



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

195

ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES RADIOISOTOPOS CONTAMINANTES EN DIVERSOS MATERIALES

TESIS

Que para obtener el título de:
INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

Dositeo Enrique Angeles Cisneros

22



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

CLAS. Tesis
ADQ. 1946
FECHA
PROC. 11-26



QUIMICA

Jurado asignado originalmente
según el tema.

PRESIDENTE. RAMON VILCHIS ZIMBRON

VOCAL. LUIS GALVEZ CRUZ

SECRETARIO. JUAN LARTIGUE

GORDILLO

1er. SUPLENTE. LUIS CABRERA

MOSQUEDA

2do. SUPLENTE. ALBERTO DE LA

FUENTE ZUNO

Sitio donde se desarrolló el tema: INSTITUTO NACIONAL DE

ENERGIA NUCLEAR

Sustentante: DOSITEO ENRIQUE ANGELES CISNEROS

Asesor del tema: LUIS GALVEZ CRUZ

Supervisor técnico: I.Q. ENRIQUE BRAVO SUAREZ

A MIS PADRES

por su esmero en desarrollarme
una formación de individuo positivo
a sí mismo y a sus semejantes.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al Ing. Luis Gálvez C. las adecuadas sugerencias, al Ing. Enrique Bravo S. por su orientación y las facilidades prestadas en el desarrollo experimental; igual que a maestros, amigos, familiares y todas las personas que directa e indirectamente me apoyaron al efectuar este estudio.

Asimismo quiero hacer constar mi reconocimiento al Instituto Nacional de Energía Nuclear, por el patrocinio que destinó a la realización de éste objetivo.

INDICE GENERAL

	PAG.
Introducción	vi
Capítulo I . Naturaleza y comportamiento de los elementos radiactivos.	
1.1 Estructura atómica	1
1.2 Radiactividad.	2
1.3 Transmutación de elementos y decaimiento.	4
1.4 Interacción de la radiación con la materia.	5
Capítulo II . Medidas de seguridad radiológica.	
2.1 Prevención de los riesgos por radiación.	11
2.2 Peligros por radiación interna.	19
2.3 Bases en el control y manejo de material radiactivo.	22
Capítulo III . Fundamentos de la detección de radionúclidos.	
3.1 Instrumentación nuclear.	25
3.2 Estadística de la desintegración nuclear.	32
3.3 Generalidades en la identificación de radionúclidos.	34
3.4 Mecanismos de separación en mezclas de radionúclidos.	40
Capítulo IV . Características en la contaminación con elementos radiactivos.	
4.1 Identificación de niveles de contaminación.	45
4.2 Niveles permisibles en el control de contaminantes.	46
4.3 Manejo adecuado de material radiactivo para la prevención de contaminación.	49

Capítulo V . Aplicación de sistemas para la resolución de problemas producidos por la contaminación radiactiva.	
5.1	Bases de la descontaminación. 55
5.2	Factores en la aplicación y comparación de técnicas para la descontaminación. 60
5.3	Metodología experimental empleada en la descontaminación. 65
5.4	Datos obtenidos en la aplicación de descontaminantes sobre diversos materiales. 69
5.5	Interpretación de las conductas observadas. 94
	Conclusiones. 96
	Apéndice A . 98
	Bibliografía. 100

INDICE DE ILUSTRACIONES Y GRAFICAS

	Pag.
Gráfica de efecto vs dosis.	15
Gráfica de voltaje vs N° de iones colectados.	27
Diagrama del detector Geiger-Muller.	28
Diagrama de un tubo fotomultiplicador.	30
Diagrama del equipo electrónico asociado al detector.	31
Gráfica de tiempo de decaimiento vs actividad.	35
Gráfica de tiempo vs actividad que presenta una mezcla de radioisótopos.	36
Gráfica de emisores de betas (puro y no puro).	37
Gráfica de energía máxima de betas vs capa hemirreductora.	38
Gráfica de altura de pulso vs actividad.	39
Gráficas de: neutralización ; cinetica química.	67
Gráficas de: tensión superficial ; adsorción.	68
Gráficas de actividad vs tiempo en el tratamiento de metal con los reactivos: Citrato de amonio.	79
Metasilicato de sodio.	80
Acido clorhídrico.	81
Acido nítrico.	82
Acido sulfúrico.	83
Oxalato de sodio.	84
Fosfato de sodio.	85
Acido cítrico.	86
Gráficas de actividad vs tiempo en el tratamiento con diversos reactivos sobre material plástico.	87-92
Gráfica de actividad vs tiempo en el tratamiento de vidrio con reactivos ácidos.	93

I N T R O D U C C I O N

El progresivo aumento en la aplicación de diferentes tipos de elementos radiactivos dentro de los campos que conciernen a la ingeniería, medicina, química y demás ramas de la ciencia o aplicación de éstas a la tecnología, para la búsqueda de beneficios a la humanidad, ha provocado al mismo tiempo variados problemas colaterales.

Uno de ellos es la contaminación con material radiactivo, cuyos efectos nocivos provocan serios problemas en la naturaleza y por ende en el ser humano.

El presente estudio tiene por objeto colaborar en la formación de posibles técnicas encaminadas a la prevención, solución y aplicación a problemas en contaminación de materiales con sustancias radiactivas.

Siendo uno de los principales enfoques el de abatir los niveles de radiación que sufren los trabajadores al realizar los procedimientos de descontaminación en el Depto. de Descontaminación y Desechos Radiactivos del Instituto Nal. de Energía Nuclear. Situándose paralelamente a ésto la reducción de gastos, ya que las exposiciones elevadas redundan en la posible disminución de horas-hombre en el desarrollo de las labores.

También se persigue tratar de reducir el consumo de reactivos empleados en el tratamiento de descontaminación, y al mismo tiempo una aplicación específica de éstos, tanto en concentración como en reactividad con los materiales contaminados.

Otro medio adicional para lograr disminuir los lapsos de tiempo de tratado, es el empleo de un proceso con agitación mecánica sobre ellos, para lograr una mejor acción en las superfici

cies problema. La manera de circunscribir el tratamiento es en cargas, con objeto de lograr un mejor control del volumen de los desechos que resultan.

Tal circunstancia también se basa en las características del material, por lo que para comenzar el estudio comparativo de los contaminantes, primero hubo necesidad de efectuar una selección de éstos, en los que se presentara por lo general el problema.

Las causas por las que se produce la contaminación son principalmente el empleo de los diversos materiales en la transportación, manejo, protección y procesamiento de los elementos radiactivos, así como también los posibles accidentes que se puedan presentar en las manipulaciones. Tomando en cuenta estas bases, los materiales a tratar fueron plomo, plástico y vidrio; los cuales poseen una utilidad en forma de contenedores, guantes y el equipo usual de los laboratorios.

Ya que la característica básica que presentan estos materiales afectados para su identificación es el índice de exposición, hay necesidad de realizar una revisión de las formas en las cuales se lleva a cabo la medición, unidades, límites de seguridad y daños que provoquen las radiaciones.

Como parte adicional se realizará una comparación de la eficacia relativa de los diferentes tipos de reactivos, para poder con ello efectuar una tentativa discriminación y de ser posible empleos innecesarios.

Las características que implica este estudio las puede abordar un Ingeniero Químico, en vista de los criterios que le confiere el conocimiento de la transferencia de masa, cinética química y fenómenos de superficie, que aunado a la aplicación de

sistemas de seguridad y tecnología nuclear hacen de éste un pro
fesional que puede fomentar el desarrollo de soluciones.

C A P I T U L O I

NATURALEZA Y COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS RADIACTIVOS.

1.1 Estructura atómica.

Para poder comprender el comportamiento de los elementos radiactivos, hay necesidad de tener una noción de la estructura atómica, concepto de átomos estables, símbolos, unidades y terminología que se emplea en la física nuclear y en protección radiológica.

El átomo es la unidad más sencilla en la cual pueda ser dividido un elemento, conservando aún sus propiedades físicas y químicas. Los átomos están constituidos fundamentalmente por tres partículas: electrones, protones y neutrones, distribuidos en dos regiones principales, capa electrónica y núcleo, el cual contiene a los dos últimos tipos de partículas mencionadas. Los átomos tienen el mismo número de protones y de electrones por lo que no tienen carga eléctrica residual, ya que estos dos tipos de partículas poseen individualmente una carga positiva o negativa respectivamente. Cuando por alguna circunstancia se llega a alterar la igualdad en el número de estas partículas se produce un desequilibrio, que da lugar a la formación de un ión.

La expresión usual para representar un elemento es $\frac{X^A}{Z}$ donde X representa el símbolo químico del elemento, Z se re-

La radiactividad está constituida de varios tipos de emisiones radiactivas:

Las -partículas Alfa- son las menos penetrantes de los tres tipos de radiactividad natural, ya que pueden absorberse o pararse en unos cuantos centímetros de aire o una delgada hoja de pa-pel. Poseen carga eléctrica positiva de dos con un número mási-co de cuatro, por lo que tienen la misma estructuración de un átomo de helio (${}^4_2\text{He}$). Muchos de los elementos pesados artifi-ciales y naturales decaen por emisión de partículas Alfa.

Las -partículas Beta- poseen carga negativa y tienen la mis-ma masa y carga que un electrón, por lo que se pueden considerar como electrones de alta velocidad. La emisión Beta se origina en el núcleo, en contraste con los electrones orbitales, y via-jan en el aire distancias cientos de veces mayores que las que recorren las partículas alfa.

La -emisión Gamma- es un tipo de radiación electromagnética que viaja con la velocidad de la luz. El origen de la radiación Gamma es también nuclear.

Existen otros tipos de emisiones radiactivas que se asocian generalmente con la radiactividad artificial:

Los -Positrones- son semejantes a las partículas beta, solo que presentan carga positiva; su origen es también nuclear.

La -captura de electrones orbitales- (captura K) es un fenó-meno que se refiere al proceso de decaimiento radiactivo, que ocurre cuando el núcleo captura un electrón de una órbita veci-na, cuya vacante es ocupada inmediatamente por un electrón sit-uado en un nivel de mayor energía, lo que origina que el exe-dente de ésta se emita como un fotón característico.

fiere al número de protones presentes en el núcleo atómico y recibe el nombre de -número atómico- del elemento; la A representa el número total de partículas en el núcleo (protones y neutrones), y se designa por -número másico-, el cual es aproximadamente igual al peso atómico del elemento (que incluye al peso de los electrones).

El número de neutrones en el núcleo se representa por N y es igual al número másico menos el número atómico ($A-Z$).

Cuando los átomos de un mismo elemento tienen el mismo número de protones, pero diferente el número de neutrones, se dice que son -átomos isótopos- de ese elemento. Tales átomos son en general indistinguibles químicamente, ya que las propiedades químicas que exhiben los isótopos de un elemento dado son las mismas, porque dependen del número de electrones orbitales que rodean al núcleo.

1.2 Radiactividad.

Existen algunos núclidos inestables que se encuentran en la naturaleza, por lo que se les denominan radionúclidos naturales. Otros radionúclidos son el resultado de reacciones nucleares efectuadas por el hombre (produciéndose la mayoría en esta forma) y se les llama -radionúclidos artificiales-.

El primer reporte de radiactividad natural fue hecho por Henry Becquerel en 1896, quien mostró que el material de uranio velaba o ennegrecía una placa fotográfica (envuelta en papel opaco) de la misma manera que lo hacían los rayos X, dándole a este fenómeno el nombre de radiactividad.

La -conversión interna- se presenta cuando un fotón gamma no escapa de la región electrónica que rodea al núcleo y transfiere suficiente energía a uno de los electrones orbitales para expulsarlo del átomo.

La -transición isomérica- es un tipo de decaimiento radiactivo asociado con ciertos pares de núclidos que tienen los mismos números másicos y atómicos, pero poseen diferentes energías; generalmente uno de los isómeros del par es -metaestable- y llega a su estado base o un nivel menor de energía por medio de la emisión de radiación gamma.

Los -Neutrinos- son partículas neutras con masa en reposo despreciable, que balancean la distribución de energía de las partículas beta en el decaimiento beta de un radionúclido dado.

1.3 Transmutación de elementos y decaimiento.

Los isótopos radiactivos pueden caracterizarse por la velocidad a la cual se desintegran, involucrando una secuencia que les conduce hasta la estabilidad. Esta puede ser efectuada por medio de los procesos antes mencionados; fenómeno que se denomina -Decaimiento-.

Durante el proceso de decaimiento radiactivo habrá modificaciones de los elementos que lo involucran, dando lugar a nuevos tipos que exhiben diferentes propiedades, siendo conocida esta situación como -Transmutación-. Al producto del decaimiento se le llama hijo y al que lo originó padre.

Experiencias llevadas a cabo han mostrado que el decaimiento sigue un comportamiento que obedece a una ley exponencial, pudiéndose derivar una expresión si se asume que este es de

naturaleza estadística. Lo cual nos conduce a la expresión:

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

donde N_0 es el número de átomos radiactivos presentes en el tiempo cero; λ la probabilidad, que es llamada constante de desintegración (o de decaimiento) y t es el tiempo; por lo que $N(t)$ será la cantidad de átomos radiactivos presentes en el tiempo t .

Para conocer el número absoluto de átomos radiactivos presentes en una muestra, se tendrá que esto es función del número de átomos que decaen en una unidad de tiempo; por lo que se ha definido a la -actividad (A)- de una muestra como:

$$(A) = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N$$

Así la actividad de la muestra solo depende del número presente de átomos radiactivos; expresada en desintegraciones/tiempo.

Otra cantidad de importancia en radiactividad es la -Vida Media- que se define como el intervalo de tiempo en el cual la actividad disminuye a la mitad, y se denota por: $t_{1/2}$ siendo:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

1.4 Interacción de la radiación con la materia.

Todos los tipos de radiación poseen una energía inherente a ella, por lo que al interaccionar con la materia existe una transferencia de ésta energía hacia los átomos de materia; fenómeno que es llamado -absorción-.

Los mecanismos involucrados en la absorción son fundamentalmente importantes en el campo de la -seguridad radiológica- por varias razones:

- i) La absorción en tejido puede producir un daño fisiológico.
- ii) La absorción es el principio en el cual se basa la detección de la radiación.
- iii) El grado de absorción es un factor básico en la determinación de blindajes para la protección.

El proceso de transferencia de energía de la radiación hacia el absorbedor, puede llevarse a cabo por varios mecanismos pero los siguientes dos son los más importantes:

- a) Ionización: Proceso mediante el cual la radiación expulsa un electrón de un átomo, quedando cargado éste positivamente.
- b) Excitación: Se debe al aumento de energía que produce la radiación en el sistema atómico, provocando que pase de su estado base a uno excitado.

Los tipos de interacción de la radiación con la materia pueden subdividirse en función de la magnitud de masa que exhibe ésta durante el proceso:

Partículas pesadas cargadas positivamente, como son alfas, protones, deutrones, tritones, que muestran mecanismos similares de interacción con la materia.

Partículas ligeras, tales son las betas, positrones, cuyas masas son de un orden de magnitud muy pequeño.

Radiación electromagnética, éste grupo incluye la radiación

gamma y la radiación X.

Neutrones, que por su característica de poseer neutralidad en su carga no se puede involucrar en los otros grupos; además tiene una considerable masa.

Las partículas alfa se componen de dos protones y dos neutrones, por poseer dos cargas positivas experimentan una fuerte atracción electrostática hacia los electrones, y cuando se acercan al núcleo tienden a ser repelidas. Estas poseen una masa aproximadamente 8 000 veces más grande que la de los electrones y tiene una alta probabilidad de interaccionar con la región orbital de éstos, debido a su magnitud másica.

Las alfas pueden sufrir colisiones elásticas, en las cuales no hay transferencia de energía y colisiones inelásticas, las que pueden causar ionización o excitación.

En la absorción de partículas ligeras como las beta hay que tener presente que su masa en reposo es mucho menor que la masa de los núcleos que forman el medio absorbente, así como que éstas y los electrones orbitales tienen el mismo tipo de carga, por lo que experimentan una repulsión electrostática cuando se encuentran cerca unas de las otras, mientras que como su carga es opuesta a la del núcleo sufren una atracción cuando se aproximan a éste.

Debido a que su tamaño es considerablemente pequeño su probabilidad de interacción es pequeña, motivo por el cual su alcance es mucho mayor que el de las partículas alfa; además pueden presentar grandes deflexiones en una sola colisión, dando lugar a trayectorias completamente erráticas.

Aparte de excitación y ionización, una partícula beta puede tener un tipo de interacción con el átomo, que da lugar a la formación de rayos X (esto es debido a que al experimentar una fuerte repulsión la partícula beta, se le provoca un cambio en su velocidad, lo que origina que se produzcan rayos X conocidos también como -Bremsstrahlung-, o "radiación de frenamiento".

En la absorción de radiación gamma y X cuyas características son las mismas, excepto en su origen (la primera es nuclear y la otra es electrónico), se presentan tres mecanismos por medio de los cuales se realiza este proceso, éstos son:

a) Efecto fotoeléctrico: se presenta cuando la radiación gamma o fotón imparte toda su energía a un electrón orbital de un átomo, desapareciendo el primero y logrando el electrón aumentar su energía cinética, venciendo las fuerzas de atracción del núcleo y dando lugar a la formación de un par de iones. Este electrón debido a que posee alta velocidad podrá interactuar y expulsar electrones de otros átomos, produciendo pares de iones secundarios. Tal proceso se observa para energías comprendidas entre 0.01 a 0.1 MeV, pudiendo expresarse de la manera siguiente:

$$E_c = h\nu - E_e$$

donde E_c es la energía cinética del electrón; E_e la energía de enlace y $h\nu$ la energía del fotón incidente.

b) Efecto Compton: conocido también como dispersión Compton se produce cuando la radiación incidente pierde solo parcialmente su energía durante la interacción con un electrón orbital de un átomo. El electrón afectado en el proceso produce ionización secundaria en la misma forma que lo hace un fotoelectrón.

Para que se observe tal efecto, las energías deben de estar comprendidas en un rango de 0.1 a 1.0 MeV.

La expresión que muestra el balance de energías del proceso es la siguiente:

$$h\nu' = h\nu / [1 + h\nu(1 - \cos \theta) / mc^2]$$

siendo $h\nu$ la energía del fotón incidente; $h\nu'$ la energía del fotón dispersado; mc^2 la corrección relativística y θ el ángulo formado entre la dirección del fotón incidente y la dirección del fotón dispersado.

c) Producción de Pares: este efecto requiere que la radiación gamma posea una energía mínima de 1.02 MeV; se presenta cuando el fotón gamma se aniquila en la vecindad de un núcleo, dando lugar a la formación de un electrón y un positrón. La masa de éstos se crea de la energía del fotón, de acuerdo con la expresión de Einstein:

$$E = mc^2$$

donde E es la energía, m la masa y c la velocidad de la luz.

Interacción de los neutrones con la materia: - Los neutrones pueden interaccionar de varias formas con los núcleos, pudiendo dividirse éstas en tres categorías generales: dispersión, captura y fisión.

Por lo general como primer paso en tales interacciones se presenta la absorción del neutrón en el núcleo, para formar un núcleo compuesto en estado excitado de elevada energía.

En la dispersión existe un cambio de dirección en el movimiento después de la interacción.

Al ser liberados los neutrones tienen energías del orden de

millones de electrón-volts por lo que reciben el nombre de neutrones rápidos, sin embargo a medida que colisionan con los núcleos del medio pierden gran parte de su energía cinética y se vuelven neutrones lentos con energías de un MeV o menos. Por último la energía puede reducirse a tal grado que su promedio es semejante al de los átomos del medio y como este valor depende de la temperatura, la energía cinética recibe el nombre de térmica, por ende los neutrones de tal condición se les denomina neutrones térmicos, cuya energía más probable es del orden de unos 0.025 eV.

Si al interaccionar el neutrón con el núcleo es absorbido, se producirá un estado excitado en éste último, emitiendo la energía excedente en forma de radiación gamma, y recibe tal proceso el nombre de -captura radiactiva-. El núcleo residual poseerá ahora un neutrón más, por lo que se convierte en un isótopo del núcleo original.

La fisión se produce cuando un neutrón interacciona con elementos muy pesados y el resultado de ello es que el átomo original se desdoble en dos núcleos; además que en el balance energético se observa que hay producción de una gran cantidad de calor y también emisión de varios neutrones, circunstancia que se aprovecha en los reactores nucleares.

C A P I T U L O II

MEDIDAS DE SEGURIDAD RADIOLOGICA

2.1 Prevención de los riesgos por radiación.

Para tener una prevención efectiva de los peligros que implica el manejo de elementos radiactivos, hay necesidad de saber la manera de protegerse de ellos y cómo se logra la identificación de sus magnitudes, así como también los daños que produciría el recibir una dosis determinada.

Blindaje.- Este término se asigna a la situación de aislar un medio radiactivo de su colindancia. La distancia que se conserva entre un material radiactivo y un individuo que esté expuesto a éste, es un principio de protección que se aplica con rapidez, siguiendo un comportamiento que se conoce como la ley del cuadrado inverso, debido a que la intensidad de la radiación varía inversamente con el cuadrado de la distancia a la fuente. Expresado matemáticamente de la siguiente manera:

$$I_1/I_2 = (R_2)^2/(R_1)^2$$

donde I_1 es la intensidad de la radiación a la distancia R_1 y para el índice dos corresponde a la distancia R_2 .

Los daños producidos por la radiación se deben basicamente a la energía que cede ésta en la interacción con las células que forman los tejidos de los organismos vivos.

Las interacciones pueden ser las de ionización y excitación principalmente, a ello se debe que las unidades empleadas en

seguridad radiológica tengan como base esta circunstancia.

El Roentgen (R) es una unidad de exposición a la radiación X o gamma en un volumen específico. $1 R = 2.58 \times 10^{-4}$ Coul/kg de aire. Se basa en la ionización que se produce en el aire por efecto de la radiación, y es usada en varios tipos de instrumentos de detección.

El rad es la unidad de la dosis absorbida por la materia en base a la energía transferida por la radiación. $1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g}$ ésta se puede emplear independientemente del tipo de radiación de que se trate, a diferencia del Roentgen que sólo es aplicable a rayos X y gamma.

Todas las radiaciones son capaces de producir efectos biológicos de tipo similar, pero la dosis absorbida que provoca un efecto dado puede variar dentro de las diferentes formas de radiación que se presentan. Esta variación para el presente aspecto se manifiesta por medio de una cantidad llamada "Factor de Calidad" de la radiación en particular.

El factor de calidad de una radiación determinada se define como el cociente de la dosis absorbida de radiación gamma a la dosis absorbida de la radiación dada, necesaria para producir el mismo efecto biológico.

La siguiente tabla muestra el Factor de Calidad (FC) para diferentes tipos de radiación:

RADIACION	FC
Gammas o X	1
Betas	1
Protones, alfas	10
Neutrones rápidos	10
Neutrones térmicos	5
Núcleos pesados	20

Para los objetivos de protección es de utilidad definir una cantidad denominada Dosis Equivalente- que es una unidad que expresa la energía absorbida introduciendo el efecto biológico que la radiación en particular produce. El -rem- es tal unidad y se define como: $Dosis\ en\ rems = FC \times dosis\ en\ rads$

La situación que existe en el daño biológico producido por las radiaciones es conocido desde hace muchos años, y fueron reportados poco tiempo después de que se descubriera éste fenómeno. Para discutirlo es importante tomar en cuenta ciertos factores:

Cualquier tipo de radiación por mínimo que sea produce una alteración.

La cantidad de energía para producir efectos notables en tejido es bastante pequeña.

Por lo general la radiación es dañina a la célula.

El comportamiento que presentan los organismos vivos ante la secuencia de los efectos biológicos es el siguiente:

Para exposiciones en un tiempo breve los efectos tienen diferencias que se observan en un lapso de tiempo grande; pero para exposiciones prolongadas los efectos ocurren en forma simultánea y no pueden ser observados delimitando características individuales.

La secuencia de eventos que se siguen después de la exposición pueden dividirse de la siguiente manera:

Un período latente que se caracteriza por la no detección de daño, situándose en un intervalo de tiempo hasta que se presentan los síntomas primarios de los efectos producidos.

Tales efectos biológicos de la radiación se subdividen arbitrariamente en agudos y a largo plazo, sobre la base del período latente. Para los que se presentan en cuestión de minutos, días o semanas, son agudos y para los que se presentan después de años, décadas y en ocasiones hasta generaciones después se les denomina efectos a largo plazo. En gran cantidad de casos la situación latente se puede atribuir a la interdependencia de las células, tejidos y órganos del cuerpo, la cual se observa en células expuestas a radiación. Dentro de los cambios que exhiben, existe inactivación de las enzimas, desnaturalización de las proteínas esenciales, alteración de las propiedades coloidales, cambios en la viscosidad protoplásmica e incluso deformación en las condiciones funcionales.

Existen dilucidaciones de que las células pueden recobrase de los efectos causados, pero al entrar en su período mitótico (división celular) mueren por el daño cromosomal severo que resulta de la alteración directa o indirecta por efecto de la radiación. Es frecuente encontrar que cuanto mayor sea la dosis más rápido aparecerá la lesión.

Después del período latente, o en ocasiones durante éste, se puede observar en las células efectos de desarrollo alterado como son; la cesación de la mitosis o división celular, la cual puede tener carácter temporal o permanente, dependiendo de la dosis que absorbió. Otros efectos que se observan son la formación de células gigantes, granulación del citoplasma, cambios en la actividad del movimiento ciliar.

Una vez que ha pasado el lapso de exposición a la radiación puede tener lugar un período en el cual exista la recuperación de la célula en determinado porcentaje, sin embargo permanece-

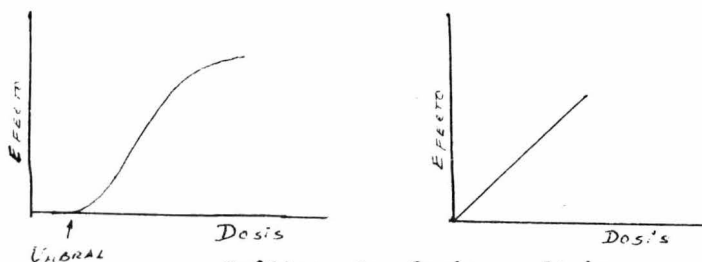
rá un daño residual que es la base para los efectos a largo plazo. El proceso curativo puede ser la substitución del tejido dañado o la recuperación celular.

Existen varios factores determinantes de la severidad de los efectos biológicos, tales son:

Cantidad total de radiación absorbida, en la que se presenta una relación cuantitativa entre la magnitud del daño y la dosis de tal manera que se puede construir una gráfica de efecto contra dosis. La interpretación de tal curva muestra que los efectos no son mesurables, sino hasta que se excede una determinada cantidad umbral.

Otro tipo de comportamiento es en el cual la relación de dosis contra efecto es lineal, y por lo tanto no existe una dosis umbral para que haya manifestación de daño.

Por lo que se ha investigado, pudo llegarse a la conclusión de que los efectos genéticos exhiben este comportamiento.



Gráficas de efecto vs dosis

Indice de absorción: Éste factor es el más importante en la determinación de efectos, porque dependiendo de la rapidez a la cual se irradie un organismo habrá una mayor o menor restauración de éste.

Area expuesta: por lo general cuando se expresa una deter-

minada dosis absorbida o exposición, significa una cantidad promedio a cuerpo total. Sin embargo no se presenta la misma peligrosidad en una región localizada que en exposición total del individuo. Existen regiones del cuerpo que tienen la capacidad de soportar fuertes dosis, mientras que otras la tienen menor y aún hay regiones corporales que recibirían una fuerte dosis que a cuerpo completo sería fatal, en cambio a ellas no les afectaría en demasía.

Variabilidad individual: muchas observaciones indican que dentro de una misma especie se pueden presentar diferencias considerables en cuanto a la capacidad de respuesta en la recuperación. Para dosis letales en dos sujetos de la misma especie se han presentado diferencias hasta de un cincuenta por ciento.

Sensibilidad de tejidos: esta situación ha conducido al estudio de los diferentes tipos de células, en cuanto a capacidad de sensibilidad; por lo que se ha visto y determinado experimentalmente se tienen los siguientes tejidos y células radiosensibles (en orden decreciente):

Tejido linfático, en especial los linfocitos.

Células sanguíneas inmaduras localizadas en la médula ósea.

Células que revisten el canal gastrointestinal.

Células de las gónadas (los testículos son más sensibles que los ovarios).

Piel, principalmente cerca de los folículos capilares.

Células endoteliales, en especial los vasos sanguíneos.

Otros tejidos: huesos, músculos y nervios.

Ciertos factores que requieren ser mencionados son el estado nutricional, la rapidez metabólica y la tensión de oxígeno.

A través del tiempo se han observado los efectos clínicos de organismos humanos que han recibido determinadas cantidades de radiación, así se ha llegado a estructurar un ordenamiento de la radiotoxicidad de los elementos (apéndice A), y los patrones generales de dosis agudas por radiación externa:

DOSIS (R)	EFEECTO PROBABLE
0 a 25	No hay lesión aparente, excepto la posibilidad de disminución en la sangre de los glóbulos rojos.
25 a 50	Cambios posibles en la sangre sin lesiones de seriedad.
80 a 120	Vómito y náuseas en un 5 al 10% del personal además de presentaciones de fuerte fatiga.
130 a 170	Vómito y náuseas en el 25% del personal, lesión parcial, posible incapacidad.
180 a 220	Vómito y náuseas en el 50% del personal, incapacidad.
270 a 330	Vómito, náuseas, 20% de defunciones dentro de las 2 a 6 semanas después de exponerse.
400 a 500	Todos los síntomas antes mencionados y un 50% de defunciones dentro del primer mes.
550 a 750	Fatal en un 100%. Es posible que alguno sobreviva y convalezca en seis meses.
1 000	Probablemente sobrevivan unas dos semanas algunos individuos.
5 000	Todos los individuos mueren en una semana.

Después de recibir la irradiación y dependiendo del tiempo que puedan sobrevivir, habrá ciertas manifestaciones que se ob-

servan , como son la pérdida de apetito, hemorragia, pérdida del cabello, fiebre, pérdida de peso, demacración.

Las respuestas del individuo se deben a los productos tóxicos producidos en los tejidos dañados, alteración de las funciones orgánicas o interrupción de éstas y destrucción de tejido en todo el cuerpo.

Entre los efectos que se presentan a largo plazo, están los de incrementar la incidencia de ciertos tipos de cáncer, acortamiento de la vida (según algunos estudios realizados un día por cada Roentgen recibido) , producción de mutaciones genéticas que en su gran mayoría son indeseables, efectos biológicos y de desarrollo.

Para los riesgos por radiación externa, la forma de prevenir efectivamente tal circunstancia radica en el empleo apropiado de blindaje, por lo que se requiere del conocimiento indicado para atenuar la radiación.

En el caso de radiación X o gamma, al viajar a través de un absorbedor , los mecanismos por medio de los cuales pierde energía son los efectos fotoeléctrico, Compton y producción de pares. Tales procesos son función de la energía de la radiación y del absorbedor (tipo de material y espesor), los que conducen a una expresión de tipo exponencial:

$$I = I_0 b e^{-\mu x}$$

siendo I_0 la intensidad inicial (antes de la absorción), I la intensidad final de la radiación una vez que ha sido interpuesto el absorbedor entre la fuente radiactiva y el punto que se desea proteger, x el espesor del blindaje, b factor de incremento en la intensidad de salida, debido a la radiación

dispersada por el absorbedor, μ el coeficiente de absorción lineal que depende de las energías consumidas en cada efecto y del espesor de material en cuestión.

Para los otros tipos de radiación el modo de blindaje es semejante excepto para los neutrones, en los que debido a sus características, son débilmente absorbidos por la mayoría de los materiales, entonces es necesario frenarlos para obtener una absorción más eficiente.

Ya que para obtener una máxima transferencia de energía por parte de ellos se requiere de partículas de masas semejantes, se ha optado por los materiales hidrogenados, ya que son los más efectivos en el frenado de neutrones rápidos, en semejante caso están el agua la parafina y el concreto.

2.2 Peligros por radiación interna.

En la manipulación de los diferentes tipos de radioisótopos por su empleo en los campos de la medicina o la industria principalmente, se pueden presentar accidentes como fuga de materiales radiactivos, que dependiendo de la forma física que guarden provoque la contaminación de personal, áreas y equipo.

Los elementos radiactivos pueden introducirse al cuerpo por inhalación de aire que contenga a éste, por ingestión, absorción de material a través de la piel o al producirse una herida en ésta.

La peligrosidad de los materiales radiactivos a nivel interno consta de varios factores, como son el tipo de emisión radiactiva, vida media biológica, órgano(s) que tienen predisposición para ser atacados, cantidad absorbida, radiosensibilidad

del tejido afectado; y éstas se atribuyen por los siguientes motivos:

Tipo de emisión radiactiva; tal factor es muy importante debido a la mayor o menor penetrabilidad de los diferentes tipos de radiación, en éste caso de radiación interna las partículas más pesadas son las que producen más daño que las ligeras. Dentro de esto es importante resaltar que a mayor energía de la radiación, el daño biológico será más severo.

Vida media efectiva; si se introdujera una cantidad de radioisótopo en un tejido, y permaneciera ésta fija; la dosis total dependería de la cantidad de radioisótopo, así como de su vida media radiactiva. Pero existen otros factores involucrados en una situación real, como es la serie de procesos metabólicos que realiza el organismo y por consecuencia la posible eliminación del isótopo, en cierta medida.

A ésta situación característica de eliminación biológica se le llama -vida media biológica-(T_b), que puede ser interpretada por la siguiente expresión:

$$I = I_0 e^{-0.693 t/T_b} e^{-0.693 t/T_r}$$

donde T_r es la vida media radiactiva; T_b es el tiempo de vida media biológica, I_0 cantidad de substancia introducida y la I es la que permanece después del tiempo t transcurrido.

Organo crítico; es la parte de tejido orgánico que debido a características propias, tiene mayor captación para un determinado elemento radiactivo.

Cantidad absorbida; dependiendo de ésta y de la solubilidad que presente, habrá una mayor o menor posibilidad de eliminación por el organismo en que se encuentre.

Radiosensibilidad del tejido afectado: ésto se refiere a que los tejidos en el organismo no presentan igual respuesta a la irradiación, por lo que el deterioro que sufran durante ésta variará en el perjuicio que se provoque a la salud del individuo.

Las experiencias adquiridas en el manejo de radioisótopos han conducido a la limitación de cantidades máximas permisibles en áreas de trabajo, y en áreas no restringidas. Tales normas estan establecidas por organismos como son la Comisión Internacional de Protección Radiológica y los organismos de seguridad de cada nación.

Para lograr la prevención y el control de la contaminación con elementos radiactivos, es necesario el poseer dispositivos de protección y emplear buenas técnicas de manejo, de tal manera que se logre la máxima reducción en los riesgos por contaminación.

El problema de abatir la exposición interna es esencialmente una situación de control de la contaminación, y para ello se requiere de la aplicación de dos principios fundamentales que son la limpieza y la restricción de áreas en la manipulación de los materiales radiactivos.

Para lograr estos objetivos de protección radiológica, es necesario adoptar técnicas de operación y métodos de laboratorio adecuados para el manejo de radionúclidos, así como una disciplina bien controlada en los implementos de protección personal.

2.3 Bases en el control y manejo de material radiactivo.

En la planeación de procesos y técnicas para el manejo de materiales radiactivos, es importante puntualizar aspectos básicos como son:

Empleo de cantidades de material radiactivo no mayor de lo que sea practicable, atendiendo de preferencia al nivel de toxicidad que presentan para los límites de seguridad establecidos.

Adecuada protección de las zonas de trabajo durante las operaciones radioquímicas. Aplicando el criterio de facilidad de control, tal como sería el empleo de material absorbente desechable para retener líquidos que por accidente se hayan salpicado.

Cuando es necesario la aplicación de elementos de alta toxicidad es aconsejable hacer ensayos previos a la manipulación de fuentes abiertas, de modo que se puedan descubrir inesperadas dificultades y fallas en los equipos que se emplean.

En el manejo de equipos que están expuestos potencialmente a contaminación, debe evitarse el hacerlo con las manos desnudas y en el caso de pipetas nunca deben operarse con la boca.

Evitar el uso de materiales que presenten porosidad, a menos que sea muy necesario, debido a que la contaminación es fácilmente adsorbidas o absorbidas en este tipo de materiales.

Aunque el empleo de guantes es estorbo, aplicar este medio de protección siempre que se manejen elementos radiactivos.

Todo el equipo que es empleado para manipular material activo debe segregarse y emplearse únicamente para este trabajo; además debe estipular una adecuada indicación de peligrosidad.

Para que el personal se desplace adecuadamente en las áreas de trabajo, debe portar los implementos necesarios, como son

las ropas protectoras prescritas (batas, cubrezapatos, etc.).

Practicar una adecuada limpieza del material que ha sido empleado, ya que de ello dependerá la difusión de la contaminación. Es también de obligación tener un adecuado almacenamiento después de su empleo, debido a que, a medida que se utilizan los materiales se les va adsorbiendo material radiactivo empleado en anteriores operaciones.

El monitoreo de áreas equipo y personal en forma regular es necesario para el control de niveles radiactivos, y en caso de haber contaminaciones efectuar inmediatamente los pasos en su abatimiento.

Para lograr el control de problemas por contaminación interna es vital el restringir todo tipo de medios que induzcan a tal situación, como sería portar objetos personales (relojes, encendedores, etc.) en áreas potencialmente peligrosas, así como también cigarrillos, y mucho menos permitir acceso a alguna clase de alimento.

Si llegara a presentarse algún accidente, contaminando un área amplia, y aún más, si los niveles radiactivos fueran altos; los pasos que inmediatamente se deben efectuar serían, la clausura de puertas y ventanas, apagar los ventiladores y aire acondicionado u otro tipo de mecanismo que pueda favorecer la propagación de la contaminación. Si es posible cerrar los ductos que existan, como son los de ventilación, cierre de grietas y hendiduras con cinta adhesiva. Abandono del cuarto dejando zapatos y ropas exteriores en la zona controlada.

Para proceder en la realización de la descontaminación del área problema, es necesario el estudio de las instalaciones

existentes, forma en que se realizó la contaminación y niveles que se presentan; para que se tomen en base a ello las medidas pertinentes y formular un plan específico en la descontaminación que se va a llevar a cabo, evitando riesgos innecesarios para el personal que realizará las maniobras descontaminantes.

Es vital poner en antecedentes al personal especializado de las personas que estuvieron expuestas al accidente, para que se sometan inmediatamente a una revisión y se tomen las medidas que sean necesarias.

C A P I T U L O I I I

FUNDAMENTOS DE LA DETECCION DE RADIONUCLIDOS

3.1 Instrumentación nuclear.

El objeto de un resumen sobre las características de los equipos electrónicos y detectores empleados en el manejo de los elementos radiactivos, es fundamental por varias circunstancias entre de ellas la seguridad.

Para la protección del personal, es necesario previamente puntualizar que debido a que no existen órganos de los sentidos que puedan detectar la presencia de radiaciones en el medio ambiente, se hace vital poseer mecanismos que prevengan al individuo de la presencia de éstas.

El proceso fundamental por el cual se realiza la detección, es la ionización que producen las radiaciones sobre la materia.

En los equipos de detección se emplean tres tipos principales de medios, que son gases, sólidos y líquidos.

Los gases comúnmente empleados como medios de detección son argón, xenón y metano. Al llenar una cámara con uno o una mezcla de estos gases y colocar en ella dos electrodos de alto voltaje, la radiación incidente que interacciona con los átomos de este material (que forman el volumen sensible del detector) provocará la ionización del gas. Estos iones producidos se coleccionarán en los electrodos de signo eléctrico opuesto; siendo por

ello detectado el flujo de iones en los circuitos del instrumento de laboratorio.

Los medios líquidos y sólidos una vez que han sido ionizados están seguidos de un proceso de recombinación de los iones o -desexcitación, que dan lugar a la emisión de pequeños destellos luminosos. Un tubo fotomultiplicador convierte estas cintilaciones en pulsos eléctricos que alimentan a un circuito.

-Detectores gaseosos: en función de la cantidad de voltaje que se aplique a los electrodos del detector, habrá una determinada cantidad de iones formados.

Al determinarse características peculiares del número de iones colectados entre electrodos, para diferentes voltajes que se apliquen, se llegó a clasificar regiones de comportamiento, éstas son:

I) Región de recombinación: en ésta los iones que se forman tienden a recombinarse, ya que el campo producido por el potencial no es lo suficientemente fuerte como para lograr la aceleración de éstos hacia los electrodos.

II) Región cámara de ionización: aquí el voltaje que se aplica permite la aceleración de los iones producidos, en tal forma que todos son colectados, pero no se producen ionizaciones subsecuentes en su recorrido hacia los electrodos. Ya que el número de iones que se producen dependen del tipo de radiación y la energía, habrá diferente cantidad de iones colectados para un mismo voltaje.

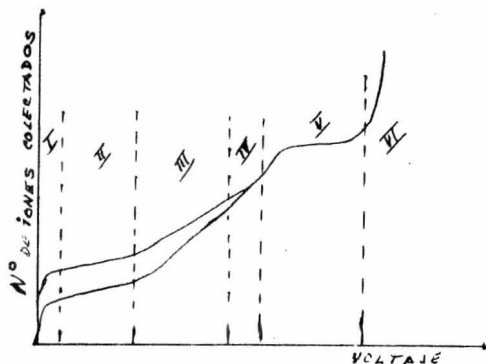
III) Región proporcional: para ésta aparece el proceso de amplificación gaseosa, la cual consiste en que los iones formados al viajar hacia los electrodos colectores poseen la suficiente energía como para lograr la ionización de otros átomos

y producir nuevos iones llamados secundarios. Como cada ión inicial crea iones secundarios en un número proporcional al campo eléctrico y al gas empleado, pequeñas variaciones en el voltaje pueden arrojar cambios muy considerables en el número de iones colectados.

IV) Región de proporcionalidad limitada: presenta la característica de que la colección de curvas de las distintas radiaciones, se juntan en un punto. Esta región casi no se emplea en detección.

V) Región Geiger-Muller: ésta exhibe un comportamiento caracterizado porque cualquier ionización inicial produce una -avalancha- de iones, lo suficientemente grande como para rebasar la región de proporcionalidad limitada. En ésta región hay la posibilidad de detectar radiaciones de muy baja energía. Como principal característica de ella está la de que variaciones de la fuente de alimentación practicamente no afectan la lectura de iones colectados.

VI) Región de descarga continua: el voltaje que se aplique al detector en ella provoca que se ionice el volumen sensible, sin necesidad de que haya radiación. Esta región no es útil para los propósitos de detección.



Gráfica de voltaje vs No. de iones colectados

El tubo detector Geiger-Muller (GM) con ventana en un extremo se diseñó principalmente para el conteo de radiación beta, y se emplea ampliamente en los laboratorios radiológicos. Este instrumento es también capaz de detectar radiación alfa si la energía de ésta no es totalmente absorbida por el aire existente entre la muestra y el detector o la ventana del mismo. El detector GM es usualmente un tubo cilíndrico metálico y un alambre central aislado electricamente del tubo, que también es conductor.

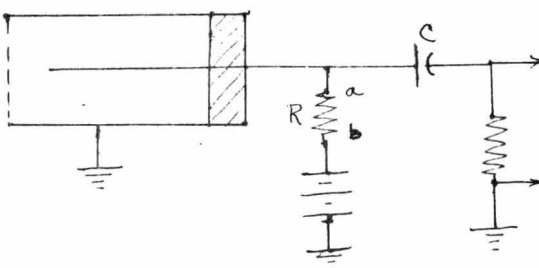


Diagrama del detector Geiger-Muller

La operación del detector GM se realiza en la región del propio nombre; debido a su característica de estar aplanada se le llama meseta GM. En el diagrama de éste se muestra un circuito asociado al detector, en donde el capacitor -C- aisla el alto voltaje aplicado al tubo, con el fin de no tenerlo a la salida del circuito. Cuando en el tubo GM se produce ionización en la resistencia -R- del circuito se produce una corriente entre -a- y -b-, pero por esta situación se produce una caída de voltaje, que se observa como un pulso a la salida. Mientras no exista ionización en el tubo, -a- y -b- se encuentran al mismo potencial y no hay corriente.

En el caso de detectores que emplean medios líquidos y sólidos, su funcionamiento se basa en los procesos de luminiscencia.

La luminiscencia es un término general que se emplea para el fenómeno en el cual existe absorción de energía por parte de una sustancia, y que después se reemite por medio de fotones de luz, generalmente dentro del espectro visible o en el invisible. Dependiendo del tiempo que se emplea en la realización de tal proceso, se le denominará fluorescencia o fosforescencia. Si la reemisión de fotones se lleva a cabo en menos de 10^{-9} seg después de la absorción de energía original, el material luminescente se llama fluorescente; pero si la reemisión toma más de ese tiempo se le denomina fosforescente.

Los materiales fluorescentes son los más empleados como detectores de la radiación nuclear, ya que las interacciones pueden distinguirse con mayor facilidad si el centelleo ocurre rápidamente.

Dentro de los materiales para detección, se emplean en el caso de sólidos, cristales de ioduro de sodio activado con talio - NaI(Tl) -; y para líquidos se emplea comúnmente el antraceno como medio de centelleo o la difeniloxazolona.

Cada centelleo producido se enfoca hacia un tubo fotomultiplicador, el cual es un dispositivo electrónico donde el impulso luminoso es transformado en una corriente eléctrica.

El tubo fotomultiplicador está compuesto de un fotocátodo (que es un emisor de fotoelectrones) y un conjunto de dinodos a potenciales sucesivamente elevados, con el fin de acelerar los electrones a cada paso y producir emisiones secundarias, para que ello aumente en cada etapa el número de electrones disponibles.

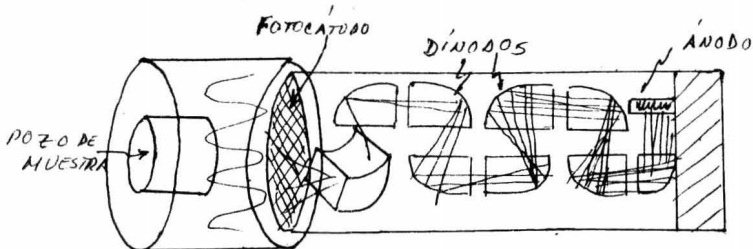


Diagrama de un tubo fotomultiplicador

Asociado al detector se encuentran varias unidades de equipo electrónico; éstas son preamplificador, fuente de alto voltaje, amplificador, osciloscopio, monocanal o multicanal y escalador, cuyas funciones son:

Preamplificador: su empleo es debido a que los pulsos que provienen del detector son tan pequeños que un amplificador convencional no sería capaz de aceptarlos; o cuando la distancia física entre el detector y el amplificador es tan grande que la atenuación hace necesario amplificarlos.

Fuente de alto voltaje: es el equipo que provee de energía regulada al detector, para hacer posible su operación. Cabe mencionar que las especificaciones de estabilidad en regulación son menos estrictas para las fuentes de los detectores Geiger-Muller que para los de detección por centelleo. Generalmente se requiere estabilidades en regulación del orden de 0.1 a 0.2% para los detectores de centelleo.

Amplificador: su función es la de aumentar la amplitud de la señal que proviene del detector y que ha pasado por el preamplificador, ya que esta señal es muy pequeña para ser analizada y registrada en el equipo electrónico convencional, por lo general se requiere amplificarlas a un nivel comprendido entre uno a diez volts, dependiendo si se requiere un simple registro

o si se desea medir la altura del pulso para efectos de espectrometría, para lo cual es muy importante, si se quiere mantener la forma y el pulso después de la amplificación.

Osciloscopio: éste nos da una gráfica de energía contra tiempo, observándose en ella los pulsos y su altura o energía. Poseen generalmente una entrada external-Trigger cuya función es la de discriminar los pulsos que no llegan al mismo tiempo, pudiendo darle entrada sólo a aquellos que llegan en coincidencia.

Monocanal: es un circuito Smith-Trigger cuya función es la de convertir los datos digitales de la entrada en señal analógica a la salida, para poder construir una gráfica. Este sistema nos da una señal filtrada ya que nos quita los pulsos muy grandes y muy pequeños. El multicanal es una agrupación de multicanales que ven simultáneamente porciones adyacentes del pulso.

Escalador: es un dispositivo cuya finalidad es la de registrar el número de pulsos detectados en un intervalo de tiempo dado.

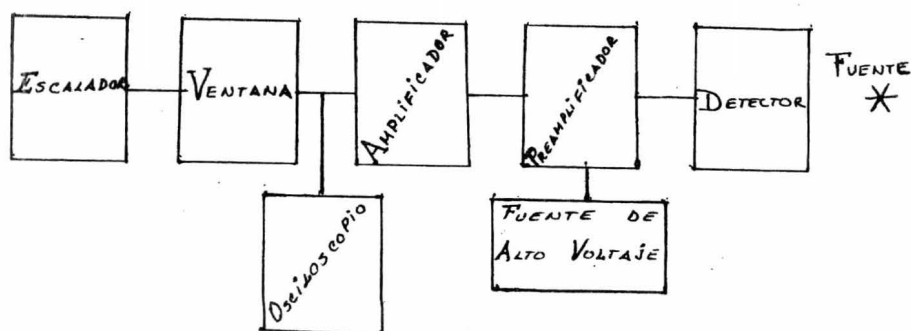


Diagrama del equipo electrónico

asociado al detector.

3.2 Estadística de la desintegración nuclear.

Debido a que la desintegración nuclear es un proceso donde los eventos son de naturaleza fortuita, hay necesidad de emplear las leyes de la estadística para lograr su manejo.

Este carácter estadístico se exhibe al efectuar una serie de mediciones cuyos resultados presentan una fluctuación. Para la interpretación de estos datos, son de interés tres tipos de distribución o probabilidad; la distribución binomial, la normal y la de Poisson.

En una serie de valores experimentales se encuentra el promedio aritmético mediante la expresión:

$$\bar{N} = \sum N_i/n$$

donde $\sum N_i$ es la suma de los valores obtenidos y $-n-$ el número de mediciones, pero como cada valor difiere del promedio \bar{N} por la cantidad Δi hay necesidad de expresar la fluctuación por medio de la variancia σ^2 la cual se define por medio del promedio del cuadrado de estas desviaciones:

$$\sigma^2 = \sum \Delta i^2/n-1$$

a la raíz cuadrada de esta expresión se le conoce como desviación tipo o estandar:

$$\sigma = (\sum \Delta i^2/n-1)^{1/2}$$

en la presentación de resultados generalmente se efectúa como $\bar{N} \pm \sigma$.

Si tuvieramos X números de núcleos presentes en una muestra y la velocidad promedio de desintegración \bar{n} . La probabilidad P_n de que se pueda describir n , puede ser expresada por la distribución de Poisson:

$$P(n) = \frac{\bar{n}^n}{n!} e^{-\bar{n}}$$

esta probabilidad da la fracción del número total de determinaciones que pueden esperarse al observar n cuentas, pero si la probabilidad P_n de que N radiaciones sean emitidas en un intervalo de tiempo t se divide en b partes iguales y tan pequeñas que la probabilidad de emitir las radiaciones es despreciable. Además por otra parte se expresa como \bar{N}/b , entonces tendríamos que la probabilidad de emitir N radiaciones en los primeros N intervalos de tiempo y ninguna en las restantes $b-N$ sería:

$$\left(\frac{\bar{N}}{b}\right)^N = (1 - \bar{N}/b)^{b-N}$$

ya que la forma de distribuir las N radiaciones en los b intervalos es:

$$b(b-1)(b-2)\dots(b-N+1)$$

pero estas formas no son todas diferentes, puesto que pueden permutar sin que se altere el resultado final. Así el número de permutaciones será:

$$b(b-1)(b-2)\dots(b-N+1)/N!$$

y la probabilidad de obtener N cuentas es:

$$P_N = \frac{b(b-1)(b-2)\dots(b-N+1)}{N!} \left[\frac{\bar{N}}{b}\right]^N \left[1 - \frac{\bar{N}}{b}\right]^{b-N}$$

que se le denomina Distribución Binomial.

En el caso de la distribución de Poisson $b \rightarrow \infty$ pero para valores de \bar{N} grandes, ésta puede aproximarse a una función de distribución de Gauss:

$$G(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi n}} e^{-\frac{(\bar{N}-N)^2}{2N}}$$

Cuya desviación normal esta dada por: $\sigma = \sqrt{2}/h$

donde $h = 1/\sqrt{2N}$ y se llama índice de precisión.

Es de importancia el que se tomen en consideración las situaciones estadísticas de éstos fenómenos, para que la precisión del conteo de cualquier tipo de experimento dependa de los conteos de radiactividad realizados.

3.3 Generalidades en la identificación de radionúclidos.

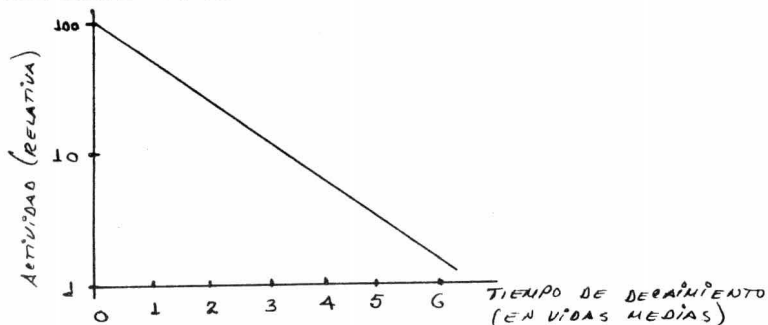
El procedimiento para la identificación de radionúclidos se basa en varias propiedades, dentro de las cuales destacan las que se deben al tipo de emisión que presentan (beta y gamma principalmente), así como también la determinación de la vida media que poseen y naturalmente las propiedades químicas que les caracterizan.

El procedimiento para la detección de la vida media es muy simple ya que solo se requiere un conteo de la muestra a intervalos de tiempo y en condiciones idénticas al conteo original, una vez que ha disminuido dicho conteo a la mitad, el lapso de tiempo que ha transcurrido entre el primero y el último, dará la vida media; aunque también es usual hacer la lectura después de un tiempo arbitrario t y posteriormente utilizar la ecuación de decaimiento para determinar la vida media ($t_{1/2}$):

$$A_t = A_0 e^{-0.693 t/t_{1/2}}$$

donde A_0 es la actividad de la muestra original y A_t la actividad después del tiempo t .

Colateral a estos métodos, está el de construir una gráfica en forma semilogarítmica, en la que la ecuación anterior representa una línea recta.



Gráfica de tiempo de decaimiento vs actividad.

Sin embargo a pesar de la sencillez del método, presenta sus dificultades en la determinación de tiempos de vida media muy cortos o muy largos.

Para el caso de vidas medias muy largas, se pueden investigar el número N de átomos radiactivos presentes en la muestra, y después midiendo el número de desintegraciones por unidad de tiempo, se determinará la constante de decaimiento radiactivo (λ):

$$|dN/dt| = \lambda N$$

$$\lambda = (1/N) dN/dt$$

este método es útil para isótopos que poseen vidas medias del orden de 10^{10} años. Además si los dos isótopos han alcanzado un equilibrio secular (donde la vida media del radioisótopo padre es muy grande comparada con la del elemento hijo), se puede obtener la constante de decaimiento del padre:

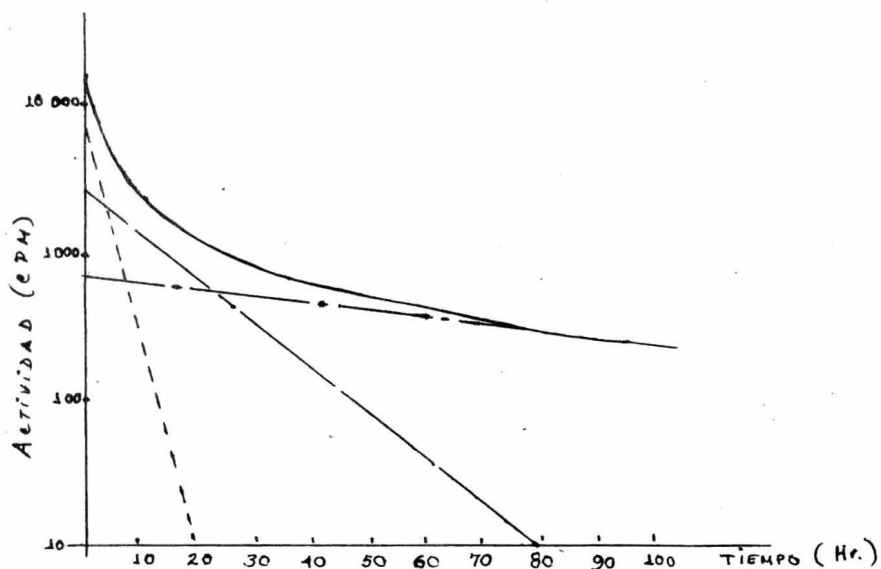
$$N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2$$

En el caso de mezclas de radioisótopos, se pueden encontrar los decaimientos característicos construyendo gráficas de las actividades contra tiempo en papel semilogarítmico, lo que conduce a una curva que denota la presencia de varios isótopos ra di act ivos.

En la determinación de los elementos que se encuentran presentes, se procedería a analizar los puntos finales de los datos experimentales que pueden ser acoplados en una recta tendida hacia el tiempo cero.

Las pendientes obtenidas de las rectas que se presentan, corres ponden a las constantes de desintegración (λ).

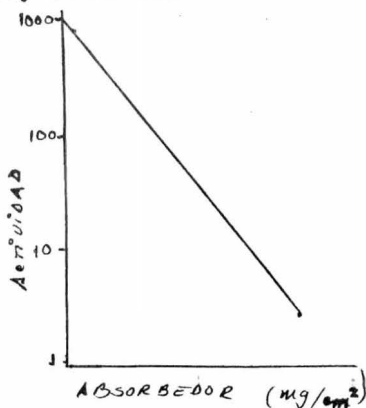
La gráfica de tiempo VS actividades para una muestra, obtenida de los datos que presentara un caso característico, también da las rectas que resultan del análisis de la curva.



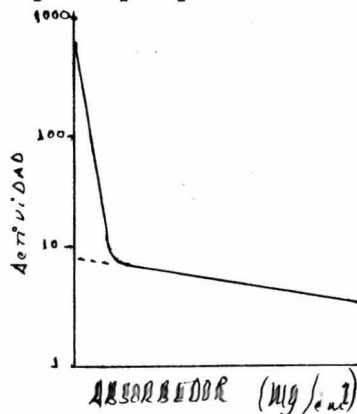
Gráfica de tiempo VS actividades que presenta
una mezcla de radioisótopos.

Determinación de energías: para determinar ésta se requiere la medición de la energía máxima de las betas; en ello el procedimiento general para obtener los datos de una muestra, es primero situarla de manera que se tenga un rango conveniente en la rapidéz de conteo para un detector convencional. Posteriormente intercalar absorbedores de espesor másico conocido (mg/cm^2) entre la muestra y la ventana del contador. Una vez que se obtienen las lecturas de los diferentes espesores insertados, llevarlos a una gráfica semilogarítmica (cpm VS mg/cm^2), para determinar la capa hemirreductora de aluminio (que es el espesor necesario para reducir el conteo a la mitad), posteriormente se va a una gráfica de energías contra capas hemirreductoras de aluminio y de ella buscar en la información existente el emisor que presenta tales características.

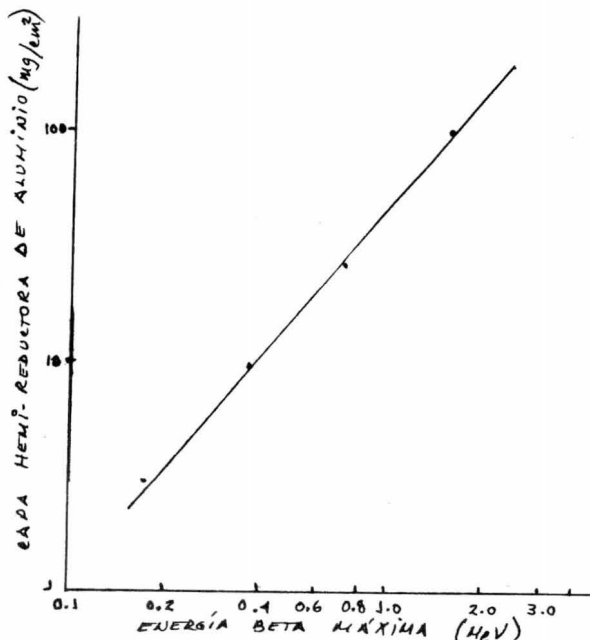
La gráfica de absorbedor VS actividad, por lo general se aproxima a una recta para la presencia de un sólo nucléido que sea emisor puro de betas, pero si el elemento además de betas emite gammas, se presentará una región de valores constantes que hay necesidad de retarse a la curva total punto por punto.



Gráfica de emisor de betas (puro)



Gráfica de emisor de betas (no puro)

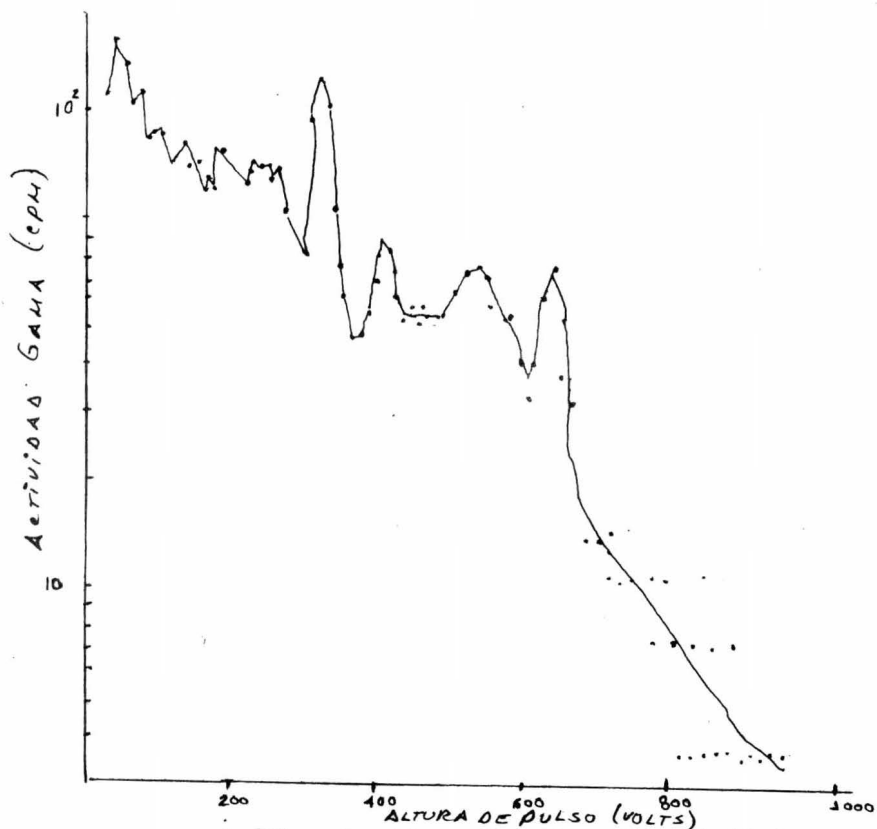


Gráfica de energía máxima de betas
VS capa hemirreductora

Medición de energía de las gammas: para la determinación de la energía de radiación gamma que presenta un radionúclido, hay necesidad de poseer equipo electrónico (mencionado en la sección de instrumentación), al cual se le acopla un sistema de registro, cuya función es la de establecer la gráfica de energías que presenta la muestra para la actividad de radiación gamma. Un caso típico de presentación se muestra en la gráfica de actividad VS altura de pulso.

El conjunto instrumental con un acoplamiento de registro es lo que constituye un gammaespectrómetro.

Debido a que las energías gamma de cualquier núclido no son únicas, es necesario para una identificación positiva el completar los datos que se determinaron en la espectrometría (gamma) con los de la vida media y la energía beta máxima.



Ya que en muchas situaciones se pueden presentar mezclas de radionúclidos, hay que recurrir a métodos químicos o físicos para lograr una separación adecuada de elementos y posteriormente proceder en la identificación.

Los diferentes procesos por medio de los cuales se puede realizar una separación son: técnicas de precipitación, destilación, electrodeposición, intercambio iónico, extracción con solventes y medios de acarreo.

De acuerdo a los medios de seguridad que presenten cada uno de estos procedimientos se emplearan unos en lugar de otros.

3.4 Mecanismos de separación en mezclas de radionúclidos.

Los mecanismos que se utilizan en la separación de una mezcla de radionúclidos tiene como base el aprovechamiento de las propiedades físicas y químicas que exhiben éstos ; clasificándose de la siguiente manera:

Destilación: es aplicable a sistemas donde los radionúclidos se encuentran formando parte de sustancias líquidas, por lo que aprovechando la propiedad física de la diferencia en los puntos de ebullición se puede realizar la separación de los constituyentes de la mezcla. Este procedimiento es útil algunas veces, pero se presenta el peligro de efectuar un manejo de elementos radiactivos en forma de vapores.

Extracción con solventes: se basa en la propiedad que tienen ciertas sustancias líquidas de disolver a otras de interés en este caso el radioisótopo; que también está contenido en un líquido. La separación se logra aprovechando la diferencia de solubilidad que existe entre el solvente empleado y los líquidos que contienen al radionúclido.

Podemos clasificar este proceso en tres grupos:

1) La extracción de moléculas neutras no solvatadas o débilmente solvatadas; que se efectúa con especies simples de moderada no polaridad y complejos quelatos neutros.

2) Sistemas iónicos como son halocomplejos o pseudohaloácidos. Así como también la extracción de aniones complejos en soluciones y bajo la forma de sales con líquidos intercambiadores de

iones.

3) La extracción con disolventes fuertes.

Intercambio iónico: este proceso tiene lugar en un sistema de dos fases, en el que uno o varios iones son detenidos por su alto peso molecular al pasar de una fase a otra.

Los intercambiadores de iones naturales incluyen zeolitas (y otros silicatos porosos que contienen aniones de silicatos poliméricos), minerales sulfonados, resinas con estructuras poliméricas, materiales a base de celulosa que están fosforilados, intercambiadores inorgánicos como son precipitados de fosfatos y oxalatos de zirconio.

Se han logrado obtener datos que muestran que los iones son más fuertemente adsorbidos a medida que aumenta su carga, además de que se presenta la misma situación al incrementarse su radio. Los efectos de temperatura son pequeños excepto en el comportamiento cinético.

Electrodeposición: éste es muy buen método para separar los iones metálicos en forma muy pura, y tiene como base la relación de los fenómenos químicos con los eléctricos; de acuerdo a ello en sistemas donde se requiere una recuperación completa de cationes y no haya interferencia de aniones esta operación dará una elevada eficiencia.

Acarreadores; debido a que en gran número de ocasiones la concentración de los elementos radiactivos es extremadamente pequeña (más no por ello poco activa), surgen dificultades prácticas en la realización de separación de mezclas, dando como resultado que en operaciones tan sencillas como colocar una solución

radioisotópica en un vaso de precipitado, se adsorben fácilmente varios isótopos en las paredes de éste durante el transcurso de la precipitación.

Pero ya que el equilibrio es dependiente de la concentración, se puede aprovechar esta propiedad agregando elementos estables y con ello evitar precipitados submicroscópicos; procediendo dentro de los métodos químicos usuales.

Este mecanismo requiere que los acarreadores exhiban propiedades semejantes a la de los elementos que se quieren recuperar, y poseer por lo general una valencia característica para lograr los efectos deseados, por lo que al operar con reacciones de óxido-reducción deben tomarse en cuenta estos factores.

Precipitación: es un procedimiento familiar en los métodos de separación química, por lo que será necesario abordarlo con más amplitud, ya que dependiendo de las características químicas que presenten los radioisótopos contaminantes se llevará a cabo la descontaminación.

Cuando se tiene una mezcla de radionúclidos emisores gamma, la interpretación de los datos espectrales es muy difícil, si no imposible, por lo que se hace necesario una separación adecuada en grupos de elementos, para que disminuya el problema de resultados mixtos en el espectro.

Esquema de separación química para algunos productos de fisión:

Como prototipo de separación se puede presentar el caso en que durante el análisis por activación de una muestra mineral hubo una contaminación de equipos y para lograr una identificación adecuada de los radionúclidos contaminantes se realizó

una separación de ellos, aprovechando las propiedades químicas de grupos característicos.

Debido a que las concentraciones de los elementos radiactivos eran muy pequeñas en un procedimiento usual cualquier tipo de precipitado que se presentara durante la separación sería microscópico, lo cual no convendría y por ende se hizo necesario el empleo de acarreadores que evitaran tal situación. Se procedió agregando sales que contenían iones cloro, bromo, iodo, hierro, cobre, arsénico, cobalto, manganeso, estroncio principalmente, acidificando con ácido nítrico y posteriormente comenzar a formar los precipitados, agregando las especies químicas convenientes.

Para eliminar los iones Cl, Br, I, se agregaría nitrato de plata, dando lugar al precipitado de éstos que se filtraría. Una vez realizado este primer paso, se procedería a trabajar con los elementos que se encontraran todavía en la solución (filtrado). Se ajustaría la acidéz con ácido clorhídrico y se saturaría con sulfuro, para que diera precipitados de sulfuros (tal como CuS, As_2S_3).

Ya que se hubiera procedido a separar el precipitado, se trabajaría con el filtrado, al cual se le volvería a agregar ácido clorhídrico concentrado y posteriormente hervirlo; enseguida de lo cual se agregaría ácido nítrico para oxidar los iones ferrosos y lograr su precipitación, después de haber neutralizado con hidróxido de amonio.

Los precipitados de hidróxido se filtrarían y el filtrado se sometería a una saturación con sulfuros, para precipitar cobalto manganeso, zinc (CoS, MnS, ZnS); después de ello se acidularía

y herviría para eliminar el **sulfuro** de hidrógeno existente. Agregando fosfato ácido de amonio y sosa en **exceso** se lograría precipitar fosfatos de calcio, bario y estroncio. El filtrado resultante contendría entonces iones que **tienen** una gran solubilidad, como son el sodio y el potasio.

La situación que existe es la de **encasillar** elementos con caracteres similares, de acuerdo a la conducta química que poseen. En este caso el objetivo fue, el separar los grupos característicos de la plata, sulfhídrico, de hidróxidos, de sulfuros básicos, alcalino-térreos y solubles.

Estas secciones de la muestra original pueden ser más fácilmente identificadas, una vez que el **gammaespectrómetro** se ha calibrado con fuentes semejantes de intensidades conocidas y de acuerdo a los grupos específicos que se poseen; porque de lo contrario no se lograría conocer los radionúclidos presentes en la muestra original.

C A P I T U L O I V

CARACTERISTICAS EN LA CONTAMINACION CON ELEMENTOS RADIATIVOS

4.1 Identificación de niveles de contaminación.

La contaminación con elementos radiactivos puede existir en variadas formas dentro de los laboratorios e instalaciones industriales. Estando presentes en forma de polvos, líquidos, vapores, gases y humos, por lo que cada tipo requiere de técnicas específicas de monitoreo.

Además de esto, es importante tomar en cuenta el tipo de energía que emite el contaminante; así como la composición física y química que guarda.

La contaminación se presenta por lo general en lugares y objetos como son:

- a) Areas de tránsito: pisos, corredores, montacargas, elevadores.
- b) Superficies horizontales: anaqueles, bancas, archiveros.
- c) Areas de trabajo y equipos: fregaderos, lavabos, herramientas de reparación, máquinas pulidoras, y material de laboratorio.
- d) Areas que poseen circulación de aire: ductos de ventilación, filtros y ventanillas de puertas.

Usualmente no se pueden emplear técnicas únicas en el monitoreo, requiriéndose de muestreadores de aire, técnicas de frotis y monitores portátiles.

Los muestreadores de aire, son equipos por donde se hace pa sar el aire de un lugar que se supone puede estar contaminado; éstos poseen filtros que retienen el material problema, que des pués de la operación se retiran con el fin de efectuar las lec turas del nivel radiactivo que presenten, y determinar si el área se encuentra potencialmente contaminada.

El frótis es una técnica que consiste en captar el contami nante presente en una superficie al restregarla con un papel filtro; procediendo después de ello a efectuar la lectura que presenta el papel y determinar la magnitud de contaminación, pa ra luego proceder a eliminarla.

Es preciso señalar que el frótis es un método cualitativo en la identificación de áreas contaminadas, que poseen esta en for ma no fija.

Los monitores portátiles son equipos que tienen detecto res proporcionales y de centelleo (para el caso de alfas), y Geiger-Muller (para betas y gammas). Adicionalmente con el equi po se encuentran mecanismos para señales audibles que ayudan a percatarse de una fluctuación pronunciada en la lectura.

4.2) Niveles permisibles en el control de contaminantes.

Para normar un criterio en el control de contaminación con elementos radiactivos, es necesario adoptar un nivel máximo per misible recomendable ante la exposición a material tóxico, e condiciones peligrosas.

En la exposición a productos químicos existe claramente un umbral antes del cual no se presentan daños, al menos en forma re conocible e inmediata; pero en el caso de radiación esto no se

encuentra completamente aceptado, por lo que los niveles permisibles de exposición están considerados como niveles que constituyen un aceptable riesgo.

Durante las experiencias acumuladas a lo largo del tiempo en el que se ha empleado material radiactivo con diversos fines, se ha observado que por lo general se encuentran presentes en alguna cantidad (libre) en el sitio de labores, por lo que se han adoptado límites máximos para zonas e individuos. La siguiente tabla muestra ejemplos de límites de contaminación empleados:

Criterios en zonas de contaminación			
RADIACION TIPO	CONTAMINACION AMBIENTAL (aire)	CONTAMINACION SUPERFICIAL (lectura directa)	CONTAMINACION SUPERFICIAL (transferible)
Alfa	$5 \times 10^{-11} \mu\text{c}/\text{cm}^3$	300 cpm/100cm ²	30cpm/100cm ²
Beta-gamma	$1 \times 10^{-8} \mu\text{c}/\text{cm}^3$	0.25mrad/h	1000cpm/100cm ²

Límites de contaminación en la piel humana

SUPERFICIE	INSPECCION DIRECTA	TRANSFERIBLE (FROTIS) (cpm/100cm ²)
Cuerpo total	150cpm/100cm ² (alfa) 0.06mrad/h (beta-gamma)	nada transferible nada detectable
manos	150cpm/100cm ² (alfa) 0.3mrad/h (beta-gamma)	nada detectable nada detectable

Límites máximos de contaminación en ropas

ARTICULO	INSPECCION DIRECTA	TRANSFERIBLE (FROTIS)
Zapatos	300cpm/100cm ² (alfa) 2.5mrad/h (beta-gamma)	30cpm/100cm ² (alfas) 1000cpm/100cm ² (beta-gamma)
Ropa	150cpm/100cm ² (alfas) 0.25mrad/h (betas-gammas)	

Para mantener los límites permisibles en el control de la contaminación deben tenerse presente varios aspectos importantes tales como:

Control efectivo del empleo de radionúclidos dentro de laboratorios, con objeto de proteger al personal y aún para aquellos que estén fuera de ésta área. Ello al mismo tiempo favorece el disminuir la interferencia en las medidas de radiación que pueden afectar adversamente el trabajo científico.

Para lograr éste control se requiere que exista un diseño adecuado en instalaciones de laboratorio y equipo, así como un programa de inspección que incluya el monitoreo de áreas de trabajo y personal.

Al llevar a cabo una adecuada organización y delimitación de dichas zonas, se debe guardar un estricto acceso autorizado al personal que labore en éstas; como son principalmente aquellas potencialmente radiactivas, zona de lavado, cuarto de conteo etc.

En las instalaciones de los laboratorios siempre tratará de emplearse material que sea lo menos susceptible de contaminarse, poseiendo al mismo tiempo resistencia al deterioro cuando haya necesidad de una descontaminación. Los lugares más susceptibles de contaminarse son pisos, superficies de trabajo, equipos y campanas.

Para la protección del personal es imperativo que empleen ropas protectoras, un dosímetro propio para control de la exposición que sufre, efectuar una práctica de los procedimientos en los cuales se manejen los radionúclidos, así como también realizar una revisión individual antes de salir de las áreas de trabajo, monitoreándose las regiones corporales de mas riesgo y preferentemente la totalidad.

4.3 Manejo adecuado de material radiactivo para la prevención de contaminación.

Dentro de las medidas encaminadas a la prevención de contaminación radiactiva, están las de poseer un adecuado sistema de evacuación de material, empaqué, transporte y tratamiento.

Evacuación:

En los mecanismos de evacuación de desechos que poseen elementos radiactivos se toman en cuenta los siguientes factores:

- a) Tipo de radioisótopo(s).
- b) Estado físico del desecho (sólido, líquido, gas)
- c) Intensidad de la radiación (alta, intermedia o baja)
- d) Vida media (larga o corta)
- e) Combustibilidad o incombustibilidad del material de desecho.

Siempre es necesario llevar un adecuado registro en cuanto a las cantidades que se manejen, y esto particularmente en isótopos de vida media larga. También se requiere una adecuada rotulación de los receptáculos que los contienen para tener una inmediata identificación.

Desechos líquidos: en la recolección de éstos es necesario una clasificación de acuerdo al grado y tipo de actividad, para determinar el método a emplearse durante ella. Así como también es importante conocer la composición química, ya que da la base en el tratamiento.

Otra de las precauciones que se aconseja tener es la de colocar material absorbente (inerte) para que en caso de rotura del recipiente se limite la dispersión de la contaminación.

Los desechos líquidos de elevada actividad por lo general son productos residuales de experimentos, o cantidades pequeñas de soluciones sin utilizar que requieren de evacuarse en recipientes de plástico, que de no poder emplearse se necesita substituirlo por los de acero inoxidable. Nunca es recomendable el uso de recipientes de vidrio debido a que en un accidente el golpearlo puede producir su rotura y con ello traer serios problemas, no sólo en el caso de contaminación de áreas sino de personal e incluso heridas a éste, lo que implicaría contaminación interna.

En el caso de soluciones térmicamente inestables de sustancias radiactivas en ácidos u oxidantes que contengan vestigios de materia orgánica, se hace necesario el poseer respiraderos para su confinamiento.

En el caso de desechos radiactivos líquidos que están diluidos la principal inconveniencia que presentan en su evacuación es la de ser considerables volúmenes.

En contadas circunstancias es posible descargar algo en las alcantarillas (siempre respetando los límites prescritos), pero lo mejor es evitar esta situación.

Desechos sólidos: para la evacuación de ellos lo más viable es separarlos de acuerdo a los procesos de tratamiento a que se van a someter; las bolsas empleadas en su recolección deben guardarse en recipientes resistentes para evitar su rotura y la posible dispersión de las sustancias contaminantes por esta causa. Los cubos de recolección de basura deben estar forrados con las bolsas generalmente de polietileno (intercambiables), además de poseer tapa, para con ella evitar la dispersión de material contaminante que se encuentra en forma pulverulenta.

Durante la recolección se hace necesario el proceder con las debidas medidas de seguridad, cerrando herméticamente las bolsas.

De acuerdo a las características de los desechos sólidos se podrán procesar, incinerando, prensando y en caso de ser putrescibles conviene agregarles absorbente con materiales que inhiban su descomposición, como son formaldehído, cal o hipoclorito en solución.

Existen también ciertos desechos sólidos que conviene separar de los demás, como podrían ser muebles y linóleos de laboratorios contaminados, que se volverían a utilizar una vez que se hayan tratado, por lo general removiendo lo más posible el contaminante y aplicando pintura plástica a manera de blindaje ; siendo ésto último no aconsejable a menos que exista la certeza de que la substancia radiactiva esté fija en la superficie.

Desechos gaseosos: existen elementos que por su forma natural de decaer producen gases, como por ejemplo el radio-226, o que en operaciones de laboratorio se produzcan compuestos gaseosos; en otras ocasiones hay producción de vapores por las bajas temperaturas a que tienen su punto de ebullición los compuestos que involucran elementos radiactivos.

Para lograr la recolección de gases, vapores y nieblas, es necesario poseer filtros adecuados en los sistemas de extracción de las campanas y aire acondicionado.

Se pueden por lo general usar filtros de carbón, absorbentes químicos e incluso trampas de condensación. En el caso de una inflamación existe riesgo de que escapen substancias radiactivas de los filtros, por lo que es recomendable seleccionar

filtros adecuados para prevenir tal circunstancia.

Debe haber una inspección regular de los filtros, substituyéndose cuando se han deteriorado o estan saturados y por ende han alcanzado los límites máximos prescritos.

Empaque:

Los requerimientos básicos para el empaque de materiales radiactivos consisten en lo siguiente:

Blindaje adecuado para reducir la dosis que reciben los individuos que los manejan, debiendo estar dentro de los límites permisibles.

En el manejo usual y tosco del empaque, el material radiactivo no debe escapar. Existe una clasificación detallada de bultos y contenedores con claras especificaciones de acuerdo al tipo de material y actividad que presenten.

Los empaques estan clasificados en tres categorías denotadas por nombres tales como: Blanco Categoría I -cuyas características que presenta es la de que durante el transporte normal no exceda en ningún momento de 0.5 mrem/h en ningún punto de la superficie externa y que no sea de substancias fisiónables.

En amarilla Categoría II ;la intensidad es de 50 mrem/h de lectura máxima en la superficie.

La amarilla Categoría III ;cuyos requerimientos son material que se puede fisionar, su valor máximo admisible es de 1000 mrem/h.

Estas son algunas contadas características que deben llenarse en el empaque, además de que los blindajes de los recipientes pasen las pruebas de impacto, presión interna y hermeticidad necesarias. Existe una detallada especificación en los reglamentos de la Organización Internacional de Energía Atómica.

Transporte:

En las especificaciones de todo vehículo que transporta material radiactivo, es necesario destacar la dosis que se presenta en la superficie de éste, teniendo presente que no debe excederse de 200 mR/h (gamma) a una distancia de dos metros. En el caso de transportación siempre existe un riesgo de accidente, por lo cual es de mencionarse que las características del embalaje deben poseer un margen de seguridad ante explosión o fuego; podemos como un dato en particular mencionar la presión que se aplica al blindaje de un contenedor de plomo de 10 cm, que para aceptarse necesita soportar 35 kg/cm^2 . La OIEA también ha dictado disposiciones para reglamentar el transporte de material radiactivo.

Tratamiento:

El tratamiento de desechos varía de acuerdo a la actividad y forma física que presenten los desechos. En el caso de sólidos pueden ser incinerados y compactados básicamente. Para líquidos existen variados métodos, dentro de los que destacan la concentración por evaporación, filtración (natu)ral, por presión, por vacío), fijación de líquidos por calcinación, vitrificación, retención en medios de absorción sólida. Los gases por lo general se adsorben en filtros, ya que cual-quier otro método resulta peligroso.

Para la estandarización de los desechos radiactivos el Or-ganismo Internacional de Energía Atómica ha delimitado ciertos rangos:

CATEGORIA (líquidos)	NIVEL DE ACTIVIDAD ($\mu\text{Ci/ml}$)	OBSERVACIONES
1	$A \leq 10^{-6}$	Normalmente no se <u>tratan</u> .

CATEGORIA (líquidos)	NIVEL DE ACTIVIDAD ($\mu\text{Ci/ml}$)	OBSERVACIONES
2	$10^{-6} < A \leq 10^{-3}$	Sin blindaje
3	$10^{-3} < A \leq 10^{-1}$	Posible blindaje
4	$10^{-1} < A \leq 10^4$	Blindaje necesario
5	$10^4 < A$	Hay necesidad de enfriamiento

Tratamiento
por
métodos
usuales

(sólidos) Dosis en la superficie
de los desechos (R/h)

1	$D \leq 0.2$	Emisores beta y gamma
2	$0.2 < D \leq 2.0$	Emisores alfas
3	$2.0 < D$	-----
4	Actividad alfa expresada en Ci/m^3	Emisión alfa dominante no debe haber sospecha de criticidad.

(gaseosos) Actividad(Ci/m^3)

1	$A \leq 10^{-10}$	Los efluentes usualmente no se tratan.
2	$10^{-10} < A \leq 10^{-6}$	Se tratan comunmente por filtración.
3	$10^{-6} < A$	Se tratan por otros métodos

C A P I T U L O V

APLICACION DE SISTEMAS PARA LA RESOLUCION DE PROBLEMAS PRODUCIDOS POR LA CONTAMINACION RADIATIVA

5.1 Bases de la descontaminación.

La descontaminación es un procedimiento mediante el cual se logra la remoción de material indeseable que contamina un sitio de interés, teniendo como objetivo establecer las condiciones anteriores a la presentación de la sustancia que se desea eliminar.

El problema en la contaminación de tipo radiactivo puede tener lugar en áreas, equipos, individuos (de manera externa e internamente), medio ambiente; y se remueve de acuerdo a variados procedimientos de descontaminación, los cuales estan en función de las circunstancias que se presenten.

Descontaminación de personal:

Por lo general la contaminación en el personal se produce en la superficie de la piel, pero puede darse el caso también dentro del organismo. A la primera situación se le designa contaminación externa y a la última interna.

La contaminación superficial o externa puede removerse mediante agentes de superficie y humectantes como son los jabones y los detergentes. Desafortunadamente se presentan elementos con taminantes que por las propiedades físicas y químicas que

exhiben no se eliminan con los anteriores agentes mencionados, por lo cual hay necesidad de emplear reactivos más enérgicos, como son oxidantes y reductores cuya acción consiste en remover grandes capas de células epiteliales, llegando hasta el elemento problema y desalojándolo. Podemos citar entre de ellos el permanganato de potasio, dióxido de titanio, sulfato ácido de sodio y otros. Naturalmente la aplicación de éstos se realiza por lapsos de tiempo pequeños, pues se pretende que durante la descontaminación no se provoque un daño, por lo que después de lograr la eliminación del problema se aconseja restaurar las grasas naturales de la piel en la medida de las posibilidades, como sería la aplicación de lanolina.

Los criterios que se aplican en los casos de contaminación son principalmente actuar en forma rápida y tomar las precauciones necesarias para evitar que el contaminante pueda propagarse a otras áreas del cuerpo.

El problema en un caso interno se presenta por lo general cuando se produce una herida o en ingestión accidental, siendo una atención inmediata apremiante debido a que las propiedades de solubilidad que presenten los elementos problema pueden agudizar los efectos nocivos.

Como primeros pasos es necesario el pronto enjuague de heridas e incluso provocar una mayor incisión, para que haya sangrado y esto contribuya al arrastre externo de la contaminación.

Si se ha absorbido por el organismo o en el otro caso se ingirió, los peligros son más grandes.

Basicamente existen tres factores primordiales en el caso de contaminación interna: Forma química en que fue absorbida,

vida media del elemento radiactivo y vida biológica.

Forma química; dependiendo de ella habrá una más rápida absorción interna del contaminante. Podemos citar el caso de contaminación con nitrato de plutonio el cual es rápidamente absorbido y que en un tiempo relativamente corto produce sarcomas, ello varía en el caso de plutonio que está en forma de metal puro o de óxido, ya que estos no producen tales consecuencias. Para este elemento se ha probado con buenos resultados la aplicación de la sal tricálcica de dietilen-triamino-pentacética que favorece su eliminación.

La vida media del elemento radiactivo es de suma importancia, ya que aunque la contaminación sea pequeña un material radiactivo de vida media muy larga provocará mayores estragos que uno de vida media corta. Aunado a esto, está el tipo de emisión que presenta, ya que internamente se produce un mayor daño por radiación alfa que por beta o gamma.

La vida media biológica tiene como fundamento la velocidad a la cual se metaboliza o elimina del organismo el elemento radiactivo; pero la situación que representa un complicado problema es el desconocimiento del radionúclido contaminante, porque debido a ello no se puede conocer el patrón metabólico que se describe por el elemento contaminante.

Descontaminación de equipos:

En ésta se puede englobar ropas de protección y material que sirve como instrumental.

En el caso de ropas como son las batas hay necesidad de limpiarlas con regularidad, debido a que con el tiempo se acumulan contaminantes y puede haber fijación de ellos; dependiendo

de la contaminación en la ropa será la aplicación del tratamiento, ya que en el caso de radionúclidos de vida media corta bastará con dejarlos decaer, lo cual no se puede aplicar en los elementos de vida media larga. Generalmente el lavado de ropas lleva reactivos adicionales como son metasilicatos, fosfatos y aún ácidos débiles diluidos como el ácido cítrico.

Para el caso de descontaminación de mascarillas debe tenerse especial cuidado con el material filtrante, ya que se puede dañar la eficiencia de éste.

En el tratamiento de equipos, paralelamente a la descontaminación se persigue el no deteriorarlo.

En cualquier superficie, los métodos para el proceso de descontaminación pueden ser clasificados en físicos o químicos, dependiendo de las características que envuelve. Como físicos se tienen limpiado por vacío, humedecimiento y secado, abrasión con polvos, arenas o cerdas y acción de vapor.

Dentro de los químicos se incluyen el uso de agentes humectantes, ácidos, alcalis, agentes complejantes, intercambiadores de iones y métodos electroquímicos.

Es importante hacer notar que los reactivos químicos presentan el problema de riesgo en su manejo, por lo que es necesario tomar las precauciones pertinentes, como sería la inhalación de humos nocivos.

Descontaminación de áreas y medio ambiente:

En la descontaminación de áreas es necesario proceder en forma sistemática, para evitar la propagación del contaminante. Esta situación se logra realizando el proceso de la periferia hacia el centro del área problema o de arriba hacia abajo en el caso de superficies verticales.

Los casos que involucran esta clase de áreas son pisos paredes y techos, sin embargo cuando la contaminación es persistente, después de disminuir lo máximo posible el nivel radiactivo se puede proceder a efectuar un sellado con materiales que sirvan de blindaje como son asfalto, concreto, pinturas y plásticos.

La contaminación del medio ambiente es un problema muy serio; porque es un área no controlada, de tal manera que lo más viable es poseer un número adecuado de preventivos como es el tener un adecuado control de gases o vapores que se arrojan al exterior de laboratorios.

El medio ambiente que nos rodea desde el aire, agua y también alimentos siempre ha contenido una determinada cantidad de elementos radiactivos; pero el desarrollo de procesos nucleares tales como los reactores y los radionúclidos que de ellos se obtienen, han aumentado potencialmente la cantidad de materiales radiactivos, variando la proporción que hace un siglo se tenía. Es por ello que actualmente se requiere de una reglamentación en el empleo de radionúclidos, pues como se ha visto los efectos que producen cuando no se controlan son nocivos.

Las fuentes más grandes de polución radiactiva son: detonaciones nucleares, fabricación y procesamiento de combustibles nucleares, uso y producción de isótopos radiactivos. Estas fuentes llegan a formar parte de un ciclo que indefectiblemente involucra al ser humano, ya que al depositarse la polución en la tierra o en las aguas comienza a formar parte del ciclo alimenticio de la humanidad y de toda la naturaleza. Es por ello que tal situación debe ser la base que debe tomarse para observar un mayor esmero en el control de contaminación.

5.2 Factores en la aplicación y comparación de técnicas para la descontaminación.

Esencialmente se ha visto que en los sistemas para la descontaminación se procede en dos formas, física y químicamente, pero dentro de ellas el método húmedo se prefiere al método de secado, porque resulta más efectivo en la eliminación del contaminante.

Durante los procedimientos a emplear, siempre se da preferencia a las técnicas ligeras antes que a las drásticas, pues como ya se mencionó, es importante no deteriorar los materiales que se tratan.

Las exigencias que se requieren en el método húmedo son principalmente la de rapidez de cubrimiento de la superficie, prosiguiendo al mismo tiempo una buena capacidad de absorción para asegurar que exista un buen intercambio iónico. Simultáneamente, es de desear que se tenga una buena acción complejante para prevenir una posible redepositación de los iones activos que se encuentran contaminando la superficie que se trata.

Es necesario proceder a una descontaminación cuando los niveles radiactivos son superiores a $150 \text{ cpm}/100 \text{ cm}^2$ para partículas alfa y $750 \text{ cpm}/100 \text{ cm}^2$ para betas y gammas, siendo estas lecturas en promedio.

Dentro de los procedimientos que se aconsejan para lograr una sistemática descontaminación se encuentran el de procurar remover primero la contaminación que se halle suelta o que tenga características grasosas; una vez realizado ésto se lleva a cabo un adecuado monitoreo del área, observando si se logra ron los objetivos; de lo contrario se emplean agentes desconta

minantes específicos los cuales se alternan con complejantes. Aún si ésto fuera insuficiente para abatir la contaminación, es necesario emplear un procedimiento drástico como sería el tratar la superficie con concentrados de ácidos y bases, evitando lo más posible el grabado de la superficie por éstos.

Existen una serie de métodos específicos para la descontaminación de diversos materiales, que dan buenos resultados en una sistemática aplicación. Tales métodos generalmente se basan en función de las características del material tratado, como es el caso de la aplicación de ácidos fuertes alternando con bases débiles y agentes de superficie para los materiales metálicos; en material de vidrio se hace necesaria la dilución del material con el empleo de bifluoruro de amonio y ácido crómico; y para los materiales plásticos se procede con solventes orgánicos (cuyo empleo requiere de un especial cuidado debido a la posible aspiración de vapores o a la absorción a través de la piel). Y si no fueran suficientes tales técnicas, se requiere de la remoción física de la superficie.

Una situación que requiere de especial atención es la de los materiales porosos, ya que su descontaminación es muy difícil, y por lo general se hace necesario el desvistar el área afectada.

Existen varias condiciones con factores inherentes al proceso de descontaminación, que tienen una determinante influencia en su mecanismo; y de acuerdo a ellos la efectividad del tratamiento producirá mejores o peores resultados, ellos son:

Forma química del contaminante:

Dependiendo el tipo de compuesto en que se encuentre el elemento radiactivo se basará el empleo de un determinado reactivo

ya que no es lo mismo tratar un compuesto contaminante de características ácidas con un reactivo ácido o que con una base, así como no se procedería en igual forma con un hidrocarburo contaminante, una sal orgánica o una inorgánica.

Efecto de la radiación en la conducta química:

El tipo de radiación y la energía de ésta durante el decaimiento del radionúclido producirá excitación en determinado grado, incluso será frecuente el que se produzca ionización en el medio, por lo que se afectarán las condiciones de pH, lo cual provocará que se alteren las velocidades de reacción entre contaminante y reactivo, ello repercutirá en un lapso de tratamiento diferente al cual se pudiera esperar.

Además en el decaimiento de varios elementos radiactivos la transmutación sufrida por éstos provocará una alteración en el equilibrio del sistema.

Tipo de reactivo descontaminante:

Es importante hacer incapié que éste es el punto de mayor interés dentro de las técnicas de descontaminación, ya que de acuerdo a las propiedades del reactivo empleado en el tratamiento la eficacia de los resultados obtenidos será más positiva.

La gama de reactivos que se emplean son principalmente ácidos bases, sales (inorgánicas de preferencia), agentes complejantes o intercambiadores de iones; tales sustancias presentan variadas características al actuar, dando ciertas ventajas unas con respecto a otras, como sería el que algunas de éstas reaccionaran con el material de la superficie, para lo cual se persigue que esta sea ligera en comparación con la del contaminante

y que al mismo tiempo se realice la remoción de la contaminación que se encontrara fija, provocando una considerable disminución de tiempo en el material tratado.

Una situación que afecta considerablemente el rendimiento del reactivo descontaminante es la posible competición que se lleve a cabo entre éste, los materiales del contaminante y de la superficie, porque da lugar a que se consuma una mayor o menor cantidad de reactivo.

Características del **producto** que se forma entre el reactivo y el contaminante:

El **producto** del proceso de descontaminación puede ser una sal (compleja o simple), producto absorbido o adsorbido como sería un intercambiador de iones, así como también productos coloidales que al precipitarse adsorban a su paso moléculas contaminantes ya contenidas en el medio acuoso que están en forma libre de la superficie tratada.

En el caso de sales muy solubles el problema se simplifica, ya que pueden ser fácilmente removidas; pero para los precipitados se debe proceder con cautela ya que existe la posibilidad de efectuarse una redeposición en la superficie, la cual es indeseable.

Estructura superficial del material tratado:

Se ha podido observar que dependiendo de la porosidad que exhibe el material en su superficie (o globalmente), habrá más o menos adsorción del contaminante; ello provoca casi indefectiblemente que a mayor porosidad es más difícil la descontaminación y por *ésto se necesita del empleo de técnicas más drásticas* o en su defecto un tratamiento por un lapso de tiempo

muy prolongado. La diferencia entre las dos alternativas es el deterioro que se le pueda causar al material tratado, debiéndose elegir la más conveniente de acuerdo a las exigencias de la circunstancia.

Sistema de procesamiento en la descontaminación:

Durante la comparación de técnicas aplicadas he podido percatarme de la gran influencia que guardan los sistemas con agitación mecánica, en la velocidad de descontaminación ya que al realizar comparaciones con procesos estáticos el porcentaje de tiempo consumido en éstos últimos fue mucho mayor. Esta característica casi es usual, aunque hay algunas situaciones en que la naturaleza del descontaminante empleado influye en un grado tal que su efecto es bastante pequeño.

La alternativa principal que guardan los procesos con agitación mecánica es que mediante el grado de turbulencia creado habrá por lo general una disminución de tiempo durante el tratamiento y por ende una menor exposición sufrida por los trabajadores que efectúan la manipulación en el procesamiento, característica que es fundamental dentro de los objetivos que persigue este estudio.

5.3 Metodología experimental empleada en la descontaminación.

La forma en que se llevó a cabo el estudio, fué a partir de una selección de muestras en las cuales se pusieron en comparación las características de un proceso estático y otro dinámico (produciéndose en éste turbulencia por medio de agitación mecánica). Los materiales sometidos a estudio se encontraron en su mayoría dentro de un semejante nivel de contaminación, para lograr un sistema paralelo de referencia respecto a los dos procesos. Para la aplicación de reactivos se procedió con concentraciones similares, dando así la pauta para establecer una observación de eficacia en éstos.

Durante las determinaciones de nivel radiactivo se escogieron lapsos de tiempo que fueran adecuados en la observación de cambios, para lo cual se emplearon equipos de detección Geiger-Muller de buena capacidad.

Con objeto de lograr indicios en la influencia que ejercieran las concentraciones de reactivos en el mecanismo de descontaminación, se variaron las cantidades empleadas para un mismo tipo y con ello tener un comportamiento de su acción.

Los reactivos empleados fueron los siguientes:

Acido cítrico

Fosfato de sodio

Permanganato de potasio

Oxalato de sodio

Carbonato de sodio

Citrato de amonio

Trióxido de cromo

Acido sulfúrico

Metasilicato de sodio

Hidróxido de sodio

Acido fosfórico

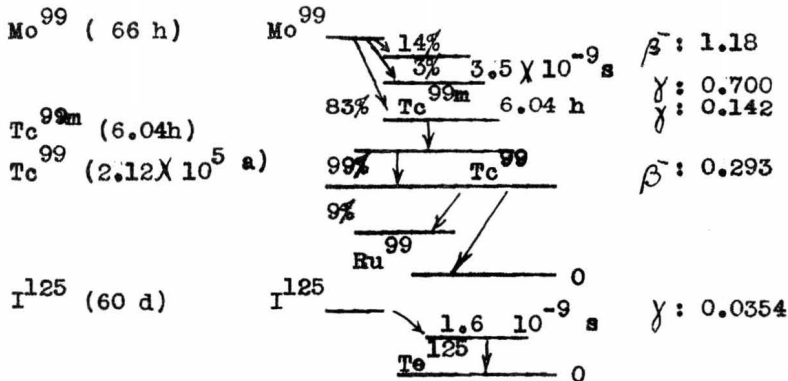
Acido clorhídrico

Acido nítrico

Estos fueron escogidos en base a que las experiencias los han señalado como los más viables para las descontaminaciones que se llevan a cabo en materiales metálicos, plástico y vidrio.

Los radionúclidos que en la actualidad tienen más empleo dentro del INEN y por ello los más susceptibles de contaminar son:

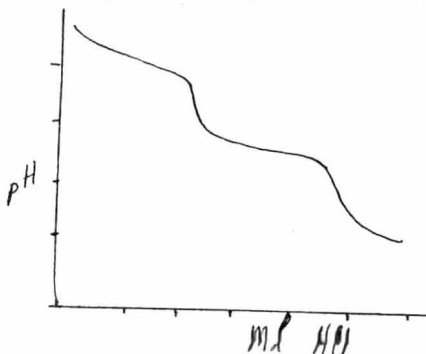
Radionúclido (vida media)	Esquema de la desintegración (tipo de radiación que emite y energía MeV)	
H^3 (12.262 a)	$H^3 \xrightarrow{0} He^3$	$\beta^-: 0.018$
C^{14} (5568 a)	$C^{14} \xrightarrow{\quad} N^{14}_0$	$\beta^-: 0.155$
Na^{22} (2.58 a)	$Na^{22} \xrightarrow{\beta\ CE} Me^{22}_0$ 99%	$\beta^+: 0.540$ $\gamma: 1.277$
P^{32} (14.22 d)	$P^{32} \xrightarrow{\beta} S^{32}_0$	$\beta^-: 1.707$
S^{35} (87 d)	$S^{35} \xrightarrow{\beta} Cl^{35}_0$	$\beta^-: 0.167$
Ca^{45} (164 d)	$Ca^{45} \xrightarrow{\beta} Sc^{45}_0$	$\beta^-: 0.254$
Zn^{65} (245 d)	$Zn^{65} \xrightarrow{\beta\ CE\ 44\%} Cu^{65}$ $\beta\ CE\ 56\%$	$\beta^+: 0.324$ $\gamma: 1.119$
Ni^{63} (92 a)	$Ni^{63} \xrightarrow{\beta} Cu^{63}_0$	$\beta^-: 0.067$



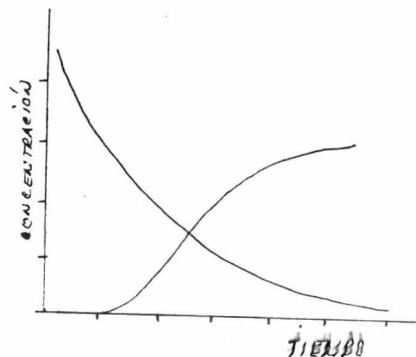
Además se encuentran también el I-131 ; Cs-137 ; Br-82 ; Au-199 ; U-235 ; U-238 , cuyos esquemas de desintegración son algo más extensos pero se pueden encontrar fácilmente en cualquier manual de física o ingeniería nuclear.

Tales radioisótopos pueden presentarse principalmente como sales, moléculas marcadas, coloides y minerales, por lo cual el comportamiento que exhiben durante la descontaminación no se puede abordar tan sólo atendiendo al radionúclido problema sino también en base a los tipos de sustancias que los contienen.

Durante las observaciones de conductas se tomaron en cuenta los comportamientos de neutralización, cinética química, tensión superficial y adsorción.

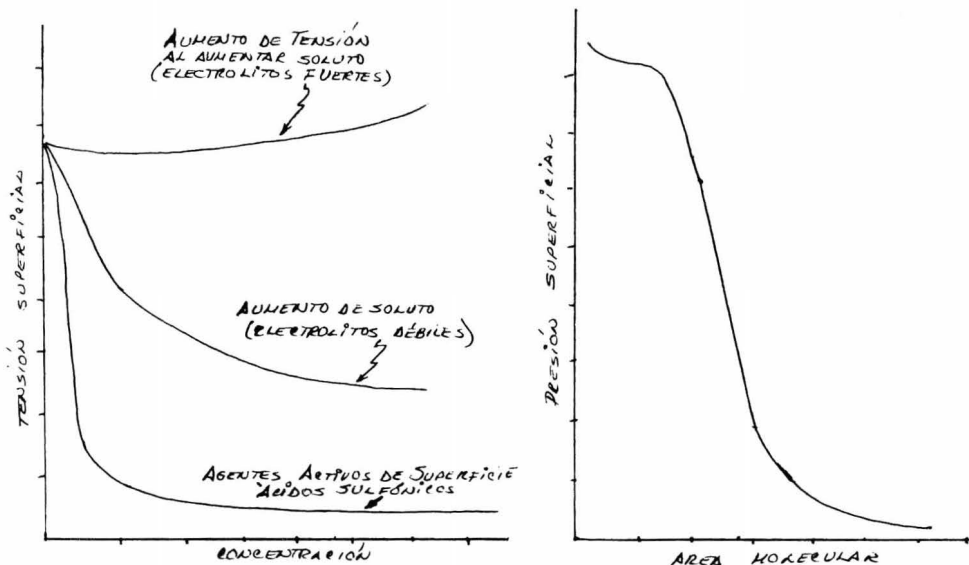


CURVA DE VALORACIÓN DE UN ÁCIDO CON UNA SAL BÁSICA

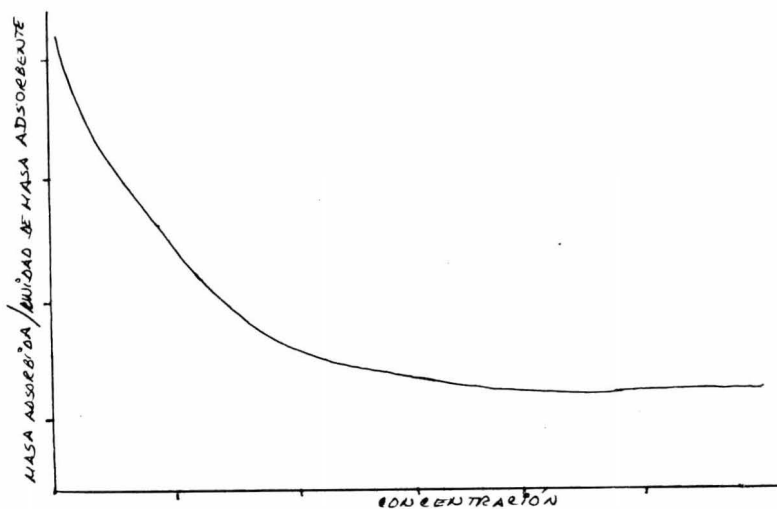


GRAFICA DE CINÉTICA QUÍMICA

— GRÁFICA DE NEUTRALIZACIÓN —



— GRÁFICAS DE TENSION SUPERFICIAL —



— GRÁFICA DE ADSORCIÓN —

Las características que presentan las gráficas de éstos fenómenos dan la pauta para analizar los patrones de comportamiento que se observan en la descontaminación.

5.4 Datos obtenidos en la aplicación de descontaminantes sobre diversos materiales.

Las determinaciones de nivel radiactivo que presentaron los materiales tratados durante los procesos de la descontaminación fueron los siguientes:

Material metálico:(Pb)

tiempo t (min)	Citrato de amonio(1%) Proceso		Citrato de amonio(0.5%) Proceso	
	Agitado (cpm)	NO agitado	Agitado (cpm)	NO agitado
0	2500	2500	4750	4750
30	2100	2400	4530	4740
60	2000	2380	4440	4730
90	1850	2350	4250	4725
120	1400	2270	4040	4721
150	1000	2200	3760	4718
180	800	2105	3370	4715
210	678	2030	3240	4700
240	547	1980	2780	4690
270	465	1895	2500	4675
300	400	1810	2100	4660

Nota: todos los porcentajes dados estan en peso.

t (min)	Citrato de amonio(0.2%)		Metasilicato de sodio(0.2%)	
	Proceso		Proceso	
	Agitado (cpm)	NO agitado	Agitado (cpm)	NO agitado
0	1250	1250	3750	3750
30	1110	1200	3730	3750
60	1000	1160	3718	3746
90	880	1000	3680	3742
120	750	980	3610	3738
150	675	950	3540	3735
180	550	955	3538	3731
210	470	950	3530	3727
240	450	945	3526	3725
270	448	940	3525	3720
300	445	936	3525	3717

t (min)	Metasilicato de sodio(0.5%)		Metasilicato de sodio(1%)	
	Proceso		Proceso	
	Agitado (cpm)	NO agitado	Agitado (cpm)	NO agitado
0	4000	4000	3500	3500
30	3910	4000	3000	3400
60	3800	3950	2530	3200
90	3630	3880	2390	3000
120	3370	3820	2160	2750
150	3250	3700	2000	2600
180	3140	3530	1900	2470
210	2890	3450	1790	2140
240	2800	3400	1720	2020
270	2630	3320	1670	1930
300	2500	3140	1650	1900

t (min)	Acido clorhidrico(0.4%)		Acido clorhidrico(1%)	
	Proceso		Proceso	
	Agitado (cpm)	NO agitado	Agitado (cpm)	NO agitado
0	2500	2500	3000	3000
30	2300	2400	2630	2980
60	2170	2330	2500	2750
90	2060	2270	2130	2630
120	2000	2250	1930	2500
150	1950	2230	1550	2400
180	1880	2210	1370	2300
210	1825	2180	1250	2230
240	1775	2130	1025	2050
270	1675	2000	976	1980
300	1465	1975	880	1925

t (min)	Acido nitrico (0.4%)		Acido nitrico (1%)	
	Proceso		Proceso	
	Agitado (cpm)	NO agitado	Agitado (cpm)	NO agitado
0	7500	7500	5000	5000
30	6750	7230	4670	4800
60	6360	6880	4370	4650
90	5490	6500	4000	4440
120	5000	6240	3720	4200
150	4710	5860	3450	3880
180	4420	5490	3200	3650
210	4320	5230	3000	3470
240	4120	4990	2800	3250
270	3850	4800	2620	3075
300	3500	4670	2450	2750

t (min)	Acido sulfúrico(0.4%) Proceso		Acido sulfúrico(1%) Proceso	
	Agitado (cpm)	NO agitado	Agitado (cpm)	NO agitado
0	7500	7500	4500	4500
30	7000	7250	4370	4450
60	6500	7000	4250	4380
90	6000	6750	4150	4290
120	5000	6500	4040	4220
150	4900	6240	3950	4170
180	4750	6000	3850	4070
210	4500	5500	3770	4020
240	4250	5000	3570	3930
270	3750	4700	3220	3750
300	3700	4600	2880	3530

t (min)	Oxalato de sodio(0.4%) Proceso		Oxalato de sodio (1%) Proceso	
	Agitado (cpm)	NO agitado	Agitado (cpm)	NO agitado
0	6000	6000	3000	3000
30	5750	5850	2850	2900
60	4900	5100	2550	2700
90	4100	4700	2100	2550
120	3750	4350	1900	2450
150	3200	4100	1500	2200
180	2700	3750	1250	2000
210	2350	3100	1000	1800
240	2150	2900	500	1200
270	2000	2700	400	1000
300	1810	2550	315	800

t (min)	Fosfato de sodio (0.4%) Proceso		Fosfato de sodio (1%) Proceso	
	Agitado (cpm)	NO agitado	Agitado (cpm)	NO agitado
0	500	500	1200	1200
30	490	500	1050	1180
60	420	470	850	1050
90	340	430	700	950
120	260	370	600	890
150	230	350	550	850
180	200	330	500	800
210	190	320	470	780
240	180	290	450	750
270	175	280	430	720
300	150	220	410	700

t (min)	Acido citrico (0.4%) Proceso		Acido citrico (1%) Proceso	
	Agitado (cpm)	NO agitado	Agitado (cpm)	NO agitado
0	1000	1000	500	500
30	985	995	495	500
60	970	993	485	496
90	955	990	478	493
120	948	984	475	490
150	935	980	465	485
180	933	976	458	479
210	930	974	451	473
240	930	971	446	470
270	928	970	440	468
300	928	966	440	466

Material plástico: debido a la poca densidad que presentan éstos materiales, se presentó el problema de arrastre, lo cual evitó el someterlos a un proceso agitado;

t (min)	Ac.citríco(3%) (cpm)	Fosfato de sodio(3%) (cpm)	Permanganato de potasio(3%) (cpm)
0	800	2000	2400
30	790	2000	2350
60	780	1900	2100
90	700	1800	1850
120	650	1730	1700
150	610	1680	1650
180	550	1500	1500
210	470	1200	1400
240	455	1100	1350
270	440	1000	1180
300	430	950	1020

t (min)	Ac.nitríco(2%) (cpm)	Ac.fosfórico(2%) (cpm)	Ac.clorhídrico(2%) (cpm)
0	1250	500	450
30	1000	460	390
60	900	360	330
90	800	320	300
120	770	300	290
150	710	280	270
180	630	270	250
210	500	260	240
240	490	255	235
270	420	250	230
300	350	250	223

t (min)	Oxalato de sodio(3%) (cpm)	Citrato de amonio (3%) (cpm)	Metasilicato de sodio(3%) (cpm)
0	475	300	450
30	390	280	430
60	290	250	420
90	230	230	350
120	200	220	320
150	190	200	300
180	180	180	280
210	175	170	270
240	165	168	265
270	150	165	260
300	140	165	260

t (min)	Carbonato de sodio(3%) (cpm)	Hidróxido de sodio(3%) (cpm)	Trióxido de cromo(3%) (cpm)
0	5000	10000	10000
30	5000	8000	10000
60	4850	5000	9900
90	4000	3000	9800
120	3800	2000	9850
150	3200	1600	9600
180	3100	1500	9400
210	3000	1450	9310
240	3000	1420	9250
270	2950	1380	9200
300	2930	1360	9100

t (min)	Ac.citrico(6%) (cpm)	Fosfato de sodio (6%) (cpm)	Permanganato de potasio (6%) (cpm)
0	600	700	600
30	600	690	590
60	585	675	580
90	575	665	565
120	565	650	555
150	535	600	500
180	400	500	400
210	350	430	350
240	300	370	300
270	240	350	260
300	230	345	230

t (min)	Citrato de amonio(6%) (cpm)	Trióxido de cromo (6%) (cpm)	Carbonato de sodio (6%) (cpm)
0	500	370	1800
30	490	365	1750
60	480	360	1680
90	465	355	1600
120	450	345	1250
150	410	310	700
180	300	280	580
210	270	260	490
240	240	235	410
270	215	215	400
300	200	205	390

t (min)	Ac.fosfórico (4%) (cpm)	Ac.clorhídrico (4%) (cpm)	Ac.nítrico (4%) (cpm)
0	300	500	560
30	290	480	540
60	285	470	525
90	280	455	515
120	275	435	490
150	210	400	400
180	190	300	390
210	175	270	370
240	160	245	360
270	155	205	360
300	155	200	358

t (min)	Metasilicato de sodio(6%) (cpm)	Hidróxido de sodio(6%) (cpm)	Oxalato de sodio (6%) (cpm)
0	1000	10000	15000
30	980	9600	14600
60	955	9200	14100
90	920	8850	13800
120	890	8800	13650
150	700	6000	8000
180	500	3000	7000
210	430	2300	6590
240	380	1900	6100
270	335	1500	5800
300	310	1300	5625

Material de vidrio:

En vista de que la descontaminación de vidrio es difícil porque las características de adsorción que se llevan a cabo entre el contaminante y éste son pronunciadas, los mejores métodos requieren del empleo de ácidos.

Las operaciones que se realizaron fueron únicamente con ácido clorhídrico y nítrico concentrados, y los resultados que se presentaron son los siguientes:

t (min)	Acido clorhídrico (cpm)	Acido nítrico (cpm)
0	400	400
30	400	360
60	390	330
90	375	305
120	360	285
150	335	263
180	315	250
210	296	245
240	288	236
270	280	230
300	275	226

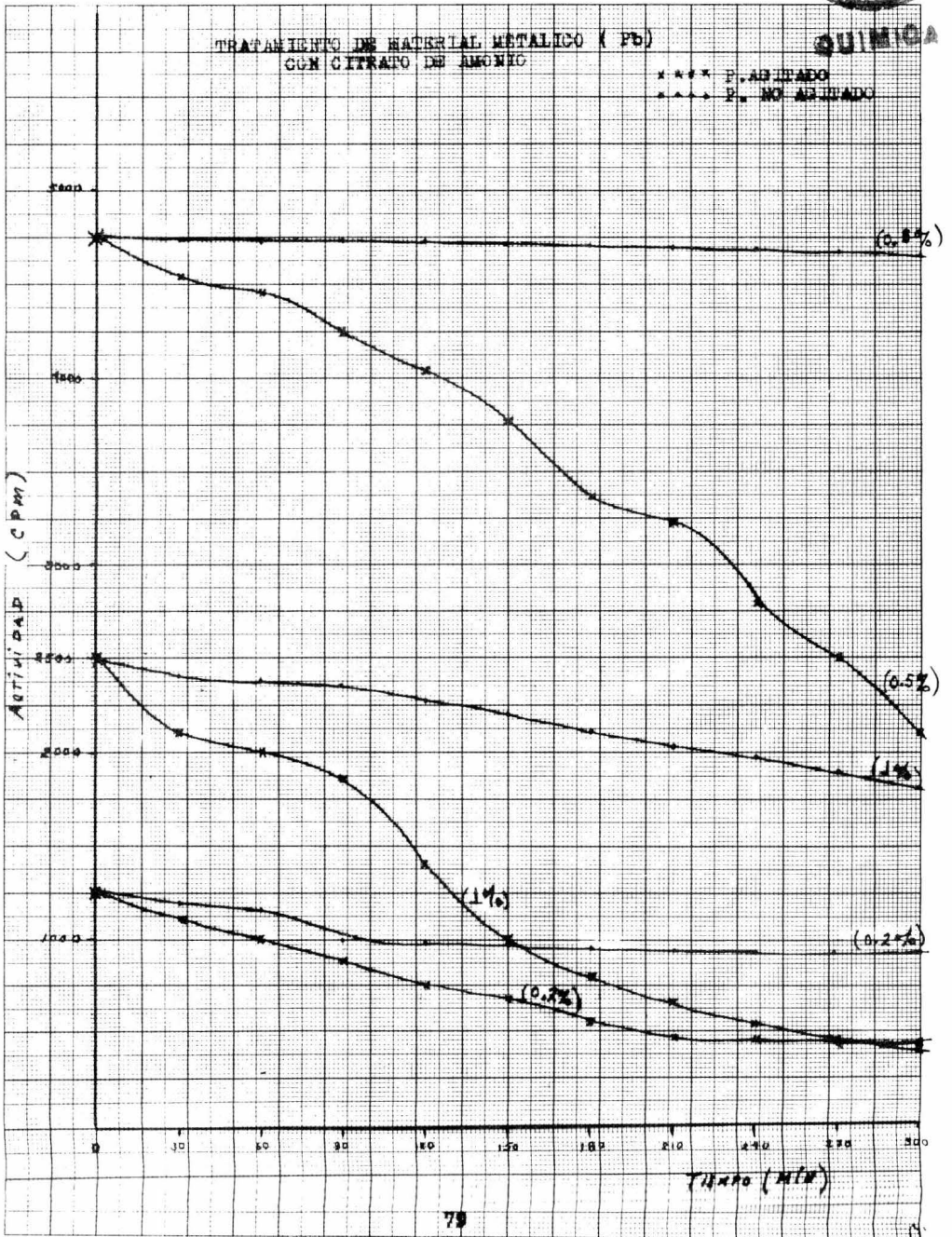
Para poder visualizar y comparar éstos comportamientos exhibidos de los reactivos ante la contaminación de los diferentes materiales, se muestran sus graficas las que tienen la actividad en función del tiempo empleado en el tratamiento.



TRATAMIENTO DE MATERIAL METALICO (Pb)
CON CITRATO DE AMONIO

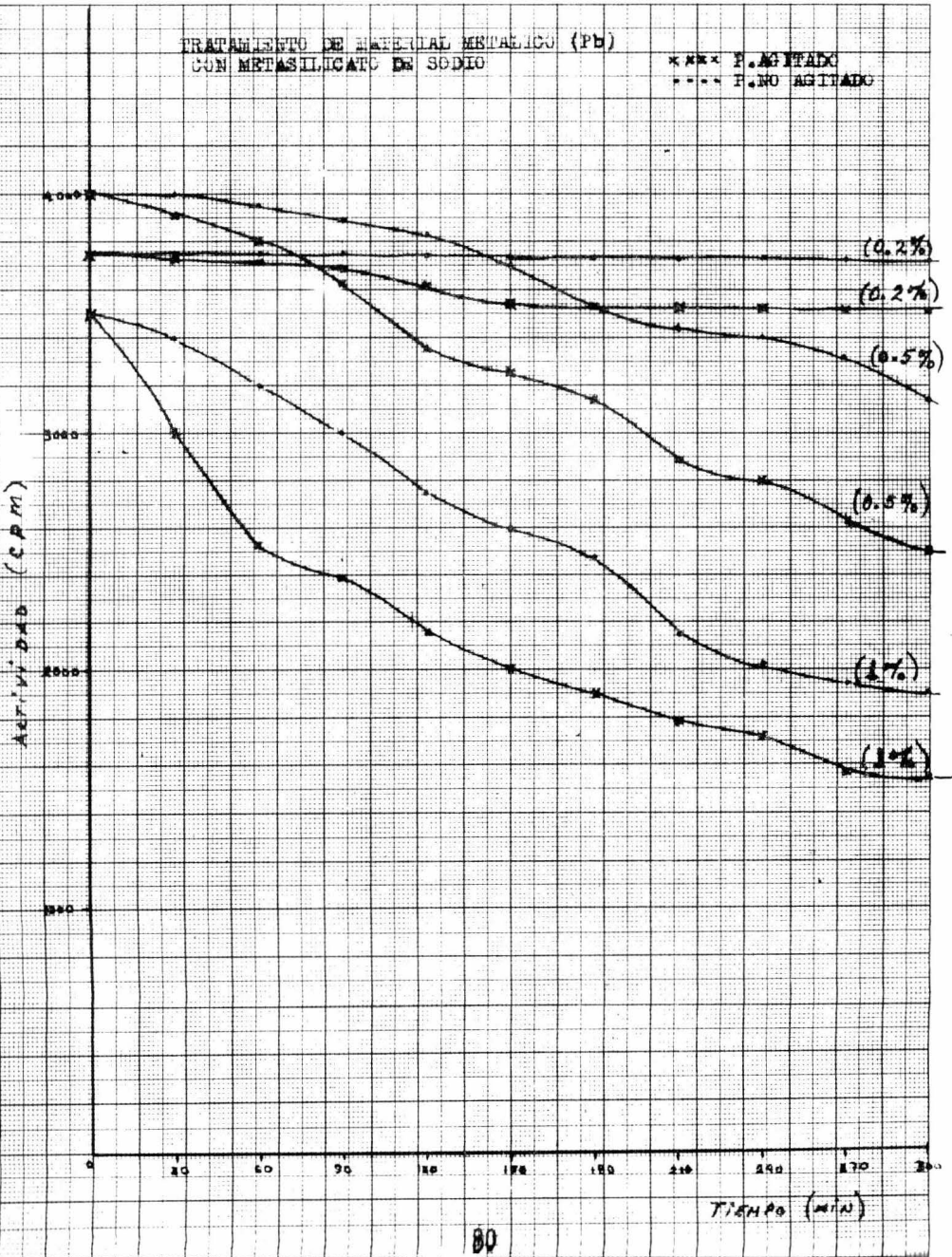
QUIMICA

*** P. ABLEADO
*** P. NO ABLEADO



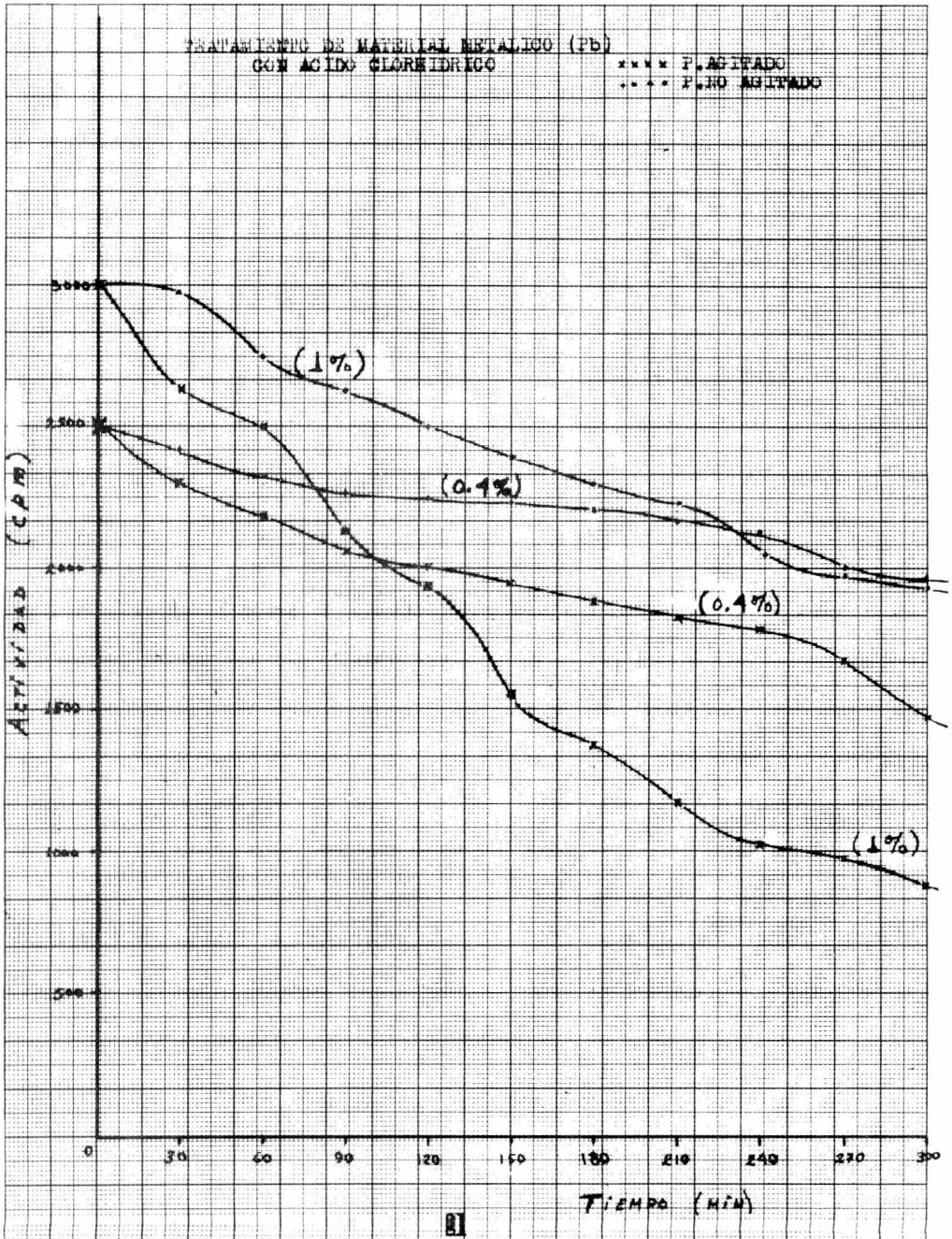
TRATAMIENTO DE MATERIAL METALICO (Pb)
 CON METASILICATO DE SODIO

*** P. AGITADO
 --- P. NO AGITADO



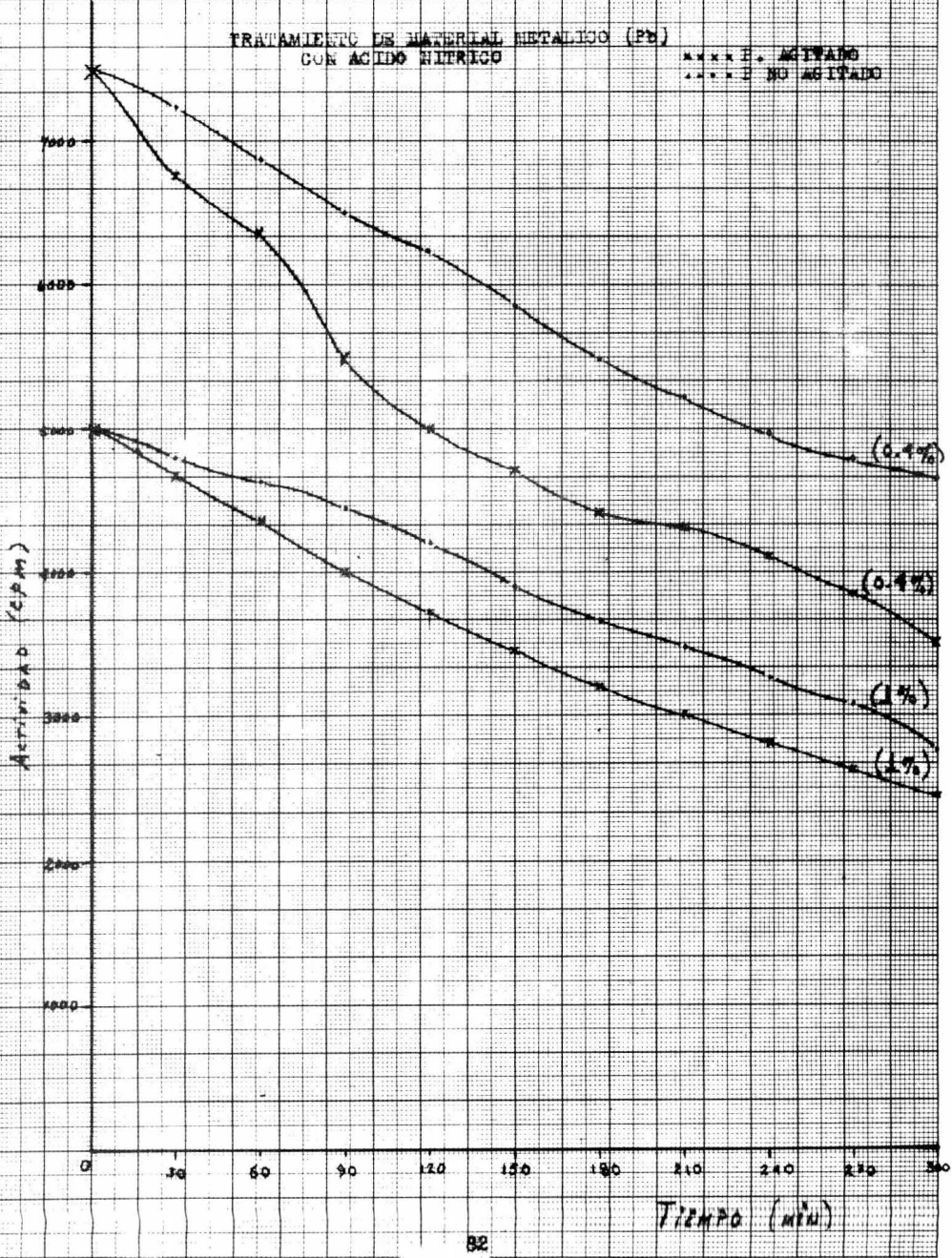
TRATAMIENTO DE MATERIAL METALICO (Pb)
CON ACIDO CLORHIDRICO

xxxx FLACIDO
..... FLEO AGITADO



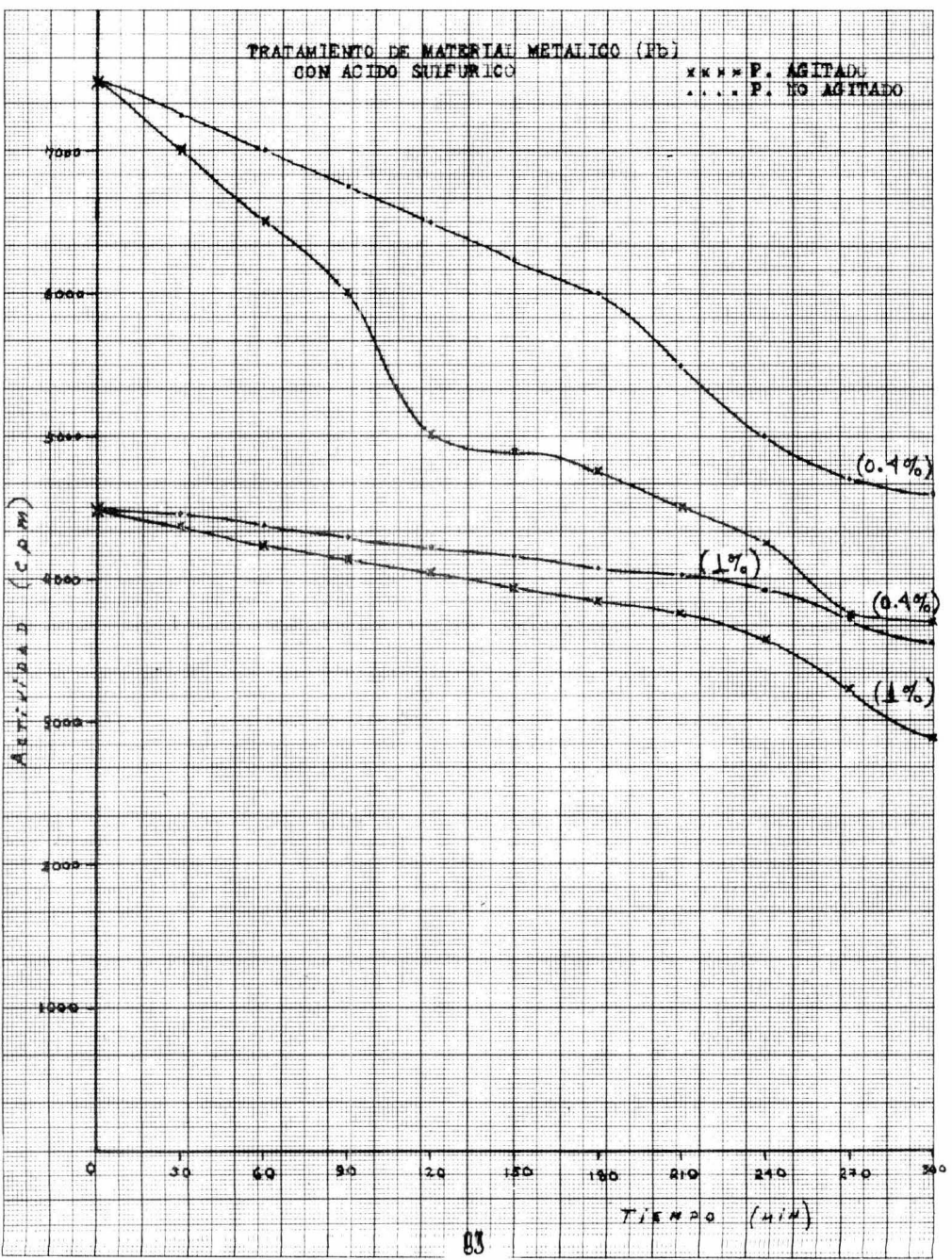
TRATAMIENTO DE MATERIAL METALICO (Pt)
CON ACIDO NITRICO

XXXXX E. AGITADO
..... E. NO AGITADO



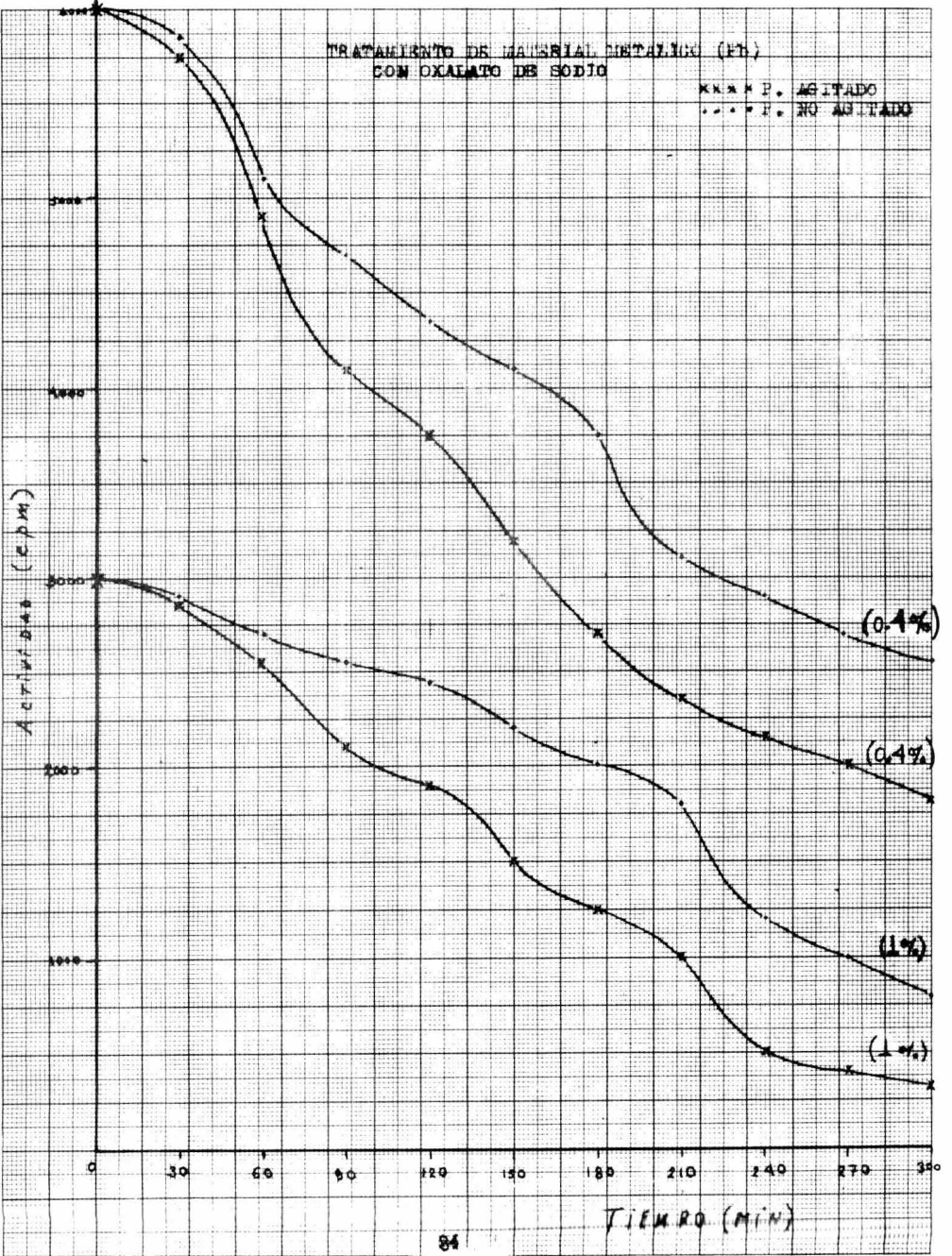
TRATAMIENTO DE MATERIAL METALICO (Pb)
 CON ACIDO SULFURICO

xxxxx P. AGITADO
 P. NO AGITADO



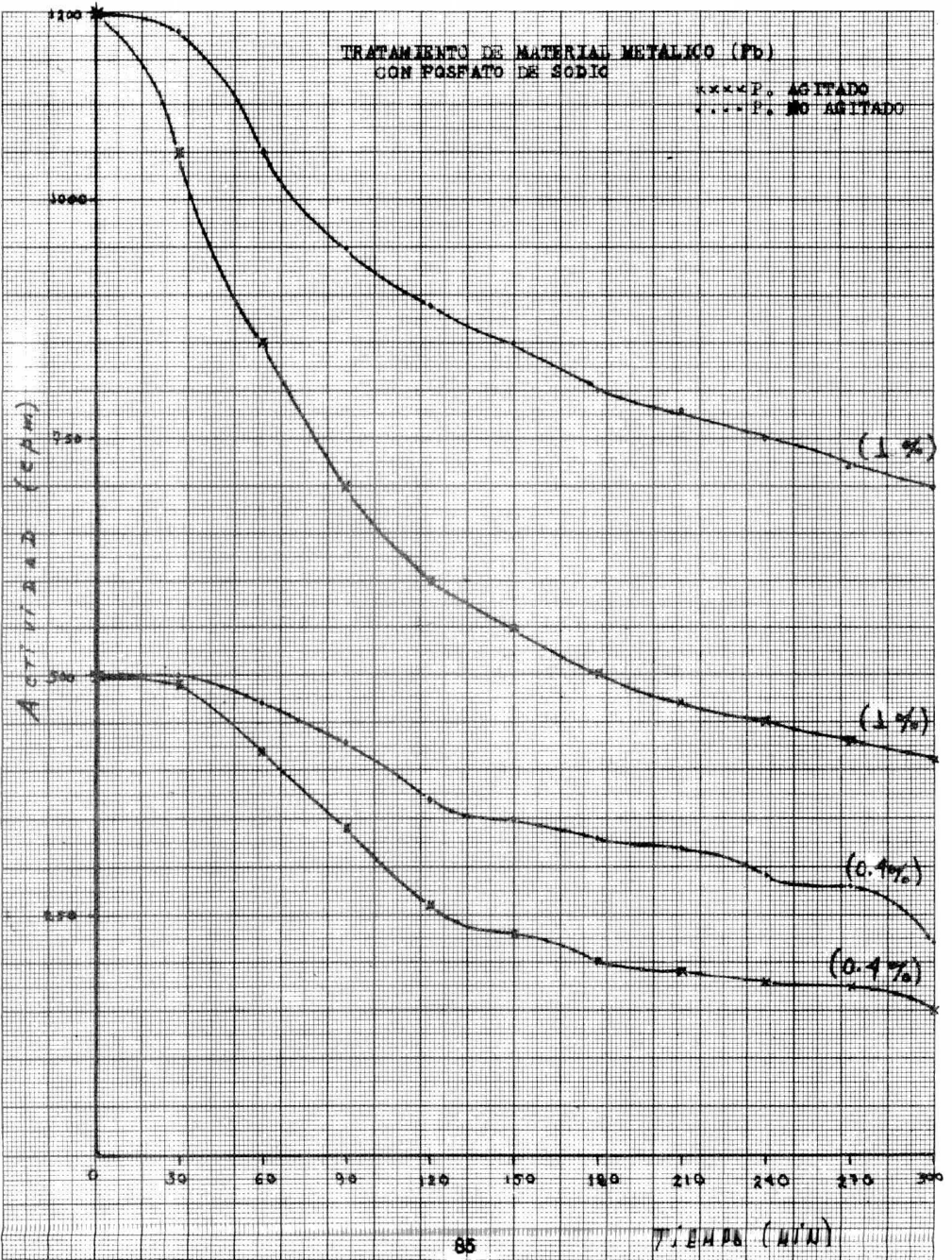
TRATAMIENTO DE MATERIAL METALICO (Pt)
 CON OXALATO DE SODIO

*** P. AGITADO
 ... P. NO AGITADO



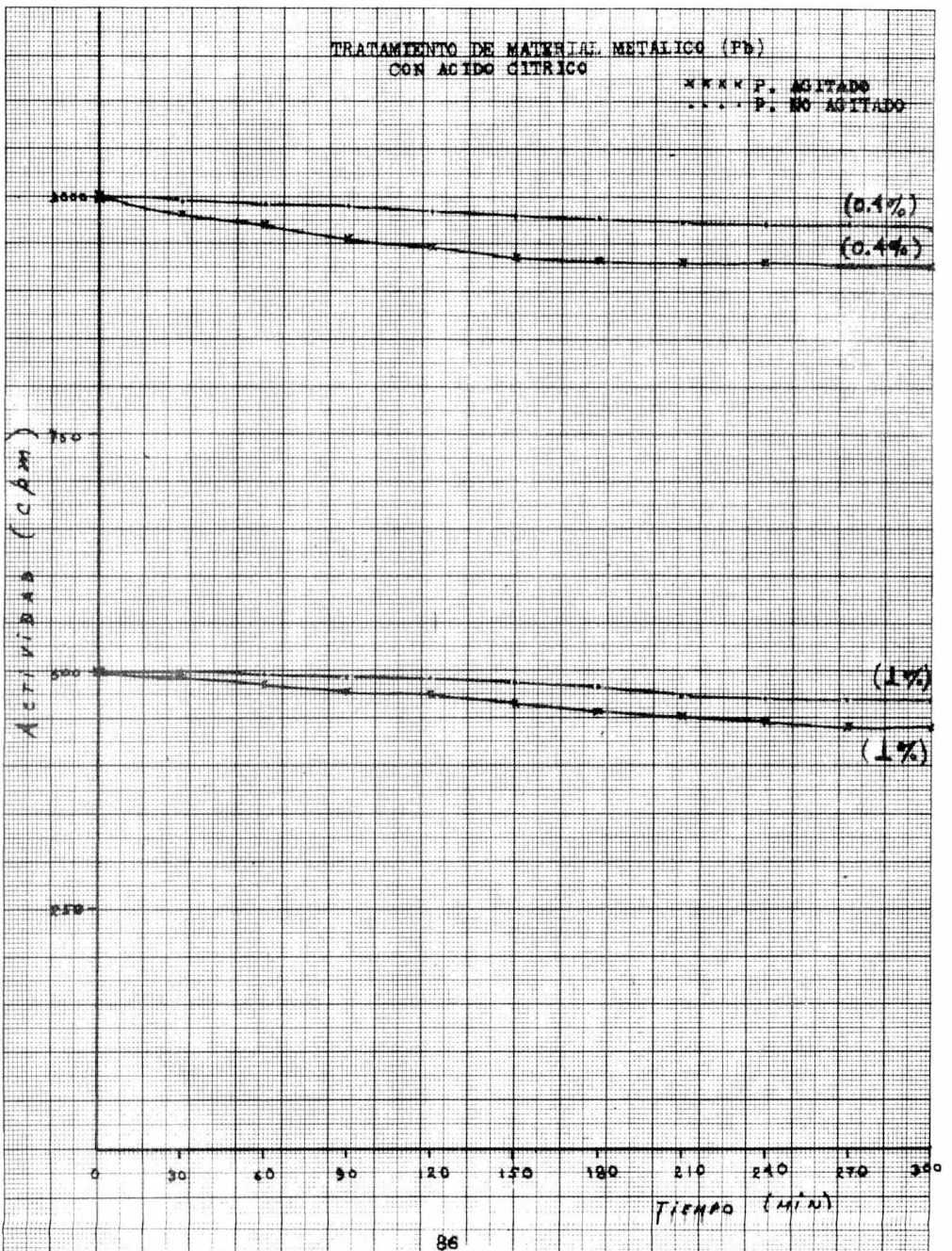
TRATAMIENTO DE MATERIAL METALICO (Fe)
CON FOSFATO DE SODIO

xxxx P. AGITADO
---- P. NO AGITADO



TRATAMIENTO DE MATERIAL METALICO (Pb)
CON ACIDO CITRICO

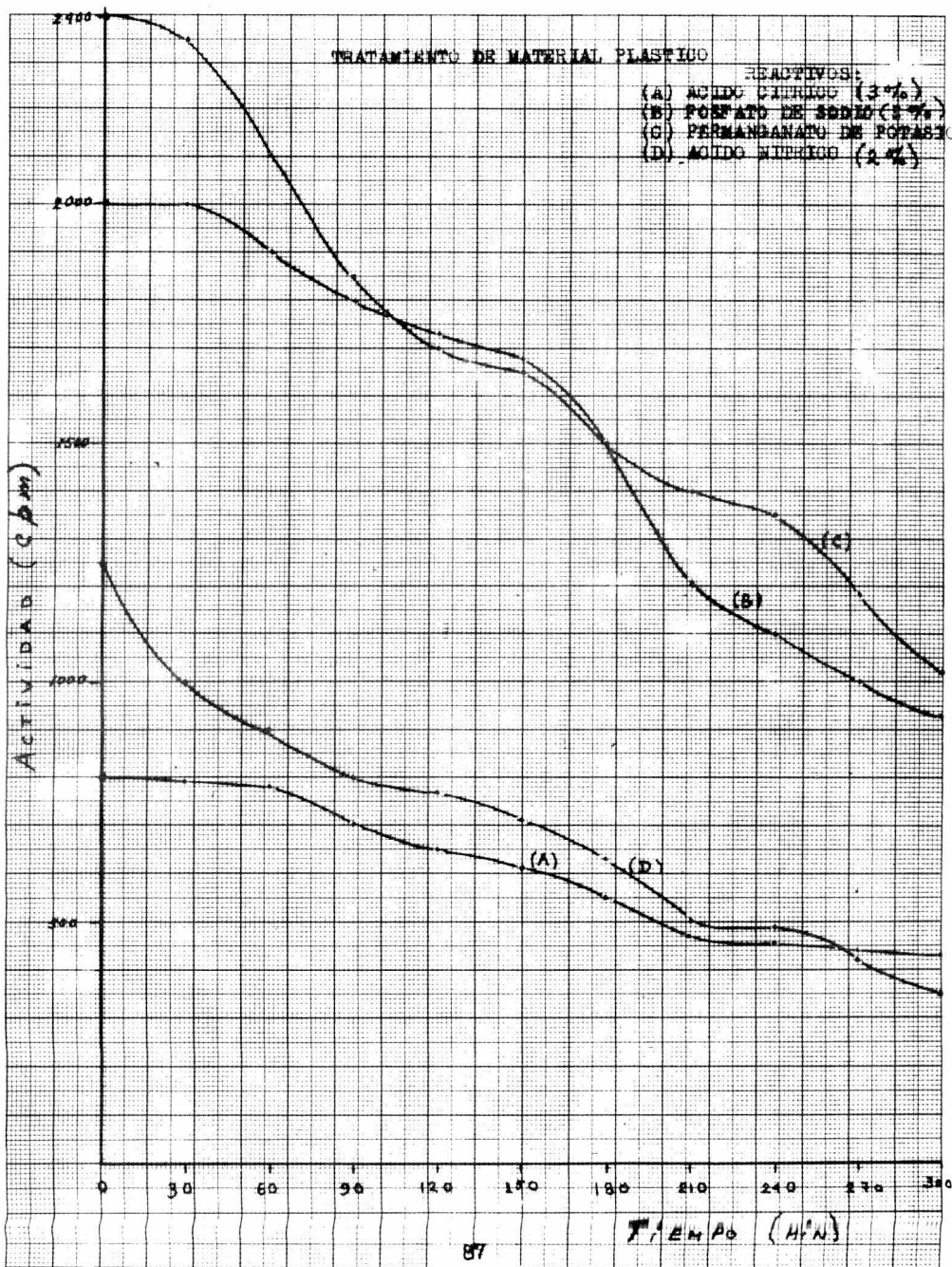
XXXX P. AGITADO
..... P. NO AGITADO



TRATAMIENTO DE MATERIAL PLASTICO

REACTIVOS:

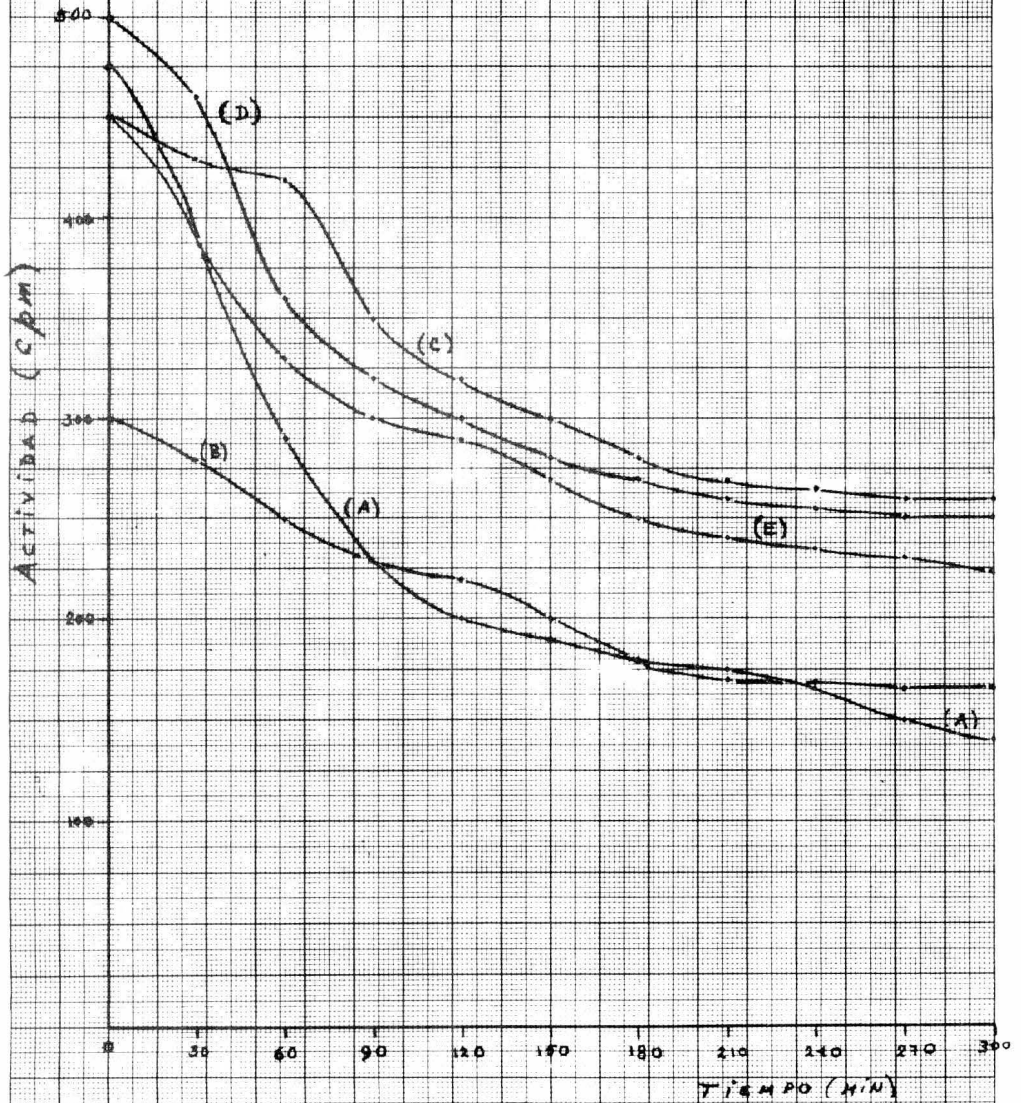
- (A) ACIDO CLORICO (3%)
- (B) FOSFATO DE SODIO (1%)
- (C) PERMANGANATO DE POTASIO (3%)
- (D) ACIDO NITRICO (2%)



TRATAMIENTO DE MATERIAL PLASTICO

REACTIVOS:

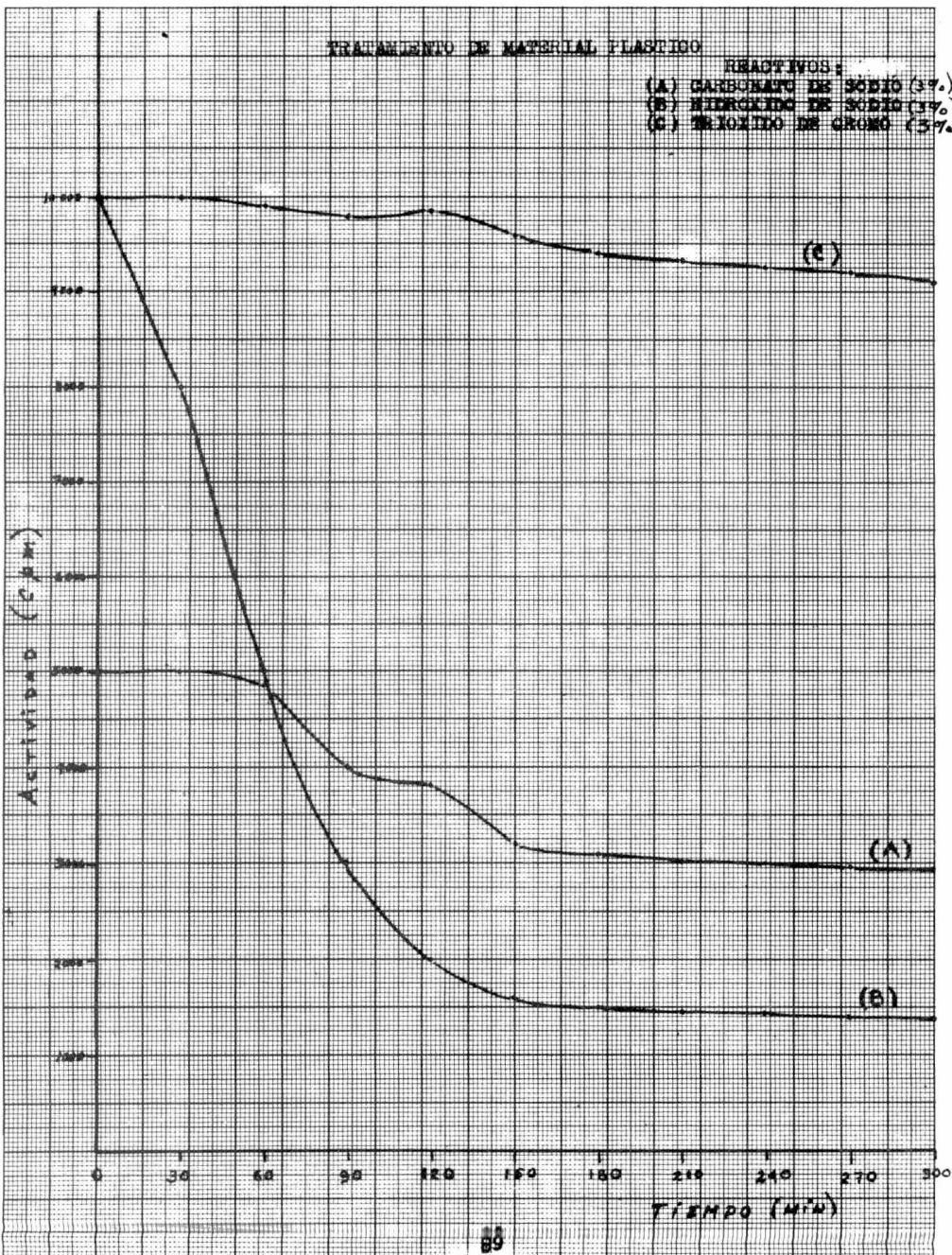
- (A) OXALATO DE SODIO (3%)
- (B) CITRATO DE AMONIO (5%)
- (C) METASILICATO DE SODIO (3%)
- (D) ACIDO FOSFORICO (2%)
- (E) ACIDO CLORHIDRICO (2%)



TREATMENT OF PLASTIC MATERIAL

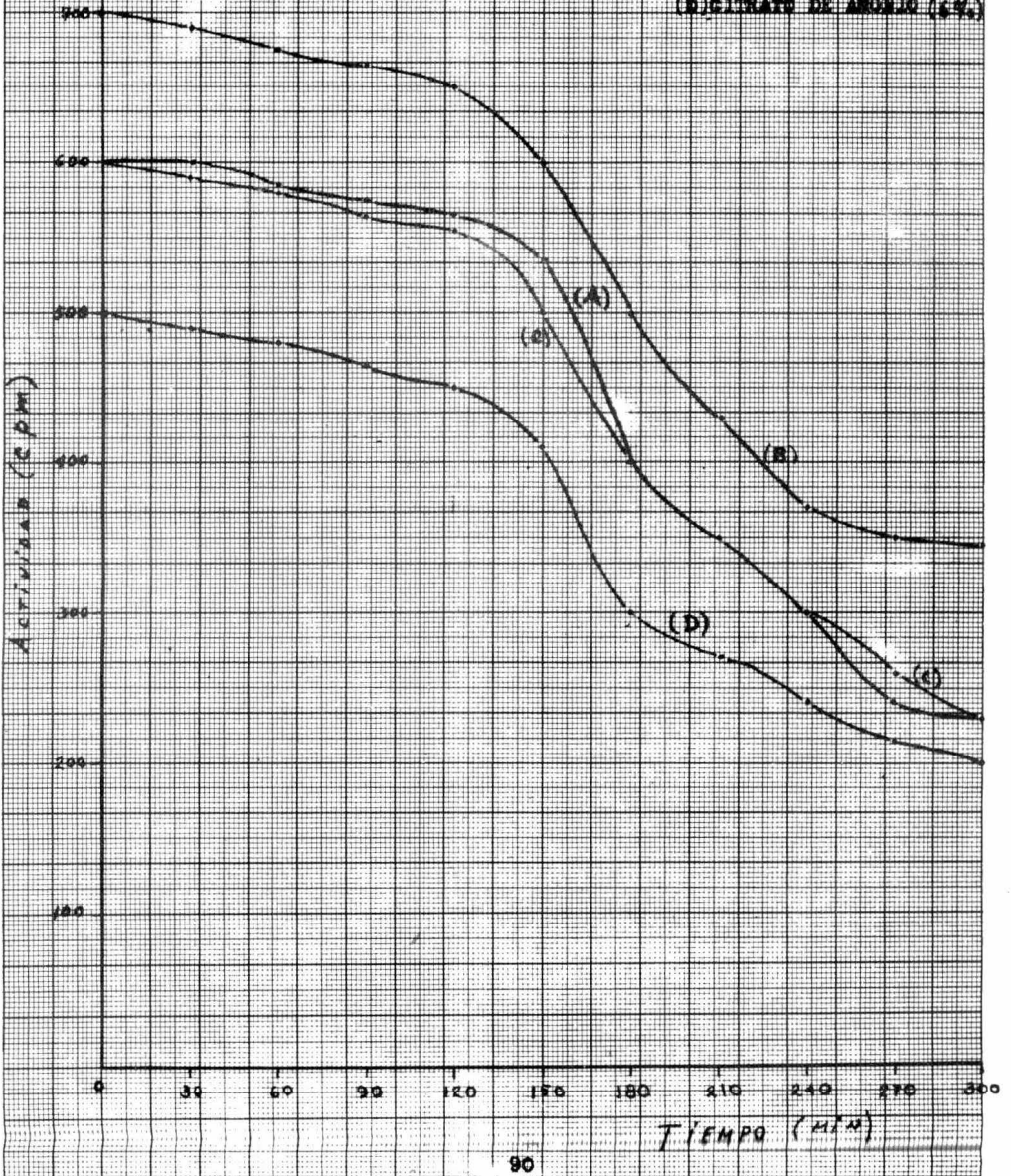
REACTIVES:

- (A) CARBONATE OF SODIUM (3%)
- (B) BICHLORIDE OF SODIUM (3%)
- (C) TRIOXIDE OF CHROMIUM (5%)



TRATAMIENTO DE MATERIAL PLASTICO

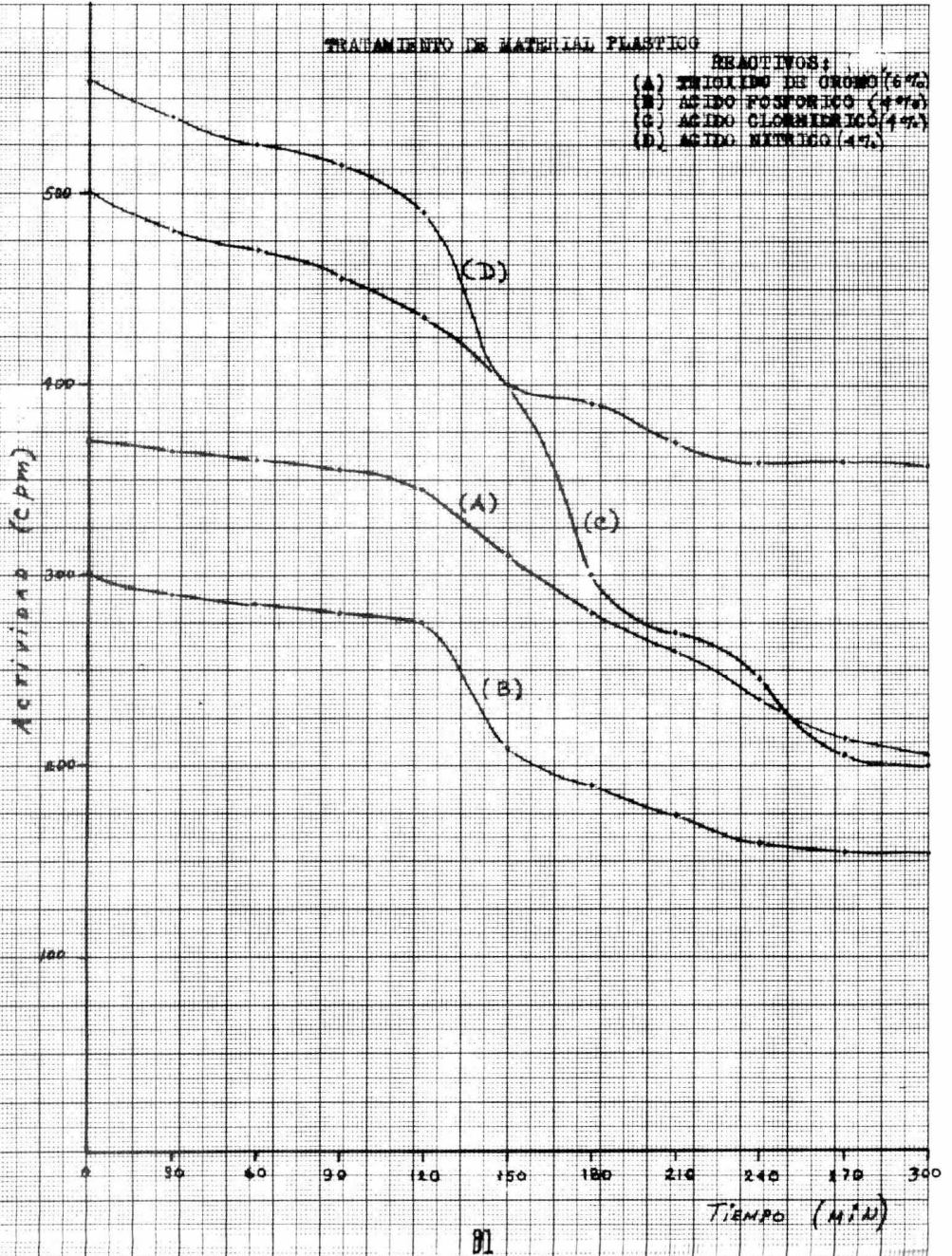
REACTIVOS:
(A) ACIDO CITRICO (4%)
(B) BIFOSFATO DE SODIO (4%)
(C) PERMANGANATO DE POTASIO (6%)
(D) CITRATO DE AMONIO (4%)



TRATAMIENTO DE MATERIAL PLASTICO

REACTIVOS:

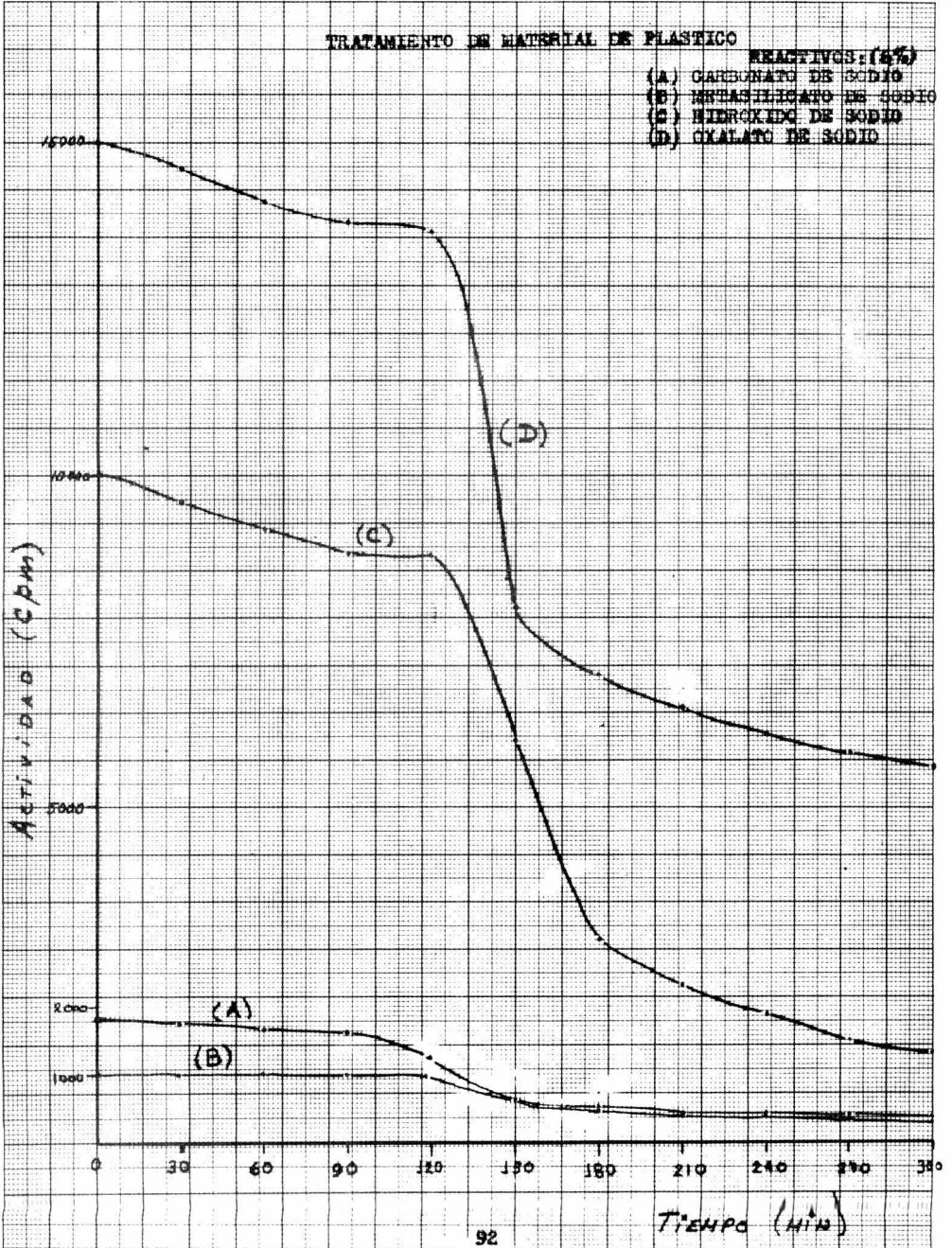
- (A) TRICLORURO DE ORO (6%)
- (B) ACIDO FOSFORICO (4%)
- (C) ACIDO CLORHIDRICO (4%)
- (D) ACIDO NITRICO (4%)



TRATAMIENTO DE MATERIAL DE PLASTICO

REACTIVOS: (2%)

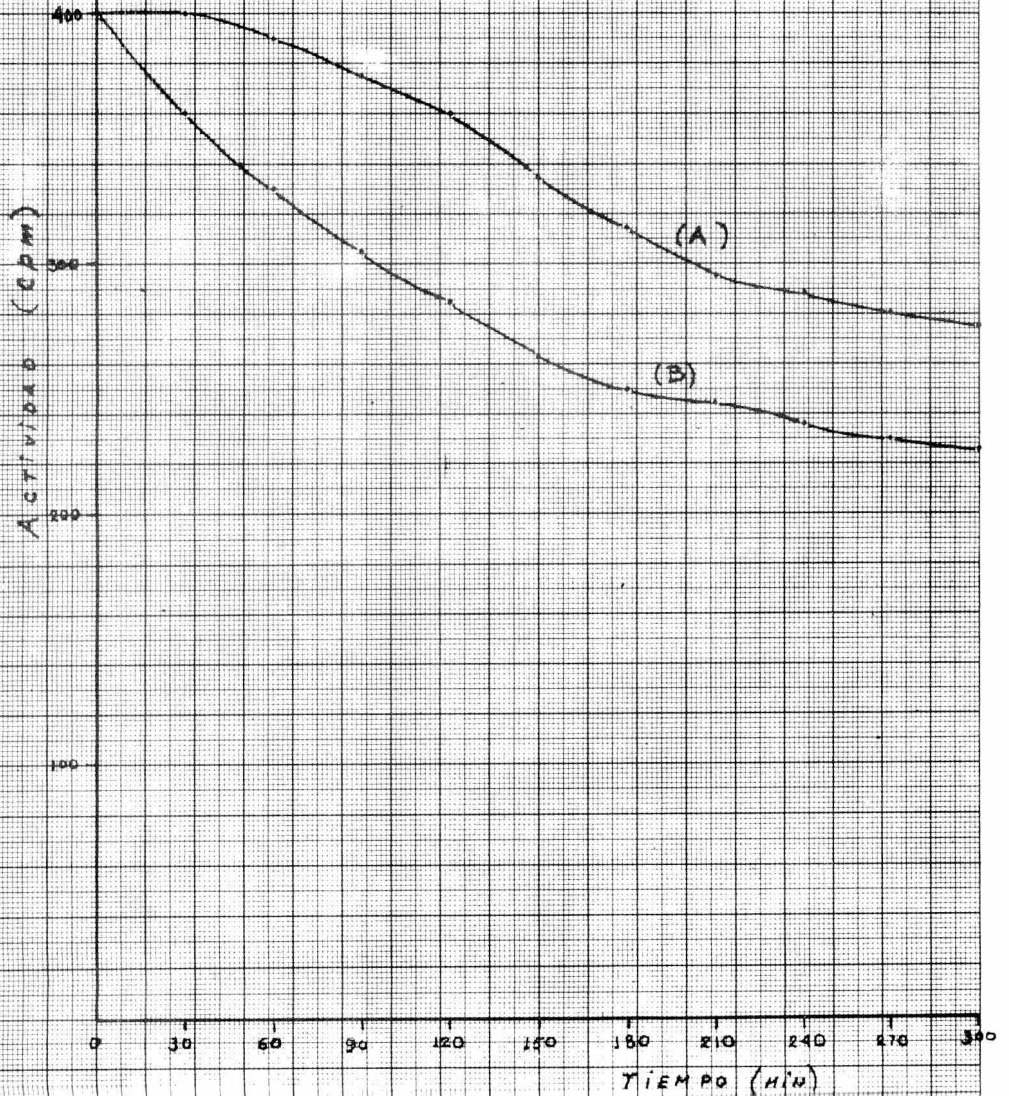
- (A) CARBONATO DE SODIO
- (B) METASILICATO DE SODIO
- (C) HIPOCLORITO DE SODIO
- (D) OXALATO DE SODIO



TRATAMIENTO DE MATERIAL DE VIDRIO

REACTIVOS: (CONS.)

- (A) ACIDO CLORHIDRICO
- (B) ACIDO NITRICO



5.5 Interpretación de las conductas observadas.

En la inspección de las gráficas obtenidas, se puede apreciar que en repetidas ocasiones después de un determinado tiempo en el proceso, durante el cual podemos aseverar que existe una desorción y solvatación del contaminante, se presentan pronunciados aumentos en las velocidades de descontaminación.

Esta conducta se explicaría en base a que el producto de la reacción contaminante-reactivo ha pasado al medio acuoso, por lo que al monitorear el material tratado las lecturas muestran bruscos cambios en la actividad.

Las pronunciadas disminuciones en el nivel radiactivo, preceden a una lenta reducción en la velocidad de descontaminación, que se debe en gran parte a que las moléculas contaminantes más cercanas a la superficie del material se encuentran adsorbidas en forma química, y por lo tanto su tendencia al equilibrio de reacción con el reactivo presenta una velocidad más pequeña.

Tales características que se asientan en las gráficas pueden ser en parte ajustadas a algún tipo de curva, con lo que se lograría predecir los tiempos de descontaminación a niveles adecuados.

Pero en una posible predicción de éstos hay necesidad de tomar en cuenta que existen posibilidades de que las condiciones de equilibrio se vean alteradas cuando se realiza la transmutación del elemento radiactivo, provocando que el reactivo empleado en el tratamiento pierda gran parte de su acción o en caso contrario se favorezca la remoción del contaminante aumentando así la velocidad de descontaminación.

Se necesita puntualizar que es de gran ayuda la presencia de turbulencia en los reactivos, principalmente en las sales de solubilidad menor, porque además de favorecer el contacto entre el reactivo aplicado y el contaminante provee de la acción mecánica necesaria para que los materiales que poseen orificios tiendan a "soltar" la especie contaminante por efecto de difusión forzada.

Otra característica que se pone de manifiesto en los tratamientos, es que las sustancias inorgánicas presentan más facilidades que las orgánicas en el proceso, ya que poseen una mayor solubilidad para con los contaminantes a tratar y por ende de tales reactivos dan mejores rendimientos en los mecanismos de descontaminación.

Ello se debe a su estabilidad, ya que los de tipo orgánico se ven en parte más afectados por las radiaciones que reciben, restando esto en una menor estabilidad y rendimiento.

Por otra parte un problema adicional que presentan algunos buenos descontaminantes orgánicos es su manejo, ya que se trata de solventes muy volátiles, y ello representa un considerable riesgo para la seguridad de los trabajadores que realizan la descontaminación.

CONCLUSIONES:

La suma tan grande de factores que intervienen en el problema que presenta la contaminación de tipo radiactivo, hace bastante difícil el estructurar un ordenamiento en el cual se prevea qué radioisótopos son más o menos contaminantes que otros.

Dependiendo de la base en la que el criterio se fundamenta, podrá el profesional que labore dentro del campo de la seguridad radiológica tomar sus decisiones. Algunas veces es preferible no tratar ciertos materiales contaminados, porque resulta más sencillo dejar que decaigan los radioisótopos que están presentes, esto sucede cuando su vida media es corta, pero en otros casos el tiempo que se encuentre confinado provocará pérdidas económicas de considerable importancia, por lo que se requerirá que se descontaminen.

Siempre hay necesidad de ponderar todos los factores que intervienen en éste problema, que como se ha visto el mecanismo no consiste en extinguir al contaminante en el sitio que se encuentra, sino en remover la contaminación de éste por medio de la realización de un trabajo que provoca en este caso líquidos contaminados resultantes del tratamiento, los cuales por la peligrosidad que presentan hay necesidad de tenerlos perfectamente controlados.

Tomando en cuenta la facilidad de descontaminación y el costo que implica tal proceso, se sugiere que siempre que sea posible se empleen los materiales plásticos, ya que la porosidad que presentan es mínima además de ser inertes ante la presencia de gran cantidad de reactivos que pueden utilizarse en el caso de contaminaciones.

En el empleo de plásticos se preferirán los termofijos en lugar de los termoplásticos debido a que éstos últimos presentan una porosidad algo mayor, además de facilidad de perforación lo cual ocasionaría un fuerte problema en cuanto a remoción de los contaminantes que llegaran a estos sitios.

Pueden emplearse plásticos termofijos de resinas poliéster o epoxi principalmente y para el caso de termoplásticos polietileno (baja densidad), poliestireno, polietileno (alta densidad) o polipropileno, aunque no se descarta algún otro tipo, pero se pre fieren éstos por su bajo costo y buen servicio.

Por lo que respecta al empleo de materiales metálicos, al igual que en los plásticos se tomará en cuenta la porosidad, pe ro también es de gran importancia ponderar otros factores como son el de utilidad en el blindaje aunado a costo e inerticidad que presente. Dentro de éstos se prefiere el plomo principalmen te por bajo costo y ser buen blindaje, aunque presenta una mayor dificultad para descontaminarse comparándolo con el acero inoxidable. Para metales como son cobre, aluminio, bronce, fierro, existe la inclinación por el aluminio principalmente porque en los demás se presenta un fuerte deterioro en el proceso de descontaminación.

Los reactivos que dan mejor servicio son sales básicas, deter gentes y agentes complejantes como el oxalato de sodio, carbonato de sodio, ácidos sulfónicos y la sal disódica del ácido etilen diamino-tetracético, principalmente porque su riesgo en manejo es pequeño comparado con otros reactivos más eficaces pero más ries gosos.

Debido a que el Ingeniero Químico maneja las áreas de control y tratamiento, puede colaborar desarrollando técnicas de seguridad industrial en los procesos nucleares.

APENDICE A

Peligros por radiotoxicidad al haber absorción de radioisótopos dentro del organismo humano.

La siguiente tabla muestra una selección de radioisótopos que se agrupan de acuerdo a la relativa radiotoxicidad que presentan, con base a las cantidades consideradas como baja, intermedia y alta en las operaciones que se realizan a nivel de laboratorio.

GRUPO	ESCALA DE ACTIVIDAD					
	1µc	10µc	100µc	1mc	10mc	100mc - 1 ci.
I. Ligeramente peligrosos ²⁴ Na, ⁴² K, ⁶⁴ Cu, ⁵² Mn, ⁷⁶ As, ⁷⁷ As, ⁸⁵ Kr, ¹⁹⁷ Hg	5	50	500	5	50	500
	Bajo Nivel	Inter-medio.		Alto Nivel		
II. Moderadamente peligrosos ³ H, ¹⁴ C, ³² P, ²² Na, ³⁵ S, ³⁶ Cl, ⁵⁴ Mn, ⁵⁹ Fe, ⁶⁰ Co, ⁸⁹ Sr, ⁹⁶ Nb, ¹⁰³ Ru, ¹⁰⁶ Ru, ¹²⁷ Te, ¹²⁹ Te, ¹³¹ I, ¹³⁷ Cs, ¹⁴⁰ Ba, ¹⁴⁰ La, ¹⁴¹ Ce, ¹⁴³ Pr, ¹⁴⁷ Nd, ¹⁹⁸ Am, ¹⁹⁹ Am, ²⁰³ Hg, ²⁰⁵ Hg						
	Bajo Nivel	Inter-medio.		Alto Nivel		
III. Muy peligrosos. ⁴⁵ Ca, ⁵⁵ Fe, ⁹⁰ Sr, ⁹¹ Y, ⁹⁵ Zr, ¹⁴⁴ Ce, ¹⁴⁷ Pm, ²¹⁰ Bi						
	Bajo Nivel	Inter-medio		Alto Nivel		

La radiotoxicidad efectiva se obtiene ponderando los siguientes factores: vida media, energía y características de la radiación, grado de selectividad localizada en el cuerpo, velocidades de eliminación y el modo en que se manejan las cantidades usua-

les de radionúclidos en los experimentos de laboratorio.

Los bordes inclinados que separan las zonas entre los niveles bajo-intermedio-alto enfatizan que no existe un único punto que divida dichas zonas.

Los elementos que llevan a la izquierda un círculo (ej. ^{24}Na) son emisores gamma principalmente.

Información adicional en cuanto a concentraciones en áreas restringidas y no restringidas para el control de radiotoxicidad se encuentran en las referencias 3 y 11.

BIBLIOGRAFIA

- 1.-Radiological Health Handbook.US Dept.of Health,Education and Welfare. Edition 1960
- 2.-Control and Removal of Radioactive Contamination in Laboratories US Dept.of Commerce National Bureau of Standards Handbook 48 (1951)
- 3.-N. Irving Sax.-Dangerous Properties of Industrial Materials Ed. 3a. Van Nostrand Reinhold Comp.(1968)
- 4.-C.B.Braestrup and H.O.Wyckoff.- Radiation Protection. Ed. Charles Thom Publish (1959)
- 5.-Eduard J. Blair.-Introduction to chemical instrumentation Ed. Mc Graw Hill (1968)
- 6.-Chasse I Rabinowitz.-Principles of radioisotope methodology. Ed. Burgeas (3a) (1967)
- 7.-Choppin George.- Nuclei and Radioactivity. Ed. W.A. Benjamin (1964)
- 8.-Friedlander,Kennedy and Miller.-Nuclear and Radiochemistry Ed.(2a) New York,John Wiley and Sons,(1964)
- 9.-Atam P. Arya.-Fundamentals of nuclear physics. Ed Allyn and Bacon Inc. Boston (1966)
- 10.-Manual de consulta y aplicación de los reglamentos de transporte. Colección Seguridad (37) OIEA. (1973)
- 11.-Maximum Permissible Amounts of Radioisotopes in the Human Body and Maximum Permissible Concentrations in air and Water. NBS Handbook 52 (1953)
- 12.-Tratamiento y almacenaje de desechos radiactivos concentrados de bajo e intermedio nivel.Technical Reports 82 OIEA. (1968)

- 13.-Estandarización y clasificación de desechos radiactivos.
Technical Reports 101.OIEA (1970)
- 14.-Symposium on practices in the treatment of low and intermediate level radioactive wastes. OIEA (1963)
- 15.-Manipulación sin riesgo de los radionúclidos.OIEA (1975)
- 16.-Manual de vigilancia radiológica del medio ambiente en condiciones normales. Colección Seguridad (16) (1967)
- 17.-Massey John B.-Manual of dosimetry in radiotherapy a practical guide for testing and calibrating. OIEA (1973)
- 18.-Manual de seguridad en el diseño, construcción y empleo de generadores radioisotópicos destinados a ciertas aplicaciones marinas y terrestres.OIEA Vienna (1970)
- 19.-Normas de protección radiológica relativa a los relojes luminosos. OIEA (1968)
- 20.-Reglamento para el transporte sin riesgos de materiales radiactivos. Edición revisada en 1973.Colección Seguridad(6) OIEA. (1973)
- 21.-Química Nuclear. Curso de especialización realizado en el INEN (1966)
- 22.-Monnier Denys, W.Haerdi et Ivonne Rusconi.-Éléments de Chimie analytique et analyse qualitative minérale. Librairie de L'Université. Georg & Cie . Gêneve (1963)
- 23.-Journal of radioanalytical Chemistry.
F.Girardi,R.Pietra and Sabbioni.-Radiochemical separations by retention on ionic precipitate adsorption test on eleven materials. V.5 .p.141-171. (1970).