mismo efecto de masa ayuda en muchas ocasiones a encontrar criaderos de minerales radiactivos, anulando, en parte, el efecto de cubierta. Granitos de radiactividad un poco alta, que constituyen en muchos casos guía apreciable en el estudio de una región, pasarían inadvertidos a no ser por la gran cantidad de esta roca que puede existir en un determinado lugar.

Efecto del equilibrio radiactivo.- Aquí señalaremos las consecuencias de tipo práctico originadas por la pérdida de dicho equilibrio.

Los contadores proporcionan medidas exactas del contenido en uranio, cuando la muestra se halla en equilibrio; en caso contrario, las lecturas efectuadas son erróneas, pudiendo serlo por defecto o por exceso.

Son por defecto cuando se analizan materiales que han sido sometidos a un lavado previo (natural, caso de las escombreras por efecto de las lluvias o artificial concentrados) por aguas alcalinas; entonces éstas han disuelto el radio, que es el que hace actuar al aparato con mayor intensidad y ha quedado el uranio menos activo; podemos estar, pues, en presencia de un material de alto contenido en uranio y, sin embargo, ser bajas las indicaciones del Geiger. Por el contrario, si las aguas que circulan por los materiales radiactivos son ácidas, es el uranio el que se disuelve y puede el contador dar lecturas altas, que son erróneas.

Efecto del radón.- Las concentraciones de radón son otro motivo de lecturas falsas. El radón es un producto gaseoso procedente de la desintegración del uranio, que tiene un período de semidesintegración corto, como igualmente les ocurre a sus dos derivados Ra (treinta y un minutos) y Ra B (veintisiete minutos), que dan paso a la formación de RaC, que es un potente emisor gamma.

En los trabajos subterráneos ofrece este gas graves dificultades

por completo el
do inutilizado

o minerales ura
e van acompaña-

es aproximada--
tenga 0,1 por -
ma intensidad -
sario tener en

un lado se ami-
or otro se au--
por radón.

trabaja en -
rreóneas, a me-
dad.

o de estos apa
cado para el -
ivos, ya que -
unos cinco me-
chas de las á-
gruesa capa -
filones situa

de masa que és
n minas, en -
ad la radiacti

que el del -

Planos radiométricos.- Después que se ha descubierto una re-
gión en la que existe radiactividad, es conveniente hacer un le-
vantamiento sistemático de la zona; por lo que a dicha radiactivi-
dad se refiere, construyendo los llamados planos radiométricos -
que pueden proporcionar una información valiosa sobre la magnitud
y localización de las áreas radiactivas, y son auxiliar muy impor-
tante que conviene consultar antes de proceder a cualquier inves-
tigación minera, ya sea ésta en forma de calicatas, o labores de
mayor importancia con pozos y galerías de reconocimiento, o en -
forma de sondeos.

Para levantar estos planos se cubre la zona objeto de estudio
con una cuadrícula, en cuyos vértices se hacen las estaciones con
el aparato detector que se emplee en estos trabajos. Los vértices
de la cuadrícula se espacian más o menos, según la precisión que
deseemos obtener; si ésta ha de ser grande, la distancia es de u-
nos cinco metros, y aun en algunos casos llega a ser de 2,5 y de
un metro. Por lo general, es de unos 20 metros o superior para -
los usos corrientes.

Previamente es necesario proceder a la determinación del fon-
do cósmico, lo cual se hará con el tubo del aparato en el aire en
una zona contigua a la del estudio y con el mando correspondiente
en la posición para la cual sean menores las oscilaciones de la -
aguja del miliamperímetro; posición que se mantendrá durante el -
tiempo que dure el trabajo (constante de tiempo mayor).

Una vez determinado el fondo, se efectúan las diversas esta-
ciones en los distintos vértices de la cuadrícula. El tiempo em-
pleado en cada una de ellas no debe ser inferior a un minuto y os-
cila entre uno y tres. En los buenos detectores la aguja del mi-
liamperímetro queda prácticamente clavada, con lo que es posible
registrar el número exacto de impulsos.

Las lecturas hechas en cada uno de los vértices del reticula-
do se pueden representar en un mapa con la cuadrícula correspon-
diente, expresándolas en una de las tres formas siguientes:

Primera.- Como lectura real del contador, bien en impulsos -
por segundo o en miliroentgens por hora, dependiendo esto de la -

des, ya que el detector se contamina, ionizándose por completo el gas del tubo, con lo cual entra en descarga, quedando inutilizado si no se retira el contador de la galería.

Efecto del torio. - Cuando se están investigando minerales uraníferos hay que tener en cuenta este efecto, ya que van acompañados frecuentemente de minerales de torio.

Como la actividad gamma de la serie del torio es aproximadamente 2/5 de la serie del uranio, una roca que contenga 0,1 por 100 de este elemento afecta al contador con la misma intensidad que una con 0,25 por 100 de torio, lo cual es necesario tener en cuenta en las indicaciones del contador.

Efecto subterráneo. - Este efecto hace que por un lado se amiore la acción de la radiación cósmica, pero que por otro se aumente el efecto de masa y la posible contaminación por radón.

Además, en las minas con filtración el detector trabaja en condiciones desfavorables, y sus indicaciones son erróneas, a menos que se fabriquen especialmente a prueba de humedad.

Caso en que se utilizan escintilómetros. - El uso de estos aparatos, mucho más sensibles que los Geiger está indicado para el descubrimiento de nuevas zonas de minerales radiactivos, ya que detectan incluso con un recubrimiento de tierra de unos cinco metros, lo que constituye una gran ventaja, ya que muchas de las áreas que hay que prospectar están cubiertas con una gruesa capa de tierra de labor que impide detectar los posibles filones situados debajo de ella si se utiliza el contador Geiger.

Son sin embargo, mucho más sensibles al efecto de masa que los fos; lo que constituye una dificultad para su uso en minas, en donde es más conveniente para localizar con exactitud la radiactividad, emplear los detectores Geiger.

Por otra parte, su coste es bastante más elevado que el del contador Geiger.

Primera.-

Las lecturas se pueden hacer directamente, expresando por segundo o

Una vez de ciones en los pleado en cada cila entre una Liampmetro registrar el n

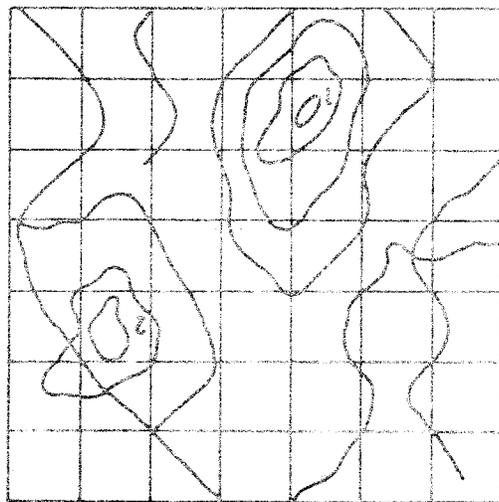
Previamente do cósmico, la una zona cont en la posición aguja del mili tiempo que du

nos cinco met un metro. For los usos corr

Planos I gión en la q vantamiento dad se refie que pueden p Y localizaci tante que con tificación min mayor import forma de son

prospección
tensas zo
para esta
de un con
cuestione
este medi
partes de
En ra
ble, esta
que puede
los distri
bles. Las
das y en
Los nombr
algunas mu
como limit
que el al
como máxi
de que es
tonces un
dividida
dad de un
entre 60
El tr

Fig. 7.1



forma en que vaya graduado el milliamperímetro.
Segunda.- Como lectura neta del contador. Estas cantidades se
obtienen restando la radiación de fondo de las lecturas reales.
Tercera.- Como relación entre la lectura del contador y la ra
diación de fondo.
Una vez hecho esto se trazan las curvas de isoradiactividad,
que nos indican en que zonas esta es más elevada. De este modo -
han podido localizarse algunos filones en lugares donde estas cur
vas están más apretadas.
La Fig. 7.1 nos expresa que debemos dirigir nuestras investi
gaciones hacia los puntos 1 y 2.

tro.

or. Estas cantidades se
las lecturas reales.

ra del contador y la ra

s de isoradiactividad,
levada. De este modo -
lugares donde estas cur

rigir nuestras investi-



CAPITULO VIII

METODOS DE PROSPECCION

Prospección aérea.- Para un reconocimiento inicial de nuevas y extensas zonas el aeroplano significa una gran ayuda. Se requiere para esta operación un aparato que vaya a poca velocidad, dotado de un contador de alta sensibilidad y un piloto experto en estas cuestiones. Importantes masas de mineral han sido encontradas por este medio en muchos lugares de la meseta del Colorado y en otras partes del país.

En razón a que es necesario volar a la menor velocidad posible, están especialmente indicados para este fin los helicópteros, que pueden hacerlo a una altura hasta de dos pies de la tierra en los últimos modelos, siendo la mínima normal para ellos de 50 pies. Las velocidades menores que pueden alcanzar son muy reducidas y en algunos de los tipos más recientes, prácticamente cero. Los monoplanos empleados para estos fines tienen que volar a una altura mucho mayor, ya que tienen menor capacidad de maniobra, que como límite no debe sobrepasar los 50 metros, ya que es sabido que el alcance de las radiaciones en el aire es de unos 80 metros como máximo. Si se vuela próximo a este techo se corre el peligro de que éstas lleguen al aparato en corto número, obteniéndose entonces una indicación muy poco aproximada o nula acerca de la radiactividad en los terrenos que se están reconociendo. La velocidad de vuelo de estos aparatos es bastante mayor, aproximadamente entre 60 y 90 millas por hora.

El instrumental adecuado no debe ser de un peso excesivo. Es

de las que se desee obtener un mapa de isorradiación detallado -
Este último se ha utilizado de preferencia en áreas pequeñas

el llamado método de las fajas geológicas y el de las redes.
Dos tipos de prospección aérea se realizan en la actualidad,

aéreas.
La coordinación visual de la posición, contrastando fotografías
tado al reconocimiento llamado de "fajas geológicas", es la sim-
vador situado en tierra. El método más empleado y que se ha adap-
rio en este último caso tener constante comunicación con un obser-
precisos sobre líneas y zonas fijadas previamente, siendo neces-
fotografías aéreas por una triangulación adecuada y por vuelos -
cedimientos empleados lo han sido por coordinación visual, usando
fijas para posteriormente trasladarlas al croquis general. Los pro-
por registrar las anomalías, señalar éstas en planos o fotogra-
preciso, una vez que se notan en el millímetro y en el tam-
menos para indicar que estamos sobre un área radiactiva, siendo -
Basta un fondo doble o triple del normal y en ocasiones aún -

diente al atravesar los terrenos objeto de estudio.
computador de botón, que permite obtener el diagrama correspon-
un indicador provisto de un estilote o pluma, accionado por un -
El aparato detector va dotado de una banda registradora y de

con el reflector correspondiente en el morro de aquel.
modernamente un solo tubo con un gran cristal de ioduro sódico -
normal acoplar dos tubos a la parte exterior del aeroplano o más
Se han empleado tres o cuatro tipos de escintilómetros, y es

parte o en su totalidad.
rato, conectados a un circuito integrador que puede ser usado en
llevar acoplado seis tubos montados en la parte exterior del apa-
aérea. Los Geiger y los escintilómetros. El primer sistema suele

- Dos clases de aparatos pueden utilizarse en la prospección
reducidas al mínimo las variaciones de altitud.

- al instrumental un circuito discriminador, asimismo, para dejar
mediante el uso de un circuito de anti-coincidencia. Se adiciona
ción de fondo que enmascara los resultados, lo cual se consigue -
también muy interesante la supresión, en lo posible, de la radia-

posible, de la radiación
lo cual se consigue -
eficiencia. Se adiciona
asimismo, para dejar -
tud.

en la prospección -
primer sistema suele
parte exterior del apa-
e puede ser usado en

scintilómetros, y es
del aeroplano o más
l de ioduro sódico -
da aquel.

da registradora y de
, accionado por un -
diagrama correspon- -
studio.

y en ocasiones aún -
radiactiva, siendo -
rímetro y en el tam-
e planos o fotogra-

quis general. Los pro
acción visual, usando
cuada y por vuelos -
ante, siendo neces-
nificación con un obser
do y que se ha adap
bólicas", es la sim-
stando fotografías

en la actualidad,
l de las redes.

en áreas pequeñas
fiación detallado -

y, en especial, cuando se trata de prospectar zonas en las que existen filones, ya que es mucho más fácil su detección por el método de las redes que haciendo una o varias pasadas por la faja de terreno a considerar. Se impone también esta modalidad de trabajo en aquellos lugares de topografía complicada.

El método de las fajas está especialmente indicado para las llanuras o lugares en que existan pocos accidentes topográficos y se trate de detectar capas que contienen minerales radiactivos.

La elección del tipo de avión que se ha de utilizar en la prospección ha sido durante algún tiempo materia de discusión.

En general, se acepta el helicóptero como más conveniente, pues si tiene la potencia adecuada posee mejores características que el monoplano para esta operación y, sobre todo, una mayor seguridad.

Uno de los mayores problemas que tiene planteados la prospección aérea es el de la interpretación de los resultados. En primer lugar, los datos de la observación son función de la elevación, y cuando el terreno es muy accidentado ésta puede enmascarar las anomalías indicadas por el aparato, siendo necesario anotar todas las aclaraciones que se crean oportunas en el diagrama durante el vuelo o poco después de efectuarse éste, para evitar errores y olvidos que inutilicen en parte la labor efectuada.

El reconocimiento sobre el terreno puede hacerse de dos formas diferentes, bien siguiendo exclusivamente un afloramiento y observando las anomalías que se producen o bien recorriendo zonas en que el fondo sea de tres a cinco veces el normal. Está fuera de toda duda que combinando los dos procedimientos se puede tener una información bastante completa.

La estimación de la cuantía de la radiactividad a la vista de las observaciones efectuadas constituye actualmente materia de discusión. Las variaciones atmosféricas, la acumulación de radón y las variaciones de altitud son factores que enmascaran en alto grado los resultados.

La Gequímica trata, en general, de la abundancia absoluta y relativa de los distintos elementos en la tierra y de las leyes que han regido su distribución, dispersión y concentración. Tanto

PROSPECCION GEOQUIMICA

composición espectral de la radiación gamma primaria. con un coeficiente de absorción determinado, que depende de la extensión. En muchos casos la ley exponencial resulta satisfactoria espectral del punto origen de la radiación en un medio geológico tiene a la ley de los cambios de intensidad y de la composición realizadas de la propagación de la misma. La más importante se refiere a la ley de los cambios de intensidad y de la composición gamma en el aire. Es aconsejable hacer uso de las leyes generales de la propagación, debido a la absorción y a la dispersión de la radiación. Surgen ciertas dificultades como hemos indicado en la introducción. Vamos a ahadirle como final algunas consideraciones. El método antes descrito es el que se usa corrientemente y se se de trabajos.

de aeroplanos, el helicóptero es el más conveniente para esta clase de trabajos. Quinto.- Igualmente, aunque se han empleado diferentes tipos de aeroplanos, el helicóptero es el más conveniente para esta clase de trabajos. Tienen cristales de gran diámetro y espesor. Cuarto.- Aunque se han utilizado diferentes clases de aparatos, la experiencia ha sancionado como más efectivos aquellos que tienen cristales de gran diámetro y espesor. Quinto.- Aunque se han utilizado diferentes clases de aparatos, la experiencia ha sancionado como más efectivos aquellos que tienen cristales de gran diámetro y espesor.

ción de capas, el llamado de fajas geológicas. indicado el método de prospección por redes, y para la prospección de aeroplanos, el helicóptero es el más conveniente para esta clase de trabajos. Tercera.- Para los criaderos filonianos y pegmatíticos está indicada el método de prospección por redes, y para la prospección de aeroplanos, el helicóptero es el más conveniente para esta clase de trabajos. La investigación por otros métodos. Tienen resultados negativos para una determinada zona, no excluye da en su aspecto positivo. Si, como consecuencia de ella, se observa en su aspecto positivo. Si, como consecuencia de ella, se observa en su aspecto positivo. Segunda.- La prospección aérea solamente puede ser considerada es únicamente aplicable a los criaderos que afloran en superficie. Primera.- La experiencia demuestra que la prospección aérea - ción de capas, el llamado de fajas geológicas. indicado el método de prospección por redes, y para la prospección de aeroplanos, el helicóptero es el más conveniente para esta clase de trabajos. Tercera.- Para los criaderos filonianos y pegmatíticos está indicada el método de prospección por redes, y para la prospección de aeroplanos, el helicóptero es el más conveniente para esta clase de trabajos. La investigación por otros métodos. Tienen resultados negativos para una determinada zona, no excluye da en su aspecto positivo. Si, como consecuencia de ella, se observa en su aspecto positivo. Si, como consecuencia de ella, se observa en su aspecto positivo. Segunda.- La prospección aérea solamente puede ser considerada es únicamente aplicable a los criaderos que afloran en superficie. Primera.- La experiencia demuestra que la prospección aérea - ción de capas, el llamado de fajas geológicas. indicado el método de prospección por redes, y para la prospección de aeroplanos, el helicóptero es el más conveniente para esta clase de trabajos. Tercera.- Para los criaderos filonianos y pegmatíticos está indicada el método de prospección por redes, y para la prospección de aeroplanos, el helicóptero es el más conveniente para esta clase de trabajos. La investigación por otros métodos. Tienen resultados negativos para una determinada zona, no excluye da en su aspecto positivo. Si, como consecuencia de ella, se observa en su aspecto positivo. Si, como consecuencia de ella, se observa en su aspecto positivo. Segunda.- La prospección aérea solamente puede ser considerada es únicamente aplicable a los criaderos que afloran en superficie. Primera.- La experiencia demuestra que la prospección aérea -

Conclusiones.- De todo lo expuesto anteriormente se pueden deducir las conclusiones siguientes:

ente se pueden dedu-

prospección aérea -
floran en superficie.

puede ser considera-
cia de ella, se ob--
ada zona, no excluye

pegmatíticos está -
y para la prospec- -

clases de apar--
ctivos aquellos que

o diferentes tipos
iente para esta cla

corrientemente y se
algunas considera
indicado en la in-
versión de la radia
de las leyes gene
importante se re-
la composición -
medio geológico
alta satisfactoria
depende de la -
aria.

ancia absoluta y
y de las leyes -
construcción. Tanto

la prospección geológica como la geofísica hacen uso de la Geoquí- mica para interpretar sus observaciones y ahorrar la mayor canti- dad de trabajo posible en el descubrimiento de nuevos criaderos - minerales. Sin embargo, cuando hablamos de prospección geoquímica nos referimos a la investigación de depósitos ocultos, mediante - el estudio de muestras tomadas en las proximidades de la masa mi- neral y de su interpretación subsiguiente. Es normal considerar - las variaciones de las leyes, tanto de los metales de la mena co- mo de los elementos índices asociados.

Las técnicas geoquímicas comenzaron a utilizarse en los años 1935 y 1936 por los geólogos escandinavos y rusos, pero no se han empleado como método normal de trabajo hasta después de la segun- da guerra mundial. Los resultados más brillantes se han obtenido en la investigación de criaderos de cobre, plomo y cinc; si bien muchos de los principios establecidos son de aplicación en el ca- so del uranio y del torio.

Anomalías geoquímicas.- Se denominan de esta manera a las desvia- ciones significativas de la abundancia media o valor de fondo de un elemento en aquellos materiales donde la distribución no ha si- do perturbada por la mineralización. Los valores inferiores al - fondo reciben el nombre de anomalías negativas, mientras los supe- riores a aquel se llaman anomalías positivas, o simplemente anoma- lías. Aunque el fondo puede ser muy variable como resultado de - los procesos naturales, en la mayoría de los materiales estériles, la distribución de elementos sigue la "ley log-normal", existien- do un valor próximo alrededor del cual oscilan los restantes por encima y por debajo, con disminución rápida de la frecuencia a - ambos lados.

El umbral significativo es, por lo general, doble del valor - de pico del fondo; y para mejor percatarse de la importancia de - una anomalía geoquímica, suele utilizarse una proporción geométri- ca en los isogramas. De esta forma en la representación se obtie- nen valores correspondientes a 2,4,8,16 y 32 veces el fondo. En - el estado actual de nuestros conocimientos no es posible, sin más, relacionar la importancia de una anomalía con la mineralización -

El fondo característico de las distintas rocas, tales como el granito en contraste con los gabros, puede ser muy variable. Las

estas minerales. con uraninita o pechblenda que en aquellos otros en que no existen contenido de uranio es varias veces mayor en aquellos distritos de una determinada variedad de rocas ígneas, que demuestra que el rior. Por otra parte, se registran variaciones regionales dentro que se han encontrado filones de pechblenda en el terciario inferior. En una ley en uranio muy superior al promedio en la zona en la tanto precámbricas como terciarias de Front Range (Colorado), tiene como ejemplo, se ha encontrado que las rocas intrusivas, superiores en varias veces al fondo de la provincia metalogénica local de mayor extensión que un criadero-anomalías de distritos aun en el interior de la provincia pueden existir concentraciones rias veces superior al medio para un determinado tipo de roca y Las provincias metalogénicas tienen normalmente un fondo valimiento de una roca determinada dentro y fuera de dicha provincia. cas en una provincia metalogénica que entre el contenido de un elemento puede existir una variación mayor entre diferentes clases de rocas para establecer una anomalía regional es necesario comparar que sus similares en zonas donde no existen criaderos de uranio. nes uraníferas exhiben un fondo mucho más alto de este elemento metalogénicas o geoquímicas. Las rocas intrusivas en ciertas regiones fondo de un elemento, se las puede considerar como provincias metalogénicas que tienen un incremento muy pronunciado en el valor del elemento se puede afirmar con mayor certeza que algunas regiones extendidas, erosión, transporte superficial y actividad biológica. Ciertas rocas son las formadas en la superficie de la tierra mediante el ser por su extensión regionales o locales. Las anomalías secundarias indirectamente a los procesos de deposición del mineral, y pueden darlas. Las primeras están relacionadas genéticamente directa o Las anomalías geoquímicas son de dos tipos: primarias y secundarias en la que no se de esta circunstancia. Sin embargo, un área rodeada de los citados isogramas será objeto de una atención mucho mayor que aquella situada en profundidad.

anomalías que original de la titación en la sario distingui ción de rocas pueden ser más cia mucho mayo sos. Los prime por impregnaci cidos relativos lar, pero está gidos por los Aunque cada ella las técnicas ciertos p convenientes. en un conocimiento Es también impo rto puede encon dos por la zona cial puede no e dispersión de lugar a una an la masa mineral ríticos, comun del tipo arenis torno más exte pector es deter ralmente o entr de nio bido alre conocido que ca otros metales e uranio, algunos anomalía de ura se geoquímica rias más extens

rodeada de los cita-
no mayor que aquella

as: primarias y secun-
dicamente directa o -
el mineral, y pueden
s anomalías secunda-
tierra mediante el -
ividad biológica. Ca
algunas regiones ex
do en el valor del -
como provincias me-
as en ciertas regio-
o de este elemento -
criaderos de uranio.

necesario comparar -
pecíficos, puesto que
estas clases de ro-
el contenido de un e-
za de dicha provincia.

blemente un fondo va-
tipo de roca y -
distir concentraciones
anomalías de distri-
la provincia metalogé
las rocas intrusivas,
Berge (Colorado), tie
do en la zona en la -
el terciario infe-
regionales dentro
que demuestra que el
aquellos distritos -
tros en que no existen

rocas, tales como el
muy variable. Las -

anomalías que reflejan esta clase de variación en la composición original de la roca, producen anomalías primarias de escasa significación en la investigación de depósitos determinados y es necesario distinguirlas de otras anomalías originadas por la impregnación de rocas por los fluidos mineralizadores. Estas anomalías - pueden ser más limitadas en extensión, pero son de una importancia mucho mayor e incluyen halos en los hastiales y halos dispersos. Los primeros se formaron durante la deposición del mineral - por impregnación de las rocas circundantes con los elementos asociados relativamente móviles. Los segundos son de naturaleza similar, pero están situados a lo largo de los canales y conductos se- guidos por los fluidos mineralizadores.

Aunque cada área objeto de estudio requiere que se adapten a ella las técnicas geoquímicas, sin embargo, siempre son de aplicación ciertos principios para decidir los métodos a utilizar más - convenientes. El estudio de las anomalías primarias debe basarse en un conocimiento de la geología y mineralogía de los criaderos. Es también importante tener en cuenta que un halo disperso primario puede encontrarse tanto antes como después de pasar los fluidos por la zona de deposición, y también que una anomalía superficial puede no estar situada verticalmente sobre el mineral. La - dispersión de soluciones ascendentes, según un cierto ángulo, da lugar a una anomalía que se aparta de la posición vertical sobre la masa mineralizada denominada anomalía desplazada. Los halos pi- ríticos, comúnmente asociados a los criaderos uraníferos, tanto - del tipo arenisca como filoniano, se pueden considerar como el en- torno más exterior del área de interés; el problema para el pros- pector es determinar si la zona de valor está en el centro, late- ralmente o entre ambos. Igualmente, se han observado dispersiones de niobio alrededor de algunos depósitos de torio y es un hecho - conocido que cantidades menores de vanadio, cobre, plomo, cinc y otros metales están localmente asociados con ciertos criaderos de uranio, algunos de los cuales presentan solamente alguna pequeña anomalía de uranio primaria; pero, sin embargo, pueden prospectar- se geoquímicamente mediante la investigación de anomalías prima- rias más extensas e importante relativas a los metales asociados.

En aquellos lugares en que los halos piríticos han sido lavados, con la formación consiguiente de limonita, el borde del área de ésta, normalmente se enriquece en manganeso y cinc y, a su vez, el área pirítica se empobrecerá en estos metales, con lo que se tiene en ésta una anomalía negativa y una anomalía positiva circun-dante, donde han sido concentrados los metales por precipitación de soluciones supergénicas. Es obvio que estas anomalías no reflejan la presencia de un criadero, sino solamente un decrecimiento de la acidez en las soluciones superficiales y carencia de alto -

Las dispersiones se clasifican, según sus formas, en halos, abanicos y colas (serie de trazos), que dependen de su aspecto y características y su relación con el emplazamiento de la concentración primaria. El halo encierra la fuente del material; el abanico se extiende hacia el exterior de aquella, situada en el vértice del mismo, y la cola es una dispersión lineal que tiende a degradarse conforme se aparta del depósito en las anomalías secundarias, y se aproxima al mismo en las anomalías primarias.

El término movilidad se emplea generalmente como medida de la tendencia de un elemento a disolverse en la zona de lavado y migrar del depósito original. El aspecto de la dispersión refleja el equilibrio químico característico de la roca encajante local, la abundancia del elemento en la roca que se desintegra y el movimiento de la masa terrosa de un lugar a otro. La forma de las dispersiones superficiales que se incluyen en los mapas se refieren a dos dimensiones, pero de hecho son tridimensionales, y esto es importante considerado al interpretar las anomalías secundarias, y mucho más al tratar las anomalías primarias.

Las anomalías de origen superficial o anomalías secundarias se producen como consecuencia del lavado de rocas y minerales, de procesos biogeoquímicos, de la dispersión de los minerales y metales, del transporte de los glaciares, del desprendimiento y arrastres de aluviones y del movimiento de las aguas superficiales y profundas. La forma y tamaño de estas anomalías secundarias dependen del clima y topografía, así como de la movilidad de los distintos elementos bajo las condiciones del lavado que existen donde aflora el criadero o tiene pendiente el terreno.

contenido de azu
muestran la nec
de las anomalías
anomalías que se
aquellas otras p
En muchos si
tranto y otros m
ral que se encuen
químicos tienden
aunque la fuente
de muchos metros
nio, azufre y otr
nocido de antigu
estos elementos
do la materia or
por la acción de
zonas donde exist
posición deben s
por la posibilidad
la superficie a
sin embargo, est
anomalías geog
sembradas donde
directo de la infor
ciónar la infor
una masa de mine
chas plantas.

anomalías secundarias -
as y minerales, de
s minerales y meta
endimiento y arras
superficiales y -
secundarias depen
dad de los distin
ue existen donde -

como medida de la
a de lavado y mi--
persión refleja -
encajante local,
integrada y el movi
a forma de las dis
capas se refieren
nales, y esto es
anomalías secundarias,

formas, en halos, -
de su aspecto y
to de la concen--
material; el aba-
situada en el vér-
al que tiende a
s anomalías secun
primarias.

os han sido lava-
el borde del área
cino y, a su vez,
con lo que se -
a positiva circun
r precipitación
anomalías no refle
n decrecimiento
rencia de alto -

contenido de azufre en las rocas circundantes, a la vez que de-
muestran la necesidad de una interpretación geoquímica adecuada -
de las anomalías, así como la importancia de distinguir entre las
anomalías que se deben a procesos de deposición de minerales y -
aquellas otras que no son debidas a esta circunstancia.

En muchos sitios, el análisis de las tierras vegetales, por -
uranio y otros metales da indicaciones muy valiosas sobre el mine-
ral que se encuentra oculto en profundidad. Los procesos biogeo-
químicos tienden a concentrar ciertos elementos en superficie, -
aunque la fuente del elemento pueda encontrarse a una profundidad
de muchos metros. La acumulación de cinc, uranio, vanadio, sele-
nio, azufre y otros elementos en los tejidos de las plantas es co-
nocido de antiguo, habiéndose hallado pruebas convincentes de que
estos elementos tienden a enriquecer las capas superficiales cuan-
do la materia orgánica en la que están concentrados se descompone
por la acción de agentes biogeoquímicos en la superficie. En las
zonas donde existe una extensión apreciable con plantas en descom-
posición deben ser estudiadas muestras de la tierra infrayacente,
por la posibilidad de que los elementos menores hayan ascendido a
la superficie a través de las raíces de las plantas. Es posible,
sin embargo, establecer zonas objeto de estudio sobre la base de
anomalías geoquímicas producidas de esta forma. En las regiones -
semiáridas donde existen pocos residuos de plantas, el análisis -
directo de la vegetación por uranio u otros metales puede propor-
cionar la información necesaria para descubrir la presencia de -
una masa de mineral oculta cubierta por el sistema de raíces de di-
chas plantas.

Bajo condiciones favorables, se pueden encontrar ciertos meta-
les en los terrenos transportados que cubren un criadero mineral
truncado. Contrariamente a las anomalías producidas por concentra-
ción en la vegetación en descomposición, estos halos superpuestos,
muestran un gradiente de concentración que aumenta hacia abajo y,
probablemente, son el reflejo de movimientos por difusión o capi-
laridad en un regolito humedo que yace encima de una masa de mi-
neral oxidado. Los elementos más móviles, como el azufre, el cinc,
el cobalto, el uranio, y, bajo condiciones alcalinas, el molibde-

Los ensayos químicos son también de gran valor en el estudio de materiales no radiactivo en aquellos casos en que el uranio se ha depositado recientemente, o en aquellos lugares donde hay una cobertura importante de materiales sobre el mineral uranífero y,

Como la mayoría de los métodos de análisis químicos, ya que cualquiera de los métodos que describiremos más adelante nos permite distinguir entre las anomalías debidas al uranio y al torio. Hemos en presencia de una anomalía radiométrica notable, debemos tener en cuenta la naturaleza del criadero objeto de estudio. En todo caso, cuando los que nos proporcionan un conocimiento más acabado sobre la naturaleza se van utilizando más, por ser entre todos los procedimientos que se pueden detectar las anomalías radiométricas, cada uno de ellos es más adecuado para el estudio de los elementos asociados. Aunque los métodos geoquímicos no se han empleado extensamente en un principio para el uranio, por la facilidad con que se pueden detectar las anomalías radiométricas, cada uno de ellos es más adecuado para el estudio de los elementos asociados, como los procedimientos indirectos, donde muy apreciados, tanto el método directo donde se investiga directamente este elemento, como los procedimientos indirectos, donde En la prospección geoquímica por uranio han alcanzado éxitos

En la prospección geoquímica por uranio han alcanzado éxitos muy apreciados, tanto el método directo donde se investiga directamente este elemento, como los procedimientos indirectos, donde son objeto de estudio los halos primarios o secundarios de los elementos asociados. Aunque los métodos geoquímicos no se han empleado extensamente en un principio para el uranio, por la facilidad con que se pueden detectar las anomalías radiométricas, cada uno de ellos es más adecuado para el estudio de los elementos asociados. Aunque los métodos geoquímicos no se han empleado extensamente en un principio para el uranio, por la facilidad con que se pueden detectar las anomalías radiométricas, cada uno de ellos es más adecuado para el estudio de los elementos asociados. Aunque los métodos geoquímicos no se han empleado extensamente en un principio para el uranio, por la facilidad con que se pueden detectar las anomalías radiométricas, cada uno de ellos es más adecuado para el estudio de los elementos asociados.

La investigación de anomalías geoquímicas en el material transportado va dirigida en la mayoría de las ocasiones al hallazgo de dispersiones en forma de trazos o abanico, que pueda conducir al prospector a la roca origen de los minerales detríticos. Este trabajo puede considerarse realmente como una moderna aplicación de las técnicas antiguas para el descubrimiento de rocas auríferas. La investigación de anomalías geoquímicas en el material transportado va dirigida en la mayoría de las ocasiones al hallazgo de dispersiones en forma de trazos o abanico, que pueda conducir al prospector a la roca origen de los minerales detríticos. Este trabajo puede considerarse realmente como una moderna aplicación de las técnicas antiguas para el descubrimiento de rocas auríferas.

Existen también metales levigables fácilmente de las tierras residuales o de la montera de un criadero; aquellos que habría que investigar entre los materiales que quedaran como residuo sobre una masa mineral, serían los de escasa movilidad, tales como el torio, el plomo, el cobre, el vanadio, el niobio, el selenio y el arsénico, si bien existe normalmente un aumento perceptible en la concentración de los elementos de mayor movilidad asociados con el mineral en la vecindad del criadero, en contraste con las rocas estériles que le rodean.

no, son aquellos que se encuentran con mayor frecuencia en los criaderos de difusión superpuestos. Existen también metales levigables fácilmente de las tierras residuales o de la montera de un criadero; aquellos que habría que investigar entre los materiales que quedaran como residuo sobre una masa mineral, serían los de escasa movilidad, tales como el torio, el plomo, el cobre, el vanadio, el niobio, el selenio y el arsénico, si bien existe normalmente un aumento perceptible en la concentración de los elementos de mayor movilidad asociados con el mineral en la vecindad del criadero, en contraste con las rocas estériles que le rodean.

Como consecuencia de la tracción, que da lugar a una gran movilidad de los materiales, se puede esperar que los elementos de mayor movilidad se encuentren con mayor frecuencia en la vecindad del criadero, en contraste con los elementos de menor movilidad, que se encuentran con mayor frecuencia en las rocas estériles que le rodean. Este trabajo puede considerarse realmente como una moderna aplicación de las técnicas antiguas para el descubrimiento de rocas auríferas. La investigación de anomalías geoquímicas en el material transportado va dirigida en la mayoría de las ocasiones al hallazgo de dispersiones en forma de trazos o abanico, que pueda conducir al prospector a la roca origen de los minerales detríticos. Este trabajo puede considerarse realmente como una moderna aplicación de las técnicas antiguas para el descubrimiento de rocas auríferas.

r frecuencia en los ci

mente de las tierras
aquellos que habría -
darán como residuo so-
movilidad, tales como
el nicbio, el selenio y
aumento perceptible en
movilidad asociados -
en contraste con las

as en el material - -
as ocasiones al hallaz
nico, que pueda condu-
minerales detríticos. Es
o una moderna amplia-
brimiento de rocas au-

o han alcanzado éxitos
onde se investiga pro--
mentos indirectos, donde
o secundarios de los e-
químicos no se han em-
el uranio, por la facili-
as radiométricas, cada
odos los procedimientos
as acabado sobre la na-
a todo caso, cuando es-
trica notable, debemos
piera de los métodos -
distinguir entre las a

valor en el estudio
os en que el uranio se
lugares donde hay una
el mineral uranífero y,

como consecuencia, es difícil apreciar su radiactividad en super-
ficie. En la tierra vegetal de estas áreas, una ligerísima concen-
tración, que disminuye según se desciende, puede tener gran impor-
tancia y sugiere la posibilidad de una concentración biogeoquímica
de los materiales situados en profundidad.

Es siempre aconsejable una orientación previa en la prospec-
ción geoquímica, es decir, hay que valorar y considerar los pro-
blemas geoquímicos antes de llevar a cabo un programa en gran es-
cala. El empleo de las técnicas geoquímicas es especialmente ven-
tajoso cuando se investigan masas de mineral que presentan halos
secundarios o primarios de mucha mayor extensión que aquellas. El
tamaño de tales halos puede determinarse por el estudio de criade-
ros próximos que hayan sido ya tratados. La investigación geoquí-
mica puede fracasar aunque el trabajo analítico sea correcto, -
cuando la anomalía que se busca no existe o cuando las muestras -
no se hayan tomado convenientemente por equivocar el lugar o el -
material. Por esta razón hay que insistir, una vez más, sobre la
conveniencia de establecer previamente los métodos y procedimien-
tos adecuados que han de seguirse posteriormente.

Para que el éxito acompañe a los trabajos hay que considerar
fundamentalmente cinco cuestiones: Primera.- Elemento que se va a
investigar y establecimiento de los valores del fondo. Segunda.-
Material más conveniente para el demuestre. Tercera.- Esquema geo-
métrico para este último, más de acuerdo con la geología. Cuarta.-
Espaciado máximo permisible para las muestras, con objeto de que
se puedan descubrir las anomalías; y Quinta.- Procedimiento analí-
tico más efectivo. Las respuestas a estos problemas dependen de -
la clase, tamaño, contraste y homogeneidad de la anomalía y del -
instrumental químico disponible.

Como la mayor parte de las anomalías geoquímicas provienen de
movimientos de soluciones, tierras o rocas, es evidente que el -
clima, la topografía y el tamaño y forma de la masa del material
son los factores más importantes que determinan la geometría y -
forma del desmuestre. Después de adquirir una información previa
sobre la orientación que hay que dar a los estudios preliminares
sobre la forma y tamaño generales que cabe esperar sobre las dis-

El método de la resistividad eléctrica se ha empleado, entre

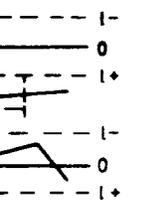
formas. De entre todos ellos, el más usado ha sido el de la medida de resistividades eléctricas, realizando tanto perfiles verticales como horizontales con los aparatos normalmente utilizados en este caso. Como es sabido, uno de los problemas que se presentan es el obtener un buen contacto entre el electrodo y tierra. En algunas ocasiones dicho electrodo se introduce en un agujero superficial lleno de agua, con el fin de establecer un contacto húmedo entre aquél y tierra; en otras, se utilizan pequeñas pantallas de cobre cubiertas con tierra y saturadas de agua como electrodos. En algunas zonas en que el contacto de los electrodos no es bueno es necesario descargar el electrodo de corriente por medio de resistencias para obtener datos dignos de confianza.

La prospección geofísica también se utiliza en el caso de los minerales radiactivos, en especial desde 1949. Se han empleado de preferencia los métodos eléctricos y sísmicos en sus diferentes

PROSPECCION GEOFISICA

Los métodos analíticos que se utilizan en la prospección geofísica, como en las restantes prospecciones, tales como espectrografía, colorimetría, fluorimetría, polarografía, cromatografía, etc., se estudian en el capítulo correspondiente.

Los métodos analíticos que se utilizan en la prospección geofísica, como en las restantes prospecciones, tales como espectrografía, colorimetría, fluorimetría, polarografía, cromatografía, etc., se estudian en el capítulo correspondiente. Los accidentes topográficos. Las anomalías originadas por distribución en materiales estériles situados sobre el mineral y de extensión reducida, pueden hacer necesario un espaciado en el desmuestreo de 3 a 20 metros. En un terreno glacial, una distancia de 100 a 500 metros, como máximo, puede ser suficiente en la localización de trazos o abanico. Los accidentes topográficos. Las anomalías originadas por distribución en materiales estériles situados sobre el mineral y de extensión reducida, pueden hacer necesario un espaciado en el desmuestreo de 3 a 20 metros. En un terreno glacial, una distancia de 100 a 500 metros, como máximo, puede ser suficiente en la localización de trazos o abanico. Los accidentes topográficos. Las anomalías originadas por distribución en materiales estériles situados sobre el mineral y de extensión reducida, pueden hacer necesario un espaciado en el desmuestreo de 3 a 20 metros. En un terreno glacial, una distancia de 100 a 500 metros, como máximo, puede ser suficiente en la localización de trazos o abanico.



La resistividad de las zonas donde se encuentran minerales. La Fig. 8.1 un perfil entre las dos series de formación Moenkops 100 veces mayor que la Fig. 8.1 un perfil

La resistividad de las zonas donde se encuentran minerales. La Fig. 8.1 un perfil entre las dos series de formación Moenkops 100 veces mayor que la Fig. 8.1 un perfil

geometría y espaciamientos, y a ser la anomalía. Cuando se mide en ángulo recto a las curvas por difusión lateral y de extensión en el desmuestreo a una distancia de 100 metros, la localización de las dispersiones

prospección geofísica como espectro, cronografía,

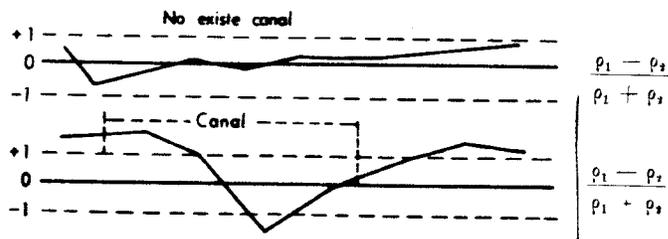
en el caso de los métodos empleados de sondeos diferentes

de la medida de resistencias verticales utilizados en este método es el siguiente. En algunas ocasiones se puede llegar a un acuerdo entre ambas series de curvas de cobre y zinc. En aquellos casos en que no es bueno es necesario un estudio de resistencias

empleado, entre

otros lugares, en la Meseta del Colorado, para investigar los criaderos de uranio en la formación Morrison y en los conglomerados del Shinarump. En la región de la primera, los perfiles de resistividad en profundidad probaron la posibilidad de delimitar el espesor, y con ello las partes más favorables para contener mineral del piso Salt Wash en aquellos lugares en que ésta no yace bajo series potentes del Brushy Basin de la misma formación Morrison. Las curvas de resistividad en profundidad pueden emplearse para determinar el espesor relativo de las areniscas que contienen mineral, así como la cantidad de arcilla existente en estas rocas. En general, cuanto mayor es el espesor, las partes más favorables de la arenisca que contiene mineral presentan una resistividad más elevada que aquellas otras que son estériles. Se pueden preparar mapas indicando las áreas consideradas como favorables, semifavorables y no favorables, realizando varios perfiles en profundidad en una determinada cuadrícula y valorando cada uno según el criterio anterior, de acuerdo con el espesor de la arenisca, cantidad de arcilla de ésta y resistividad observada. Los perfiles de resistividades horizontales se utilizan también para fijar los emplazamientos favorables para los sondeos en los criaderos de uranio. Igualmente la resistividad aumenta con el espesor de la arenisca que contiene este elemento y, por tanto, en las zonas donde aquella es más elevada existe más posibilidad de encontrar mineral.

La resistividad de los conglomerados del Shinarump es de 10 a 100 veces mayor que la de las mangas y pizarras de la infrayacente formación Moenkopi, que proporciona un contraste satisfactorio entre las dos series estratigráficas. A continuación se indica en la Fig. 8.1 un perfil horizontal de resistividades eléctricas en



el conglomerado de Shinarump.

En estos gráficos se ha tomado la relación de diferencia a su ma de las resistividades, a cada lado de la división Lee.

Dentro del método sísmico, el de refracción fue el que primero se utilizó. En la Meseta del Colorado se empleó para estudio de los canales del Shinarump en aquellos lugares en que esta formación no está cubierta por la Chinle.

Normalmente las medidas se realizan con equipo transportable, que permite cubrir rápidamente áreas extensas.

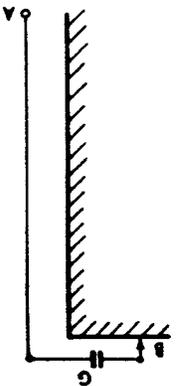
En la formación antes citada, los cartuchos se pusieron a 150 metros y los geófonos se espaciaron entre 7,5 y 15 metros. La pega de los cartuchos en el aire se ha utilizado ampliamente en los trabajos de refracción. El explosivo es dinamita sísmica en cantidad comprendida entre 2,2 y 4,5 kilogramos, y el fuego se da desde una vara situada a una distancia del suelo que oscila entre 1 y 1,5 metros. Este método cumple favorablemente con el de barreros en el terreno, al ser más económico a causa de su rapidez.

La velocidad en el conglomerado del Shinarump varía entre 900 y 1.800 m/seg., y en los esquistos de la formación infrayacente - Moenkopi, entre 3.000 y 4.500 m/seg.

El método sísmico de reflexión se ha utilizado en menor escala, con equipos de respuesta de altas frecuencias y velocidad de papel elevada.

El método de las resistividades que hemos indicado no es posible emplearlo cuando los terrenos de recubrimiento sobrepasan los 240 metros, aproximadamente. Entonces es necesario utilizar el registro eléctrico juntamente con sondeos, con las combinaciones de electrodos que suelen usarse en estos casos.

En la primera, Fig. 8.2 se introducen tres cables aislados que en sus extremos llevan tres electrodos, A, M y N. El cable que lleva el electrodos A se une a uno de los polos de un generador de corriente G, cuyo otro polo va a una toma de corriente B - cerca de la boca del sondeo. Los cables que terminan en M y N van a un potenciómetro destinado a medir la diferencia de potencial -



Finalmente,

turales, se puede tomar el método de análisis de frecuencia e in-

La prospección

reas favorables para plantas cuyas partes por millares de pequeñas plantas sin embargo, de las otras entradas utilizan como

El contenido de razones, lo que proyecto de plantas herbáceas

ón de diferencia a su división Lee.

ión fué el que primeramente se empleó para estudio de corrientes en que esta forma

equipo transportable, etc.

os se pusieron a 150 y 15 metros. La profundidad ampliamente en los pozos sísmica en cantidad y el fuego se da desde que oscila entre 10 y 20 metros con el de barrena de su rapidez.

varía entre 900 y 1000 metros por hora de perforación infrayacente -

izado en menor escalar y velocidad de

indicado no es posible cuando sobrepasan los límites utilizar el registro de las combinaciones de

los cables aislados entre M y N. El cable de un generador de corriente B - M y N van a medir la diferencia de potencial -

entre M y N.

Finalmente, Fig. 8.3, utilizando las corrientes eléctricas na

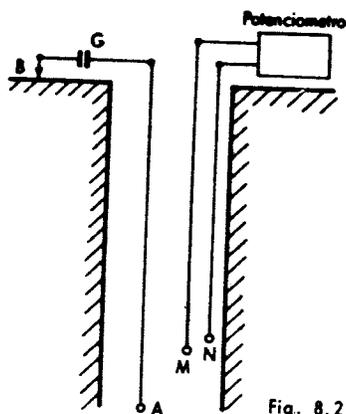


Fig. 8.2

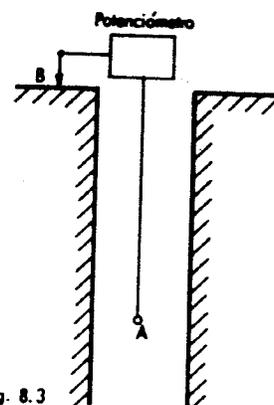


Fig. 8.3

turales, se puede medir la diferencia del potencial entre A y B, tomando el último como cero, de forma análoga a como se hace en el método de autopotencial.

Se han hecho también ensayos con polarización inducida, radiofrecuencia e inducción electromagnética.

PROSPECCION BOTANICA

La prospección por el análisis de los árboles está basada en el hecho de que la ley en uranio de los mismos aumenta en las áreas favorables. El uranio aparece en todas las plantas en cantidades pequeñas. Las cenizas contienen normalmente entre 0,2 y 1 parte por millón de este elemento. El contenido de uranio de las plantas cuyas raíces se encuentran en el mineral puede alcanzar, sin embargo, de 1 a 100 p.p.m.; por ello, tanto éstas como aquellas otras enraizadas dentro de un halo o del propio criadero, se utilizan como índice de la mineralización del terreno.

El contenido de uranio de la vegetación varía por distintas razones, lo que hay que tener muy en cuenta antes de elaborar un proyecto de prospección botánica. La ley en uranio de los árboles y plantas herbáceas varía ligeramente con las estaciones y la can

La cantidad de uranio absorbido por las plantas depende también del porcentaje de uranio soluble en agua en la proximidad de las raíces de las mismas. La cantidad de este uranio soluble debe, en parte, a la interacción del uranio con otros iones presentes en proporciones que no son normales y no refleja necesariamente la cantidad total de uranio presente. Así la proporción de uranio soluble en el agua del suelo aumenta cuando se añade yeso, selenio o cal. La adición de carnotita aumenta asimismo la solubi-

La cantidad de uranio absorbido por las plantas depende también del porcentaje de uranio soluble en agua en la proximidad de las raíces de las mismas. La cantidad de este uranio soluble debe, en parte, a la interacción del uranio con otros iones presentes en proporciones que no son normales y no refleja necesariamente la cantidad total de uranio presente. Así la proporción de uranio soluble en el agua del suelo aumenta cuando se añade yeso, selenio o cal. La adición de carnotita aumenta asimismo la solubi-

Algunas especies de plantas absorben mucho más uranio que otras. El mecanismo mediante el cual se realiza esta absorción parece ser de intercambio iónico. Las distintas familias de plantas difieren por lo que respecta a las cantidades de iones absorbidos, en razón a que poseen diferentes sistemas reguladores, con lo que resultan valores distintos en la savia celular. Los estudios realizados indican que aquellas plantas que absorben fácilmente grandes cantidades de sodio, azufre, selenio y calcio y pequeñas cantidades de potasio, también absorben el uranio con facilidad. Estas plantas tienen generalmente un pH de la savia celular inferior a 5,2. Por esta razón, las coníferas y los arbustos de la familia de la rosa, que tienen estas características, se han utilizado con éxito en la prospección botánica del uranio.

La cantidad de uranio absorbido por las plantas depende también del porcentaje de uranio soluble en agua en la proximidad de las raíces de las mismas. La cantidad de este uranio soluble debe, en parte, a la interacción del uranio con otros iones presentes en proporciones que no son normales y no refleja necesariamente la cantidad total de uranio presente. Así la proporción de uranio soluble en el agua del suelo aumenta cuando se añade yeso, selenio o cal. La adición de carnotita aumenta asimismo la solubi-

idad del azufre
localización de
mentos. Los car
jo condiciones
que existe mín
tes en la absor
boles y arbust
neral por el an
especies desnu
sembrados los
ya longitud est
sin embargo, qu
tal, a profund
previo a tce
de la región. I
los terrenos de
para ver la can
Una vez obtenid
na el área y es
la Meseta del C
Pinus, Abies y
las redes fijad
en muchos casos
de la malla se
realiza. Para u
estudios más co
es suficiente u
to de aflorame
10 metros.

de esta pequeña
prospección.
de las plantas
a menor alcanza
ción directa -
a lo que la pre
realización se -

ción de la ley
o las raíces de
minado conjun-
lación con la -
interesante des
una muestra re

uranio que o--
la absorción pa-
lias de plantas
nes absorbidos,
res, con lo que
s estudios rea-
fácilmente gran
y pequeñas can-
facilidad . Es
elular infe- -
ustos de la fa
se han utili-
o.

depende tam--
proximidad de
o soluble se -
os iones pre-
leja necesaria
proporción de
se añade yeso,
ismo la solubi

lidad del azufre y del selenio, lo cual es muy importante en la -
localización de plantas indicadoras portadoras de estos dos ele--
mentos. Los cambios en la solubilidad del uranio tienen lugar ba-
jo condiciones oxidantes, y solamente en aquellas regiones en las
que existe mineral oxidado se han observado diferencias importan-
tes en la absorción del uranio por las raíces profundas de los ár-
boles y arbustos. La profundidad a la que puede detectarse un mi-
neral por el análisis de las plantas depende del habitus de las -
especies desmuestreadas y de la existencia de agua. En los países
semiáridos los arbustos y árboles, normalmente, tienen raíces cu-
ya longitud está comprendida entre 15 y 25 metros. Es probable, -
sin embargo, que el análisis de plantas no sea efectivo, en gene-
ral, a profundidades superiores a 20 metros.

Previo a todo trabajo, debe realizarse un estudio geológico -
de la región. Las muestras preliminares deben tomarse tanto en -
los terrenos donde existe mineralización como en los estériles, -
para ver la cantidad de uranio absorbido en la región considerada.
Una vez obtenida esta información botánica y geológica se determi-
na el área y espaciado del desmuestre, así como las plantas. En -
la Meseta del Colorado se han utilizado con éxito los Astragalus,
Pinus, Abies y Juniperus en sus diferentes especies. A partir de
las redes fijadas se dibujan los isogramas correspondientes, --
en muchos casos nos permiten definir áreas favorables. El lado de
de la malla se determina de acuerdo con el fin del trabajo que se
realiza. Para un rápido reconocimiento puede tomarse 75 metros. En
estudios más concretos, donde se presentan anomalías, en general
es suficiente una distancia de 15 metros, y para el reconocimien-
to de afloramientos de rocas y bordes de mineralización, entre 5 y
10 metros.

Entre los métodos analíticos que se suelen emplear para el -
análisis de cenizas de las plantas, uno de los más utilizados es
el fluorimétrico. También se han hecho ensayos a base de cromato-
grafía y análisis radiométricos, midiendo la radiación alfa. Aun-
que, como ya hemos indicado anteriormente, el uranio absorbido por
las plantas varía ligeramente el tipo de mineral, y la clase de -
aquellas que se desmuestra se consideran favorables contenidos su

PROPECCION HIDROGEOQUIMICA

Esta prospección está basada en el hecho de que tanto el uranio como sus productos de desintegración radio y radón, se disuelven en las aguas y migran junto con ellas.

Se ha comprobado que todas las aguas naturales contienen uranio, aunque su concentración varía en un intervalo muy amplio, comprendido entre 10^2 partes por mil millones (p.p.m.m.) a 10^4 p.p.m.m. El uranio pasa a las aguas procedentes de las diferentes rocas y criaderos que atraviesan aquéllas, en una cantidad que depende de muchos factores, entre otros, de su concentración y forma de presentación en las rocas y criaderos, de la composición química de las soluciones (incluyendo los gases disueltos, especialmente oxígeno), cantidad de fluido que circula. etc.

Teniendo en cuenta la elevada concentración de uranio en sus criaderos, comparada con la de las rocas circundantes, así como la solubilidad relativamente alta de sus minerales, es evidente que las disoluciones que pasan a través de los criaderos deben enriquecerse en este elemento, así como en otros radiactivos, en comparación con las que lo hacen a través de las rocas corrientes. Las aguas que circulan bajo condiciones fuertemente reductoras constituyen una excepción, ya que no se enriquecen en uranio, sino en radio y radón. El estudio de halos acuosos, en relación con los criaderos de uranio o de otros elementos radiactivos, hace posible considerar el problema a la inversa, es decir, prospectar éstos mediante el estudio del contenido de elementos radiactivos en las aguas superficiales y profundas.

En condiciones favorables, las aguas enriquecidas en elementos radiactivos, pueden aflorar en la superficie, en las cotas de menor relieve, como manantiales, o bien ser puestas de manifiesto por trabajos mineros, sondeos, pozos, etc. El contenido de elementos radiactivos dependerá de la longitud y naturaleza del trayecto recorrido por las aguas desde el depósito; estarán más enriquecidas en la proximidad de éste; por el contrario, conforme se alejan y se van mezclando a diferentes trechos con aguas procedentes de rocas estériles, la concentración de elementos radiactivos irá

decreciendo progresivamente, pero, sin embargo se mantendrá suficientemente alta comparada con las aguas ordinarias para revelararnos una anomalía.

Las investigaciones hidrogeológicas comprenden tres clases de trabajo: desmuestre de las aguas, determinación de la ley del elemento radiactivo e interpretación de los resultados.

Las aguas deben de tomarse en todos los manantiales corrientes (en varios puntos), pozos, sondeos y en todas aquellas otras fuentes de agua que se hallen en la región prospectada. Cuando dichas fuentes son escasas es preciso hacer pozillos, y cuando se desean desmuestrear las aguas profundas es necesario realizar algunos sondeos.

Los cambios de estación dan lugar a variaciones en el contenido de elementos radiactivos de las aguas profundas, que son mucho mayores en las aguas superficiales, por lo cual, la investigación hidrogeológica debe llevarse a cabo dentro de extensiones pequeñas, con objeto de que la toma de aguas se haga dentro de un intervalo pequeño de tiempo, en la misma estación. En aquellas zonas donde el desmuestre se ejecuta en fuentes de agua específica se realizan observaciones sistemáticas en el contenido de elementos radiactivos del agua durante el período total de trabajo de campo. Esto ayuda a interpretar más correctamente los resultados de los análisis efectuados sobre áreas muy extensas y que, como consecuencia, abarcan varias estaciones.

En las muestras de agua se analiza preferentemente el uranio, si bien en una gran parte de las mismas se hace la determinación del radón y sólo en unos pocos el radio. Este último se investiga en todas las muestras cuando presentan un contenido elevado de uranio o radón.

Cuando las aguas circulan bajo condiciones reductoras, como es el caso de las que atraviesan rocas bituminosas, es perceptiva la determinación de radio y radón en todas las muestras. La razón de esto es que bajo tales condiciones el uranio no se disuelve en las aguas de una manera apreciable, en tanto que lo hacen el radio y el radón.

En el caso de tomas, se hacen cuencas hidrográficas Para el análisis de todos los métodos fluorimétricos el uranio tiene que existir en las aguas. El problema es la interpretación de las fuentes de las que se toman. Cuando se toman muestras de aguas en altitud, se debe tener en cuenta las condiciones geológicas que aparecen como si originaran minerales y a las mismas se les atribuye un origen mineral. Cuando se toman muestras de aguas en altitud, se debe tener en cuenta las condiciones geológicas que aparecen como si originaran minerales y a las mismas se les atribuye un origen mineral. Cuando se toman muestras de aguas en altitud, se debe tener en cuenta las condiciones geológicas que aparecen como si originaran minerales y a las mismas se les atribuye un origen mineral.

embargo se mantendrá su-
ordinarias para reve-

comprenden tres clases -
terminación de la ley del
los resultados.

los manantiales corrien-
y en todas aquellas otras
ión prospectada. Cuando di-
er pocillos, y cuando se -
es necesario realizar algu

variaciones en el conteni-
s profundas, que son mucho
lo cual, la investigación
ntro de extensiones peque-
se haga dentro de un in-
estación. En aquellas zo-
entes de agua específica
m el contenido de elemen-
todo total de trabajo de -
rectamente los resultados
y extensas y que, como -

preferentemente el uranio,
se hace la determinación
Este último se investiga
contenido elevado de -

iciones reductoras, como
bituminosas, es preceptiva
las las muestras. La razón
l uranio no se disuelve en
tanto que lo hacen el ra-

En el caso de encontrarse anomalías en las muestras de agua -
tomadas, se hace necesario una investigación más detallada de la
cuenca hidrográfica suplementada por otras prospecciones.

Para el análisis de las muestras se emplean, entre otros, los
métodos fluorimétrico y colorimétrico, después de retener previa-
mente el uranio por algún absorbente en razón a las pequeñas can-
tidades que existen de este elemento en las aguas naturales.

El problema más complicado de la prospección hidrogeoquímica
es la interpretación de los resultados obtenidos. El desmuestre -
de las fuentes de agua proporciona los datos suficientes para es-
tablecer el fondo hidrogeoquímico natural, para el que no existe
un conjunto de valores universales, sino que es preciso fijarlo
por separado para cada determinado tipo de roca y para cada dis-
trito. Cuando rocas de la misma clase se hallan sometidas a condi-
ciones de clima sustancialmente diferentes, hay que establecer un
fondo natural independiente para cada zona climática. Esto es es-
pecialmente importante en las regiones montañosas, donde los cam-
bios en altitud son muy rápidos. Cuando se establece el fondo ura-
nífero de las aguas profundas para cualquier clase de rocas, las
condiciones geoquímicas que reinan en las mismas hay que tenerlas
siempre en cuenta, tanto si favorecen la oxidación con oxígeno li-
bre que aparece en las aguas profundas o por debajo de su nivel,
como si originan la reducción o dan lugar a la disolución de los
minerales y a la migración del uranio en las citadas aguas profun-
das, o bien interfieren con él. El fondo varía dentro de un inter-
valo muy amplio comprendido entre 10 p.p.m.m. a 50 p.p.m.m. de -
uranio, y por ello lo que puede ser un fondo natural en unas re-
giones es posible que corresponda a una fuerte anomalía en otras
si no se tienen en cuenta las diferencias en el grado de lavado -
de las rocas, condiciones climáticas, etc. Así, pues, hay que es-
tablecerlo por separado para cada zona, tomando en consideración
sus características particulares y la estación del año en que se
realiza el desmuestre.

Una vez determinado el fondo es ya fácil definir la anomalía
que excede en cantidades de un orden o más del valor promedio, pa-
ra la misma estación, así por ejemplo, 5×10^{-5} g/l de uranio, si

el valor medio del fondo es 5×10^{-6} g/l de uranio.

Para que la interpretación hidrogeológica sea correcta es necesario un conocimiento lo más detallado posible de la geología. En las áreas con zonas de lavado intenso, donde los depósitos están tan intensamente oxidados y la migración de las aguas profundas a través de los mismos se hace a varias decenas de metros de profundidad, las leyes en uranio de las anomalías no son muy pronunciadas por regla general. Por ello, en estos casos, unos valores cinco veces superiores al fondo normal pueden ser significativos.

Igualmente es necesario tener en cuenta las características de los minerales, tales como su composición y permeabilidad, y otros factores que tengan influencia en el grado de su disolución por las aguas profundas. Así, por ejemplo, la pechblenda o los diferentes óxidos de uranio compactos enriquecen menos las aguas en radioelementos que aquellos otros minerales desagregados.

Asimismo hay que estudiar el fondo hidrogeológico de los terrenos circundantes, su composición química y su contenido de radio y radón. Las concentraciones elevadas del primero de estos elementos en las aguas proporcionan datos de valor para la prospección, en tanto que altos contenidos de radón nos indican que la mineralización de uranio que ha producido la anomalía se encuentra relativamente cerca de la fuente acuosa en la que se han observado.

En ocasiones, la composición química de las aguas que presentan tan anomalías difiere de aquellas otras que tienen un fondo normal. Así, en algunas áreas tienen un elevado contenido de sulfatos, ya que frecuentemente los minerales uraníferos van asociados con sulfuros.

Es de especial interés considerar las condiciones hidrogeológicas del sector donde aparecen las anomalías. Si las aguas sufren una dilución elevada, un aumento pequeño del fondo, por ejemplo, entre cinco y diez veces, puede ser una anomalía favorable.

Comprende
mo estudios d
Las inves
normalmente a
nos, que se c
materiales ra
vez determina
miendo al tra
destilómetro
de lo apto par
aparatos se l
En los es
bución de la
llevar instru
mo se confec
en el oportu
de acuerdo co
Con objet
do, el detect
mo. Con la ay
han sido muy
pas, etc.; so
nos de recubr
En las tr
siones de ter
descubrimien
se han realiz
gidas; asimis
bución de la
llevan a cabo
bre vehículos
Y solamente e
ra prospectar

TECNICAS RADIOMERICAS TERRESTRES

Comprenden investigaciones locales de emplazamientos, así como estudios detallados y trabajos regionales.

Las investigaciones locales incluyen el reconocimiento, hecho normalmente a pie, de zonas mineralizadas y toda clase de terrenos, que se consideran favorables para la aparición en ellos de materiales radiactivos después del estudio geológico previo. Una vez determinado el fondo, según se indica en otro lugar, se da comienzo al trabajo, investigando la radiactividad por medio del destellómetro y del contador Geiger, siendo este último de un modelo apto para detectar partículas beta y gamma. El manejo de los aparatos se indica en el lugar correspondiente.

En los estudios detallados se determina exactamente la distribución de la radiactividad dentro del sector, siendo necesario llevar instrumento de cierto tipo perfectamente calibrado. Asimismo se confeccionan planos radiométricos en la forma que se indica en el oportuno apartado, y cuyo lado de cuadrícula se determina de acuerdo con la precisión que se desee en el trabajo.

Con objeto de disminuir la influencia de la radiación de fondo, el detector suele colocarse dentro de una cámara-tubo de plomo. Con la ayuda de planos geológicos, las curvas isorradiactivas han sido muy útiles para la localización de diques, filones, capas, etc.; sobre todo, en aquellos lugares en que existen terrenos de recubrimiento.

En las investigaciones regionales se estudian grandes extensiones de terreno, y se han demostrado como muy eficaces en el descubrimiento de determinadas anomalías, a partir de las cuales se han realizado trabajos detallados en áreas mucho más restringidas; asimismo han proporcionado datos básicos sobre la distribución de la radiactividad en la superficie. Estos estudios se llevan a cabo normalmente con contadores de centelleo montados sobre vehículos todo terreno y conectados a registradores gráficos, y solamente en algunas ocasiones se emplean detectores ligeros para prospectar a pie o a caballo.

de las minas, en particu-
la en asociación frecuen-
rtenderse tato a las ga-
minerales extraídos y es
tricas hay que mencionar
ón gamma y con neutrones
aparato más empleado -
ño diámetro, en tanto -
ación se utilizan cuando
Los instrumentos que se
e e ir montados sobre ca
ejables, siendo factible

ctivos, la medida de la
metro ha proporcionado -
horizontes estatigráficos,
lugares donde la recupera
determinación de la pro-
generalizados y estimación
s minerales radiactivos,
'in situ', lo que permite
radiactividad en profundi-
los trabajos de inves-
a aplicado con éxito a la
raníferos y potasa.

tellos, muy sensibles pa-
bilidad de diferenciar -
por medio de la espectrome
interpretación litológica -
de las mayores difi-
es es el amplio interva
encia entre cantidades in-
por 100 U₃O₈, siendo im
satisfactorias en una so

bles, mediante el empleo

de neutrones, que han sido utilizados ampliamente en los estudios petrolíferos, no se han usado sistemáticamente en la prospección de minerales radiactivos. Se han realizado trabajos, tanto sobre la medida del flujo natural de neutrones en la perforación como - sobre las reacciones neutrón-radiación gamma y neutrón-neutrón, y no parece que actualmente sean muy prometedores en la localiza- - ción de minerales de uranio y torio. Por el contrario, el estudio combinado de rayos gamma y neutrones se ha mostrado como eficaz - en la estimación de la ley de la potencia de las sales potásicas, así como en la distinción de si son o no anhídros.

La migración del radón ofrece la posibilidad de detectar mate- riales radiactivos ocultos. Se ha investigado la ley de este ele- mento en los gases naturales que contienen helio para determinar si la elevada concentración anormal de radón puede corresponder a cantidades significativas de uranio y radón en profundidad y por- der aclarar la relación entre este último elemento y el helio. No se ha podido establecer una dependencia clara entre la concentra- ción de radón, que se desprende en los sondeos y galerías, fren- tes y fallas de mina y el contenido de uranio de las rocas de la región. Cualitativamente, una proporción elevada de radón puede - ser indicación favorable de que estamos próximos a una concentra- ción apreciable de uranio; pero cuantitativamente es imposible sa- car conclusiones basadas en el contenido de radón de las muestras gaseosas de pozos, sondeos y labores mineras. Se advierte la exis- tencia de radón en el Sondeo por la aparición en el fondo de la - perforación de una zona radiométrica alta (el radón tiene una den- sidad superior al aire) y también porque la curva radiactiva apa- rece toda ella como suavizada mientras que cuando no hay radón la radiometría suele ser abrupta y muestra normalmente fuertes irre- gularidades a los largo del Sondeo.

El equipo está constituido por la sonda detectora, escala in- tegradora, registrador gráfico y unidad de alimentación. La sonda está compuesta por un detector de centelleo con cristal de yoduro sódico, fotomultiplicador y preamplificador, dispuestos en el in- terior de una protección de acero inoxidable. Esta sonda va unida a un cable que, a la vez que trasmite el impulso al circuito inte-

grador, sirve para deslizarla a través de la perforación.

La escala integradora lleva un circuito de acople de impedancia amplificador, univibrador, secuencia catódica y circuito integrador.

El registrador gráfico lleva el amplificador y el circuito -

potenciométrico.

El mecanismo de descenso comprende el tambor de arrollamiento-

accionado por su correspondiente motor alimentado por un generador movido por conexión con la transmisión del camión sobre el

que va montado el equipo.

Para deducir datos dignos de crédito en estos estudios, deben compararse en cada sondeo el testigo y los resultados obtenidos por análisis de la radiación gamma de aquél. El estudio del testigo nos revela la potencia de las distintas capas atravesadas, así como las características litológicas, siendo posible generalizar en aquellos sondeos en que es pobre o no se puede llevar a cabo la recuperación del testigo. Igualmente es factible confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

nes estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

confeccionar mapas de isoradiactividad, establecer correlaciones estadísticas, contornos de estructuras, etc. Fig. 8.4. Si

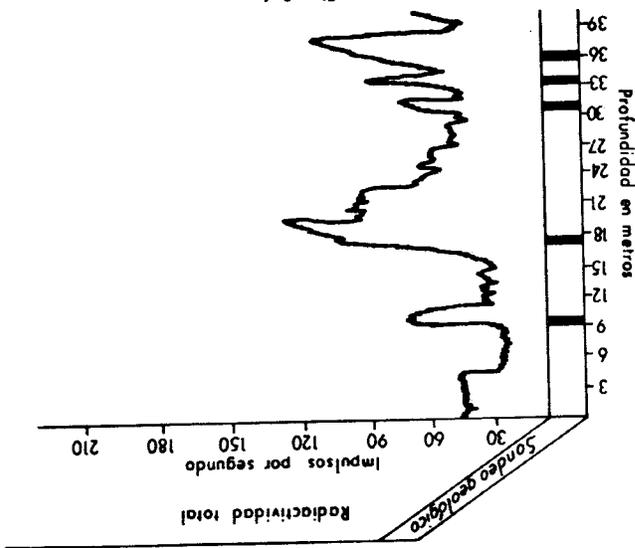


Fig. 8.4

(Fig. 8.5).

+ PB-208 = 100

cinde de él en

mas difícil de

admite la proce

204, PB-206, PB

Como sabemos

rio.

minerales de pl

gicos y deposit

desintegración

Desde las c

les no radiactiv

Método basado e

cas ya material

na longitud de

nes standar de

de obtener empl

Esta informac

su investigación

nocimiento de

cuando realiza

ción.
 de impedan
 y circuito in
 el circuito -
 arrollamien-
 o por un gene
 ión sobre el
 estudios, de--
 ltados obteni
 l estudio del
 pas atraves--
 ado posible ge
 se puede lle-
 es factible -
 r correlacio -
 Fig. 8.4. Si

cuando realizamos un sondeo, en una masa mineral, entramos en conocimiento de todas las indicaciones y contraste que resultan en su investigación, podemos situar rápidamente otro pozo enfrentado. Esta información, en tanto por ciento de U_3O_8 equivalente, se puede obtener empleando instrumentos calibrados, mediante perforaciones standar de sección circular de 0,9 metros de diámetro y de una longitud de 30, 60 y 90 centímetros. El relleno se hace con rocas ya materiales cuya ley en U_3O_8 es conocida.

Método basado en el contenido de plomo radiogénico en los minerales no radiactivos.

Desde las concentraciones de uranio y torio sus productos de desintegración pueden ser transportados a otros horizontes geológicos y depositarse en éstos plomo radiogénico; por ejemplo, en minerales de plomo o de otra clase que no contengan uranio o torio.

Como sabemos, el plomo se compone de cuatro isótopos, el Pb-204, Pb-206, Pb-207 y Pb-208, siendo el primero el único que no admite la procedencia radiogénica y, como por otra parte, es el más difícil de determinar en el espectrómetro de masas, se prescinde de él en estos estudios y se supone que $Pb-206 + Pb-207 + Pb-208 = 100$. Se puede, así, trabajar en un diagrama triangular (Fig. 8.5).

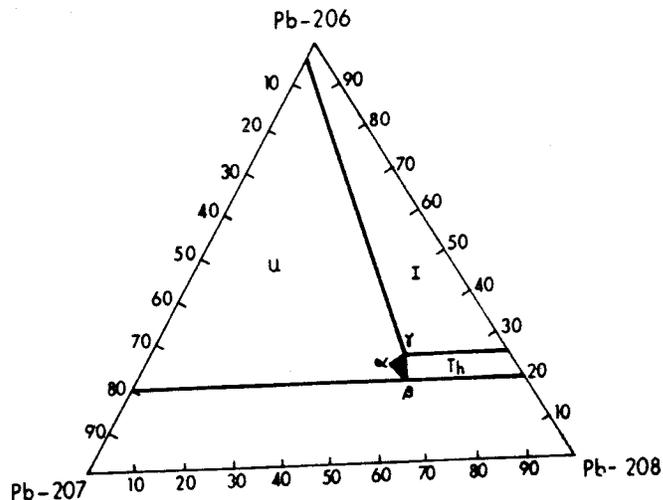


Fig. 8.5

Si representamos en dicho diagrama el análisis isotópico de plomo en minerales de este elemento, en criaderos no radiactivos, su distribución se hace según el área de color negro o a y.

Si pasamos ahora a los yacimientos de minerales radiactivos, las variaciones isotópicas del plomo en la galena y otros minerales les corresponde a puntos que, en gran parte, caen fuera del área anterior. Aunque el plomo en los minerales de uranio difiere en composición isotópica del de los minerales de plomo, no se han hallado diferencias sistemáticas entre los plomos de sus diferentes especies minerales de un mismo criadero. Es interesante considerar en los criaderos radiactivos el plomo de aquellos minerales pobres en este elemento que no presentan radiactividad, ya que, como en el caso de la pirita, parecen ser los indicadores más sensibles de pequeños enriquecimientos en plomo radiogénico.

Los análisis que caen dentro del área U, en la Fig. 8.5, corresponden a plomos procedentes de medios ricos en uranio o potres en torio y en plomo, o en ambos a la vez y sugieren la posibilidad de una provincia uranífera. El área Th se refiere a plomo originado a partir de materiales ricos, en torio o plomo, y potres, en uranio; por tanto, pueden corresponder a una provincia rica en torio. El área T es más problemática, pues sus plomos se hallan enriquecidos en Pb-206, Pb-208, y en menor grado, en Pb-207, y no implica necesariamente una concentración anormal de uranio o torio.

Fundamentos
ra la deter
propiedades
forman su s
clasificaci
Mineral
ranio o tor
Mineral
(uranio o to
Mineral
En lo q
tos para el
tos e indir
Métodos dir
Determina
los demás e
adecuado, p
isótopos na
zación o con
Fuerte abso
delgada cap

isotópico de -
no radiactivos,
o o a y.

s radiactivos,
y otros minera-
fuera del área
no difiere en -
o, no se han ha
sus diferentes
sante conside--
los minerales -
idad, ya que, co
dores más sensi
nico.

Fig.8.5, co -
uranio o po -
gieren la posi-
refiere a plomo
o plomo, y po -
una provincia -
sus plomos se
grado, en Pb-
ca anormal de -

CAPITULO IX

DIFERENTES METODOS DE ANALISIS

Análisis radiométrico de uranio en minerales

Fundamentos generales del método.- Los métodos radioquímicos para la determinación del uranio en minerales están fundados en las propiedades radiactivas de este elemento y de los productos que forman su serie, considerados aisladamente o como un conjunto. Una clasificación general nos lleva a considerar:

Minerales con un solo componente radiactivo en equilibrio (uranio o torio).

Minerales con varios componentes radiactivos en equilibrio (uranio o torio).

Minerales que no están en equilibrio.

En lo que sigue, nos limitaremos a glosar los métodos propuestos para el caso de minerales de uranio, clasificándolos en directos e indirectos.

Métodos directos.- Se fundamentan en las propiedades del uranio.

Determinación de la actividad alfa.- El uranio, separado de los demás elementos de su familia radiactiva por un procedimiento adecuado, puede determinarse midiendo la actividad de sus tres isótopos naturales (U-238, U-235 y U-234) con una cámara de ionización o con un contador de centelleo; sin embargo, debido a la fuerte absorción de las partículas alfa por la materia, sólo una delgada capa superficial de la muestra contribuye a la actividad

Medida de la radiación gamma. - Los contadores de centelleo han desplazado actualmente a los Geiger por su mayor sensibilidad para esta radiación. Su escasa absorción por la materia, que constituye la propia muestra, hace que ésta pueda ser de tamaño relativamente grande que, sin embargo, no puede ser excesivo; pues en cuanto la autoabsorción es apreciable, su corrección es difícil. La determinación analítica de uranio en un mineral, por medida de su radiación gamma global, es sencilla y de buenos resultados, siempre que dicho mineral estén en equilibrio. Cuando por no es--

absorción apreciable por parte de la materia que la constituye. frente para que pueda salir de una muestra de tamaño moderado sin posible, y por otra, la radiación ha de ser suficientemente penetrante, el detector ha de tener una eficacia elevada; de tal modo que el tiempo necesario para hacer la media sea siempre lo más corto necesario para hacer la media sea siempre lo más corto posible, y por otra, la radiación ha de ser suficientemente penetrante para que pueda salir de una muestra de tamaño moderado sin

La elección del tipo de radiación a medir debe realizarse de modo que se cumplan dos condiciones de tipo general. Por una parte, el detector ha de tener una eficacia elevada; de tal modo que el tiempo necesario para hacer la media sea siempre lo más corto posible, y por otra, la radiación ha de ser suficientemente penetrante para que pueda salir de una muestra de tamaño moderado sin

Métodos indirectos. - Comprender la determinación del contenido de uranio en una muestra efectuando la medida de las partículas y α radiaciones emitidas por el uranio y todos sus productos de desintegración. Se puede llegar al resultado deseado por los caminos siguientes: a) medida de la radiación gamma; b) medida de las partículas beta, y c) medida de las partículas alfa.

Propiedades del uranio-235. - Las propiedades fisiónables de este isótopo, presente siempre en la misma proporción en toda muestra de uranio natural, permiten un camino esencialmente distinto para la determinación directa. El método consiste en la irradiación de la muestra con flujo intenso de neutrones y en la medida de las actividades de fisión producidas, pero no permite su aplicación como método normal de trabajo por la dificultad de obtener el fuerte manantial neutrónico necesario.

Para serie del uranio. detectada, que por esta razón será muy baja a menos que la muestra sea muy rica. Por otra parte, es muy difícil evitar la contaminación por otros núclidos emisores de partículas alfa de la propia serie del uranio.

menos que la mues--
til evitar la conta--
culas alfa de la pro
les fisionables de -
porción en toda -
esencialmente dis--
consiste en la -
e neutrones y en la
s, pero no permite -
or la dificultad de
ric.

ific del contenido de
Las partículas y ra
productos de desinte
por los caminos si
medida de las partí

debe realizarse de
neral. Por una par
da; de tal modo que
siempre lo más corto
eficientemente pene
tamaño moderado sin
que la constituye.

res de centelleo -
a mayor sensibilidad
la materia, que cons
per de tamaño rela
excesivo; pues en
rección es difícil.
neral, por medida de
unos resultados, -
Cuando por no es--

tarlo haya defecto de Bi-214 (RaC), el emisor de radiación más -
penetrante, los resultados serán erróneos.

Medida de las partículas beta.- Los detectores usados para la
medida de las partículas beta tienen una eficacia muy elevada. Por
otra parte, aun cuando su autoabsorción por la muestra es mayor -
que la de la radiación gamma, es lo suficientemente pequeña para
permitir emplear tamaños de muestras de cómodo y fácil manejo. Di-
cha autoabsorción supone un error que debe ser corregido, pero -
por la naturaleza sencilla de los fenómenos que la producen, su -
cálculo es más exacto que en el caso de una corrección análoga pa
ra la autoabsorción de la radiación gamma. Su aplicación analítica
da buenos resultados, siempre que el mineral esté en equili- -
brio.

Medida de las partículas alfa.- Las cámaras de ionización y -
los contadores de centelleo tienen una eficacia prácticamente del
100 por 100 para la medida de partículas alfa; pero la autoabsor-
ción en la muestra es muy considerable debido a que su recorrido
en el seno del mineral es muchas veces del orden del tamaño del -
grano de una muestra finamente pulverizada. En este caso, la co-
rrección de la autoabsorción es extremadamente difícil, pues re-
quiere un reconocimiento exacto de la distribución de los granos
radiactivos entre los que constituyen la ganga inactiva y, ade- -
más, el empleo de muestras muy pequeñas, que difícilmente son re-
presentativas de la masa total de mineral.

Independientemente de los inconvenientes citados, la validez
de esta medida como método analítico es muy escasa, debido a que
la difusión del radón en las capas superficiales de la muestra -
produce una disminución de su actividad alfa y de sus productos -
de desintegración.

Todas estas consideraciones inducen a utilizar como método -
normal de trabajo la medida de la radiactividad beta, con una pe-
queña fracción de radiación gamma mediante un tubo Geiger o un de
tector de centelleo. El método no requiere ningún tratamiento pre
vio de la muestra, salvo su pulverización y homogeneización mecá-
nica, lo cual no altera en absoluto su naturaleza química; por -

Considerando la curva típica para la absorción de las partículas en la ventana del contador, se ve hasta que límite y con que serie.

Sin embargo, es conveniente emplear para este fin, exclusivamente, la medida de las partículas beta y la fracción detectable en las condiciones de medida de la radiación gamma emitida por la muestra, pues el conteo de las partículas alfa requiere montar especialmente aquella a causa de la fuerte absorción de dichas partículas, que le hace inaplicable para un trabajo rápido y en serie.

Cualquier método que nos sirva para el conteo de partículas alfa y beta, o radiación gamma, podrá ser aplicable a la determinación de uranio en minerales en estas condiciones.

Los minerales que están en equilibrio emitidas. Al mismo tiempo esta radiación será la misma para todos y el número de partículas alfa y beta o radiación gamma por el tante, existe una relación definida entre su contenido en uranio y el número de partículas alfa y beta o radiación gamma por el establecimiento que en un mineral en equilibrio, en el cual la velocidad de desintegración para todos los términos de la serie es constante, existe una relación definida entre su contenido en uranio y el número de partículas alfa y beta o radiación gamma por el

Consideraciones teóricas. - Examinando la serie del uranio podemos establecer que en un mineral en equilibrio, en el cual la velocidad de desintegración para todos los términos de la serie es constante, existe una relación definida entre su contenido en uranio y el número de partículas alfa y beta o radiación gamma por el

Aplicaciones generales del método. - La determinación del contenido de uranio, en una muestra radiactiva, por comparación de las actividades de la muestra y un patrón en el estado adecuado de equilibrio, hace a este método aplicable a cualquier tipo de mineral, aun cuando por su edad geológica no hayan alcanzado el equilibrio radiactivo e incluso a muestras no minerales, sino procedentes de algún tratamiento químico.

en el estado de equilibrio de la muestra, problema y el patrón. en un gran número de casos los errores producidos por diferencia con patrones de analogo origen geológico, con lo cual se eliminan de la muestra se determina por comparación de la radiactividad - ría cualquier corrección en este sentido. El contenido en uranio absorción apreciable de las partículas beta, lo que hace innecesario, al extenderla en los soportes adecuados, no produce ninguna otra parte, se emplea un peso de muestra tal que el espesor obtenido, al extenderla en los soportes adecuados, no produce ninguna absorción apreciable de las partículas beta, lo que hace innecesaria cualquier corrección en este sentido. El contenido en uranio de la muestra se determina por comparación de la radiactividad con patrones de analogo origen geológico, con lo cual se eliminan de la muestra se determina por comparación de la radiactividad en el estado de equilibrio de la muestra, problema y el patrón.

Hay que disti

La geomet

casas.

La ionización

de la

La absorc

del método.

rendimiento s

se pueden ded

en la cual la

miento de con

das que este

Consideración

gias.

eficacia se p

eficacia se pueden contar las partículas beta de distintas energías.

Consideraciones sobre el equipo de medida en relación con las medidas que efectúa. - Partiendo de la función que nos da el rendimiento de contaje

$$Y = f(G, A, S, B, E)$$

en la cual las letras representan los conceptos siguientes:

- G = Geometría
- A = Absorción
- B = Rebote
- S = Autoabsorción
- E = Ionización específica

se pueden deducir las condiciones que debemos adoptar para que el rendimiento sea máximo y, por lo tanto, mínimo el límite inferior del método.

La absorción A, por los medios exteriores a la muestra; el rebote B, de las partículas emitidas con la muestra y su soporte, y la ionización específica E, son constantes y no pueden ser modificadas.

La geometría G depende del diámetro de la ventana del detector y del de la muestra, así como de la distancia entre ésta y aquél (Fig.9.1)

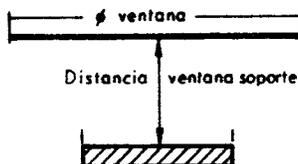


Fig. 9.1

Hay que distinguir entre la geometría teórica y la práctica.

puntual viene -

$$\frac{R}{1 + r^2}]; \text{ o bien}$$

radio de la ven
tancia a la mues
puntual emite se
pero no todas -
traviesan la -
lo una fracción
mente las com-
del casquete es
por la ventana.
iguiente:

la autoabsor--
etc., influen-
cia (desprecia-
ana las partí-
limitado por aqué
de la cápsula -
tiendo de direc-
o a este fenóme-
rior al real. -
mentos. Al = 10

estudios con
tra, tal que co-
valente al espe-
le partículas be-

ta. Con este espesor se asegura que cualquiera de estas partícu-
las, aun de la capa más profunda de la muestra considerada, puede
llegar a ser detectada.

Este espesor ha sido establecido realizando medidas de activi-
dad con espesores crecientes y estudiando su variación en función
del mismo, separando mediante análisis gráfico la contribución de-
bida a las partículas beta y a las alfa. Se han verificado medi-
das con minerales de distinta concentración en U_3O_8 . El espesor -
adoptado como standard es $40,89 \text{ mg./cm}^2$, que corresponde a $0,2 \text{ gr}$
repartidos en un soporte de 25 mm. de diámetro.

Límites de aplicación.- Además de las condiciones anteriores que
vienen impuestas principalmente por la naturaleza y energía de la
radiación y del detector, es preciso satisfacer otras que se re-
fieren a la concentración del uranio y que fijan los límites supe-
rior e inferior entre los que puede determinarse esta concentra-
ción con un grado de precisión suficientemente bueno.

Límite inferior.- La actividad de una muestra V_m es siempre igual
a la diferencia entre la actividad que presenta al efectuar la me-
dida V_a y la debida al fondo V_f en idénticas condiciones

$$V_m = V_a - V_f$$

El límite inferior viene fijado por la precisión con que se -
pueden conocer la velocidad del contaje, del fondo y de la mues-
tra, las cuales por tratarse de la medida de un fenómeno estadís-
tico requieren períodos de observación tanto más largos cuanto me-
nos sean dichas actividades.

Límite superior.- Para muestras de alto contenido en uranio, en -
las cuales la velocidad de contajes es más grande, por una parte,
la velocidad de contaje del fondo tiene una influencia muy peque-
ña y menor la de su precisión estadística, y por otra, debido a -
la alta velocidad se pueden obtener, en tiempos razonables núme-
ros con la precisión estadística deseada. Sin embargo, hay una -

tor. - Puede ser un tubo Geiger-Müller o un contador de centelleo que va situado en el interior de una cámara de plomo con objeto de reducir la radiación exterior. La ventana del tubo se sitúa encima de la muestra que va colocada en unos soportes adecuados.

Escala. - Registra en un dispositivo electrónico, normalmente de base 1.000, seguida de un registro electromecánico, los impulsos procedentes del detector. Dotada de circuitos amplificador y divisor de escala, suele llevar en muchos modelos fuente de alta tensión, así como selector de tiempos e impulsos para prefijar unos u otros cesando de contar la escala cuando ha transcurrido un tiempo determinado o se han alcanzado un cierto número de impulsos.

Fuente de alta tensión. - Proporciona la tensión necesaria para el detector que estará estabilizada y será regulable de una manera continua entre 200 y 3.000 voltios.

Selector de amplitud. - Selecciona los impulsos según su energía

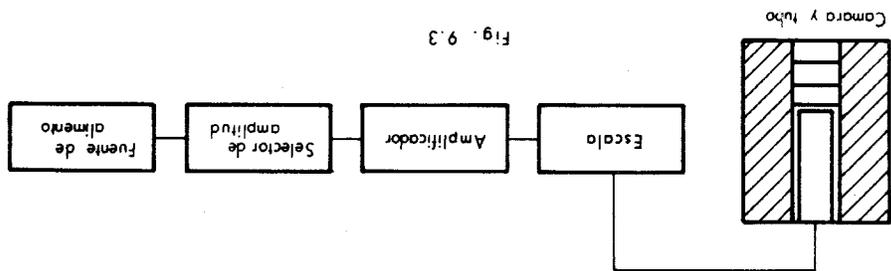


Fig. 9.3

Partes que integran el equipo detector (Fig. 9.3). - Tubo detec-

tor. en donde $V_m = n^\circ$ de cuentas leídas, y $t =$ tiempo muerto del con-

$$V_m = \frac{V_m}{1 - V_m \cdot t}$$

que puede expresarse mediante la fórmula

tubo contador, existe una pérdida de impulsos por coincidencia - parte negativa, y es que en razón a ser muy elevada dicha veloci-

314

Unidad de amplificación. - Amplifica los impulsos hasta el nivel conveniente. Normalmente consta de varias etapas.

Cambiador automático de muestras. - Mediante este equipo y el detector automáticamente se puede conseguir la medida de una muestra en una escala de 50 muestras.

El cambiador automático coloca la muestra debajo del tubo detector; una vez conseguido esto, la escala queda en disposición de medir los impulsos que le envía el detector, la cual totaliza el número de los prefijados, en cuyo momento la escala se para y el cambiador automático procede a continuación a retirar la muestra. Mientras sucede esto, el registro impresor de tiempos inscribe el que ha tardado la muestra en registrar el número de impulsos previamente fijado juntamente con el número de orden que corresponde a aquélla. A continuación el cambiador automático envía una señal eléctrica que pone a cero los dispositivos de medida, a la vez que introduce otra nueva muestra.

Parte experimental. - La muestra debe estar seca y finamente pulverizada y homogeneizada.

En soportes standard se pesan 0,2 gramos de la misma y se extienden con una espátula uniformemente. Estos soportes se colocan en la posición prefijada, que corresponde a la geometría con que se trabaja, debajo del tubo contador y se realiza la medida durante el tiempo que sea necesario para alcanzar la precisión deseada.

Por lo que se refiere a los patrones, se preparan por dilución en una sustancia inerte y no radiactiva (arena cuacítica mojada). Se utilizan minerales de uranio del tipo de los que se han de analizar, y de los cuales se tiene la certeza de que están en equilibrio mediante la determinación de su contenido en radio por el método de la emanación.

Estos patrones se normalizan determinando repetidas veces y por varios métodos químicos su contenido en uranio. Su montaje y empaque es igual al de las muestras.

Fondo.- Su contaje se lleva a cabo sobre soportes limpios y vacíos, iguales a los utilizados para el montaje de las muestras y patrones, siendo el tiempo el necesario para alcanzar la precisión estadística requerida.

Cálculos.- 1º Corrección de la pérdida por coincidencia, según la fórmula indicada anteriormente. 2º Corrección por la radiación de fondo. La velocidad de contaje expresada en impulsos por minuto, debida al fondo, se resta de la obtenida al medir la muestra.

(C.P.M.) muestra - (C.P.M.) Fondo = velocidad real de contaje de la muestra.

Esta misma corrección se aplica a los patrones.

La determinación del contenido de uranio equivalente expresado en tanto por ciento de U_{308} , suponiendo que la muestra está en equilibrio radiactivo y que la radiactividad es sólo debida al uranio, viene dado por la fórmula

$$\% U_{308} = \frac{C \cdot V_m}{C_p \cdot V_p}$$

en la que V_m es la velocidad real de contaje corregida de la muestra; V_p el mismo concepto referido al patrón, y C_p , el tanto por ciento de U_{308} de este último.

Si se sospecha que el mineral que se analiza no está en equilibrio radiactivo, es preciso tomar patrones del mismo y analizarlos previamente por uranio, por vía química.

Análisis fluorimétrico. - Constituye un método rápido que se emplea muy frecuentemente para muestra de bajo contenido en uranio. En esencia, el método fluorimétrico consiste en fundir una parte alícuota de la disolución uranífera con fluoruro de sodio en un disco de oro o platino; el residuo resultante se irradia con luz ultravioleta de longitud de onda conveniente y acto seguido se mide de la fluorescencia emitida en un fluorímetro.

Con el fin de eliminar las interferencias que impiden la fluo-

rescencia como es la
Los métodos
les: trata
El pro
to de fusión
después de
parar del
En el
teriales en
solificaci
tón.
La fusión
carbonatos
fluoruro de
que se funde
ventaja de
tensidad de
separar de
un recipiente
ma de oper
fluorimétrico
los primerc
con carbona
la existen
mente a par
control de
perla. Igual
por interfe
cencia más
En el m
de platino,
ximadamente
todos, por
mite hacer

portos limpios y
de las muestras
alcanzar la preci-

coincidencia, se--
cción por la radia
da en impulsos por
da al medir la mues

dad real de contaje

ones.

quivalente expresa-
la muestra está en
s sólo debida al -

corregida de la mues
y C_p , el tanto por

za no está en equi-
el mismo y analizar

rápido que se em- -
contenido en uranio.
a fundir una parte
ro de sodio en un -
se irradia con luz
acto seguido se mi

que impiden la fluo

rescencia del uranio, se emplea un proceso de purificación previo como es la extracción con disolventes orgánicos.

Los métodos utilizados se incluyen en dos categorías principales: tratamiento con carbonato y tratamiento con fluoruros.

El procedimiento del carbonato se caracteriza por el bajo punto de fusión (aproximadamente 600°) de los materiales, los cuales, después de verificarse ésta y de la solidificación, se pueden separar del disco en un solo botón.

En el método del fluoruro, la temperatura de fusión de los materiales es elevada (cerca de 1.000°), y por ello después de la solidificación no se pueden separar del disco sin fracturar el botón.

La fusión típica con carbonatos se realiza con una mezcla de carbonatos de potasio y sodio que contiene del 1 al 10 por 100 de fluoruro de sodio en cantidad comprendida entre dos y tres gramos que se funden en discos de oro y platino. Este método tiene la ventaja de que estos discos no interfieren en la medida de la intensidad de fluorescencia del botón. Todas las perlas se pueden separar del disco de fusión, siendo determinadas su intensidad en un recipiente que refleja un mínimo de luz ultravioleta. Esta forma de operar tiene además la ventaja de que se puede utilizar con fluorímetros de reflexión o de transmisión. Desgraciadamente, en los primeros la fluorescencia del uranio es más baja en la fusión con carbonatos que en la fusión con fluoruros, y también en aquella existen variaciones entre las muestras que se preparan diariamente a partir de los mismos lotes de reactivos, requiriéndose un control de la humedad en razón a la naturaleza higroscópica de la perla. Igualmente se advierte en la fusión con carbonatos una mayor interferencia de las impurezas y una supresión de la fluorescencia más pronunciada que en la fusión con fluoruros.

En el método de fluoruro cuando la fusión se realiza en disco de platino, la cantidad de fluoruro sódico que se emplea es, aproximadamente, de 0,4 gramos. Es más sensible que los restantes métodos, por resaltar al máximo la fluorescencia del uranio y permite hacer más análisis diarios que cuando se utiliza la fusión -

con carbonatos, debido al menor tamaño de las bolitas en el caso del fluoruro, que permite manejar veinte a la vez. En el proceso del carbonato no se pasa de cuatro a seis. La principal limitación en el caso del fluoruro sódico es la necesidad de un control cuidadoso de la temperatura y de la atmósfera durante la fusión, con el fin de operar en condiciones analíticas comparables. Otro inconveniente importante es la influencia del disco de fusión en la medida de la fluorescencia. Como la perla no se separa fácilmente de dicho disco, la fluorescencia de cada una de aquellas debe medirse en éste, cuya reflectividad afecta la cantidad de luz que recibe el detector y que varía de un disco a otro. La causa principal de esta variación radica en la formación de unas manchas pardas en dichos discos, probablemente debidas a la reacción a alta temperatura entre el material de ensayo, el disco y la atmósfera. Para disminuir las diferencias de reflectividad es necesario, después de cada ensayo, limpiar y a veces pulir cada disco mediante un proceso largo y complicado.

Posteriormente se ha desarrollado un procedimiento que aunamente se añade una pequeña cantidad de fluoruro de litio. Aunque algunos que contienen litio atacan los discos de platino, este ataque probablemente tiene lugar sólo cuando se emplean cantidades elevadas de aquel elemento, pero no se ha observado con proporciones menores que pueden alcanzar incluso al 10 por 100 de fluoruro de litio. Se ha comprobado en los análisis con el fluorímetro de Galván-Morrison que una adición de fluoruro de litio comprendida entre el 1 y el 3 por 100 proporciona los resultados óptimos. Con cantidades inferiores al 1 por 100 de fluoruro de litio la perla se para con dificultad del disco, y con concentraciones superiores al 3 por 100 la fluorescencia por unidad de peso de uranio es menor. De acuerdo con lo expuesto, se ha convenido que la composición más favorable es 98 por 100 de fluoruro de sodio y 2 por 100 de fluoruro de litio. La temperatura más adecuada de fusión oscila entre 850 y 900° C. La perla resultante se separa con facilidad.

cada del anali
mo recibie
a otra.
En el
lido sobre
rescencia.
es la de a
tando la s
adicional
ciónar una
zada para
tante.
Como e
que se lie
lo que se
ficiente
meses se
tino.
Recie
són dism
ra y a la
vitables
Analisis
en fenóme
tas.
Un es
ta en la

itas en el caso
En el proceso
principal limita-
ad de un control
ante la fusión,
parables. Otro
co de fusión en
e separa fácil-
de aquéllas de
cantidad de luz
otro. La causa -
de unas man- -
as a la reacción
disco y la at-
ividad es nece-
alir cada disco

ento que auna -
gungo de los in-
sodio al que -
Aunque algunos
los materiales
este ataque pro-
idades elevadas
porciones meno-
fluoruro de li-
ímetro de Galva
comprendida en-
óptimos. Con -
litio la perla
iones superio-
sc de uranio es
que la composi-
dic y 2 por 100
de fusión osci-
ra con faciliti-

dad del disco, siendo medida la reactividad de aquélla en el mismo recipiente, con lo que se elimina su variación de una muestra a otra.

En el fluorímetro va dispuesto un receptáculo de aluminio pulido sobre el que se coloca la perla durante las medidas de fluorescencia. Este receptáculo desempeña dos funciones. La primera es la de actuar como reflector de la radiación inducida, incrementando la sensibilidad del método analítico por la fluorescencia adicional reflejada en el detector, y la segunda es la de proporcionar una reflexión fija y uniforme de la luz ultravioleta utilizada para producir la fluorescencia del uranio con un fondo constante.

Como en este método no interviene en las medidas el disco en que se lleva a cabo la fusión, el control riguroso de aquél, por lo que se refiere a limpieza y pulido, queda eliminado, siendo suficiente un lavado con agua. Únicamente transcurridos dos o tres meses se pulen los discos con el fin de prolongar la vida del platino.

Recientemente el empleo de quemadores automáticos para la fusión disminuye al máximo las fluctuaciones debidas a la temperatura y a la atmósfera y hace posible minimizar las variaciones inevitables de un experimento a otro.

Análisis polarográfico.- El método polarográfico está basado en un fenómeno de polarización que tiene lugar en un electrodo de gotas.

Un esquema sencillo de un circuito polarográfico se representa en la Fig. 9.4

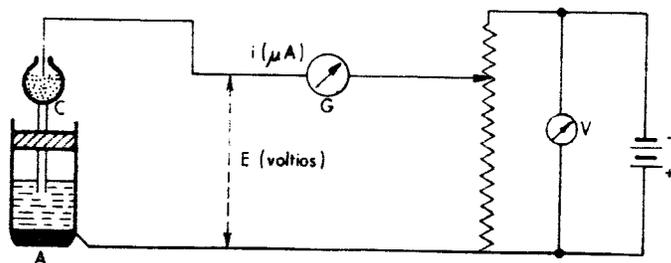


Fig. 9.4

La corriente residual (i_r) es pequeña e indica, por lo tanto, que el cátodo está completamente polarizado. La reducción de Cd^{+2} sobre la superficie del Hg. comienza con el potencial b.

- a - b corriente residual
- b - d " ascendente
- d - f " difusora

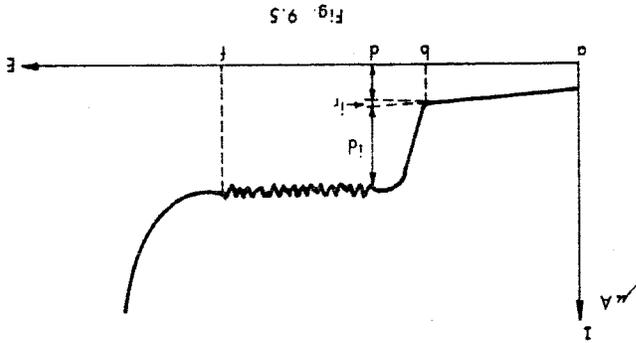


Fig. 9.5

Si a una solución 1 m C de Cd^{+2} en 0,1 C de KCl, la electrodeamos, obtenemos una curva del tipo I-E. Esta curva se divide en tres partes (Fig.9.5)

En la práctica, las únicas variables serán C e i_r ; por lo tanto, midiendo una de ellas, i_r , tendremos la concentración en moles del elemento que deseamos conocer.

En donde m es el peso del flujo de mercurio del capilar/seg.; n y F están expresados en coulombios; D, en $cm^2/seg.$; C, moles/cc. y t, en segundos.

$$i_r = 0,732 n F D^{1/2} C m^{2/3} t^{1/6} \text{ microamperios}$$

Un voltaje E es aplicado a través de un cátodo C de gotas de mercurio y un ánodo A no polarizable. Este voltaje puede ser variado cambiando la posición por deslizamiento del contacto B. La corriente I, que pasa a través del galvanómetro G, dependerá del voltaje aplicado y de la composición de la solución (ecuación de Ilkovic):

Aplicaciones generales - Voltaje, no sólo para la determinación de sustancias las sustancias a reducir, obtenemos la reducción. En los casos de sustancias como a seis sustancias

El potencial

ejemplo de ellas

Las determinan

Esta reacción

K⁺ ion potasio.

A potencial

Hg, por lo que

Cd^{+2} de la solución

Y no incrementa

ma de d no puede

Por consiguen

El resultado

los iones Cd^{+2}

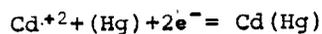
do a la natural

un valor consta

se eleva escalo

Cuando el p

dando una amalg



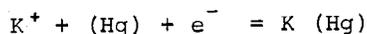
dando una amalgama de cadmio.

Cuando el potencial llega al valor b, entonces la corriente se eleva escalonadamente. La curva de corriente-voltaje tiende a un valor constante, previsto en condiciones ideales. Esto es debido a la naturaleza de la corriente originada por la descarga de los iones Cd^{+2} en la superficie de las gotas de mercurio.

El resultado de esta descarga es que la concentración de los iones Cd^{+2} disminuye en la superficie de Hg, dando lugar a un transporte de aquéllos a dicha superficie por difusión. Cuando el potencial sigue aumentando, la concentración de Cd^{+2} en la superficie se reduce casi a cero (d).

Por consiguiente, un aumento posterior del potencial por encima de d no puede originar ninguna disminución en la concentración y no incrementa la diferencia entre la concentración de iones Cd^{+2} de la solución y la que está más próxima a la superficie de Hg, por lo que no hay transporte de iones.

A potenciales más negativos que f comienza la reducción del ión potasio.



Esta reacción produce otro aumento en la corriente.

Las determinaciones generalmente no se realizan sin que haya una sustancia que actúe de soporte electrolítico. El ClK es un ejemplo de ellas.

El potencial C, donde $i - i_r = i_d/2$, se denomina potencial de onda media o semionda E 1/2.

Aplicaciones generales del método.- Mediante las curvas corriente-voltaje, no sólo es posible la identificación, sino también la determinación simultánea de las concentraciones de algunas o todas las sustancias reducibles u oxidables que estén presentes; es decir, obtenemos un análisis cualitativo y cuantitativo de la solución. En los casos más favorables, pueden identificarse de cinco a seis sustancias conjuntamente cuyas concentraciones varían -

El pequeño volumen de solución requerido para su análisis, - pues en algunos casos basta una fracción de cc., hace de la polarografía una de las técnicas más sensibles. Por este método se pueden determinar la mayoría de los elementos y una gran variedad de sustancias orgánicas. También puede aplicarse a soluciones en disolventes no acuosos y aun a sales fundidas.

Análisis polarográfico de uranio en un mineral, previa separación y eliminación de interferencias por extracción con acetato de etilo y resinas. - El ácido ascórbico forma un complejo con las sales de uranio, fácilmente reducible aun en presencia de otros iones. Esto indujo a Susic y a sus colaboradores a realizar un estudio completo de este tipo de complejo para su aplicación como solución soporte en una valoración polarográfica.

Este investigador llegó a la conclusión de que era posible reducir el complejo uranio-ascórbico en el electrodo de gotas, siéndole necesaria la selección de un pH adecuado, con el fin de separar las ondas correspondientes a otros elementos que puedan interferir (Pb, Tl). El pH satisfactorio está comprendido entre 3,5 y 4; la concentración de la solución soporte es de 0,5 M. Este método es aplicable para minerales cuya concentración de uranio sea del orden del 0,1 por 100.

Las interferencias que influyen en este tipo de valoración son debidas más bien a aniones tales como nitratos, fosfatos, etcétera, que a cationes, ya que únicamente interfiere el telurio, y en nuestros minerales no se presenta. Mediante el empleo de resinas cambiadoras del tipo Amberlita IR - 120, se fijan los cationes en la columna. Posteriormente, por elución, recuperamos los cationes habiendo, por lo tanto, eliminado las interferencias.

Otro procedimiento de suprimir estas últimas es la extracción con acetato de etilo, previa mejora del coeficiente de distribución mediante la adición de nitrato de aluminio; de esta forma logramos separar el uranio y el hierro de los demás componentes del mineral.

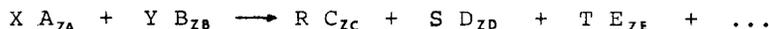
En una
fiere y da
no añade m
El pote
Análisis po
tricas son
o de equiva
ser sustitua
de medida p
método, exp
Sea la
X Az
mediante la
xistentes en
da de iones
vas sustanc
solvente no
su disociaci
+ OH⁻ = H²O)
por la unión
tipo o un pr
+ Cl⁻ = Ag
tos de oxida
v. g., en la
Bz a Dz^o - Vol^o
Sn⁺⁺ +
Si en el
un electrodo
ción, que en
la de Nernst
A medida
potencial has
Para este

En una determinación volumétrica de uranio, el hierro interfiere y da lugar a resultados altos; en cambio, en nuestro caso no añade ninguna dificultad.

El potencial de onda media es -0,24 voltios.

Análisis potenciométrico. Las valoraciones analíticas potenciométricas son volumetrías que emplean como indicador del punto final o de equivalencia el salto del potencial electrodo-disolución al ser sustituidos los iones que se valoran por los de la solución de medida que se va vertiendo desde la bureta. El fundamento del método, expuesto con carácter general es el siguiente:

Sea la reacción base de una valoración volumétrica



mediante la cual se puede medir la concentración de iones A_{ZA} existentes en la solución problema, empleando una solución valorada de iones B_{ZB} . Como consecuencia de la reacción, se forman nuevas sustancias C, D, E, etc., algunas de las cuales pueden ser disueltas en el solvente no disociado si A_{ZA} y B_{ZB} son los iones resultantes de su disociación -volumetrías de neutralización- (ejemplo: $H^+ + OH^- = H_2O$); pueden ser productos no ionizados o insolubles si por la unión de los iones A_{ZA} y B_{ZB} se forma un compuesto de este tipo o un precipitado -volumetrías de precipitación- ejemplo: $Ag^+ + Cl^- = AgCl$); o pueden ser nuevos iones C_{ZC} , D_{ZD} grados distintos de oxidación de A_{ZA} y B_{ZB} , porque la reacción ha consistido, v. g., en la reducción de A_{ZA} a C_{ZC} , simultánea a la oxidación de B_{ZB} a D_{ZD} -volumetría de oxidación-reducción-; ejemplo:



Si en el vaso que contiene la solución problema se introduce un electrodo apropiado aparecerá un potencial electrodo-disolución, que en los dos primeros casos alcanza el valor de la fórmula de Nernst.

A medida que se vierte la solución reactiva, va variando el potencial hasta alcanzar el punto de equivalencia.

Para este tipo de valoraciones es muy importante la elección

indicador. Para las neu-
piado el electrodo de -
esita que el electrodo
valorar Cl con AgNO₃
de la pila se mide
empleo de los moder--
ifican la técnica opera

encia fueron introduci
consisten en registrar
riación del cociente de
agregar Δ v ml de solu-
al añadido. En ésta grá
ponde al punto de equi-

enciometrías tienen ma
s ordinarias a base de
erar en los casos en -
de sensibilidad, por -
creados o porque los -
-
cayos potenciales re-
eterminarse conjuntamen

te.

Análisis potenciométrico de uranio, titanio y hierro en una bran-
nerita.- Los constituyentes del mineral brannerita que ofrecen -
más interés desde el punto de vista analítico son: uranio, hierro
y titanio.

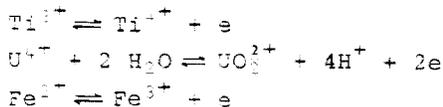
Las valoraciones de estos elementos como volumetrías ordina--
rias o como potenciometrías, previa reducción de su forma más oxi-
dada, han sido objeto de estudio por parte de numerosos investiga-
dores, empleando oxidantes como soluciones reactivas.

Sin embargo, la mayoría de los trabajos se refieren principal-
mente a uno o dos elementos analizados conjuntamente. Teniendo a
la vista los valores de los potenciales de oxidación: Ti - 0,04
volts., U + 0,41 v, Fe + 0,76 v., éstos pueden determinarse suce-
sivamente en la misma muestra, previa reducción en columna de cad-
mio metálico.

Esta valoración debe hacerse en atmósfera de nitrógeno para -
evitar la oxidación por contacto del aire, sobre todo del titanio
que se oxida más fácilmente.

Dado que tiene una gran influencia en el salto de potencial -
el ácido libre se ha hallado que la concentración más satisfacto-
ria es la de 0,5 N.

Las reacciones que tienen lugar durante la valoración poten-
ciométrica de los citados elementos con MnO₂K son:



VOLUMETRIA

Se reduce en principio el U (VI) a U (IV) y se titra a conti-
nuación el U (IV) por oxidación (oxidimetría).

Solución a titular.- Se efectúa la titración de una solución -
de uranio llamada "sintética", es decir, preparada a partir de -
una sal de uranio puro; por ejemplo, el nitrato de uranio, pro--

b) Por permanganato N/10. - Se puede titular sin utilizar el indicador. Entonces se leen el número de ml. añadidos, que nos da la concentración de uranio por medio de la relación anterior.

El uso de la relación anterior para observar mejor el fin de la reacción titrante gota a gota para observar mejor el fin de la reacción titrante dicho color. Hacia el final es conveniente verter la solución de cada adición de solución oxidante desaparece cada vez más lentamente del violeta, y corresponde a la oxidación del indicador. Después de bicromato. La transformación que se verifica es a partir de SO_4H_2 concentrado, PO_4H_3 concentrado, y, finalmente, 5 gotas de indicador (difenilamina sulfonada), titrando con una solución cataliza la oxidación del indicador. Acto seguido se añaden



hierro férrico. La relación
 Titrado. - Se añade a la solución reducida contenida en el vaso, -

1 ml. de oxidante N/10 \rightarrow 11,91 mg. de U

se tiene

Calculando la equivalencia en uranio de la solución oxidante



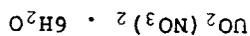
lución se pueden representar de la manera siguiente:
 a) Por bicromato N/10. - Las propiedades oxidantes de esta so-

II. - OXIDACION

- La volumetría se realiza por tres métodos:
- a) Método del bicromato.
 - b) Método del permanganato.
 - c) Método del ácido sulfatocérrico.

Fe, Pb, Al, etc.

mos incluyen a parte del ión principal U, impurezas tales como -
 obtenidas a partir del ataque de minerales de uranio. Estos diti-
 El término "sintético" se da para diferenciar las soluciones



ducto cristalizado de fórmula

dicador anterior; el final de la reacción viene determinado por la coloración rosa de la solución titulada. Si se emplea el indicador hay que añadirlo cuando esté próximo a finalizar el titrado, a causa de su oxidación irreversible cuando se utilizan oxidantes enérgicos tales como MnO_4^- .

c) Por ácido sulfatocérico.- El paso de U (VI) a U (IV) tiene lugar en un reductor de plomo en disolución clorhídrica. Se utiliza ferroína como indicador y se titra mediante ácido sulfatocérico en presencia de pequeñas concentraciones de sulfato férrico o ácido fosfórico.

ANALISIS ESPECTROFOTOMETRICO

Espectrofotometría es un vocablo de uso universal empleado para dar nombre al proceso de medida relativa de la energía o flujo radiante en función de la longitud de onda. En sentido restrictivo debería usarse para medidas hechas visualmente, pero en la actualidad la palabra se aplica también a los métodos fotoeléctricos en las regiones ultravioleta, visible e infrarrojo del espectro.

La espectrofotometría está basada en la medida de la absorción de la luz cuando ésta pasa a través de una solución coloreada.

Tal solución muestra diferentes absorciones al variar la longitud de onda de la luz incidente.

Se emplea luz correspondiente a una banda muy estrecha de longitud de onda (idealmente una "única longitud de onda") y la fracción de luz incidente transmitida por la solución se mide con una célula fotoeléctrica.

El uso combinado de luz monocromática y célula fotoeléctrica ofrece indudables ventajas sobre los métodos que emplean luz blanca ordinaria e inspección visual. La sensibilidad aumenta midiendo la absorción de una solución a la longitud de onda de mínima transmisión. Con célula fotoeléctrica pueden hacerse medidas en la región del ultravioleta o infrarrojo. Es posible, trabajando a

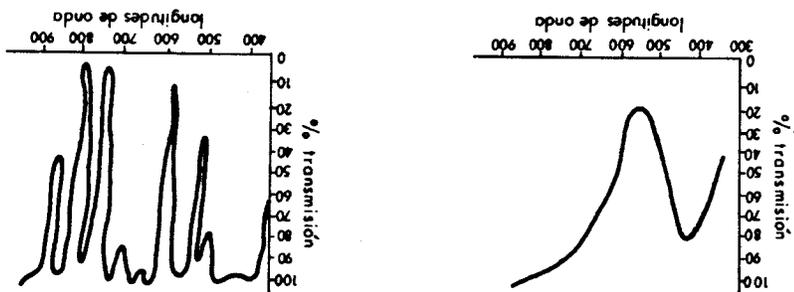
I_0 = Intensidad de la luz incidente.
 I = Intensidad de la luz transmitida.
 K = Constante extinción específica) que depende del -
 disolvente, de la temperatura y de la longitud de
 onda de la luz.

en la cual:

$$\frac{I_0}{I} = 10^{-Kcl}$$

te:
 La ley de Lambert-Beer, cuya expresión matemática es la siguiente--
 coloreada y del espesor de la solución atravesada, viene dada por
 La relación entre la intensidad de la luz monocromática inci-
 dente y transmitida en función de la concentración de la sustancia
 luz absorbida, obtenemos la llamada curva de absorción (Fig. 9.7).
 Cuando en ordenadas, en vez de la luz transmitida, se toma el % de
 dos máximos o mínimos, pero que a veces puede ser más compleja.

Fig. 9.7



Las longitudes de onda adecuadas, evitar o disminuir el efecto de sus-
 tancias coloreadas extrañas.
 Repetimos que la precisión que se obtiene con células fotoe-
 léctricas supera con mucho a la inspección visual y, finalmente,
 las determinaciones son mucho más rápidas y menos fatigosas.
 Tomando en ordenadas el % de luz transmitidas y en abscisas -
 las longitudes de onda de la luz incidente se obtiene una curva -
 de transmisión (Fig. 9.7) que la mayoría de las veces presenta uno
 o dos máximos o mínimos, pero que a veces puede ser más compleja.

El log. I de la solución de la sustancia
 extinción (cc) una línea rec-
 Esta línea
 bida al disol-
 tuar la medida
 nida en una c-
 rayo de luz I
 (Fig. 9.8). S
 misión de la
 por la cubeta
 transmitida p
 co" del react

c = Concentración de la sustancia coloreada.

l = Espesor de la solución atravesada por la luz.

La ley de Lambert (observada previamente por Bouger) da la relación entre I e I_0 a concentración constante y espesor variable; la de Beer, la relación entre I e I_0 a espesor constante y concentración variable.

La ley de Lambert es universalmente cierta, pero la de Beer no es totalmente válida cuando la sustancia coloreada sufre variaciones en el grado de asociación o disociación al variar la concentración, es decir, cambios que hagan variar la relación entre la absorción o el poder colorante y la concentración.

Tanto la ley de Lambert como la de Beer sólo son rigurosamente ciertas cuando se opera con luz monocromática.

Si la concentración se expresa en moles por litro y el espesor en centímetros, K será el "coeficiente molar o molecular de extinción", generalmente designado por E. La ecuación anterior se puede escribir así:

$$\log_{10} \frac{I}{I_0} = -Kcl.$$

$$E = \log_{10} \frac{I_0}{I} = Kcl.$$

El $\log. I_0/I$ se llama extinción (designada por E) o densidad de la solución. Es evidente que la representación gráfica de la extinción (con l constante) en función de la concentración, es una línea recta si sigue la ley de Beer.

Esta línea pasa por el origen, ya que cualquier absorción debida al disolvente queda eliminada por el método práctico de efectuar la medida. La solución de la sustancia coloreada está contenida en una cubeta de vidrio de paredes planas y paralelas, y el rayo de luz incide perpendicularmente sobre la cara de la cubeta (Fig. 9.8). Si I_0 es la intensidad del rayo de luz a la entrada del estrato de solución, e I, la intensidad a la salida, la transmisión de la solución es I/I_0 . En la práctica, la luz transmitida por la cubeta que contiene la solución se compara frente a la transmitida por una cubeta idéntica con agua o una solución "blanco" del reactivo.

Pocos reactivos son suficientemente específicos, de manera que permitan determinar un elemento en presencia de otros. A pesar de los dicho anteriormente y de la aplicación de otros métodos que tienden a disminuir las interferencias tales como la regulación de la longitud de onda y de la transmisión de la solución a dos -

Si una solución contiene dos sustancias coloreadas con curvas de absorción considerablemente diferentes, es posible determinar ambas sustancias midiendo la transmitancia de la solución a dos longitudes de onda adecuadas y calculando las concentraciones a partir de los coeficientes de extinción conocidos (coeficiente de extinción = E/l).

Si una solución contiene dos sustancias coloreadas con curvas de absorción considerablemente diferentes, es posible determinar ambas sustancias midiendo la transmitancia de la solución a dos longitudes de onda adecuadas y calculando las concentraciones a partir de los coeficientes de extinción conocidos (coeficiente de extinción = E/l).

Si la solución a medir está coloreada por una sustancia extraña o si aquella se colorea al añadir el reactivo, es posible, a veces, encontrar una longitud de onda a la cual el compuesto formado con el reactivo del constituyente, que va a ser determinado, produzca una fuerte absorción (no ha de ser necesariamente en el punto máximo de la curva de absorción), pero a la cual la sustancia extraña absorba muy débilmente la luz; la transmitancia de la solución se medirá entonces a esta longitud de onda y la sustancia extraña solamente interferirá ligeramente.

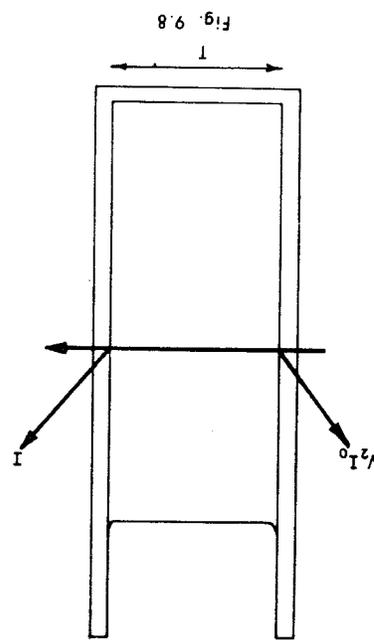


Fig. 9.8

La mínima cantidad de una sustancia coloreada que puede ser detectada por medio de la espectrofotometría, generalmente no depende de la sensibilidad de los aparatos de medida de luz, sino de la posibilidad de reproducir la medida de la transmitancia de la solución debilmente coloreada. Puede afirmarse que una diferencia de 0,0001 en extinción puede ser detectada con certeza. Este valor corresponde a una diferencia de 0,20 por 100 en las transmitancias del "blanco" y soluciones problema.

Si la solución a medir está coloreada por una sustancia extraña o si aquella se colorea al añadir el reactivo, es posible, a veces, encontrar una longitud de onda a la cual el compuesto formado con el reactivo del constituyente, que va a ser determinado, produzca una fuerte absorción (no ha de ser necesariamente en el punto máximo de la curva de absorción), pero a la cual la sustancia extraña absorba muy débilmente la luz; la transmitancia de la solución se medirá entonces a esta longitud de onda y la sustancia extraña solamente interferirá ligeramente.

lación del pH de la solución, adición de agentes formadores de complejos con las sustancias extrañas, oxidación o reducción a otros estados de valencia, etc., se impone llevar a cabo, en la mayoría de las ocasiones una separación previa total o parcial (precipitación, etc.) de los elementos que interfieren.

Una parte importante de la aplicación de los métodos espectrofotométricos es la construcción de una curva standard (curva de referencia o calibrado) para el constituyente que va a ser determinado. Hay que hacer constar que sólo en el caso de que éste siga la ley de Beer y no haya ninguna anomalía debido a la heterocromaticidad de la luz, se obtendrá una línea recta.

Para construir la curva standard se toman cantidades adecuadas del constituyente y se tratan con el reactivo a fin de desarrollar el color.

Las transmitancias de las soluciones standard pueden medirse frente a agua o frente al "blanco" (solución reactivo + agua). En el trazado de la curva standard se asigna entonces al "blanco" una transmitancia de 100 por 100, la cual representa una concentración de constituyente igual a cero. Así, la curva pasará por el origen.

Se dibuja la gráfica tomando en ordenadas extinciones ($\log. I_0/I$) y en abscisas concentraciones del constituyente. Esta curva puede entonces usarse en futuras determinaciones de los constituyentes, bajo las mismas condiciones. Cuando la extinción es directamente proporcional a la concentración, solamente serán necesarios algunos puntos para trazar la línea. Cuando la relación no es lineal, se precisará un número mayor.

La elección de la longitud de onda óptima para cada constituyente se hace de la siguiente manera:

Se traza primero la curva de absorción correspondiente al reactivo a diferentes longitudes de onda. A continuación se hace lo mismo, pero tomando una cantidad adecuada de constituyente. En principio, la longitud de onda que se debe elegir es aquella en que superpuestas las dos gráficas y para una misma longitud de onda, el intervalo entre las dos curvas sea mayor.

Sin embargo a veces será necesario operar a una longitud de onda distinta del valor ideal hallado, con el fin de evitar la interferencia de alguna sustancia extraña.

Aplicaciones generales del método. - Las numerosas aplicaciones de la espectrofotometría pueden ser agrupadas en tres principales categorías:

Primera. - La espectrofotometría se emplea como instrumento general de trabajo en la investigación de las propiedades de diferentes materiales. Estas investigaciones pueden referirse a la relación entre absorción y constitución o estructura, a las calidades de protección para los ojos de cristales y otros materiales, a la relación entre absorción y fluorescencia, al estudio y selección de filtros ópticos, al blanqueo y rancheo de los aceites vegetales a la decoloración de sustancias teñidas y a otros muchos tipos de trabajo.

Segunda. - La espectrofotometría es de una gran utilidad en el análisis químico rápido de soluciones y otras sustancias. Las medidas efectuadas en las regiones ultravioleta y visible del espectro han sido muy valiosas para este fin, y recientemente, medidas similares en la región del infrarrojo han tenido una importancia capital, especialmente en la industria del petróleo.

Tercera. - La espectrofotometría es la base fundamental del análisis colorimétrico de standardización y especificación. Ha llegado a ser indispensable en colorimetría psicofísica y es el medio fundamental de analizar un color con fines de investigación

Determinación del torio. - El torio se puede determinar espectroquímicamente tratando una solución del mismo con un reactivo adecuado, como es la sal sódica del ácido 1-(0-Arsono-fenil-azo)-2-naftol-3,6-disulfónico, en medio clorhídrico. Con este reactivo se obtiene una coloración amarillo-anaranjada que crece en intensidad con la concentración. Este método permite determinar cantidades de torio del orden de 5 a 80 microgramos (μ) en 10 ml. de volumen final.

... a una longitud de -
... el fin de evitar la in-
... aplicaciones de
... tres principales ca

... como instrumento ge-
... propiedades de dife-
... referirse a la re-
... a las cualida-
... y otros materiales,
... al estudio y selec-
... de los aceites ve-
... y a otros muchos

... gran utilidad en el
... sustancias. Las me-
... y visible del espec-
... recientemente, medidas
... una importancia
... .

... fundamental del -
... especificación. Ha -
... física y es el -
... de investigación

... espectrofo-
... con un reactivo -
... (Arseno-fenil-azo)
... . Con este reacti-
... que crece en in-
... determinar can-
... en 10 ml. de

Curvas de absorción.- La medida del espectro de absorción de una solución acuosa de reactivo (A) y de una solución similar conteniendo torio (B), indican que, para una misma longitud de onda, la absorción es mayor en presencia del torio (Fig.9.9).

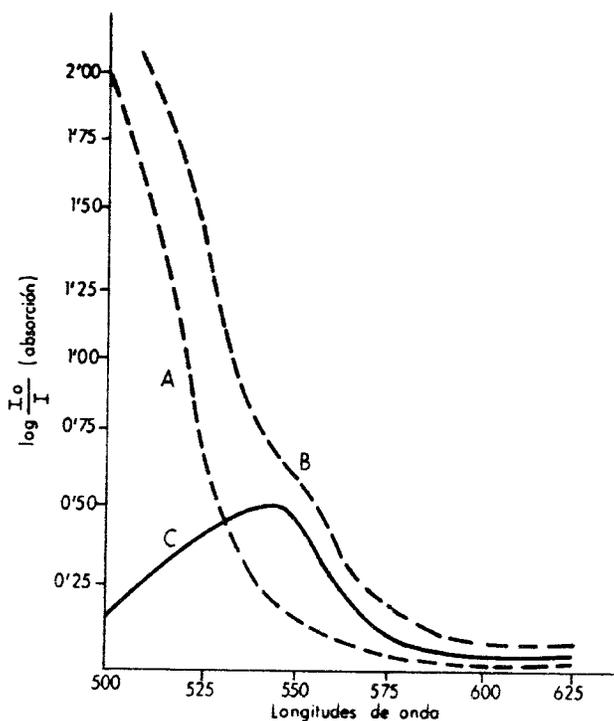


Fig. 9.9

Al aumentar la longitud de onda va disminuyendo progresivamente la absorción.

Estas medidas fueron hechas frente a agua.

Efecto de cantidades variables de reactivo.- La absorción de una serie de soluciones de pH = 0,5, conteniendo cada una 67 γ de torio, pero con cantidades variables de reactivo, indican que 1,01 ml. de una solución con 0,1 por 100 de reactivo orgánico, es suficiente para formar complejo con 100 γ de torio.

La División de Materiales de la A.E.C. ha puesto a punto un método para analizar los líquidos uraníferos procedentes del tratamiento de minerales, que consiste en la extracción del uranio en acetato etílico a partir de una disolución de nitrato de aluminio, desarrollando el color amarillo en una porción del acetato, con tiocianato amónico y cloruro estannoso en un disolvente de agua y acetona. El cloruro estannoso se añade para prevenir la

Determinación de uranio. Método del tiocianato. - Se han elaborado diferentes procedimientos con objeto de disminuir las interferencias debidas a distintos elementos.

El citronio precipita siempre, pero se evita su interferencia añadiendo ácido tartárico antes de la lectura espectrofotométrica.

De esta forma el primero se reduce y el segundo se oxida y se evita con ello que precipiten.

Eliminación de interferencias. - Con el fin de suprimir los iones que pudieran ser perjudiciales, se hace una precipitación previa con una solución al 10 por 100 de IO_2K en medio ácido. El iodato de torio es insoluble en NO_3H de concentración moderada. Si el contenido en NO_3H es inferior al 10 por 100, precipitan iodatos de otros iones que luego interfieren en la lectura espectrofotométrica. Para evitar la acción del cerio (IV) y del uranio (IV), que precipitan con el torio aún en medio ácido moderado se trata previamente con H_2O_2 .

La solución coloreada sigue la ley de Beer, dando una curva - standard, que pasa por el origen y que es, por consiguiente una línea recta.

Estabilidad del color. - Las soluciones de torio y reactivo orgánico no presentan variación en la intensidad del color para períodos de tiempo inferiores a veinticuatro horas.

Efecto del pH. - Para pH comprendidos entre 0,2 y 1, la absorción permanece prácticamente constante. Sin embargo, por encima de uno la absorción decrece rápidamente aproximándose para un pH = 7.

acción del hierro férrico. Por este procedimiento se eliminan la mayor parte de las impurezas y se obtiene una alta sensibilidad, suprimiéndose los inconvenientes que aparecen en otras formas de operar. Sin embargo, este método tiene algunas limitaciones. El reactivo que da el color es estable solamente durante tres horas, y, en general, no se prepara hasta una hora antes de emplearlo. El color amarillo del complejo de tiocianato de uranilo es estable durante diez minutos, tornándose posteriormente más intenso. Este procedimiento no puede aplicarse cuando la muestra contiene una cantidad de vanadio superior a dos miligramos.

Existen algunas variaciones en el método del tiocianato. Una de ellas consiste en extraer el uranio con metiletil ketona y desarrollar el color mezclando la fase orgánica con una disolución de tiocianato amónico y ácido ascórbico en acetona. La mayor parte de las interferencias y dificultades se obvian sustituyendo la acetona por butil-celolve (éter monoetílico del etilen-glicol). Con ello el agente que da el color y la disolución son estables, como mínimo, durante cuarenta y ocho horas. El límite del vanadio se aumenta considerablemente, y el Va^{+++} , que es el que produce mayores trastornos, no se forma en la disolución coloreada. El empleo de metil-isobutylketona en la extracción da como resultado una separación más selectiva de los restantes cationes y permite analizar las disoluciones alcalinas directamente sin previa neutralización. En este método, la disolución a analizar se diluye hasta una concentración de 0,2 a 2 gramos de U_3O_8 por litro, realizándose las medidas de absorción a 375 milimicras, y si ésta es superior, de 1 a 420 milimicras. Aproximadamente se mezclan 10 ml. de la fase orgánica con 15 ml. del reactivo que desarrolla el color.

Método del dibenzoilmetano.- En este procedimiento el uranio se extrae con acetato etílico, desarrollándose el color en una parte de éste con una disolución alcohólica de dibenzoilmetano. Una variación de este método, con objeto de eliminar el mayor número posible de interferencias, es extraer el uranio de una disolución de nitrato de aluminio con fosfato de tributilo en isooctano. El color se forma tomando 2 ml. de esta disolución orgánica y 25 ml.

de dibenzolmetano con piridina en una disolución de agua y ceto-
na. Es posible determinar hasta 0,05 mg. de uranio. El color es -
estable, como mínimo, durante veinticuatro horas.

Fluorescencia. - Los minerales que son fluorescentes toman un co-
lor y brillo característico cuando se les expone a la luz ultra-
violeta. Esta luz, también denominada luz negra, es producida por
lámparas especiales, que emplean cristales que permiten el paso -
de dicha radiación. Operan con baterías o con corriente eléctrica
y han de ser usadas en la oscuridad. El uso de la fluorescencia -
como medio de distinción de los minerales de uranio en su estado
natural, es limitado, ya que solamente un mineral de uranio impor-
tante, la autunita, fluoresce siempre con coloración verde brili-
lante .

Otros minerales radiactivos presentan fluorescencia, según se
indica al estudiarlos en otro lugar.

Aunque la mayor parte de los minerales de uranio no fluores-
cen en su estado natural, la fluorescencia puede emplearse para -
descubrir la presencia de mineral de uranio en el ensayo químico
de la perla.

Ensayo de la perla. - Para efectuar este ensayo se precisan los si-
guientes elementos:

- 1º Una pequeña muestra finamente molida del mineral o roca -
que se vaya a ensayar.
- 2º Un alambre (se puede usar de hierro) curvado en forma de -
presilla en uno de los extremos.
- 3º Una lámpara de alcohol o un mechero Bunsen para producir -
una pequeña llama.
- 4º Flujos de litio o sodio completamente secos.
- 5º Una lámpara de luz ultravioleta.

Una vez reunidos estos materiales, la presilla del alambre se
sumerge en el flujo de litio o sodio y se calienta sobre la -
llama hasta que se forme la perla. (Una pequeña gota fundida.) Des-
pués se lleva esta hasta ponerla en contacto con la muestra de ro

ca molida y se espera a que uno o más granos de la misma se unan a la perla. La presilla de hierro se lleva nuevamente sobre la llama hasta que los granos se fundan en la perla. A continuación se enfría esta y se examina a la luz ultravioleta en un lugar oscuro. Si existe algo de uranio en la muestra, la perla debe fluorescer con un amarillo verdoso intenso.

El ensayo de la perla es un medio bastante eficaz para la identificación del uranio y se utiliza para trabajar con todos los minerales de uranio importantes, incluso aquellos que no fluorescen en su estado natural. Este método es suficientemente sensible para indicar pequeñas cantidades de uranio (del orden del 0,05 por 100 de U O en las rocas) y sirve igualmente para la determinación de muchos minerales que contienen uranio, requiriendo por otra parte, poco trabajo, por lo que puede ser utilizado por los prospectores en el campo.

El ensayo de la perla tiene, sin embargo, ciertas limitaciones. Por ejemplo, no sirve para trabajar con minerales que contengan gran cantidad de elementos de las tierras raras y torio. Por consiguiente, no puede ser utilizado para el ensayo de la monacita o la allanita, si estos minerales contienen pequeñas cantidades de uranio. Otra limitación es el hecho de que los minerales que contienen tungsteno fluorescen cuando son tratados con fluoruro de litio (pero no cuando lo son con fluoruro de sodio) y, por el contrario, los minerales que tienen niobio fluorescen cuando son tratados con este último, pero no con el fluoruro de litio. La fluorescencia producida por estos elementos es, en general, más débil que la producida por el uranio y de aspecto azulado. A causa de estas limitaciones, el ensayo de la perla es más útil cuando se le combina con otros análisis.

Emulsiones nucleares.- Durante la última mitad del siglo XIX, Becquerel y Madame Curie descubrieron que los preparados a base de uranio y torio impresionaban las placas fotográficas. Campbell y Wood demostraron más tarde que los preparados de potasio activaban igualmente dichas placas. La aplicación a la Geología tardó en hacerse en razón a que las primeras placas que se utilizaron -

eran las de la fotografía ordinaria. Más modernamente se han con-
 feccionado emulsiones nucleares útiles para su empleo en Mineralo-
 gía.

Becke, en 1904, y Step, fueron los primeros investigadores -
 que al utilizar autorradiografías de pechblenda observaron la dis-
 tribución de la radiactividad del mineral, como prueba del mismo.
 Mügge demostró que la radiactividad produce en los granos disemi-
 nados de una placa fotográfica un ennegrecimiento alrededor de -
 los mismos.

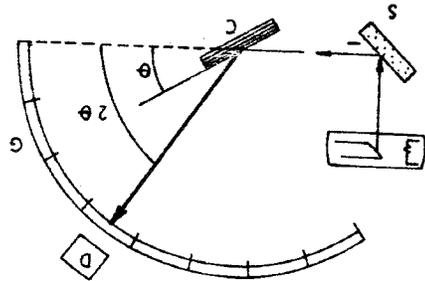
Reinganun señaló que este ennegrecimiento, si bien debido a -
 las partículas alfa es ocasionado por un agregado de trazos o es-
 tolas, cada uno de los cuales está representado por una fila de -
 granos de plata. Este descubrimiento es de enorme importancia pa-
 ra el reconocimiento de trazos en las emulsiones nucleares y sir-
 ve para discriminar entre el ennegrecimiento causado por los fenó-
 menos nucleares y el debido a los efectos pseudofotográficos.

En 1927, Alexandrov fue el primero que, utilizando emulsiones
 de tipo nuclear con espesores adecuados, las empleó en el trabajo
 de laboratorio, haciendo autorradiografías de secciones pulidas y
 localizando la tyuyamunita en las calizas del Turkestán ruso. Es-
 to ha hecho que se fabriquen, cada vez en mayor escala, emulsio-
 nes de esta clase.

Análisis cuantitativo espectrográfico por rayos X de uranio.

Exponemos a continuación este método, que se lleva a cabo con
 aparatos de rayos X dotados de goniómetro G y tubo Geiger o escintilómetro D. En estos modelos el cristal analizador (Fig. 9.10)

C gira con el fin de obtener to-
 das las orientaciones posibles.
 La muestra se sitúa en S. El de-
 tector D gira un ángulo 2θ para
 cada ángulo θ que gira el cris-
 tal y recibe la radiación X ca-
 racterística de elemento S, que
 se registra en un gráfico del as-



mente se han con-
pleo en Mineralo

investigadores -
observaron la dis-
prueba del mismo.
los granos disemi-
alrededor de -

si bien debido a -
de trazos o es-
por una fila de -
importancia pa-
nucleares y sir-
por los fenó-
fotográficos.

trando emulsiones
en el trabajo
aciones pulidas y
rubián ruso. Es-
escala, emulsio--

de uranio.

Lleva a cabo con
Geiger o escin-
(Fig. 9.10)

de obtener to-
ciones posibles.

ita en S. El de-
siglo 2: para

para el cris-
radiación X ca-

elemento S, que
gráfico del as-

pecto tal indicado en la (Fig. 9.11), que corresponde al Cu.

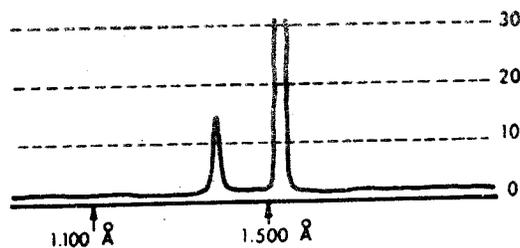


Fig. 9.11

El procedimiento a seguir es el siguiente: El mineral se muele a 100 mallas y se toma una muestra de 1 gramo (por medio de un desmuestrador), que se coloca en un mortero; se añade un mililitro de una disolución de nitrato de ytrio en alcohol etílico [20 mg. $(NO_3)_3Y \cdot 6H_2O$ por ml de C_2H_5OH], machacando durante 20 minutos o más, para lograr un contacto íntimo; en este espacio de tiempo el alcohol de la disolución añadida se ha evaporado. La muestra se coloca después en el aparato. El analizador puede ser un cristal de FLi. Con la curva de calibrado (Fig. 9.12) que da la relación:

$$\frac{UL_{\alpha}}{YK_{\alpha}}$$

en función del tanto por ciento de U_3O_8 se pueden llegar a análisis de 0,005 por 100 U_3O_8 . A su vez la relación de intensidades:

$$\frac{UL_{\alpha_1}}{YK_{\alpha_1}}$$

se obtiene el gráfico del experimento, que es del tipo del representado en la (Fig.9.13).

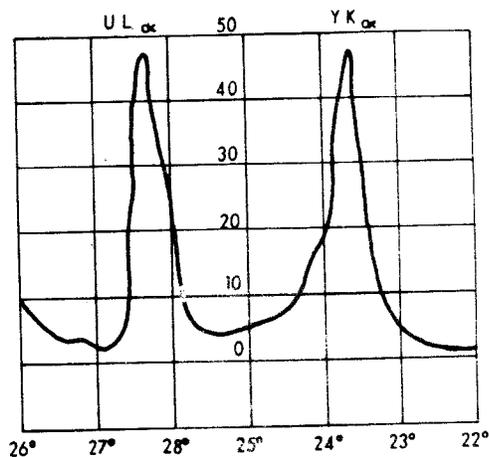


Fig. 9.12

Si se trata de analizar en xenitas, que contienen además de uranio, torio, tierras raras e ytrio, como no puede emplearse este último elemento en la muestra

de agua, se añade un cristalito de ácido antranílico y se calienta hasta 50° en un horno, formándose unos cristales en roseta incoloros.

Reconocimiento del torio por análisis a la gota.- Ensayo con alizarina.- Se moja el papel de filtro con una gota del problema en disolución neutra o débilmente ácida y una gota de alizarina. Se forma una mancha de color púrpura. En presencia de Pb, U, Tl, Zn, Mn, Co, Ni, se añade una gota de agua oxigenada. No deben existir Cu, Fe, tierras raras, ytrio y zirconio.

Solución alcohólica de alizarina al 1 por 100. Agua oxigenada al 30 por 100.

Determinación cuantitativa de uranio y torio por espectrometría de rayos X fluorescentes.- Este análisis se refiere a disoluciones acuosas y a orgánicas procedentes de la extracción con disolventes que contienen uranio y torio.

Las primeras son disoluciones nítricas que contienen uranio y torio y parte de las impurezas que existen en el mineral, y las segundas contienen fundamentalmente uranio, torio y pequeñas cantidades de impurezas en una disolución orgánica de 40 por 100 de tributil-fosfato y 60 por 100 de diluyente alifático.

Se emplean para ello los espectros característicos de las series L y K, utilizando muestras standard.

El aparato opera a 50 KV.P y 50 mA. Las muestras standard son: Para las disoluciones acuosas, 300 mg./ml. de nitrato de estroncio anhidro en ácido nítrico diluído, y para las disoluciones orgánicas, 80 mg./ml. de bromobenceno en el disolvente orgánico arriba mencionado.

La muestra M a analizar se obtiene mezclando 1 miligramo de la muestra standar correspondiente con 10 miligramos de la disolución de la muestra, ambas a la misma temperatura.

El aparato empleado consiste en un tubo de rayos X, que los envía sobre la muestra a estudiar; un colimador recibe la radiación característica del elemento, que pasa a través del analiza-

A continuación se va a las curvas que a continuación se indican (Figs. 9.14 y 9.15), que representan $\frac{I(A)}{I(S)}$, en nuestro caso $\frac{ITh}{IU}$ o $\frac{ISr}{IBr}$ en las disoluciones acuosas, y $\frac{ITh}{IU}$ o $\frac{IBr}{IU}$, en la fase orgánica, en función de la concentración de uranio y torio en gramos/mililitro.

También se puede hacer el cálculo directamente a partir de -

A = Intensidad del elemento desconocido.
 I(S) = Intensidad de la muestra standard.
 A = Impulsos/segundos del elemento desconocido.
 B = Impulsos/segundos del fondo.
 S = Impulsos/segundos de la muestra standard.

$$I(A) = A - B$$

$$I(S) = S - B$$

Se tienen las siguiente formulas:

ESPECTROMETRO		Ura1	ThLa1	SrKa1	BrKa1	Fondo
Colocación Espectrómetro	a 20 grados.	35,27	37,10	33,87	40,47	38,75
Disoluciones acuosas.		X	X	X	-	X
Fase orgánica		X	X	-	X	X

TABLA 9.1.-Posición del espectrómetro de rayos X para las curvas de trabajo.

Una vez obtenida la muestra M, se coloca en las posiciones que indica la tabla I. Un contador de tiempos mide el transcurrido para un número determinado de impulsos. Todas las lecturas se reducen a impulsos/segundos.

Por último, llega a un espectrómetro Geiger, que la detecta. Aunque hay cuatro disposiciones distintas que se emplean, una de ellas es en todo semejante a la de la figura, con la diferencia de que allí se bombardea con electrones sobre la muestra S, que emite su radiación X propia, y en nuestro caso se la bombardea con rayos X (ensayo fluorescente) y que además se emplea el espectrómetro Geiger.

muestras de
 Estas c
 con concen

que la detec-
 emplean, una
 la diferen-
 muestra 5, -
 la bombar-
 emplea el -
 posiciones -
 al transcurri-
 lecturas se
 las curvas

El fondo

38,75
 I
 I

se indi-
 nuestro caso -
 en la
 y torio -
 a partir de -

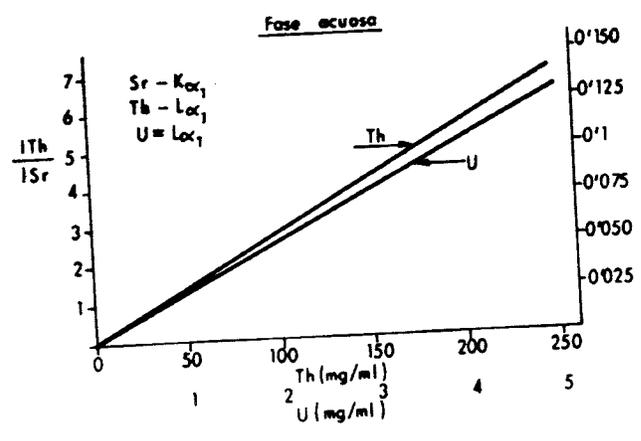


Fig. 9.14

muestras de leyes dadas.

Estas curvas se han obtenido a partir de muestras preparadas con concentraciones conocidas.

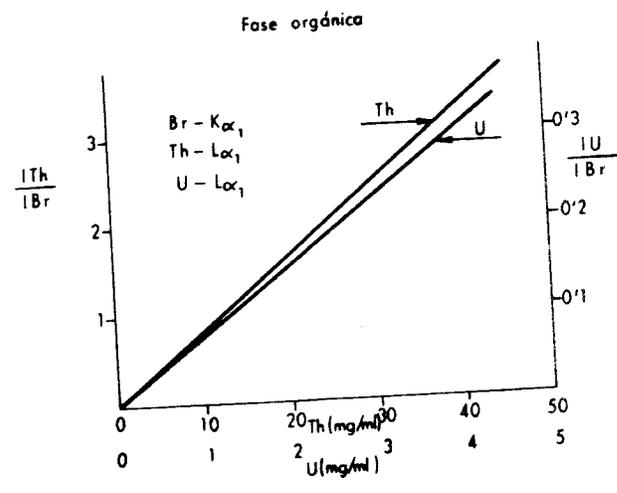


Fig. 9.15

I N D I C E

Pág

Capítulo I	
Sistema basado en la ionización de los gases	5
Región de voltajes reducidos (5) - Región de cá- maras de ionización (6) - Región proporcional (6) Región Geiger (7).	
Capítulo II	
Cámaras de ionización	9
Generalidades (9) - Movimiento de iones y electro- nes a través de los gases (12).	
Capítulo III	
Contadores proporcionales	17
Generalidades (17) - Teoría (18). Contadores pro- porcionales para usos especiales. Contadores de - neutrones. Neutrones lentos (28) - Contadores pa- ra otra clase de partículas (30) - Tiempo de reso- lución de un contador proporcional (31) - Modelos (31) - Prueba rápida de un contador (32).	
Capítulo IV	
Contadores Geiger. Contadores no auto-extintores	33
Mecanismo de descarga (33) - Eficiencia del conta- dor (38) - Curvas características (38) - Efecto - de los iones negativos (40) - Efectos debidos a - los estados metaestables (41) - Tamaño del impul- so (41) - Contador de potencial reversible (41) - Contadores con rejilla (42) - Contadores autoex- tintores (43) - Teoría de la operación (44) - Se- miconductores con detectores de radiaciones (50).	
Capítulo V	
Descripción y funcionamiento del contador Geiger Mu- ller	33
Generalidades (53) - Tubo del contador (53) - Ca- ja del contador (54) - Modo de utilizar el Geiger (54) - Posición de reposo (54) - Posición de tra- bajo (55) - Observaciones (56).	
Capítulo VI	
Sistema de centelleo	59
Destellómetro o escintilómetro (59) - El fotomul- tiplicador (59) - Acoplamiento óptico (62) - Efi-	

los análisis de to-
9.16).

Analisis radiométrico de uranio en los minerales.
 Fundamentos generales (109) - Métodos directos
 (109) - Métodos indirectos (110) - Aplicaciones
 generales del método (112) - Consideraciones teó-
 ricas (112) - Consideraciones sobre el equipo de
 medida en relación con las medidas que efectúa -
 (113) - Límite de aplicación (115) - Límite inte-
 rior (115) - Límite superior (115) - Partes que
 integran el equipo receptor (116) - Cambiador -
 automático de muestras (117) - Parte experimen-
 tal (117) - Analisis fluorimétrico (118) - Análi-
 sis polarográfico (121) - Aplicaciones generales
 del método (123) - Analisis polarográfico de ura-
 nio en un mineral, previa separación y elimina-
 ción de interferencias por extracción con acetato
 de etilo y resinas (124) - Analisis potenciométri-
 co (126) - Aplicaciones generales del método (126)

109 Diferentes métodos de análisis

Capítulo IX

Los minerales no radiactivos (107).
 basado en el contenido de plomo radiogénico en -
Técnicas radiométricas terrestres (103) - Método
botánica (95) - Prospección hidrogeológica (99) -
(85) - Prospección geológica (92) - Prospección
geológica geológica (84) - Anomalías geológicas
prospección aérea (81) - Conclusión (84) - Pros-

89 Métodos de prospección

Capítulo VIII

Planos radiométricos (79).
 Caso en que se utilizan escintilómetros (78) -
 Efecto del forio (78) - Efecto subterráneo (78) -
 - Efecto del radón (77) -
 Efecto de masa (76) - Efecto del equi-
 Efecto de cubierta (76) - Efecto de la topogra-
 Efecto de fondo (75) - Efecto de absorción (75) -

75 Problemas que se presentan cuando se usa el detec-
tor Geiger

Capítulo VII

ciencia luminiscente (63) - Aplicación del método
 (66) - Radiación electromagnética (67) - Particu-
 las cargadas (69) - Neutrones (69) - Distinción -
 entre los diferentes tipos de radiación (70) - De-
 terminación de la energía con el destelómetro -
 (72) - Descripción práctica y manejo del destelí-
 metro (73).

Capítulo VI (Cont.)

Analisis
 drameritis
 N/10 per
 - Analisis
 del método
 absorción
 (135) - E
 - Elimina
 nio. Méto
 (136) - H
 stiones nu
 co por re
 por análisis
 - Ensayo
 (143) - I
 pectromet

Capítulo IX (Cont.)

Pág

75

89

109

Análisis potenciométrico de uranio, titanio y hierro en una brannerita (127) - Volumetría (127) - Oxidación por bicromato N/10, permanganato potásico N/10 y ácido sulfatocérico (129) - Análisis espectrofotométrico (129) - Aplicaciones generales del método (134) - Determinación del torio (134) - Curvas de absorción (135) - Efecto de cantidades variables de reactivo (135) - Efecto del pH (136) - Estabilidad del color (136) - Eliminación de interferencias (136) - Determinación del uranio. Método del tiocianato (136) - Método del dibenzoilmetano (136) - Fluorescencia (138) - Ensayo de la perla (138) - Emulsiones nucleares (139) - Análisis cuantitativo espectrográfico por rayos X de uranio (140) - Reconocimiento del uranio por análisis a la gota (142) - Ensayo de quercitrina (142) - Ensayo de 8 -hidrosiquinolina (142) - Ensayo de ácido antra-nílico (142) - Reconocimiento del torio. Ensayo con alizarina (143) - Determinación cuantitativa de uranio y torio por espectrometría de rayos X fluorescentes (143).