

N=18  
2EJ.



# Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Química

APLICACIONES ESPECIALES DE LOS RADIONUCLIDOS

TRABAJO ESCRITO

Que para obtener el Título de  
QUIMICO FARMACEUTICO BILOGO

p r e s e n t a

RAFAEL BUSTILLOS VENTURA



México, D. F.

1992

FALLA DE ORIGEN



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

	Pág.
INTRODUCCION .....	01
I. ISOTOPOS RADIOACTIVOS NATURALES.....	03
II. ISOTOPOS RADIOACTIVOS ARTIFICIALES.....	04
III. PROPIEDADES DE LA RADIACION Y LOS RADIOISOTOPOS.....	07
IV. PROPIEDADES DESEABLES EN UN TRAZADOR RADIOACTIVO.....	12
V. DETERMINACION DE LA HOMOGENEIDAD DE MEZCLADO.....	17
VI. DETECCION DE FUGAS Y OBSTRUCCIONES.....	21
VII. HIGIENE INDUSTRIAL.....	25
VIII. MEDIDAS DE DESGASTE Y DURABILIDAD DE EQUIPOS.....	30
IX. MEDICION DE NIVELES, VOLUMENES Y ESPESORES.....	33
X. MEDICION DE DENSIDADES DE SOLIDOS.....	40
XI. DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE SOLUCIONES SALINAS.....	43
XII. RADIOCRONOLOGIA.....	45
XIII. FUENTES LUMINOSAS Y BATERIAS NUCLEARES.....	51
XIV. EJEMPLOS DE APLICACION DE UN RADIONUCLIDO COMO TRAZADOR.....	55
XV. BIBLIOGRAFIA.....	60

## INTRODUCCION :

El calor, la luz y las ondas de radio son todas formas de radiación; muchas otras formas, no tan familiares, están siendo producidas todo el tiempo. La radiación ha estado siempre con nosotros. El sol y las estrellas son intensamente radiactivas, aún la tierra es ligeramente radiactiva. Cantidades pequeñísimas de materiales radiactivos naturales están ampliamente distribuidos en el agua, el aire, el suelo, las plantas y los animales.

Radiactividad es la propiedad de ciertos núclidos de emitir en forma espontánea partículas o radiación *gamma* o de emitir rayos X después de una captura electrónica o de una fisión espontánea.

## DESCUBRIMIENTO DE LA RADIATIVIDAD POR BECQUEREL.

La serie de eventos más o menos accidentales que condujeron al descubrimiento de la radiactividad dependieron de dos factores especialmente significativos: los misteriosos rayos X descubiertos por W.C. Roentgen y el interés en la fosforescencia de Henri Becquerel, heredado de su padre Edmund Becquerel.

En febrero de 1896, Henri Becquerel reportó sus primeros resultados después de haber trabajado con cristales de sulfato doble de uranilo, los cuales emitieron una radiación que ennegreció una placa fotográfica estando ésta cubierta con papel negro.

Estos y otros muchos resultados fueron obtenidos a comienzos de 1896. Aunque Becquerel y otros científicos continuaron sus investigaciones por años, el conocimiento obtenido en ésta fase de la nueva ciencia, se resumió en 1898 cuando Pierre y Marie Sklodowska Curie, concluyeron que los rayos de uranio eran un fenómeno atómico característico del elemento y no estaba relacionado con su estado físico o químico e introdujeron el término " radiactividad " para éste fenómeno. Gran cantidad de nueva información apareció durante 1898. la mayoría, del trabajo de los Curie.

El exámen de otros elementos condujeron al descubrimiento por Marie Curie y G.C. Schmidt, en trabajos independientes, que compuestos de torio emitían rayos similares a los del uranio. Una observación muy importante fué que algunos minerales naturales de uranio eran mucho más radiactivos que el uranio puro.

Podemos decir que la radiactividad es un fenómeno que presentan los núcleos que son inestables y que por medio de ella, éstos átomos tienden a la estabilidad, es decir, a un estado de mínima energía.

La radiación nuclear es aquella que emiten los núcleos inestables y está formada por partículas alfa, beta y fotones. Las partículas alfa son núcleos de helio con dos unidades de carga positiva y constituidas por dos protones y dos neutrones. Las partículas beta son electrones cargados negativamente y los fotones son radiación electromagnética de la misma naturaleza que la luz pero de longitud de onda mucho menor. El poder de penetración de la radiación en la materia depende de muchos factores, principalmente del tipo de radiación de que se trate y de su energía.

En general, de los tres tipos de radiaciones alfa, beta, **gamma**, las partículas alfa tienen un bajo poder de penetración ya que, por su masa y carga, incluso una hoja de papel puede detenerla.

Las partículas beta son más penetrantes que las alfa de igual energía. Su poder de penetración es moderado y pueden frenarse con una hoja de aluminio de 1 mm. de espesor. En cambio, la radiación gamma, de energía equivalente, atraviesa fácilmente tanto el papel como el aluminio y solo la frena un material que contenga elementos pesados, como una placa de plomo de 5 cm. de espesor.

La radiación que emite cada isótopo radiactivo es de energía bien definida. Esta energía, junto con otras propiedades nucleares, ayuda a caracterizar a cada isótopo en particular.

En 1913, Federico Soddy propuso el nombre de isótopo para designar a las especies de un grupo que ocupan el mismo lugar en la clasificación de los elementos.

## CAPITULO I

### ISOTOPOS RADIOACTIVOS NATURALES.

Isótopos diferentes de un mismo núcleo, tienen núcleos con igual número de protones pero diferente número de nucleones. Aunque la masa atómica de los isótopos es diferente de uno a otro, todos tienen el mismo comportamiento químico. Por ejemplo, hay varios isótopos del hidrógeno el  $^1\text{H}$ , el  $^2\text{H}$ , conocido como deuterio y el  $^3\text{H}$  conocido como tritio; sus núcleos están formados por un protón, pero el número de neutrones es de cero para el primero, de uno para el deuterio y de dos para el tritio.

Mientras el primero y el segundo son estables, el tercero es inestable y emite radiación beta de una energía máxima de 18.6 Kev.

Todos los elementos que se encuentran en la naturaleza y que tienen número de protones mayores de 83, son radiactivos. Al ir perdiendo su radiactividad, formaran una especie distinta que a su vez puede ser radiactiva y decaer a un tercero. Este fenómeno genera lo que se denomina una serie radiactiva.

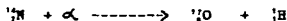
Así pues, estos elementos forman parte de cadenas de elementos radiactivos y todas las especies en cada cadena constituyen una familia o serie radiactiva. Hoy en día se sabe que la radiación del uranio observada por Becquerel se debe a la transformación del uranio-238, que forma parte de una serie radiactiva.

## CAPITULO II

### ISOTOPOS RADIOACTIVOS ARTIFICIALES.

En 1919 Rutherford bombardeó núcleos de nitrógeno con partículas alfa provenientes de la desintegración radiactiva del polonio y encontró que las partículas alfa, al chocar con núcleos de nitrógeno los convierten en núcleos de oxígeno.

La reacción nuclear que ocurre es :

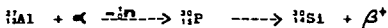


Este experimento muestra que un elemento químico puede transformarse en otro con propiedades físicas y químicas diferentes a las del original.

Este experimento fue de gran importancia ya que, por primera vez, se produjo artificialmente un elemento y se logró producir la transmutación de un elemento en otro. Otro experimento fundamental para el avance de la ciencia fue el de Frédéric e Irène Joliot Curie en 1934, quienes descubrieron que al bombardear aluminio con partículas provenientes de una fuente de polonio, se producía una radiación muy penetrante que, inexplicablemente para los conocimientos de entonces, se detectaba aún después de suprimir el bombardeo con partículas alfa.

En realidad, en este experimento habían descubierto la radiactividad artificial al producir un isótopo del fósforo, el fósforo-30. Esta especie es radiactiva y a su vez decae por emisión de un positrón, que es un electrón de carga eléctrica positiva (+1). Lo que los Joliot Curie observaron fue la desintegración del fósforo-30.

La reacción la podemos escribir:



Los núcleos radiactivos, al emitir radiación se transforman en otros núcleos, ya sea del mismo o de otro elemento; es decir, al transcurrir el tiempo, se va perdiendo una cantidad de núcleos radiactivos originales. A este proceso se le llama decaimiento radiactivo. Se ha observado que, dado un número de átomos radiactivos de una especie, existe un tiempo específico para cada isótopo, en el que decaen la mitad de los átomos radiactivos originales; este tiempo se denomina vida media (  $t_{1/2}$  ). Esto quiere decir que después de que transcurre una vida media,

solo se tiene aproximadamente la mitad de los núcleos radiactivos que se tenían originalmente; después de dos vidas medias, sólo se tiene la cuarta parte y así sucesivamente, hasta que el material radiactivo decae en su totalidad.

Si graficamos este comportamiento, obtendríamos :

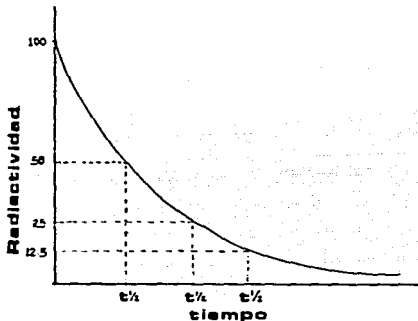


Fig.1 Curva de decaimiento radiactivo

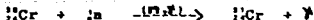
El descubrimiento de la radiactividad artificial provocó una serie de nuevos logros. Uno de los más importantes fue el de Enrico Fermi, quien concibió la idea de emplear los neutrones como proyectiles para inducir radiactividad. Los neutrones penetran en los núcleos de casi todos los elementos y producen así nuevos núcleos. Actualmente se pueden producir isótopos radiactivos bombardeando los elementos apropiados con neutrones de baja energía, de aproximadamente 0.025 eV. Estos cambios nucleares se acompañan de emisión de radiación electromagnética de alta energía, de muchos millones de electrón volts ( eV ), por lo que se conocen como reacciones neutrón-gamma ( n,  $\gamma$  ).

Como un ejemplo de lo anterior se tiene la formación del cromo-51 (Cr-51), isótopo radiactivo que se utiliza mucho en la medicina nuclear. Este isótopo se puede producir por la reacción nuclear ( n,  $\gamma$  ) mencionada, a partir del cromo-50 que es uno de



los isótopos estables naturales del cromo.

La reacción es la siguiente :



También es posible producir isótopos radiactivos ricos en protones bombardeando los elementos apropiados con partículas cargadas como protones y deuterones muy energéticos, que pueden generarse en un ciclotrón o en otro acelerador.

En 1939, se descubrió la fisión nuclear. En este proceso, los neutrones penetran al núcleo de uranio-235 y lo fisionan en dos partes, formándose así muchos isótopos de elementos diferentes al uranio, llamados productos de fisión.

Los productos de fisión que se producen con mayor abundancia son los que tienen masas atómicas comprendidas en el intervalo de 95 a 139. En una reacción de fisión se producen además dos o tres neutrones que producen la reacción en cadena.

Las reacciones en cadena se utilizan para el funcionamiento continuo de un reactor nuclear, pues los neutrones generados en la reacción de fisión producen a su vez más fisiones, las cuales darán origen a más neutrones y así sucesivamente.

Este proceso se controla de tal manera que los neutrones producidos en la fisión, sólo uno de ellos produce una nueva fisión, lográndose así un régimen estacionario. En la fisión se produce una gran cantidad de energía, cientos de millones de veces mayor que la energía que se consigue mediante la combustión.

## CAPITULO III

### PROPIEDADES DE LA RADIACION Y LOS RADIOISOTOPOS

La importancia de entender las propiedades de la radiación recae primero, en el hecho de que la operación de cada aparato detector conocido para cada tipo de radiación depende de una o más de las propiedades particulares de la radiación que está siendo medida.

Segundo, el conocimiento del mecanismo de pérdida de energía de las partículas al pasar a través de la materia es necesario para el diseño adecuado de los instrumentos de medición y para la buena interpretación de los resultados obtenidos.

Tercero, la selección de blindaje adecuado para una manipulación segura de las sustancias radiactivas se basa en la naturaleza de la radiación y su capacidad para penetrar la materia.

Los efectos dañinos de la radiación sobre tejido son altamente dependientes de la capacidad de la radiación para ionizar la materia, al igual que en la energía de la radiación incidente.

La radiación puede consistir de una corriente de partículas ( alfa, beta o neutrones ) ó de radiación electromagnética propagada en el espacio y materia proveniente de una fuente radiactiva.

Las partículas pueden poseer carga ( alfa y beta ) o no (neutrones). La radiación electromagnética puede poseer una cantidad relativamente pequeña de energía ( rayos x ) o una gran cantidad de energía ( rayos gamma ) por fotón. Estas diferencias en la naturaleza de la radiación crea diferencias importantes en sus formas de interacción con la materia.

La radiación alfa y beta consiste de partículas que salen del núcleo de átomos inestables. Las partículas alfa pierden energía rápidamente en su paso por el aire, por lo que viajan solo unas cuantas pulgadas en éste.

#### RADIACION ALFA

Algunas veces un núcleo inestable puede alcanzar la estabilidad perdiendo una partícula alfa, la cual está formada de dos neutrones y dos protones. Como comparación, pensemos en un átomo de Helio; el Helio se representa por el símbolo  ${}^4_2\text{He}$ . Esto significa que la mayoría de los átomos de Helio tienen un número de masa 4 y número atómico 2. El número cuatro significa que el núcleo posee dos neutrones y dos protones. Se puede notar ahora, que una partícula alfa es un núcleo de Helio y puesto que los protones poseen carga eléctrica positiva y los neutrones no poseen carga, la carga total de la partícula alfa es

de +2 .

Cuando un átomo emite una partícula alfa, este cambia a un átomo de un elemento diferente ya que su número atómico se reduce en dos unidades y su masa se reduce en cuatro unidades.

Por ejemplo:



Las partículas alfa son las más pesadas y las más lentas de las partículas de radiación. Estas viajan generalmente solo unas cuantas pulgadas en el aire y no pueden penetrar la piel, pero a pesar de esto, pueden ser peligrosas.

El polvo radiactivo u otro material que emita partículas alfa, pueden penetrar al cuerpo a través de cortadas ó puede estar en la comida o en el aire que respiramos.

#### RADIACION BETA

La radiación beta también consiste de partículas; son electrones emitidos por núcleos de átomos inestables. Fuesto que las partículas beta son electrones, estas poseen carga eléctrica negativa y son 1/ 1840 veces tan pesadas como un átomo de hidrógeno.

Las partículas beta no pierden energía tan rápido y pueden viajar aproximadamente 3 metros. Ver tabla I

La radiación gamma es diferente, ya que no consiste de partículas. Es una forma de radiación electromagnética, lo cual quiere decir que es similar al calor, la luz y las ondas de radio. Por supuesto, la radiación difiere de este tipo de ondas en que no puede sentirse como las ondas de calor, verse como las ondas de luz ó escucharse como las ondas de radio.

Los rayos pueden atravesar espesores de materiales mucho más gruesos que las partículas alfa o beta de la misma energía. La radiación es el resultado de la energía arrojada de un átomo o núcleo inestable al mismo tiempo que gana estabilidad.

Esto significa que una partícula beta es aproximadamente 1/ 7400 veces tan pesada como una partícula alfa.

Las partículas beta teniendo una cierta energía, se mueven mucho más rápido que las partículas alfa de la misma energía y poseen un poder de penetración mayor.

Estas viajan aproximadamente 3 metros en el aire, pero pueden ser detenidas por una hoja de aluminio de 1/8 de pulgada de grueso.

Puesto que pueden penetrar la piel, estas son peligrosas ya sea que el material radiactivo que las produce este dentro o fuera del cuerpo.

RADIACION	CARGA	RANGO DE ENERGIA APROXIMADO	RANGO APROXIMADO		FUENTE DE RADIACION PRIMARIA	IONIZACION ESPECIFICA APROXIMADA
			AIRE	AGUA		
Partículas						
ALFA	+2	3-9 MeV	2-8 cm.	20-40 $\mu$	Núcleos pesados	2,500
BETA -	-1	0-3 MeV	0-10 m.	0-1 cm.	Núcleos con alto índice neutrón/protón	100
BETA +	+1	0-3 MeV	0-10 m.	0-1 cm.	Núcleos con bajo índice neutrón/protón	100
NEUTRONES	0	0-10 MeV	0-100 m.	0-1 m.	Bombardeo nuclear	0.1
Electromagnética						
RAYOS X	NO	eV - 100 KeV	mm-10 m.	$\mu$ -cm.	Transiciones de electrones orbitales	10
RAYOS GAMMA	NO	10 KeV-10 MeV	cm-100 m.	mm-10cm.	Transición nuclear	1

Tabla No. 1 Propiedades de la radiación

¿Como pueden venir los electrones del nucleo si en el núcleo no hay electrones ?

Esta interrogante desconcertó a los científicos durante mucho tiempo. Finalmente, encontraron que los neutrones y los protones se podían desintegrar, descubriendo una nueva partícula llamada positrón, la cual tiene carga positiva y la misma masa que un electrón.

Algunas veces el protón se divide en un positron y un neutrón. El positrón solo existe hasta que golpea un electrón, entonces, ambos desaparecen en forma de energía.

Un neutrón puede dividirse también, dando lugar a un protón y a un electrón.

Uno de los neutrones del núcleo inestable se divide en un protón y un electrón, el protón permanece en el núcleo de tal forma que el número atómico se incrementa en una unidad, mientras que la masa permanece igual. El electrón sale del núcleo como un rayo beta.

### **RADIACION GAMMA**

Los rayos gamma son una forma de radiación electromagnética de longitud de onda muy corta (  $1 \times 10^{-10}$  cm ) y al igual que las otras formas de radiación electromagnética, viajan a la velocidad de la luz. Los campos magnéticos y eléctricos no desvían su trayectoria.

Los rayos gamma son emitidos como paquetes de energía discretos, como resultado de las transiciones entre los niveles de energía del átomo. Los rayos gamma poseen el poder de penetración más elevado de todas las formas de radiación de la misma energía.

Su penetración es tal que la mayoría de los reactores nucleares requieren de 2.5 metros de concreto de blindaje para detener la radiación gamma.

### **TIPOS DE COLISIONES DE LA RADIACION CON LA MATERIA**

A menos que el espacio por el cual viaja la radiación estuviera completamente libre de materia, habrá interacciones resultantes de la colisión de la radiación con la materia.

Tales interacciones pueden resultar en atenuación ( absorción ), dispersión ( cambio en dirección ), ionización y excitación de átomos o la conversión de un tipo de radiación en otra

( fotoelectrones de fotones ). Este fenómeno ocurre en la colisión de la radiación con el núcleo y electrones orbitales, con las partículas " libres " o con el campo que rodea a una partícula.

Una colisión puede implicar un impacto físico de una partícula con otra, pero el término incluye cualquier interacción del núcleo, partículas o fotones en el cual ocurre un intercambio de momentum, energía, carga u otra cualidad.

Por ejemplo, las partículas cargadas interaccionarán por medio de su campo coulombico al acercarse una con otra. Como resultado, sus trayectorias sufren deflexión y ocurre un cambio en su momentum y energía de una o ambas sin haber contacto fisico directo.

Se dice que las colisiones son elásticas si no hay cambio en la energía interna o la energía cinética total de las partículas que colisionaron.

Por otra parte, una colisión inelástica, da como resultado un cambio en la energía interna de uno o más de los sistemas colisionantes ( por ejemplo, ionización de un átomo ), al igual que la energía cinética total de los sistemas. En otras colisiones, puede haber absorción completa de la radiación incidente.

### COMO SE OBTIENEN LOS RADIOISOTOPOS

Los físicos explican la radiactividad diciendo que un núcleo atómico llevado a un estado excitado puede desintegrarse o decaer hasta niveles más bajos de energía por liberación de energía en alguna forma.

Desde el punto de vista práctico ¿ Como se pueden excitar los núcleos ? Esto se puede realizar exponiendo una muestra a alguna de las numerosas radiaciones de bombardeo, por ejemplo, neutrones, protones, deuterones o partículas alfa.

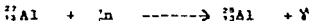
Tal radiación se puede producir por reactores nucleares y varias clases de aceleradores, tales como máquinas de Van de Graff, ciclotrones, betatrones y sincrotrones. También se pueden producir los neutrones con intensidades relativamente bajas mezclando emisores alfa o emisores gamma de alta energía con Berilio.

La mayoría de los radioisótopos emiten partículas beta, rayos gamma o ambos. Los rayos gamma son monoenergéticos; las partículas beta de cualquier radioisótopo pueden tener una energía comprendida entre cero y un valor máximo característico de este isótopo .

Los valores de la energía de partículas beta dados en las tablas de isótopos son las energías máximas. Los espectros de partículas beta de varios isótopos son aproximadamente iguales, siendo la energía más común aproximadamente 1/3 de la máxima.

La energía suele ser especificada en millones de electrón-voltios ( Mev ). Un electrón-voltio es la energía que adquiriría un electrón al pasar a través de una diferencia de potencial de un voltio.

Hay muchos tipos de reacciones nucleares, las de mayor interés en las aplicaciones de activación industrial son las reacciones con neutrones. La reacción de neutrones térmicos más comunmente utilizada origina la emisión de rayos gamma (  $n, \gamma$  ), por ejemplo, cuando el núcleo de Aluminio captura un neutrón térmico, se emiten rayos gamma de una energía hasta de 7.7 Mev.



## CAPITULO 1V

### PROPIEDADES DESEABLES EN UN TRAZADOR RADIOACTIVO

El método de trazado es una técnica empleada para obtener información de un sistema o parte de un sistema, observando el comportamiento de una sustancia específica, el trazador, el cual ha sido añadido al sistema. El trazador se comportará, a través de todo el proceso investigado, de la misma manera que el objeto bajo estudio y, además, proporcionará una detección rápida y selectiva en cualquier punto o etapa durante o después del proceso.

El método de trazado ha demostrado ser una herramienta muy poderosa en el estudio de muchos fenómenos físicos, químicos y biológicos.

Antes del descubrimiento de la radiactividad, ya se utilizaban sales y colorantes para marcar agua, pero las aplicaciones del principio de trazado han sido desarrolladas extensamente con la disponibilidad de sustancias radiactivas utilizadas como trazadores.

Los materiales radiactivos han sido utilizados como trazadores por más de 50 años. Los primeros experimentos con trazadores radiactivos se realizaron en 1913 por George Hevesy y P. Paneth, quienes determinaron la solubilidad de las sales de plomo, utilizando uno de los isótopos radiactivos naturales del plomo.

Los radioisótopos o radiotrazadores, son los trazadores más prácticos y de uso universal. De hecho, han sido de interés general para los métodos de trazado en los últimos 25 años. Un trazador debe cumplir con dos grandes requisitos:

- Primero: Este se debe de comportar exactamente igual que el material marcado.
- Segundo: Este debe tener una propiedad que lo distinga del material trazado, de tal manera que pueda ser fácilmente detectado en presencia de otro material.

Las ventajas de un radiotrazador pueden entenderse mejor si examinamos los dos requisitos primarios y de como éstos son cumplidos por un radiotrazador.

Si el requisito es que el trazador sea idéntico al material trazado, podemos decir que, la cantidad más pequeña de un radioisótopo que retiene las propiedades de una cierta cantidad de sustancias, es, el átomo. Puesto que los isótopos del mismo elemento tienen esencialmente las mismas propiedades químicas, los radioisótopos pueden utilizarse para marcar materiales a nivel atómico.

Existen radioisótopos naturales o artificiales de casi todos los elementos conocidos y en la mayoría de los casos hay más de un radioisótopo del mismo elemento. Esto significa que un radiotrazador puede marcar a la mayoría de los elementos a nivel atómico.

Fueeto que todas las sustancias están compuestas de átomos elementales, es posible el uso de radiotrazadores para cualquier material, desde átomos, hasta complicados productos naturales tales como el carbón o el aceite crudo.

El segundo requisito de que el trazador tenga una propiedad que lo distinga y permita su identificación, lo cumple fácilmente un radioisótopo ( este decae espontáneamente emitiendo radiación ). Cuando uno se da cuenta que un decaimiento radiactivo es un evento detectable y que éste representa una observación a nivel atómico, se puede presentar la alta sensibilidad del método de radiotrazado. Los radioisótopos con vidas medias de 100 días o menos, pueden ser detectados en cantidades tan pequeñas como  $1 \times 10^{-17}$  gramos.

#### **VENTAJAS EN EL USO DE RADIOTRAZADORES :**

Quando no se requiere una identidad química absoluta, el radiotrazador únicamente tiene que cumplir un número limitado de condiciones físicas y fisicoquímicas no muy exigentes, este tipo de trazado es conocido como trazado físico. Existen ciertas razones que explican porque los radioisótopos han adquirido una amplia variedad de uso como trazadores físicos.

a) La medición de radiación nuclear puede hacerse con extrema sensibilidad, lo cual significa que la cantidad de trazador puede mantenerse tan baja que no se tenga que correr riesgo de interferencia con el proceso estudiado.

b) La medición es absolutamente específica y ninguna sustancia, de alguna naturaleza ( a menos que también sea radiactiva ), puede indicar falsamente la presencia del trazador o interferir la medición en sentido cualitativo.

c) No se requiere una identidad isotópica entre el trazador y la sustancia trazada; el trazador puede seleccionarse de un gran número de núclidos en un amplio rango de vidas medias y características de radiación para adecuar las condiciones experimentales en cada caso.

En particular es posible utilizar núclidos gamma-emisores, en la mayoría de las investigaciones. Esto tiene la ventaja de que las mediciones de concentración del trazador pueden llevarse a cabo a través de las paredes de tubos o recipientes, lo cual hace innecesario el molesto muestreo y, otra vez, garantiza que el proceso o sistema estudiado no es perturbado.



d) La sensibilidad de la medición de radiación, aunado con la ausencia de cualquier interferencia con el proceso estudiado, hace a los radiotrazadores perfectamente adecuados para investigaciones de procesos de operación a gran escala, bajo condiciones normales de planta.

#### **LAS DESVENTAJAS DE UTILIZAR RADIOTRAZADORES**

- a) Necesidad de autorización para adquisición y manipulación de material radiactivo.
- b) En el caso de radioisótopos de vida media corta, estos tienen que adquirirse y utilizarse en fechas fijas.
- c) Equipos de medición más costosos que el utilizado con los trazadores colorantes.

#### **PUREZA DEL RADIOTRAZADOR**

Es importante que el radioisótopo esté en la forma física y química adecuada para que sea representativo del material marcado. Si están presentes otros radioisótopos como impurezas, la detección gruesa de la actividad puede conducirnos a resultados incorrectos. Si las impurezas tienen que ser admitidas, entonces, debe diseñarse un método de medición adecuado para el verdadero trazador.

Se pueden enumerar tres tipos de impurezas; algunas veces, la impureza es inherente como en el caso del decaimiento del radiotrazador a un hijo radiactivo, un ejemplo de esto, es el Sr-90 el cual decae a Y-90 radiactivo.

Otro tipo de impureza resulta cuando dos radioisótopos del mismo elemento están presentes, por ejemplo, se producen Fe-55 y Fe-59 cuando el acero se somete a un flujo de neutrones térmicos. La impureza que resulta de la presencia de cualquier radioisótopo que no sea el radiotrazador que se esté utilizando es la más general. Esta situación ocurre a menudo cuando el radioisótopo trazador ha sido producido por activación neutrónica de un material impuro.

#### **SELECCION DE UN RADIOTRAZADOR**

Dependiendo del experimento, puede no haber elección del radiotrazador a utilizarse o puede haber una amplia variedad. Cuando hay disponibles diversos radiotrazadores, deben considerarse varios factores, por ejemplo:

- a) Costo

b) Vida media: La vida media debe ser suficientemente larga para realizar el estudio y corta para que éste decaiga completamente y sea fácil la descontaminación del material marcado.

c) Radiaciones emitidas ( tipo y energía ). Es deseable un radioisótopo con una radiación gamma de alta energía: para su fácil manejo se prefiere un radioisótopo beta-emisor ó alfa-emisor de baja energía.

d) Peligro de la radiación: El factor riesgo de daño por radiación depende de las condiciones del experimento planeado. Si hay peligro de ingestión, es deseable un radioisótopo de vida media biológica corta. Si hay peligro de sobreexposición por el radiotrazador, es deseable un emisor alfa o beta.

e) Disponibilidad: Se pueden obtener de varios proveedores comerciales y se puede obtener información acerca de la vida media, tipo de radiación, energía y posible daño por la radiación.

#### TECNICAS DE MARCADO

Un método común para hacer el marcado de un material sólido es irradiar una porción del material mismo y utilizar las actividades inducidas para la medición de la radiación. Un punto importante es que la muestra irradiada debe escogerse bien para que ésta sea una fracción representativa de un material no homogéneo al que se desea estudiar.

Otro método para hacer un trazado es por adsorción de un radionúclido sobre la superficie del material estudiado. Esta técnica parece ser de gran aplicación en aquellos casos en los cuales no puede inducirse un núclido adecuado en el material procesado ó cuando la irradiación está descartada debido al riesgo de degradación u otros efectos.

El radionúclido puede, alternativamente, dejarse que penetre dentro del material que va a marcarse y posteriormente puede fijarse a éste por medio de un tratamiento adecuado, como por ejemplo, investigaciones realizadas en Estados Unidos, muestran que el Kr-85 puede incorporarse a sustancias sólidas, aun metálicas, para usarse como trazador en estudios de desgaste y para mediciones de temperatura.

Un número considerable de investigaciones se han llevado a cabo utilizando trazadores artificiales, es decir, se utilizan sustancias modeladas de tal manera que sean imitaciones físicas del material estudiado, por ejemplo, la fibra de vidrio que produce Na-24 por irradiación, se utiliza para estudios de transporte y mezclado de la fibra de celulosa, la cual es difícil de marcar en

si misma por cualquier método y obtener una actividad específica suficiente.

El método más común para realizar un marcado de un compuesto ( o elemento ) químico sencillo o fase homogénea es utilizar un elemento o compuesto que sea soluble en éste. Este tipo de marcado se puede utilizar únicamente, cuando no ocurran cambios de estado. De esta manera, la fase acuosa en sistemas que contengan agua son marcadas a menudo con simples sales orgánicas, las cuales son elegidas por su poca tendencia a sufrir reacción.

Hay diversos núclidos de vidas medias cortas que forman parte de sales.

Como ejemplo tenemos:

Cl-38 (  $T_{1/2} = 37$  min. ), Na-24 (  $T_{1/2} = 15$  h. ), Br-82 (  $T_{1/2} = 36$  h. ), etc.

Los aceites pueden marcarse con compuestos solubles que contengan S-35 ó P-32 ( beta emisores ), Br-82, Sb-124, Co-60 ó Sc-46 ( gamma-emisores ).

Los gases son marcados adecuadamente con los isotopos radiactivos Xe-133 y Kr-85.

## CAPITULO V

### DETERMINACION DE LA HOMOGENEIDAD DE MEZCLADO

El mezclado es una operación mecánica muy importante en un gran número de industrias. Un mezclado pobre puede dar como resultado un producto no satisfactorio y un bajo rendimiento en la operación; un mezclado innecesario es pérdida de tiempo y energía. Los trazadores radiactivos o los trazadores en general, no son absolutamente necesarios para el estudio de los procesos de mezclado.

Puesto que las operaciones de mezclado implican, generalmente, diferentes componentes, cualquier método analítico que distinga los componentes puede ser utilizado.

Sin embargo, la facilidad, exactitud, selectividad y sensibilidad que se pueda lograr con los trazadores radiactivos, los hace la elección preferida para estudios de mezclado en muchos casos.

En algunos casos en los cuales es difícil o imposible de muestrear o el método analítico es muy tedioso para realizar, el trazador radiactivo puede ser el único método práctico a usarse.

Se pueden identificar tres parámetros importantes en un mezclado: Tiempo necesario de mezclado; homogeneidad del producto final y energía necesaria para el mezclado. De estos tres, los dos primeros pueden medirse por métodos de trazado.

#### a) TIEMPO DE MEZCLADO REQUERIDO

El conocimiento del tiempo de mezclado requerido o tiempo óptimo de mezclado, ayudará a evitar la obtención de un producto de calidad inferior ( si el tiempo de mezclado es insuficiente ) o un proceso ineficiente si se utilizan tiempos de mezclado más largos de lo necesario.

Debe tenerse en cuenta que tiempos de mezclado más grandes no siempre garantizan una mayor homogeneidad de la mezcla. En el caso de algunos materiales granulados, comienza a haber segregación cuando se sobrepasa el tiempo óptimo de mezclado.

Las técnicas de radiotrazado para determinar el tiempo óptimo de mezclado implica mezclar un radiotrazador adecuado con un constituyente de los materiales, ( asegurándose que el radiotrazador es compatible con los componentes a mezclarse ) y después realizar la operación de mezclado de la manera usual. Debe utilizarse un radiisótopo de vida media corta ( cuando sea posible ), para minimizar el riesgo en caso de ocurrir derrames.

El método más simple y más conveniente para medir el tiempo de mezclado necesario, consiste en registrar la respuesta de un detector de radiación que ha sido instalado en la pared externa del recipiente de mezclado.

Después de que la acción de mezclado comienza, se observarán grandes fluctuaciones en la respuesta del detector. Esto se debe a que el trazador está aún contenido en un pequeño volumen y el detector de radiación responde únicamente cuando el trazador está cerca del punto de detección. A medida que el mezclado continúa, el trazador será dispersado y las oscilaciones en la respuesta del detector serán menores. Finalmente, las oscilaciones disminuirán a un valor constante indicando que el mezclado ha llegado a su término.

El tiempo necesario para tener un mezclado homogéneo se obtiene cuando la concentración del radiotrazador está distribuido en forma homogénea a través de toda la mezcla y las variaciones se deben únicamente a las fluctuaciones estadísticas de conteo del aparato utilizado.

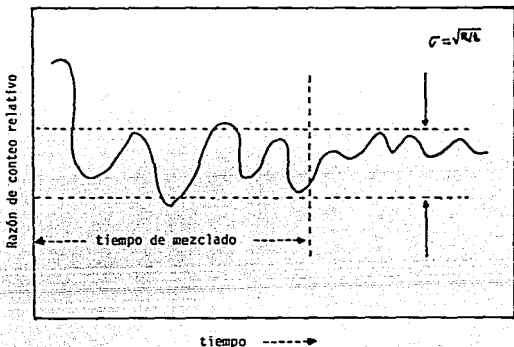


Fig.2 Razón de conteo vs tiempo para una determinación de tiempo de mezclado en una detección continua.

Se debe tener cuidado con los datos tomados de esta manera para el tiempo de mezclado. Lo que se cree que está homogéneo, puede representar que lo está a la escala que el aparato puede discernir.

Debido a esta dificultad en el análisis de datos de detección continua es algunas veces más satisfactorio utilizar el método de muestreo para determinar el tiempo de mezclado.

Para este caso, se pueden tomar muestras al azar a tiempos prefijados y medir con el detector conectado a un escalador. El mezclado se ha completado ( para el tamaño de muestra empleado ), cuando las fluctuaciones en el conteo de una muestra a otra se deben únicamente a fluctuaciones estadísticas en la medición de cada muestra.

Un método más preciso y más controlable consiste en tomar un conjunto de muestras del recipiente mezclador, a ciertos tiempos después de comenzar el mezclado. La razón de conteo de cada grupo de muestras, se utiliza para calcular la desviación estándar con la ecuación:

$$\sigma = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i)^2}{n-1} \right]^{1/2}$$

Donde:  $R_i$  = No. de cuentas de la muestra  $i$

$\bar{R}$  = Media aritmética del No. de cuentas del grupo de cuentas.

$n$  = No. de muestras totales del grupo.

Esta desviación estándar deberá disminuir hasta alcanzar el valor constante dictado por las fluctuaciones estadísticas de conteo. En muchos casos, la desviación estándar disminuye como si fuera decayendo exponencialmente.

El tiempo necesario para un mezclado completo puede determinarse graficando la desviación estándar de cada grupo de muestras contra el tiempo transcurrido desde el comienzo del mezclado y el tiempo para cada toma de muestras.

Se observa que la desviación estándar de cada grupo de muestras disminuye para cada grupo subsecuente hasta que la desviación estándar es igual a las fluctuaciones estadísticas del muestreo medido. En este punto, la desviación estándar es constante con el tiempo.

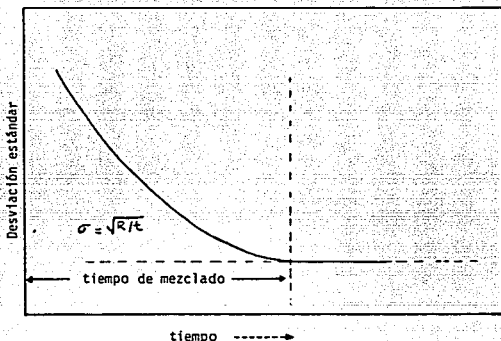


Fig.3 Tiempo óptimo de mezclado.

#### b) HOMOGENEIDAD DE LA MEZCLA FINAL

Debe tenerse en cuenta que la homogeneidad es relativa al tamaño de la escala que se está considerando. Una mezcla puede ser homogénea en una escala grande ( por ejemplo, cuando se consideran porciones de 50 ml. de una mezcla de un litro ) y no homogénea en una escala menor ( por ejemplo, cuando se consideran porciones de 1 ml. de la misma muestra de un litro ).

Se debe especificar la escala de homogeneidad deseada, ya que no se puede lograr homogeneidad a todas las escalas. La homogeneidad total u homogeneidad a escala infinitamente pequeña no puede lograrse. Por ejemplo, con sólidos granulados, la homogeneidad no puede llevarse más allá del tamaño de los gránulos mismos. Con líquidos totalmente miscibles, la homogeneidad a escala menor de las dimensiones moleculares es obviamente imposible.

Sin embargo, la homogeneidad total no es necesaria en la práctica industrial. Se considera que la homogeneidad es suficiente cuando las especificaciones de uniformidad del producto, visuales, químicas y mecánicas son alcanzadas.

## CAPITULO VI

### DETECCION DE FUGAS Y OBSTRUCCIONES

Las técnicas de radioisótopos para la detección y localización de fugas han resultado útiles en diversas industrias. Los productos químicos, la conservación de las líneas telefónicas, el manejo del petróleo, la construcción de viviendas, la manufactura de transistores y los conductos de distribución de agua, se cuentan entre los diversos campos en que estos métodos han reducido los costos y han acelerado la solución de los problemas de fugas.

En muchas de estas aplicaciones, el método básico consiste en mezclar una pequeña cantidad de trazador radiactivo con el líquido o gas contenido y dejar que pase a través de la fisura o fuga. La localización de la fuga se hace explorando los tubos o depósitos con un detector sensible a la radiación.

Hay dos formas de evitar las falsas indicaciones que emanan del interior del sistema cerrado. En una de ellas se elige un isótopo cuya radiación sea de energía tan baja que no pueda atravesar la pared del tubo o recipiente.

En la otra, se limpia el interior de estos por inundación antes de explorar para localizar la fuga.

De igual manera, para la localización de obstrucciones en ductos, se utiliza un isótopo radiactivo, el cual se añade al fluido y se va rastreando a lo largo de éste, de tal manera que al llegar a una obstrucción, se detiene el monitoreo o la detección de la actividad y así se localiza la obstrucción y se mapea la figura de ésta.

Podemos citar algunos ejemplos de la aplicación de los radioisótopos. Los cables telefónicos de gran distancia contienen hilo aislado con papel en una envoltura de plomo, enterrado bajo la superficie del pavimento.

Cualquier orificio existente en el plomo, permitirá la entrada de agua con el consiguiente corto circuito de los conductores en el cable. Para localizar algún orificio, se llena el plomo del cable con nitrógeno a presión. Una caída de presión indica la fuga, pero para reparar el orificio hay que localizarlo primero; esto se puede lograr bombeando gas de bromuro de metilo conteniendo bromo radiactivo en el cable.

El bromuro de metilo se difunde hacia arriba escapando por el orificio y permanece absorbido en el suelo cerca de la superficie. La superficie se explora con un detector portátil de radiación tipo Geiger Müller, pudiéndose localizar fugas tan pequeñas como de una diezmilésima de litro por minuto.

Los escapes en los grandes oleoductos de petróleo y derivados, son importantes no solo por la pérdida de combustible tan valioso, sino



también por el riesgo de contaminación de los abastecimientos de agua en las áreas por donde pasa el oleoducto.

La manera en que se pueden medir y detectar fugas a lo largo de un oleoducto sin tener la necesidad de desenterrar la línea, se realiza de la siguiente manera:

Se envía a través de la tubería una carga de radioisótopo soluble en aceite. Cuando este material pasa por el tubo, una pequeña fracción se escapa por los puntos de fuga de la tubería. Después se lava por inundación el material radiactivo que permanece dentro de la tubería, con el propio petróleo que se envía detrás de aquel.

Al cabo de una hora se monta en la tubería un pequeño dispositivo que detecta y registra la presencia de radiactividad y que es remolcado de un extremo a otro del tubo por un "raspatubo". Este instrumento alimentado por baterías, contiene cuatro contadores Geiger y un dispositivo miniatura de registrador de hilo que hace el registro exacto del material radiactivo que detectan los contadores.

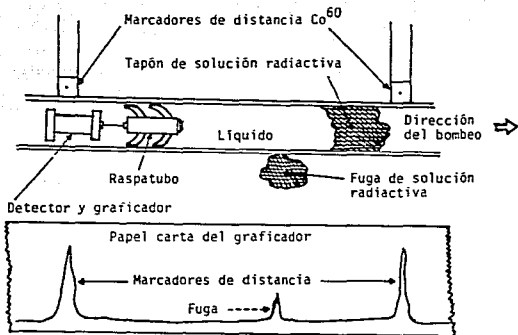
En las válvulas y otros puntos accesibles de la línea hay fijadas fuentes radiactivas que son también detectadas y registradas para la calibración.

Cuando el detector llega al otro extremo del oleoducto, la señal es alimentada a través de un medidor de velocidad o gasto, a un aparato registrador que dibuja un gráfico en una banda de papel en el cual aparecen las crestas o máximos cada vez que el instrumento pasa por un área de fuga y otras crestas correspondientes a las fuentes radiactivas fijas. Ver fig. 4

Otro ejemplo de la aptitud de los radioisótopos para detectar escapes, es su uso para determinar fugas en los tubos o válvulas de vacío y transistores. Esto se puede realizar de manera rápida y económica introduciendo los tubos en una cámara en la que también se introduce gas criptón radiactivo ( $Kr-85$ ) a presión. Después de algunos minutos, se extrae el gas radiactivo y se les mete aire. Luego se les hace pasar cerca de un detector de radiación. Si alguno de ellos tiene fuga, contendrá una traza de criptón radiactivo y podrá ser extraído fácilmente del lote.

Como ejemplo final se detalla el uso de radionúclidos de vida media corta para detectar roturas o fugas en ampollas de productos estériles.

Una necesidad en las ampollas de vidrio, es que deben estar totalmente selladas para evitar la entrada de contaminación. Durante las fases de producción y almacenamiento de parenterales estériles en es de gran importancia la exclusión de contaminación particular y microbiana.



**Fig.4** Detección de fugas en tuberías de aceite.

La posibilidad de contaminación del producto a través de pequeñas roturas u orificios en la pared de una ampollita provocadas durante el sellado o la manipulación, hace imperativo la detección de tales imperfecciones si se quiere asegurar la esterilidad y estabilidad del producto.

La posibilidad de emplear radionúclidos de vida media corta para la detección de fugas ha sido estudiado usando Tc-99 metaestable, en forma de pertecnetato de sodio ( emisor gamma de baja energía, 142.7 KeV, con vida media de 6 horas ).

El pertecnetato de sodio es muy soluble en agua y puede eliminarse de la superficie de la ampollita utilizando agua destilada o una solución salina.

Otro radionúclido de utilidad es el Cr-51, en forma de cronato de sodio; este emite radiación gamma de 320 KeV y tiene una vida media de 28 días.

La forma de realizar la " prueba de sellado " de las ampollitas se realiza depositando estas en un recipiente que contenga agua y un colorante en solución. Al recipiente se le aplica presión o vacío durante cierto tiempo. Si la ampollita presenta fisuras, el colorante penetra al interior de la ampollita coloreando el producto; posteriormente se libera la presión o el vacío del recipiente, se sacan las ampollitas, se lavan para eliminar el colorante del exterior y se examinan visualmente para detectar si existe cambio de color en el contenido de éstas.

El problema de este método se hace evidente cuando el pH del producto hace variar el tono del colorante; cuando la fisura es demasiado pequeña la penetración del colorante es insignificante y por consiguiente no detectable y cuando el color del vidrio de la ampollita es ámbar.

Estos problemas se eliminan utilizando los radionúclidos antes mencionados en solución con el colorante; la técnica será la misma, pero la detección de fugas o fisuras se hará utilizando un detector sensible a la radiación.

## CAPITULO VII

### HIGIENE INDUSTRIAL

Además de las aplicaciones antes expuestas, los radioisótopos han reducido los costos y resuelto problemas en una gran variedad de otras aplicaciones de fabricación y proceso.

En algunos casos se añaden pequeñas cantidades de material radiactivo a ciertos productos para mejorar sus propiedades; por ejemplo, una traza de radio-cripton en las lámparas de descarga luminosa de neon, estabilizan su tensión de excitación.

Sin embargo, en la mayoría de los casos el radioisótopo ha degenerado o ha sido extraído antes de que el producto llegue a manos del usuario o bien el radioisótopo se utiliza externamente al producto.

### DISIPACION DE CARGAS ELECTROSTATICAS.

La eliminación de cargas electrostáticas mediante el uso de radioisótopos ha llegado a ser importante en numerosos campos industriales, incluyendo la manufactura de plásticos, papel, textiles, películas fotográficas, explosivos, etc.

La electricidad estática se produce cuando dos superficies, aun del mismo material, se ponen en contacto uno con otro, como un resultado del intercambio de partículas cargadas de una superficie con otra.

Por ejemplo, en la industria textil el tejido de fibras sintéticas era dificultado por el hecho de que se establecía una carga electrostática en los hilos, la cual tendía a separarlos. Se determinó que el uso de una fuente radiactiva para eliminar la carga electrostática de los hilos podía triplicar la velocidad de las operaciones de producción.

Existen dos métodos para eliminar la carga electrostática utilizando fuentes de radioisótopos.

#### 1. IONIZACION DIRECTA

En este método, el cual es uno de los más usados, el isótopo se coloca en un recipiente aterrizado, es decir, conectado a tierra y acomodado de tal forma que produzca el mayor número posible de iones entre la superficie cargada y el conductor eléctrico más próximo. Ver fig.5

El principio aquí implicado es muy sencillo; la radiación de la fuente ioniza el aire, es decir, separa algunos átomos del aire en partículas negativas y positivas. Cuando este aire ionizado se aproxima a la superficie de los hilos, neutraliza las cargas estáticas que puedan estar presentes en la superficie.

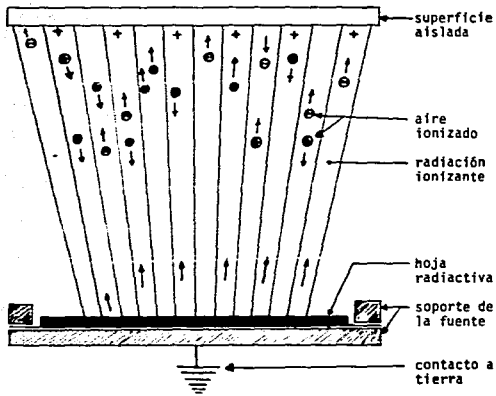


Fig.5 Principio de funcionamiento de un eliminador de estática radiactivo.

Para cada aplicación práctica existe una distancia óptima para la fuente con respecto a la superficie cargada de tal modo que proporcione un espacio adecuado para la ionización además de una colección eficiente de cargas.

Por ejemplo, se ha determinado que para las partículas beta del Tl-204, la distancia está en el rango de los 30 a 45 centímetros; para las partículas beta del Sr-90/Y-90, la distancia más efectiva es de 60 y 70 centímetros.

La distancia óptima para las partículas alfa está entre los 3 y 6 centímetros. Si existen conductores metálicos cerca de la superficie cargada, se puede requerir modificación de estas distancias.

Los emisores beta cuyas energías estén entre los 0.7 y 2.3 MeV, producen de 50 a 150 pares iónicos por centímetro y son útiles para disipar cargas estáticas de grandes áreas.

Los emisores alfa, que son utilizados principalmente para disipar cargas de áreas pequeñas, poseen una ionización específica superior

( 30,000 a 60,000 pares de iones por centimetro ), pero de corto alcance ( 5 a 7 cm. ).

En la tabla siguiente podemos ver las propiedades de algunos isótopos utilizados para la eliminación de cargas estáticas.

a) Emisores alfa

ISOTOPO	t <sub>1/2</sub> años	ENERGIA MeV	PENETRACION en cm. de aire	OTRAS RADIACIONES	PROTECCION REQUERIDA	CONCENTRACION MAX. PERMISIBLE EN AIRE, EN AREAS DE TRABAJO Curies/cm <sup>3</sup>
Po-210	0.38	5.3	4	Gama (1 en 10 <sup>5</sup> )	Ninguna	2 x 10 <sup>-12</sup>
Ra-226	1620	4-6	3.2-6.8	Varias gammas	de 5-10 cm. de plomo ó plomo.	2 x 10 <sup>-7</sup>
Am-241	470	5.5	4	Gama de baja energía	2 cm. de Hierro	1 x 10 <sup>-10</sup>

b) Emisores beta

H <sup>3</sup>	12.3	0.015	0.1	Ninguna	Ninguna	8 x 10 <sup>-6</sup>
Kr-85	10.6	0.67	25	Gama (0.51 MeV)	3 mm. de Fe	1 x 10 <sup>-5</sup>
Sr <sup>90</sup> / Y <sup>90</sup>	28	0.54 , 2.25	135	Ninguna	3 mm. de Fe	1 x 10 <sup>-7</sup>
Tl-204	3.9	0.77	30	Rayos X (2%)	3 mm. de Fe	3 x 10 <sup>-8</sup>
S-35	0.2	0.167	2.2	Ninguna	0.5 mm. de Al	3 x 10 <sup>-7</sup>
C-14	5760	0.155	2.1	Ninguna	0.5 mm. de Al	5 x 10 <sup>-5</sup>
Pm-147	2.6	0.22	3.5	Ninguna	2.0 mm. de Fe	1 x 10 <sup>-7</sup>

Tabla No.2 Algunas propiedades de isótopos usados en eliminadores de estática.

En algunos casos no es posible disipar la carga electrostática con una fuente radiactiva en la inmediata proximidad, ya sea por el peligro que implique para el personal o que una radiación débil sea excesiva (por ejemplo, en las fábricas de películas fotográficas).

Una solución a este problema la ofrece el llamado soplador de iones. Estos dispositivos diseñados por Quinton y Ljunggren arrojan aire ionizado sobre las superficies cargadas, eliminando de esta manera la estática. Ver fig. 6

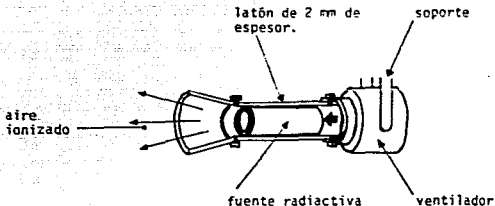
La eficiencia es menor si la comparamos con los eliminadores de estática por ionización directa y su rango de efectividad está limitada a uno o dos metros.

Ljunggren concluyó que los sopladores de iones pueden utilizarse eficientemente proporcionando corrientes hasta de 0.1 microamperios

para la eliminación de cargas estáticas, utilizando emisores beta de 100 microcuries, sin peligro por la radiación.

Estos sin embargo no ofrecen una forma de utilizar fuentes más activas de manera eficiente para la eliminación de estática debido a su acción limitada por la recombinación de iones.

Un soplador de iones, que produjera iones de una sola polaridad, no estaría limitado por la recombinación, pero tendría la desventaja de ser útil únicamente contra cargas de un solo signo.



**Fig.6** Diagrama de un soplador de iones para la eliminación de cargas estáticas.

En la literatura se habla ya del uso de sopladores de iones conteniendo una fuente de partículas alfa para eliminar el polvo y fibras de algodón de las superficies de partes automotrices que van a pintarse. Este problema es particularmente importante cuando se pintan superficies de plástico, ya que su baja conductividad da como resultado grandes cargas estáticas.

El aire no ionizado no remueve las partículas, pero el aire ionizado neutraliza primero la carga y después elimina las partículas. También han encontrado uso en los quirófanos de los hospitales para evitar explosiones por la ignición de los gases anestésicos.

## 2. DETECTORES DE IONIZACION

Numerosos instrumentos industriales utilizan el principio de variación de corriente producida en las cámaras de ionización por la introducción de impurezas en los gases que contienen.

Generalmente, el efecto es reducir la eficiencia con que los iones son colectados. Un aparato que ha sido utilizado por años para proteger fábricas y laboratorios contra el fuego, es el detector de humo. Ver fig.7

Cuando una cámara de ionización es colocada cerca de una fuente radiactiva, fluye una corriente entre los electrodos, siendo esta una medida de la intensidad de la fuente. Sin embargo, si una bocanada de humo penetra al interior de la cámara, la corriente baja notablemente debido a que las partículas pesadas de humo capturan algunos de estos iones y los hacen mover más lentamente en el campo eléctrico aplicado, de tal modo que muchos de estos se pierden por recombinación.

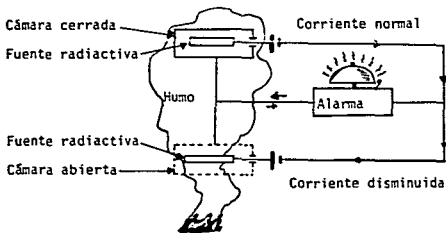


Fig.7 Esquema de un detector de humo.

El detector de humo consta de dos cámaras de ionización, una sellada conteniendo aire y una abierta a la atmósfera y por lo tanto a las partículas de humo que puedan estar presentes. Cada una está equipada con una pequeña fuente de partículas alfa para producir ionización, las cámaras se ajustan de tal manera que están en equilibrio cuando la atmósfera está sin humo. En el sistema mostrado, el humo en la cámara abierta provoca un desequilibrio en las corrientes de ionización, el cual puede ser amplificado para operar un dispositivo que haga sonar una alarma.



## CAPITULO VIII

### MEDIDAS DE DESGASTE Y DURABILIDAD DE EQUIPOS

Para muchas clases de productos, el responder a la pregunta ¿ Cuánto durará este producto ?, es bastante difícil. Efectuar el ensayo necesario para determinar la vida de servicio garantizado es destructivo y exige generalmente un tiempo demasiado largo para que resulte práctico.

En muchos casos, las técnicas que utilizan radioisótopos han sido la solución a tan grande problema. Puesto que las trazas de material radiactivo pueden ser detectadas con una alta sensibilidad, es posible medir millonésimas de una onza de desgaste y por lo tanto, es posible predecir rápida, certera y económicamente cuánto puede durar una parte desgastable.

Podemos ilustrar como se realiza una técnica de ensayo con radioisótopos mencionando como ejemplo el desgaste de una herramienta de corte: la herramienta se vuelve radiactiva al irradiarla con neutrones en un reactor nuclear. El hierro radiactivo desprendido de la herramienta por desgaste durante unos minutos de uso, se incorpora al lubricante o se adhiere a la viruta. Una medición de la viruta y lubricante con un detector sensible a la radiación, tal como un contador de centelleo, indicará rápidamente cuánto se está gastando la herramienta.

Los datos de desgaste pueden ser obtenidos rápidamente para diferentes cargas, velocidades de corte, tipo de material trabajado y tipo de fluidos de cortar. Solo son necesarios algunos minutos de operación en cada condición para obtener una información completa relativa a la elección de velocidades, cargas, etc., que de la indicación de cuál ha de ser el máximo uso de la herramienta antes de que sea necesario afilarla o reemplazarla.

A veces es importante obtener una medición continua del desgaste. Por ejemplo, en el ensayo de un motor de automóvil para el desgaste de los aros del pistón, el montaje y el desmontaje son laboriosos. También es importante no solo cuánto tarda en producirse el desgaste en cada condición de funcionamiento, sino el desgaste transitorio que se producirá cuando las condiciones varían repentinamente.

Si los aros del pistón son radiactivos, es posible comprobar la radiactividad en el aceite del cigüeñal continuamente. El volver radiactiva la parte motivo de estudio da resultados admirables, pero tiene la desventaja de que se introduce en un área de la fábrica una cantidad grande de material radiactivo, con la

consiguiente necesidad de las precauciones de seguridad que ésto entraña.

En muchos casos, estas precauciones pueden ser adoptadas con facilidad, si la parte sometida a desgaste es muy grande, un eje de turbina por ejemplo, se hace difícil hallar una cámara de reactor nuclear lo bastante grande para irradiarla. Además los problemas de seguridad se multiplican. Una manera de solventar esta dificultad es hacer radiactiva solamente la superficie del eje, en vez de todo el volumen.

Esto se efectúa bombardeando la superficie con deuterones en vez de neutrones, los deuterones penetran sólo algunas centésimas de pulgada en el acero, mientras que los neutrones las atraviezan. Por consiguiente la radiactividad inducida por deuterones se confina a la porción del acero que se está desgastando, con la consiguiente disminución de los problemas de manipulación.

En los casos en que se requiere medir el desgaste de partes ya montadas que no puedan ser movidas para ser bombardeadas y volverlas radiactivas, se recurre a técnicas tal como la de reunir una muestra del aceite de lubricación en el cual se incorporaron las trazas de hierro desprendido por desgaste y se irradia con neutrones. Así, el hierro desprendido se torna radiactivo después de que se ha separado de la parte estudiada.

Puede medirse el contenido de hierro del aceite con un detector sensible a la radiación y determinarse así, la magnitud del desgaste.

En ocasiones es preferible utilizar la técnica anterior y para otras es mejor la de bombardear la parte en estudio.

El hacer radiactiva a la propia parte proporciona un método más sencillo y más sensible, pero en cambio la activación de aceite tiene la ventaja que el personal que hace uso de la máquina no manipula partes radiactivas, pero tiene la desventaja de que es un método de muestreo y no permite la medición continua.

Los métodos descritos anteriormente para medir el desgaste mecánico pueden ser empleados también para medir velocidades de corrosión, como por ejemplo, la corrosión sufrida por un oleoducto se puede determinar volviendo radiactiva una sección corta de tubería, activandola con neutrones en un reactor nuclear. Esta sección se coloca nuevamente en el circuito de ensayo y se hace pasar el fluido que correrá por la tubería normalmente y se toman muestras para determinar su radiactividad después de algunas horas de circulación.

El uso de trazadores radiactivos para la determinación de desgaste y durabilidad de partes de maquinaria tiene gran auge en la industria automotriz para determinar el desgaste en las partes

consiguiente necesidad de las precauciones de seguridad que esto entraña.

En muchos casos, estas precauciones pueden ser adoptadas con facilidad, si la parte sometida a desgaste es muy grande, un eje de turbina por ejemplo, se hace difícil hallar una cámara de reactor nuclear lo bastante grande para irradiarla. Además los problemas de seguridad se multiplican. Una manera de solventar esta dificultad es hacer radiactiva solamente la superficie del eje, en vez de todo el volumen. Esto se efectúa bombardeando la superficie con deuterones en vez de neutrones. los deuterones penetran sólo algunas centésimas de pulgada en el acero, mientras que los neutrones las atraviesan. Por consiguiente la radiactividad inducida por deuterones se confina a la porción del acero que se está desgastando, con la consiguiente disminución de los problemas de manipulación.

En los casos en que se requiere medir el desgaste de partes ya montadas que no puedan ser movidas para ser bombardeadas y volverlas radiactivas, se recurre a técnicas tal como la de reunir una muestra del aceite de lubricación en el cual se incorporaron las trizas de hierro desprendido por desgaste y se irradia con neutrones. Así, el hierro desprendido se torna radiactivo después de que se ha separado de la parte estudiada. Puede medirse el contenido de hierro del aceite con un detector sensible a la radiación y determinarse así, la magnitud del desgaste.

En ocasiones es preferible utilizar la técnica anterior y para otras es mejor la de bombardear la parte en estudio. El hacer radiactiva a la propia parte proporciona un método más sencillo y más sensible, pero en cambio la activación de aceite tiene la ventaja que el personal que hace uso de la máquina no manipula partes radiactivas, pero tiene la desventaja de que es un método de muestreo y no permite la medición continua.

Los métodos descritos anteriormente para medir el desgaste mecánico pueden ser empleados también para medir velocidades de corrosión, como por ejemplo, la corrosión sufrida por un oleoducto se puede determinar volviendo radiactiva una sección corta de tubería, activandola con neutrones en un reactor nuclear. Esta sección se coloca nuevamente en el circuito de ensayo y se hace pasar el fluido que correrá por la tubería normalmente y se toman muestras para determinar su radiactividad después de algunas horas de circulación.

El uso de trazadores radiactivos para la determinación de desgaste y durabilidad de partes de maquinaria tiene gran auge en la industria automotriz para determinar el desgaste en las partes

de las máquinas de combustión puesto que los métodos mecánicos de medición tales como pesar y medir las partes dan información únicamente del uso máximo.

Estos métodos implican desmantelar la máquina y son por lo tanto tediosos y tardados. Cualquier cambio que ocurra en el reensamble de las partes introducirá nuevos parámetros de uso influyendo entonces en el periodo de durabilidad.

Para estos estudios, se irradian las partes con una fuente de neutrones y se selecciona el isótopo formado, según el material de que está hecha la parte, tales como el Fe-59, Mn-54, Sb-124.

Otras industrias que utilizan trazadores radiactivos para estudios de durabilidad y desgaste son :

**INDUSTRIA DE MINERIA :** Para usarse en tuberías de transporte de agua; estudio de componentes de lubricantes y maquinaria; en molinos de bolas.

**INDUSTRIA TEXTIL :** Desgaste de fibras.

**INDUSTRIA MADERERA :** Estudios de durabilidad de herramientas leñadoras.

**INDUSTRIA HULERA :** Durabilidad de llantas.

**INDUSTRIA DEL PETROLEO Y DEL CARBON :** Estudios de corrosión de tanques y recipientes de proceso.

**INDUSTRIA ELECTRICA :** Estudios de desgaste de las hojas de las turbinas.

**ETC.**

## CAPITULO IX

### MEDICION DE NIVELES. VOLUMENES Y ESPESORES

La creciente popularidad de los indicadores de radioisótopo es debida principalmente a que miden de modo continuo el espesor, la densidad o la posición de los materiales sin tocarlos.

Los radioisótopos pueden indicar el nivel de un liquido en un depósito de acero cerrado herméticamente; pueden efectuar un registro de las variaciones de espesor en el papel esmeril inmediatamente despues de ser recubierto y moviéndose a velocidad de 3.0 metros por minuto en una línea de producción; pueden medir el espesor de un revestimiento de barniz sobre material para botes de lata y corregir automáticamente la maquinaria cuando el recubrimiento es demasiado grueso o demasiado delgado; pueden, incluso inspeccionar el interior de un tubo por el que circule agua caliente para indicar si se forman burbujas de vapor.

Tanto si son empleados para medir espesor, densidad o nivel, los indicadores de radioisótopo tienen cuatro ventajas principales respecto a los procedimientos ordinarios:

- 1) No hay contacto mecánico con el material verificado.
- 2) Empleando una radiación penetrante, se puede medir el contenido de los tubos o depósitos desde su exterior.
- 3) Se pueden leer las mediciones continuas en puntos remotos.
- 4) Las señales indicadoras pueden ser aplicadas a válvulas, conmutadores, etc. para el control automático del proceso.

En una aplicación de indicación o verificación, es importante elegir el isótopo apropiado para obtener la máxima sensibilidad.

En general se eligen emisores de partículas beta para materiales delgados y emisores de rayos gamma para materiales gruesos. Sin embargo, en cualquier caso los diferentes isótopos emiten radiación beta o gamma de diferentes energías y se debe elegir la energía de la radiación beta o gamma que dé el mejor resultado para la aplicación específica.

En el caso de partículas beta suele ser conveniente seleccionar las partículas beta de energía más baja capaz de penetrar en el material que se haya de reconocer o verificar. En el caso de rayos gamma se debe elegir un isótopo que emita rayos gamma de energía tal que represente un compromiso entre la potencia de la fuente y la sensibilidad del detector.

Las siguientes tablas indican los isótopos mas comunmente utilizados para indicación por radiación gamma.

Radioisótopos	Máxima energía beta (MeV)	Máxima penetración en acero (mm)	periodo de semidesintegración
Tritio	0.018	0.00068	12.4 años
Ni-63	0.067	0.000863	100 años
Pm-147	0.223	0.0635	2.6 años
Kr-85	0.695	0.330	10.7 años
Sr-90/ Y-90	2.26	1.422	28.5 años

Tabla No.3 Espesores beta utilizados para indicación.

Radioisótopos	Máxima energía gamma (MeV)	Penetración media en acero (mm)	periodo de semidesintegración
Fe-55	0.0060	0.0127	2.7 años
Ca-137	0.66	16.510	30.1 años
Co-60	1.25	22.860	5.3 años

Tabla No.4 Espesores gamma utilizados para indicación.

Como puede verse, estos isótopos tienen periodos de semidesintegración bastante largos y cubren una gamma de energías adecuadas para varios espesores de materiales, desde los papeles de seda más delgados hasta varias pulgadas de acero.

Las precauciones de seguridad para la verificación con radiación beta y gamma no son tan complicadas como las que requieren otras aplicaciones de isótopos, a causa de que los materiales radiactivos se guardan en estuches herméticamente cerrados. Por consiguiente no pueden contaminar los materiales ni penetrar en el cuerpo humano.

Para medir espesores existen dos metodos. El primero, conocido como " Medidas por transmisión ", se puede emplear para determinar:

a) Espesores de materiales homogéneos, por ejemplo aluminio o acero. Materiales heterogéneos de composición constante como papel o plástico.

b) La composición de ciertos materiales heterogéneos.

c) La densidad de un material de espesor constante, tal como un líquido en una tubería.

Se coloca el material entre una fuente radiactiva apropiada y un detector de radiación; la cantidad de radiación  $I$  que alcanza el detector viene dada por  $I = I_0 e^{-\mu x}$ , donde  $I_0$  es la intensidad de la radiación sin absorción;  $\mu$  es el coeficiente de absorción másico y  $x$  es la masa por unidad de área.

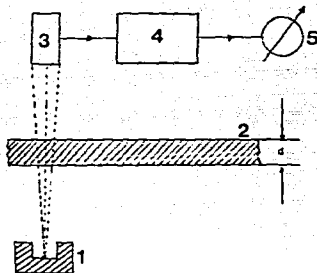


Fig.8 La posición más sencilla para medir el espesor o la densidad por medio de la absorción de la radiación; donde : 1= fuente radiactiva; 2 = material a medir; 3 = detector de radiación; 4= convertidor de señal; 5 = registrador.

El espesor de semirreducción  $x = 1/2$ , que frecuentemente se da en miligramos por centímetro cuadrado, es el espesor que reduce la intensidad de radiación a la mitad:  $x = 1/2 = 0.693/\mu$ .

La variación de  $\mu$  con el número atómico es pequeña para partículas beta y para fotones gamma de alta energía, pero los fotones de energía baja se absorben preferentemente en materiales

de número atómico alto.

Así, la propiedad del material que se mide por transmisión de partículas beta o rayos gamma de alta energía es la masa por unidad de área y cuando el espesor es constante, como sucede con líquidos o suspensiones en una tubería, se puede determinar la densidad.

La absorción preferente de radiación gamma de energía baja, procedente de radioisótopos apropiados o de rayos X de fuentes de radiación de frenado, se puede emplear para determinar impurezas de número atómico superior en un material de bajo número atómico, por ejemplo, azufre o plomo en hidrocarburos. Tales determinaciones no son destructivas y no tiene lugar el contacto entre la fuente de radiación y el material que se está midiendo; se pueden hacer medidas de densidad sobre materiales a temperatura elevada en forma de lámina o cinta producida continuamente o que se mueve a gran velocidad y sobre materiales blandos o maleables; en los que el acabado superficial es importante.

En el segundo método conocido como "Técnica de retrodispersión", tanto la fuente como el detector (adecuadamente protegido de la radiación directa), se colocan en el mismo lado del material a medir.

Este método es sobrenanera apropiado para medir el espesor de un recubrimiento de metal o plástico sobre una base de material diferente. Las partículas beta que inciden sobre un material, se desvían, bien por los electrones (dispersión electrón-electrón) o bien por los núcleos atómicos (dispersión nuclear). El primer fenómeno es más o menos independiente del número atómico Z, mientras que la dispersión nuclear aumenta con Z; la intensidad total de la radiación retrodispersa depende, en una forma compleja de estos dos fenómenos.

No obstante, para hacer estudios de posibilidad, hay expresiones empíricas útiles, por ejemplo:

$$I = I_s (1 - e^{-\mu x})^2$$

Donde  $\mu$  es la masa por unidad de área en gramos por centímetro cuadrado;  $\rho$  es equivalente también a  $\rho x$ , donde  $\rho$  es la densidad y  $x$  el espesor en centímetros;  $\mu/2$  es el espesor hemirreductor para la absorción beta;  $I_s$  es la intensidad de saturación.

La masa por unidad de área para retrodispersión de saturación se define arbitrariamente como el valor de  $\mu$  para el que:

$I = 0.95 I_s$  y viene dada por  $\mu = 1.5 \mu/2$ . Puesto que  $\mu/2$  aumenta con la energía creciente de las partículas beta, el intervalo de espesores medible depende del radioisótopo que se use.

Para algunas aplicaciones, la radiación gamma blanda o la radiación de frenado de espectro continuo son más apropiadas que la radiación



beta; en estos casos se han de considerar los efectos de la absorción fotoeléctrica y de la dispersión Compton.

Esta aplicación exige fuentes con área lo más pequeña posible, porque se debe proteger el detector de la radiación directa. Se emplean discos de lámina metálica o mejor de materiales cerámicos que contienen un emisor beta puro, un emisor gamma blando o una mezcla de emisor beta y material blanco como una fuente de radiación de frenado.

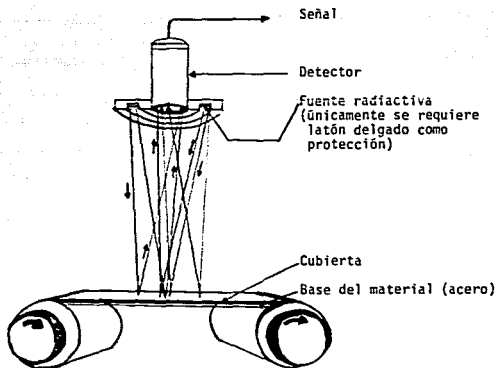


Fig.9 Medidor de espesor por retrodispersión beta.

Una versión simplificada de un detector de transmisión, puede utilizarse para indicar el nivel de líquidos contenidos en tanques o tuberías cerradas. El medidor de radiación más usual, consiste de una fuente radiactiva y un detector montados a la misma altura en los lados opuestos del contenedor.

La elección de la fuente se realiza de tal manera que sus radiaciones puedan penetrar las paredes del recipiente, pero son

detenidas o por lo menos reducidas cuando el contenido se eleva a la altura del nivel y el detector, interponiéndose entre ambos.

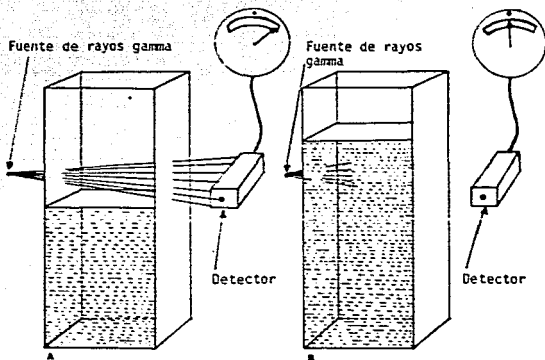


Fig.10 Medidor de nivel por radiación.

- Con nivel bajo, las radiaciones penetran al detector.
- Con nivel alto, la mayoría de las radiaciones son absorbidas por el líquido.

No se requiere gran precisión o estabilidad de lectura en el detector, ya que solo opera como un indicador de señal si / no, para indicar si las radiaciones le llegan o no.

En la práctica siempre hay un pequeño rango de niveles sobre los cuales las radiaciones son parcialmente detenidas por el líquido; la respuesta del detector varía rápidamente con el cambio de nivel en este rango, permitiendo una determinación exacta del nivel.

Los medidores de nivel de este tipo son particularmente útiles en los procesos de ingeniería química, donde líquidos

corrosivos o líquidos sujetos a altas presiones están totalmente cubiertos en recipientes sellados por lo que los flotadores internos o mirillas transparentes para inspección son inadecuadas.

Se utiliza Co-60 como fuente de rayos gamma de penetración en la industria del acero, para medir el nivel del metal fundido en los hornos. Medidores similares son ampliamente usados en la fabricación del vidrio fundido. Aquí las radiaciones tienen que penetrar paredes de ladrillo hasta de ocho pulgadas de espesor para alcanzar el detector.

Así como la respuesta de un medidor radiactivo de espesor puede utilizarse como control, también un detector de nivel puede utilizarse para gobernar la alimentación de un líquido a un recipiente, así como para mantener el nivel deseado.

En forma alternativa, un indicador continuo de nivel puede ajustarse para que encienda un motor que mantenga el nivel automáticamente.

La comprobación automática de un nivel constante es importante en fábricas donde se empacan mercancías. La detección radiactiva de nivel puede aplicarse en forma adecuada al empaque de azúcar o frascos de pastillas al pasar estos sobre una banda y es más rápido y más confiable que los métodos alternativos de pesado automático.

Los monitores de empaque utilizan generalmente una fotocelda para registrar cuando un empaque está en posición entre la fuente radiactiva y el detector, evitando así indicaciones de paquetes vacíos en los espacios entre recipientes sucesivos. La medición puede hacerse en fracciones de segundo y si pasa más radiación del nivel adecuado al detector, un expulsor automático rechaza el paquete vacío o bajo de nivel.

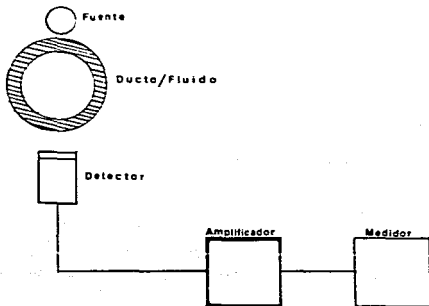
## CAPITULO X

### MEDICION DE DENSIDADES DE SOLIDOS

La medición de densidades por el principio de la transmisión de rayos gamma se vuelve cada día más importante en la industria. La densidad es un parametro importante en muchos procesos; por ejemplo, puede utilizarse como una medida del porcentaje de solidos en mezclas liquidas.

A menudo puede utilizarse para medir la relación de dos componentes en un sistema liquido de dos componentes y puede utilizarse en conjunto con los dispositivos medidores de flujo para la obtención de las velocidades de flujo de liquidos en ductos o materiales solidos en sistemas de bandas de transporte.

Para la medición de densidades, se debe utilizar un medidor de rayos gamma por transmisión en un lugar fijo de espesor definido, puesto que la absorción de rayos gamma esta en funcion del espesor del contenedor de la muestra. Un buen ejemplo del uso de los medidores de rayos gamma por transmisión, es la medición de la densidad de un fluido que viaja en el interior de ductos. La figura 11 muestra la colocación de la fuente y el detector.



**Fig. 11** Diagrama de la colocación de un medidor de radiactividad para la determinación de la densidad de un fluido en un ducto, por el principio de transmisión de rayos gamma.

La situación ilustrada es muy común encontrarla, es decir, se tiene que determinar la densidad de un fluido con un sistema radiactivo en ductos ya existentes sin alterar el ducto de ninguna manera.

La pregunta es ¿Cuál es la energía óptima de la fuente, basándose en la determinación mínima de la desviación estándar debido a fluctuaciones estadísticas de la fuente si el tamaño de ésta se mantiene constante?

Cuando el trayecto en el fluido es corto, el factor de incremento puede ignorarse y se puede utilizar el criterio de  $\mu x = 2$ .

El espesor masico  $x$ , se toma como el espesor masico del fluido y el espesor masico del ducto.

$$x = A_1 t_1 + A_2 t_2$$

Donde :

$A_1$  = Densidad del fluido

$A_2$  = Densidad del ducto

$t_1$  = Espesor del fluido entre la fuente y el detector o diámetro interior del ducto.

$t_2$  = Espesor del ducto entre la fuente y el detector o dos veces el espesor de las paredes del ducto.

Como ejemplo de la utilización del criterio  $\mu x = 2$ , si usamos la ecuación anterior, suponga que la pared de un ducto tiene 0.5 cm. de espesor, un diámetro interior de 10 cm., la densidad del ducto es de 8 g/cm<sup>3</sup> y que la densidad nominal del fluido es de : 1 g/cm<sup>3</sup>.

El coeficiente de absorción esta dado por:

$$\mu = 2/x$$

$$\text{si } x = A_1 t_1 + A_2 t_2$$

entonces.

$$\mu = \frac{2}{A_1 t_1 + A_2 t_2}$$

sustituyendo por los valores dados:

$$\mu = \frac{2}{(1)(10) + (8)(1)} = 0.111 \text{ cm}^2/\text{g}$$

El valor del coeficiente de absorción  $\mu$ , es relativamente alto, lo que indica la necesidad de una fuente radiactiva de baja emisión gamma.

Las mediciones de densidad requieren usualmente respuestas rápidas comparadas con las respuestas necesarias en la medición de espesores.

Por esta razón, a menudo se utiliza una cámara de ionización como detector en los medidores. La mayor desventaja de la cámara de ionización es una baja eficiencia para los rayos gamma.

Algunas veces se utilizan cristales de NaI(Tl) y un tubo fotomultiplicador para las mediciones debido a su alta eficiencia para los rayos gamma.

## CAPITULO XI

### DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE SOLUCIONES SALINAS.

La determinación de la concentración de una solución salina la podemos realizar utilizando isótopos radiactivos que emitan radiación gamma tales como el Cs-137 y el Co-60.

Esta técnica se basa en la absorción o bloqueo de las emisiones radiactivas del isótopo utilizado en el análisis por la presencia de los elementos disueltos en una solución salina.

En dicho análisis, un volumen conocido de la solución se interpone entre la fuente radiactiva y el detector y realizando la medición de las emisiones en cuentas por minuto que pasan a través de la solución problema.

Como un ejemplo de la aplicación de este tipo de análisis citaremos la determinación de la concentración de dos soluciones de acetato de plomo en agua, utilizando como fuente radiactiva Cs-137 y un detector de centelleo como escalador de conteo.

#### PROCEDIMIENTO :

- 1) Preparar soluciones de acetato de plomo en agua con una concentración de : 10, 20, 50, 100 y 200 gramos/litro.
- 2) Encender el equipo, ajustar voltaje. Dejar calentar cinco minutos. Establecer las condiciones de operación.
- 3) Hacer tres mediciones de cuentas por minuto (cpm), del fondo ambiental ( f ) y calcular el promedio.
- 4) Colocar la fuente radiactiva en la base de una probeta de 100 ml. vacía. Tomar tres mediciones de cpm y calcular el promedio.
- 5) Agregar 25 ml. de solución de acetato de plomo de 10 g/l y medir la actividad promedio de tres lecturas de cpm.
- 6) Repetir el paso anterior con las soluciones de 20, 50, 100 y 200 g/l.
- 7) Construir una gráfica en papel milimétrico de cpm vs. concentración en g/l. de acetato de plomo.
- 8) Determinar el % de error para las soluciones problema con la ecuación :

$$\frac{\text{concentración real} - \text{concentración medida}}{\text{concentración real}} \times 100$$



## CAPITULO XII

### RADIOCRONOLOGIA

La curiosidad acerca de cual es la edad de una roca, del hombre o de la tierra puede ser muy antigua, pero el único método confiable para medir lapsos de tiempo tan grandes, es nuevo. La medición de la edad de muestras del pasado en una escala de tiempo absoluta, había permanecido como un reto por muchos siglos, y es tal vez un poco irónico que la solución a problemas como los de la edad de la tierra, recaiga en el estudio de los átomos.

Los primeros intentos para estimar las edades geológicas fueron hechas en 1907 cuando Boltwood determinó la edad de minerales que contenían uranio midiendo su contenido de plomo, bajo la suposición de que todo el plomo era originado por el decaimiento radiactivo del uranio.

Desde aquel tiempo, un mejor entendimiento de los procesos radiactivos aunado a las buenas técnicas analíticas mejoradas, tal como el análisis por dilución isotópica, espectrometría de masas y sofisticados aparatos electrónicos, han llevado a la mejora en la exactitud.

Puesto que el decaimiento radiactivo es una ley muy exacta y virtualmente no es afectada por el calor, presión o el estado de combinación química del núcleo que decae, este puede ser utilizado como un reloj muy preciso. Muestras de mineral de uranio se les ha encontrado plomo-206 como resultado de una gran serie de decaimiento alfa y beta, comenzando con el uranio-238. Si la muestra del mineral no contenía plomo en el momento de su formación y si nada del plomo formado del decaimiento del uranio-238 se ha perdido, entonces la medida de la relación Pb-206/ U-238 da un valor para la edad del mineral :

$$t = -\frac{2.303}{\lambda} \log \left( \frac{N_{\text{de átomos de Pb-206}}}{N_{\text{de átomos de U-238}}} + 1 \right)$$

Donde  $\lambda$  es la constante de decaimiento del U-238 ( $1.54 \times 10^{-10} \text{y}^{-1}$ ). La constante del U-238 es la única que aparece en la ecuación puesto que todas las especies radiactivas que son intermedias entre el U-238 y el Pb-206 tienen vidas medias más cortas que el U-238.

Una vez que el U-238 decae a Th-234, el resto de los decaimientos sucesivos alfa y beta que conducen al Pb-206, se llevan a cabo inmediatamente si se ve desde el punto de vista de la escala geológica del tiempo.

Las sustancias radiactivas naturales han existido en la tierra desde que ésta se formó. Si esto no fuera así, sería difícil entender la existencia de depósitos de materiales radiactivos, algunas veces tan profundos bajo la superficie de la tierra como para que estos fueran productos de cualquier fenómeno exterior. Que estas sustancias aún existan es debido al hecho de que algunas de ellas decaen muy lentamente ( la vida media del uranio-238 por ejemplo, es de 4.500 millones de años ).

La mayoría de los núclidos radiactivos poseen velocidades de decaimiento altas y pierden su radiactividad en pocos días o en pocos años por mucho. La mayoría de estos, son conocidos hoy día solo debido a que se producen artificialmente. Algunos de estos pudieran haber estado presentes cuando se formó el sistema solar, pero desde entonces han decaído a cantidades tan insignificantes que no pueden ser detectados; solo unos pocos núclidos radiactivos decaen lo suficientemente lento como para estar presentes hoy día en la naturaleza. Ver tabla 5.

En un gran número de núcleos radiactivos, de cualquier tipo, una cierta fracción decaerá en un lapso de tiempo específico. Tomemos esta fracción como la mitad y midamos el tiempo que le toma a la mitad de los núcleos en decaer. Este tiempo es llamado la vida media del núcleo en particular y existen diversas formas certeras para medirlo.

Durante el intervalo de una vida media, decaerá la mitad del núcleo, durante la siguiente vida media la mitad de lo que quedó decaerá y así sucesivamente. Si tabulamos esto, quedaría :

VIDAS MEDIAS	CANTIDAD RESTANTE DE LO QUE ORIGINALMENTE ESTABA PRESENTE
1	1/2
2	1/4
3	1/8
4	1/16
5	1/32

En otras palabras, después de siete vidas medias, menos del 1% de la cantidad original del material estará aún radiactivo y el restante 99 % de sus átomos habrán sido convertidos en átomos de otro núclido.

Elemento padre	Elemento hijo formado	Vida media (en años)	Tipo de decaimiento
K-40 K-40	Ar-40 Ca-40	1.3 x 10 <sup>9</sup> total	Captura de electrones Emisión beta
V-50 V-50	Ti-50 Cr-50	6 x 10 <sup>15</sup> total	Captura de electrones Emisión beta
Rb-87	Sr-87	4.7 x 10 <sup>10</sup>	Emisión beta
In-115	Sn-115	6 x 10 <sup>14</sup>	Emisión beta
Te-123	Sb-123	1.2 x 10 <sup>13</sup>	Captura de electrones
La-138 La-138	Ba-138 Ce-138	1.3 x 10 <sup>11</sup> total	Captura de electrones Emisión beta
Ce-142	Ba-138	5 x 10 <sup>15</sup>	Emisión alfa
Nd-144	Ce-140	2.4 x 10 <sup>15</sup>	Emisión alfa
Sm-147	Nd-143	1.06 x 10 <sup>11</sup>	Emisión alfa
Sm-148	Nd-144	1.2 x 10 <sup>15</sup>	Emisión alfa
Sm-149	Nd-145	4 x 10 <sup>14</sup>	Emisión alfa
Gd-152	Sm-146	1.1 x 10 <sup>14</sup>	Emisión alfa
Hf-174	Yb-170	2.0 x 10 <sup>15</sup>	Emisión alfa
Pt-190	Os-186	6.1 x 10 <sup>11</sup>	Emisión alfa
Re-187	Os-187	5 x 10 <sup>10</sup>	Emisión beta
Pb-204	Hg-200	1.4 x 10 <sup>17</sup>	Emisión alfa
U-238	Pb-206	4.5 x 10 <sup>9</sup>	8 alfas + 6 betas
Th-232	Pb-208	1.4 x 10 <sup>10</sup>	6 alfas + 4 betas

Tabla No. 5 Núclidos radiactivos con vidas medias lo suficientemente grandes para estar todavía presentes en cantidades útiles sobre la tierra.

Este tipo de proceso puede utilizarse como la base de un reloj. matemáticamente se escribe :

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Donde :

$N$  = Número de átomos radiactivos presentes en el sistema ahora.

$N_0$  = Número de átomos que estaban presentes cuando  $t=0$ , en otras palabras, cuando el reloj comenzó.

$\lambda$  = Constante de decaimiento del material radiactivo, expresada en átomos que decaen por átomo por unidad de tiempo.

$t$  = El tiempo que ha transcurrido desde el origen del sistema.

Obviamente, en cálculos ordinarios que no serian información suficiente para calcular el tiempo, debido a que aún existen incógnitas,  $N_0$  y  $t$ .

En un sistema cerrado sin embargo, los átomos que han decaído no desaparecen, únicamente se transforman en otros átomos llamados átomos hijo y permanecen en el sistema.

En cualquier lapso de tiempo, habrá átomos padre e hijo mezclados en el material. Entre más viejo sea el material, más hijos y menos padres habrá. Algunos hijos son también radiactivos, pero esto no cambia la situación inicial. Entonces podemos decir que :

$$N_0 = N + D$$

Donde :

$D$  = Número de átomos hijos.

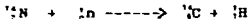
Si realizamos una sustitución en la primera ecuación :

$$N = (N+D) e^{-\lambda t} \quad \text{también}$$

$$t = 1/\lambda \cdot \ln ( 1+D/N )$$

#### DETERMINACION DE EDADES POR MEDICION DE CARBONO-14.

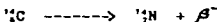
El fechado por carbono proporciona un método para determinar las edades de materiales carboníferos de eras recientes y prehistóricas. Este método está basado en el hecho de que el carbono-14 es producido en la atmósfera por la acción de los rayos cósmicos, los cuales producen neutrones que actúan sobre los átomos de nitrógeno :



El carbono-14 es un emisor beta débil con una vida media de 5,730 años. Su velocidad de formación ha sido constante por un periodo de tiempo muy grande en relación a su vida media, de tal manera que la atmósfera contiene una concentración en equilibrio de C-14 correspondiente a casi 16 desintegraciones por minuto por gramo de carbono.

Todas las plantas y animales vivientes contienen esta concentración en equilibrio, pero cuando una planta o animal muere, no puede existir intercambio entre éste y su ambiente y el contenido de C-14 disminuye como resultado del decaimiento radiactivo.

La reacción es :



Después de 5,730 años permanecerá únicamente cerca de 8 dpm/gramo y después de otra vida media quedará solamente 4 dpm/ gramo y así sucesivamente. La medida de la actividad específica de una muestra de carbono proporcionala por lo tanto una medida de la edad de la muestra. La determinación de la actividad se complica por la baja actividad a medir y por la baja energía de las partículas beta que son emitidas.

El método más empleado para la determinación de C-14 es el que utiliza una muestra gaseosa en un contador proporcional. El 95% de todas las fechas determinadas hasta hoy, utilizan este método. El gas utilizado para llenar el contador proporcional actúa como muestra y como medio de conteo.

El dióxido de carbono obtenido por combustión de la muestra y el metano obtenido por reacción del bióxido de carbono con el gas hidrógeno en presencia de un catalizador, son los gases más comunmente empleados.

El conocimiento del volumen de conteo y la medición de la presión del gas define el contenido total del carbono de la muestra, mientras que la velocidad de conteo define la cantidad de C-14 presente. Puesto que las velocidades de conteo son muy bajas, se requieren largos periodos de conteo ( aprox. 24 horas ).

La ecuación utilizada para la determinación de las edades por este método es :

$$S = 15 e^{-0.693 t/5730}$$

o también

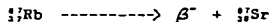
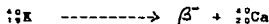
$$t = \frac{(\log 15 - \log S) 5730}{0.301}$$

Existen muchas interferencias que se deben considerar en el uso de la determinación de edades por carbono, tal como la posibilidad de que el intercambio de carbono con el medio ambiente haya ocurrido después de que el espécimen muriera; la posibilidad de efectos isotópicos entre el C-14 y el C-12 en el material biológico y si el incremento en el contenido de C-14 en la atmósfera en las últimas dos décadas haya afectado la medición de la actividad específica.

#### FECHADO CON OTROS RADIOISOTOPOS.

Existen elementos en la naturaleza de vida media muy larga, tales como el K-40 (  $t_{1/2} = 1.3 \times 10^9$  años y abundancia isotópica de 0.0119 % del potasio presente en la naturaleza ) y el Rb-87 que constituyen un instrumento para medir edades geológicas, o sea, el tiempo transcurrido desde que estos elementos entran a formar parte de un mineral cuando se realizó su cristalización a partir de materias incandescentes.

Estas mediciones se realizan conociendo el dato de la cantidad de sus productos de decaimiento presentes en la muestra :



A los isótopos de los elementos provenientes de un decaimiento radiactivo se les llama radiogénicos ( como en estos casos al  $\text{Ca}^{40}$  y al  $\text{Sr}^{87}$  ). La cantidad de un isótopo radiogénico presente en una muestra dada es obtenida por medición de su masa haciendo uso de un espectrómetro de masas, la cual debe ser proporcional a la cantidad del padre radiactivo presente en la misma muestra y al tiempo que ha decaído, acumulando isótopo radiogénico en el mismo material. De esta manera pueden medirse edades de minerales del orden de miles de millones de años.

## CAPITULO XIII

### FUENTES LUMINOSAS Y BATERIAS NUCLEARES

#### a) FUENTES LUMINOSAS

La propiedad de la radiación nuclear que, por absorción, produce fenómenos de ionización y excitación en materiales sólidos, es muy importante para detectar radiación. Pero la luz emitida por ciertos materiales después de una exposición a campos de radiación relativamente altos tiene pocas pero importantes aplicaciones y esta técnica tiene aún grandes posibilidades futuras.

Una mezcla de un núcleo que emita radiación alfa o beta y un material fosforescente, tal como el sulfuro de zinc, es utilizada comúnmente para pintar las carátulas de relojes o paneles de instrumentos para que estos puedan ser observados en la oscuridad.

Ya en los años de 1920 se utilizaba radio y otros núclidos de origen natural, ampliándose su uso con el tiempo. Sin embargo, creció la demanda por otros núclidos debido a la aparición de restricciones en el uso del radio particularmente debido a su alta radiotoxicidad y a la emisión de radiación penetrante.

Además del radio existen ahora otros núclidos de uso regular tales como el C-14, Sr-90, Pm-147 y Kr-85.

Es probable que el cambio del radio a otros núclidos también este determinado por consideraciones económicas, ya que el radio es relativamente caro y produce una cierta destrucción de las pinturas, lo cual disminuye la brillantez con el tiempo.

Un método interesante para introducir un compuesto radiactivo es utilizar el Kr-85, el cual se mezcla con el sulfuro de zinc o cualquier otro material fosforescente.

Otra aplicación importante de este principio es la preparación de fuentes luminosas nucleares, las cuales pueden observarse a distancias considerables. Por supuesto, fuentes de energía mucho mayores que las utilizadas en relojes o instrumentos.

En principio las fuentes se pueden hacer mezclando un radionúclido con material fosforescente, pero debido al corto rango de penetración de las emisiones alfa y beta en sólidos y a la absorción de la luz emitida en el material fosforescente mismo, ésta no es una solución práctica. De aquí que se deban tomar en cuenta otras configuraciones geométricas y la mejor encontrada

hasta ahora es hacer uso de un gas radiactivo dentro de una ampolleta de material transparente y cubriendo sus paredes con una fina capa de un material fosforescente.

Como el lapso de vida de tal dispositivo debe ser largo, los únicos gases prácticos son el Kriptón-85 y el Tritio.

Se han sugerido numerosas aplicaciones para estas fuentes luminosas, tales como :

- Líneas de seguridad en aeronáutica, minería y cuartos oscuros.
- Para señales de seguridad en boyas y canales en el ramo marítimo.
- Fuentes de calibración de equipo fotoeléctrico.
- Iluminación de discos y paneles de instrumentos.
- Fuentes de comparación en fotómetros.
- Iluminación de fibras en equipo óptico.
- Identificación de color de equipo usado en la oscuridad.
- Iluminación general de bajo nivel.
- Activación de fotoceldas.

Sin embargo, de entre numerosas sugerencias, solo unas pocas han cristalizado en aplicaciones prácticas. Estas incluyen lámparas de señales para ferrocarriles y señales para las salidas de emergencia en aviación.

Una descripción de las lámparas de señales luminosas para los ferrocarriles indican la necesidad de aproximadamente 600 microcuries de Kr-85 y el costo en los Estados Unidos sería de 125 dólares. Esta compete con los dispositivos operados con baterías o con las lámparas de querceno y debe ser capaz de durar no menos de 10 años sin mantenimiento para representar realmente un ahorro. Por otra parte, las lámparas radiactivas deben considerarse que ofrecen un alto grado de confiabilidad en comparación con las otras, de aquí que estas puedan ser elegidas aún cuando representen un costo algo mayor.

En lo relativo a las señales para salidas de emergencia, puede emplearse el tritio, ya que las distancias a las que se deben observar las señales no son muy grandes. Unos cuantos curies en cada una serían suficientes. El costo no es prohibitivo para su uso.

#### **b) BATERIAS NUCLEARES**

Como la desintegración de un radioisótopo representa una forma de energía almacenada, se han hecho muchos intentos para utilizar los radioisótopos como fuentes pequeñas y compactas de potencia.



Potencialmente, los radioisótopos tienen dos ventajas principales respecto a las baterías químicas convencionales. Pueden almacenar mucha más energía por kilo durante largos periodos y pueden trabajar a temperaturas altas o bajas sin deteriorarse.

Han sido empleadas numerosas técnicas para convertir la energía de radiación en energía eléctrica. El medio más sencillo es colocar un emisor beta en un electrodo de una válvula electrónica y recoger en el otro electrodo los electrones emitidos.

Esto da lugar a una batería nuclear con potencial sin carga de varios kilovatios, una corriente de aproximadamente  $1 \times 10^{-4}$  amperes por curie y alta impedancia interna.

Para reducir la impedancia, se ha creado una batería nuclear que utiliza los efectos de la radiación nuclear sobre los semiconductores. Uno de estos modelos, conteniendo estroncio radiactivo, produce  $1 \times 10^{-5}$  amperes y 0.3 volts con un rendimiento de conversión de energía del 2.5 %.

Para muchas aplicaciones, hay necesidad de un generador confiable de larga vida y una salida de potencia de por lo menos varios watts. Las investigaciones sobre estos parámetros han continuado a lo largo de 10 años, principalmente en los Estados Unidos.

El programa mejor conocido aquí es el programa SNAP ( Systems for Nuclear Auxiliary Power ). Todos estos generadores hacen uso de termoemisión o de termoelectricidad, esto es, conversión del calor producido por la absorción de partículas nucleares provenientes de una potente fuente en energía eléctrica.

Se han utilizado dispositivos de la serie SNAP-3, con 2 a 3 watts de salida, con fines demostrativos y en satélites.

El material usado como fuente fue el Plutonio-238. En series posteriores, ( SNAP-9 y SNAP-11 ), se construyeron fuentes más grandes dando salidas hasta de 25 watts. El proyecto Apolo empleó un generador ( SNAP - 27 ) conteniendo Pu-238 con un peso total de 14 kg y produciendo una potencia de 50 watts. El Vikingo que desembarcó en el planeta Marte empleó Pu-238 como principal fuente de energía. También fue empleado como fuente de energía en los satélites Pioneer que envió a la Tierra las primeras informaciones acerca del planeta Júpiter y en las misiones del Voyager en el cual la fuente de poder de Pu-238 produjo hasta 400 watts.

Para usos terrestres, se han diseñado otras fuentes, utilizando Sr-90 o Cs-137. Estos son mucho más pesados que los sistemas espaciales, en parte debido al blindaje, pero son diseñadas para largos periodos de uso. De 10 kilocuries de Sr-90, se obtienen 2.5 watts. La fuente más potente representa aproximadamente 60 watts de salida. Estas fuentes son útiles para suministrar potencia a

señales luminosas en boyas y faros remotos. También para instrumentos de operación y señales de transmisión de estaciones meteorológicas en el Ártico. Se han reportado salidas más potentes utilizando Ce-144 como fuente.

Se han desarrollado generadores miniatura para su empleo como marcapasos para el corazón. Estos, son aparatos que se colocan en el pecho del paciente y van conectados a músculos del corazón; el aparato genera regularmente un pequeño pulso eléctrico ( 10 mW ), que hace que el músculo se contraiga.

Los marcapasos convencionales operan con una batería química que tiene que ser recargada cada 2 años. Con un marcapasos nuclear, el tiempo entre operaciones de recarga se extiende cuando menos por un factor de cinco.

Un marcapasos nuclear típico, contiene alrededor de 160 mg de Pu-238 en una cápsula de Ta-Ir-Pt y pesa alrededor de 170 g. En 1976, ya se empleaban alrededor de 2.000 marcapasos en 30 países.

Las baterías nucleares son más caras que los tipos convencionales y por consiguiente, se les utiliza principalmente en aplicaciones que requieran poco peso y larga vida útil, que son sus únicas ventajas.

El valor futuro de este desarrollo es muy alto, aunque es difícil de prever cualquier aplicación industrial directa.

## CAPITULO XIV

### EJEMPLOS DE APLICACION DE UN RADIONUCLIDO COMO TRAZADOR

El uso de radioisótopos en la fabricación en general, ingeniería e investigación, continúa acelerando nuevas aplicaciones y descubrimientos. Estos materiales han economizado tiempo y dinero virtualmente a todas las industrias y en algunos casos han procurado soluciones a problemas anteriormente no resueltos.

La industria ha aplicado radiotrazadores en una gran variedad de formas. En los Estados Unidos más de 1,700 firmas utilizan radioisótopos en la producción de metales, sustancias químicas, plásticos, farmacéuticos, papel, hule, productos de arcilla y vidrio, alimentos, tabaco, textiles y muchas otras industrias. Los radioisótopos son utilizados para estudios de eficiencia de mezclado, tiempos de residencia en reactores, velocidades de flujo y diseño de columnas y torres de fraccionación, absorción, racemización, etc.

Como ejemplos del uso de radioisótopos como trazadores, tenemos el estudio del movimiento de arenas en los fondos marítimos y fluviales. Este ha sido realizado en diversas partes del mundo, utilizando trazadores radiactivos. Tales estudios son de importancia cuando se quieren conocer las condiciones de transporte de arena por las corrientes marítimas para el estudio de ciertos problemas hidráulicos en las costas del mar o lechos de los ríos o bien establecer el lugar apropiado para la construcción de puertos o proceder a su mejoramiento.

La elección del radioisótopo que se ha de usar como trazador está determinado por varios factores que pueden depender de las condiciones de la experiencia. Radioisótopos que emiten solamente radiación alfa o beta son prácticamente inconvenientes. En general, los más adecuados para este propósito son aquellos que emiten radiación gamma suficientemente energética y que poseen un periodo de semidesintegración que esté comprendido entre algunos días y varios meses.

Para realizar estos estudios de movimiento de arena, existen varios métodos; uno de éstos utiliza vidrio sólido cuya composición, granulometría y densidad se elige de manera que sean lo más parecidas a las de la arena que se quiere estudiar, se le incorpora un 5 % en peso de  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  y se someten los granos a la irradiación en un reactor con un flujo de  $1 \times 10^{11}$  neutrones/cm<sup>2</sup>/seg., durante algunas semanas. El radioisótopo obtenido como trazador es  $\text{Sc-46}$ , que emite gammas de 0.68 y 1.12 MeV con un periodo de semidesintegración de 84 días.

Otros métodos consisten en la inmersión de la arena en una solución de un radioisótopo seguida por calentamiento de la misma a 500°C. En Holanda han utilizado una resina de intercambio iónico calentada a 900°C después de la fijación del radioisótopo y en Suecia se utilizó una solución hirviendo de cloruro de cromo en medio ácido.

En la literatura se destaca también el uso de la plata Ag-110 como marcador de la arena; la plata radiactiva se deposita en forma de una fina película metálica sobre el grano de arena. Este último método tiene las ventajas de que la Ag-110 se obtiene a bajo costo. La operación de marcado es relativamente simple y puede efectuarse cerca del lugar donde se realiza la experiencia. La plata se fija bien sobre los granos de arena y las radiaciones de la Ag-110 permiten su detección en forma simple y fácil.

En la industria textil también se han encontrado aplicaciones para los radioisótopos. Mediante el uso de éstos se ha tratado de resolver el problema del exceso de cloro en telas blanqueadas previamente a su estampado, este exceso determina un fijado defectuoso de las materias colorantes sobre la tela. Utilizando la gran sensibilidad de la reacción entre los iones cloro y plata, se efectúa una titulación radiométrica con Ag-110, la cual permite evaluar concentraciones muy pequeñas del ión cloro en solución.

En resumen podemos decir que los radioisótopos tienen amplio uso en muchos países del mundo entre los cuales podemos citar a :

**AUSTRIA** : Utiliza Sodio-24 y Bromo-82 en detección de fugas; Kriptón-85 en estudios de movimientos de aire en carros de ferrocarril; velocidades de flujo en canales de aguas residuales y eficiencia de mezclado con Sodio-24; estudios del movimiento de aguas subterráneas con Tritio y con Yodo-131.

**CHECOSLOVAQUIA** : Aproximadamente unos 250 laboratorios utilizan trazadores radiactivos en estudios de investigación, tales como estudios de transporte de materiales ( particularmente en metalurgia ), velocidades de flujo, detección de fugas y cinética de reacciones químicas. Otras investigaciones de rutina incluyen : detección de fugas en transistores, estudios de durabilidad de llantas y componentes de motores, etc.

**HUNGRIA** : Utiliza trazadores en forma rutinaria para mediciones de velocidad de flujo en ductos, diagramas de flujo en hornos, de mezclado en industrias del cemento y jabón.

**ITALIA** : Existen 30 organizaciones que utilizan radioisótopos como trazadores para investigación industrial y 38 organizaciones los utilizan para control de la producción en procesos químicos, durabilidad de máquinas, metalurgia y geofísica. Los tipos

principales de investigación son en mezclado, tiempo de residencia en reactores químicos, medición del consumo de aceite en motores endotérmicos e investigación hidrológica.

**JAPON** : Numerosas compañías privadas, del gobierno y universidades están usando trazadores radiactivos en todas las ramas de la industria. Los usos en que son totalmente rutinarios son : durabilidad de motores en condiciones de movimiento y estática; detección de fugas en transistores con Kr-85 ; durabilidad de partes refractarias en altos hornos con Co-60 y mediciones de volumen de aluminio en hornos electrolíticos con Au-198 y en la producción de mercurio y sosa cáustica con Hg-203.

**NORUEGA** : Dos institutos prestan servicio a la industria, principalmente en mediciones de velocidad de flujo, diagramas de flujo y estudios de mezclado; análisis por dilución y estudios de polución.

**ESPAÑA** : Dos instituciones del gobierno y una compañía privada utilizan trazadores radiactivos para la solución de problemas industriales y geofísicos. Se hace uso extensivo de I-131 y Br-82 para localizar fugas y medir velocidades de flujo en ductos y canales de drenaje. Determinación del mercurio en las celdas electrolíticas utilizadas para la producción de hidróxido de sodio con Hg-203 .

**REINO UNIDO** : Ya en 1961 se dió a conocer que 14 firmas utilizaban trazadores radiactivos ( principalmente para investigación ). Los estudios que se realizan son estudios de medición de velocidades de flujo, diagramas de flujo, tiempos de distribución y residencia en plantas químicas, estudios de lubricación y durabilidad de motores.

Como resumen de la aplicación de trazadores radiactivos mencionaremos su uso en las diferentes industrias:

**A) En agricultura, pesca y forestal.**

Capacidad de almacenamiento de agua del suelo, composición de suelos en campos de cosecha, movimiento o transporte de polen por el viento o insectos, etc.

**B) Industria alimentaria.**

Estudios de eficiencia de lavado, transferencia de contaminantes y aditivos de las envolturas, estaño, etc.. Eficiencia de los mezcladores de alimentos; distribución de vitaminas, grasas, aditivos y constituyentes menores en comestibles. Detección de fugas en tanques de almacenamiento de cervezas y vinos. Identificación de vinos por trazadores activados. Contenido de

azúcar en la cerveza, etc.

**C) Industria textil.**

Estudios de mezclado para la distribución del colorante. Distribución de lubricantes en la seda artificial, en el nylon y rayón. Durabilidad de fibras.

**D) Industria hulera.**

En el mezclado del óxido de zinc y otros pigmentos, diluyentes y su distribución en el producto terminado, utilizando la autorradiografía. Durabilidad de llantas.

**E) Industria de la construcción :**

Distribución del cemento y asfalto inyectado. Mezclado del concreto, asfalto y aditivos. Durabilidad y corrosión de ladrillos.

#### PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Se debe prestar cuidadosa atención a los posibles peligros personales cuando se trabaja con radioisótopos. Estos peligros pueden ser divididos en dos tipos :

- 1) Radiación externa emitida por el radioisótopo.
- 2) Posible inhalación o ingestión de material radiactivo.

Si los radioisótopos son manipulados descuidadamente o sin las precauciones apropiadas, pueden producirse serios daños para las personas; lo mismo ocurre cuando se utilizan la electricidad, los automóviles o el fuego.

Las precauciones adecuadas para el manejo de radioisótopos son bien conocidas, pero no tanto como las adoptadas para el fuego o la electricidad. Sin embargo, los radioisótopos pueden ser manipulados sin riesgos, si el usuario sigue los consejos de los especialistas competentes en cuestiones de seguridad en radiación.

## CAPITULO XV

### BIBLIOGRAFIA

1. Gardner Robin P. and Ely Ralph Jr.  
Radioisotope Measurement Applications in Engineering  
Reinhold Publishing Corporation  
New York, 1967
2. Rochlin and Schultz  
Radioisótopos para la industria  
Marcoabo, S.A.  
Barcelona, 1962
3. Ljunggren, Knut  
Industrial Radioisotope Economics  
The use of Radioisotopes in Industrial Tracing -  
International Atomic Energy Agency  
Vienna, 1965
4. Faul, Henry  
U.S. Atomic Energy  
Division of Technical Information  
1966
5. Friedlander G. , Kennedy J.W. , Miller J.M.  
Nuclear and radiochemistry  
Second edition  
John Wiley & Sons, Inc.  
New York, 1964
6. Forsberg, H.G.  
Industrial Radioisotope Economics  
Miscellaneous Industrial Applications of Radioisotopes  
I.A.E.A. , Vienna 1965
7. Chase, G.D. and Rabinowitz, J.L.  
Principles of Radioisotope Methodology  
Third edition  
Burgess Publishing Company  
Minneapolis, 1967
8. Meyer, Leo A.  
Nuclear Power in Industry  
Second edition  
American Technical Society  
U.S.A. , 1974



9. Choppin, G.R. and Rydberg, J.  
Nuclear Chemistry, Theory and Applications.  
Pergamon Press  
1980
10. Bradford, John R.  
Radioisotopes in Industry  
Reinhold Publishing Corporation  
New York, 1953
11. Bulbulian, Silvia  
La Radiactividad y Algunas de sus Aplicaciones  
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares  
México, 1982
12. Beswick, C.K.  
Radioisotope Tracers in Industry and Geophysics  
Routine Industrial Uses of Radioactive Tracers  
International Atomic Energy Agency  
Vienna, 1966
13. Gaspar, E. and Onicescu, M.  
Radioactive Tracers in Hidrology  
Vol. 1 Developments in Hidrology  
Elsevier Publishing Co.  
Amsterdam, 1972
14. Lachica, F. y Baró, G.B.  
Primera Conferencia Interamericana de Radioquímica  
" Estudio del movimiento de arenas en las cercanías del puerto  
del Mar del Plata usando arena marcada con Ag-110."  
Unión Panamericana  
Washington, D.C. , 1965
15. Navarrete, T.M. y Cabrera, M.L.  
Introducción al estudio de los radioisótopos.  
Federación Editorial Mexicana. Ediciones del Sector Eléctrico.  
C.F.E. Volúmen No. 10  
México. 1979