

2 Ej. No. 40



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**"ANTEPROYECTO DE TRATAMIENTO DE SOLIDOS DE
UNA PLANTA DE AGUAS NEGRAS EN EL D. F.
CON RADIACION GAMMA"**

TRABAJO MONOGRAFICO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A:

JORGE ANTONIO GARCIA SANCHEZ

MEXICO, D. F.

1984.



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.

INDICE.

| | página |
|---|--------|
| CAPITULO I | |
| Introducción | 1 |
| CAPITULO II | |
| Efectos de la radiación | 4 |
| 2.1 Interacción de la radiación nuclear con la materia | 4 |
| Introducción | 4 |
| Ionización específica | 4 |
| Trayectoria de las partículas β^- | 6 |
| Radiación Bremsstrahlung | 7 |
| Radiación γ | 7 |
| Efecto fotoeléctrico | 8 |
| Efecto Compton | 9 |
| Producción de pares | 10 |
| Absorción de rayos γ | 11 |
| 2.2 Formación de sustancias por la radiación γ | 13 |
| 2.2.1. Formación de radicales libres | 14 |
| 2.2.2. Formación de H_2O_2 | 17 |
| 2.3 Interacción de la radiación con células vivas | 19 |
| Tabla 2.1 Diversos procesos de absorción de la radiación nuclear | 26 |
| Tabla 2.1.1. Coeficiente de absorción lineal (cm^{-1}) | 29 |
| Gráfica 2.2.1. Formación de H_2O_2 en soluciones acuosas irradiadas de Acrilamida | 30 |
| Gráfica 2.2.2. Formación de H_2O_2 en soluciones acuosas | 31 |

| | |
|--|----|
| Gráfica 2.3.1. Relación de dosis y número de golpes así como su efectividad | 32 |
| Gráfica 2.3.2. Relación entre dosis y fracción de supervivencia de microorganismos en escala lineal | 33 |
| Gráfica 2.3.3. Relación entre dosis y fracción de supervivencia de microorganismos en escala logarítmica | 34 |

CAPITULO III

| | |
|--|----|
| Seguridad radiológica | 35 |
| 3.1 Generalidades | 35 |
| 3.2 Efectos biológicos de la radiación | 38 |
| 3.3 Dosimetría | 44 |

CAPITULO IV

| | |
|--|----|
| Tratamiento de aguas negras en la planta de Ixtapalapa del D.D.F. | 49 |
| 4.1 Tratamiento primario (sedimentación simple) | 49 |
| 4.2 Tratamiento secundario (tanque de aereación) | 51 |
| 4.3 Tanque de sedimentación secundario | 54 |
| 4.4 Tanque de cloración | 55 |
| Figura 4.1 Diagrama de bloques de la planta "Cerro de la Estrella" | 57 |

CAPITULO V

| | |
|---|----|
| Tratamiento de sólidos por radiación gamma y aceleradores de electrones | 59 |
| 5.1 Disponibilidad de las diferentes fuentes radiactivas en el mercado mundial (desventajas y ventajas) | 59 |
| 5.2 Elección del tipo de fuente radiactiva y análisis de | |

| | |
|--|-----|
| pre-inversión | 71 |
| Análisis de pre-inversión | 73 |
| I Planta de Cobalto | 74 |
| II Planta de Cesio | 76 |
| III Aceleradores de electrones | 77 |
| 5.3 Descripción de la fuente radiactiva de ^{60}Co | 83 |
| 5.4 Filosofía de operación del proceso de desinfección | 87 |
| 5.4.1. Mecanismo de reemplazamiento del material radiac tivo | 89 |
| 5.5 Posibles problemas operativos | 90 |
| Tabla 5.1.0. Isótopos radiactivos comúnmente usa dos como fuentes de radiación | 92 |
| Figura 5.3.1. Lápiz típico de ^{60}Co | 93 |
| Figura 5.3.2. Perspectiva de la fuente de radia- ción de ^{60}Co | 94 |
| Figura 5.3.3. Zona de bombas y válvulas del sis- tema de recirculación del fluido | 95 |
| Figura 5.4.1. Mecanismo de reemplazamiento del material | 96 |
| CAPITULO VI | |
| Conclusiones | 97 |
| APENDICE | 106 |
| BIBLIOGRAFIA | 110 |

NUNCA TE HUMILLES, NI BAJES LA CERVIZ
LLAMANDOTE A TI MISMO UN FRACASADO NI UN
SER INSIGNIFICANTE. TAMPOCO PEQUES DE
AFECTACION ACTIVA NI DE ENVANECIMIENTO
SIN CAUSA. SOLAMENTE LEVANTA TU CABEZA
Y MIRA AL CIELO, CAMINA CON PASO FIRME
Y AL RESPIRAR CON AMPLITUD, PREGUNTATE A TI
MISMO "YO FORMO PARTE DEL PODER UNIVERSAL;
ME APOYA SU INFLUENCIA DIVINA Y ASI COMO NO
TOLERARA QUE NADIE ME PERJUDIQUE, YO NO
PERJUDICARE A NADIE SINO QUE, POR EL
CONTRARIO, HARE TODO EL BIEN QUE PUEDA".

A MIS PADRES

POR DARME LO NECESARIO EN EL MOMENTO PRECISO

FRANCISCA SANCHEZ DE GARCIA

GELACIO GARCIA ALONSO

A MI FAMILIA

POR SU APOYO CONSTANTE

ABUELITOS

HERMANOS

SOBRINOS

TIOS

PRIMOS

AMIGOS

A MI NOVIA

CRISTINA

**POR SU COMPANIA QUE ME HACE CAER
O ME ALZA FUERTE;
A SU EMPUJE SOY CAÑA
O SOY ENCINO.**

A MI ASESOR

M. en C. MANUEL NAVARRETE T.

AL M. en C. JUAN LARTIGUE G.

**JEFE DEL DEPTO. DE QUIMICA NUCLEAR
DE LA DIV. DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DE LA FAC. DE QUIMICA, EDIFICIO D.**

**POR HABERME PERMITIDO REALIZAR Y -
FACILITAR ESTE TRABAJO, ASI COMO -
TAMBIEN A TODOS LOS MAESTROS, COM-
PAÑEROS Y EMPLEADOS QUE LABORAN EN
DICHO DEPARTAMENTC.**

AL M. en C. LUIS CABRERA M.

MAESTRO DEL DEPTO. DE QUIMICA
NUCLEAR DE LA FACULTAD DE QUI
MICA, EDIFICIO "D".

POR HABER ESTADO SIEMPRE DIS
PUESTO A SOLUCIONAR Y ACLA--
RAR MIS DUDAS E INQUIETUDES,
NO SOLO EN MATERIA DE ESTU--
DIO SINO TAMBIEN EN OTROS --
CAMPOS.

A LA FACULTAD DE QUIMICA

**QUE ME PERMITIO PASAR UNA PARTE DE
MI EXISTENCIA.**

**A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS QUE A -
LO LARGO DE LA CARRERA CONVIVIMOS
JUNTOS:**

NUESTRO GRUPO

CAPITULO I

INTRODUCCION

La aplicación de los radioisótopos surge como un avance tecnológico para solucionar problemas que se presentan en procesos nuevos o ya existentes. De este modo, constituyen una herramienta, a veces indispensable, para simplificar y mejorar una parte o el total de un proceso industrial.

El presente trabajo trata sobre una aplicación más de los radioisótopos a escala industrial, es un anteproyecto para tratar los sólidos o lodos de desecho de la planta de aguas negras de Ixtapalapa en el D.F. con radiación gamma, por medio de una fuente radiactiva de ^{60}Co , para disminuir a un nivel mínimo el contenido de microorganismos patógenos que lo acompañan.

Debido a que no se le da ningún tratamiento al lodo de desecho no sólo en la planta elegida, sino también en las otras plantas de tratamiento de la Dirección General de la Construcción y Operación Hidráulica, se originan enfermedades infecciosas y contagiosas llamadas enfermedades hídricas que dañan a la población mexicana por medio de una cadena de contaminación que perjudica a; plantas, animales y al hombre, en forma proporcional al desalojo de agua negra del área metropolitana.

En vista del crecimiento demográfico de la Ciudad de México, las enfermedades hídricas tienden a incrementarse paralelamente, por el aumento de volumen de agua negra a tratar, por lo que se espera un incremento significativo de sólidos de desecho a tratar en los próximos años. Como no se tiene un tratamiento de sólidos que solucione este problema, así como un plan de gobierno que tenga como objetivo principal la protección de los bienes naturales, contra contaminantes de todo tipo que sean peligrosos y la distribución de desechos dañinos a lugares adecuados, se presenta aquí una línea de tratamiento de desechos sólidos municipales que puede representar una contribución importante para solucionar este problema.

Se proponen como objetivos iniciales básicos:

- Mostrar la factibilidad del uso de la radiación gamma de ^{60}Co .
- La identificación del tipo de instalación posible y capacidades de la fuente radiactiva.
- El análisis de pre-inversión.
- Las ventajas del tratamiento del sólido de agua negra en el D.F. en relación a su posible tratamiento por irradiación en la planta de Ixtapalapa.

La tesis está integrada por seis capítulos. En este primer capítulo se describe un problema que se presenta en ---

nuestro país y como tratar de solucionarlo.

Los capítulos II y III comprenden las bases del anteproyecto desde un punto de vista nuclear, que nos da la pauta para determinar el tratamiento de sólidos y aguas negras usando radiación gamma. El capítulo IV abarca la descripción de la planta de aguas negras de Ixtapalapa para que en el capítulo V por conjunción con los capítulos anteriores (II, III y IV), se logre obtener la capacidad de la fuente radiactiva, filosofía de operación y problemas operativos. El capítulo VI incluye -- las conclusiones que representan: la factibilidad del uso de -- ^{60}Co , tipo de instalación y capacidad de la fuente radiactiva, ventajas del tratamiento por radiación gamma. En la parte final del trabajo se tiene un apéndice que ayuda a clarificar algunas partes del capítulo III.

Las gráficas, tablas y figuras pertenecientes a cada capítulo se encuentran al final del mismo, excepto para el capítulo III que se localizan en el apéndice.

CAPITULO II

EFFECTOS DE LA RADIACION

2.1 Interacción de la Radiación Nuclear con la Materia.

Introducción.

En esta parte serán considerados los eventos que ocurren en la materia cuando es atravesada por las radiaciones nucleares (β^- y γ solamente). En un vacío perfecto, las radiaciones continuarían moviéndose indefinidamente, pero en un medio sólido, líquido o gaseoso, todas las formas de radiación pierden energía y acaban por ser absorbidas. La energía transferida a la materia, origina diversos eventos de ionización con los átomos que la constituyen, según el tipo de radiación y cantidad de energía disipada, lo que hace posible la detección de las radiaciones.

Ionización Específica.

Cuando la radiación incide sobre un electrón de los átomos que atraviesa, una cantidad de energía es transferida al electrón el cual es disparado del átomo en forma de un ión negativo. El átomo permanece como un ión positivo y en esta forma un par de iones o par iónico ha sido formado. La ionización específica para cualquier radiación, es definida como el número

ro de pares iónicos producidos por cada milímetro de trayectoria en un medio dado.

Las radiaciones pueden incidir sobre un núcleo y de hecho este tipo de eventos producen las reacciones nucleares. No obstante, si se considera que el diámetro de un átomo puede ser del orden de 10^{-8} cm, mientras que el diámetro de un núcleo es de 10^{-12} cm, o sea 10 mil veces menor en términos aproximados, se explica porqué resulta mucho menos probable -- que un haz de radiaciones incida sobre el núcleo que sobre -- los electrones girando en órbitas alrededor suyo. La probabilidad de que un tipo de radiación determinado choque con un núcleo de propiedades definidas para producir una reacción nuclear característica, se establece usando los términos de una efectiva superficie transversal a la radiación, llamada sección eficaz y representada por la letra griega σ . Sin embargo, aún cuando las unidades de sección eficaz sean de superficie, las cifras que la representan no tienen ninguna significación como medida de área, sino que establecen la probabilidad de -- que ocurra un evento nuclear o atómico determinado por el tipo y energía de la radiación incidente y las características del núcleo o átomo irradiado. La unidad utilizada para medir esta probabilidad de ocurrencia es el barn, la cuál tiene la siguiente equivalencia con unidades de superficie:

$$1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

En la tabla 2.1 al final del capítulo se muestran los eventos más importantes que se involucran en la absorción de la radiación nuclear con la materia.

Trayectoria de las Partículas β^- .

Las partículas β^- son más pequeñas y ligeras que las partículas α y se mueven más rápidamente. En consecuencia, causan una ionización específica menor y su trayectoria resulta más larga.

El Alcance o Rango de las Partículas β^- .

A diferencia de las partículas α , no todas las partículas β^- emitidas por un radioisótopo determinado tienen la misma energía. Una partícula β^- puede tener una energía desde casi cero hasta un valor máximo determinado por la cantidad de energía disponible en la transformación nuclear. Por tanto, las partículas β^- emitidas por un específico núcleo radiactivo, tienen su propia energía máxima característica, sólo las más energéticas podrán atravesar los mayores espesores de materia mientras las más débiles son absorbidas en él. En esta forma, el espesor de materia, usualmente expresado en términos de espesor másico, que resulta capaz de parar o absorber las partículas β^- de máxima energía emitidas por un radioisótopo, es llamado su rango o alcance máximo.

Así, el alcance máximo y la energía máxima son valores característicos de las radiaciones β^- y representan su poder de penetración.

La energía promedio de las partículas β^- emitidas por una fuente dada es aproximadamente $1/3$ de su energía máxima, y ésta es la cifra utilizada para cálculos de la velocidad de emisión y absorción de energía.

Espesor Másico: Espesor medido en función de la cantidad de masa que contiene una longitud dada de un determinado material. Se obtiene multiplicando la longitud por la densidad del material, sus -- unidades más comunes son mg/cm^2 .

Radiación Bremsstrahlung.

Cuando una partícula β^- cambia su trayectoria al pasar cerca de un núcleo, el cambio en velocidad y consecuente pérdida de energía da lugar a una radiación electromagnética llamada Bremsstrahlung, similar a los rayos X, la cual resulta más abundante cuando la radiación β^- atraviesa materiales de alto número atómico. Por tanto, los absorbedores para determinaciones del alcance de las partículas β^- deberán ser materiales de bajo número atómico, tales como el aluminio.

Radiación γ

Los rayos γ son emitidos por el núcleo, cuando éste

se encuentra en un estado de excitación y decae a un nivel inferior de energía. La energía de los rayos γ abarca un intervalo de Kev a Mev. La ionización específica promedio es 1/100 de aquella causada por las partículas β^- , de manera que la mayor parte de la ionización causada por los rayos γ resulta -- ionización secundaria. Los 3 mecanismos de interacción de la radiación electromagnética con la materia son:

1.- Efecto Fotoeléctrico.

El fotón interacciona con el absorbedor como un paquete de energía que es completamente absorbido. Este efecto tiene lugar cuando se trata de radiaciones electromagnéticas de baja energía. Como resultado de la energía absorbida, un electrón, llamado fotoelectrón, es lanzado fuera del átomo desde una órbita exterior al núcleo con una energía cuyo valor es dado por la relación:

$$E_{e-} = E_{\gamma} - E_{e.a.}$$

Donde: E_{e-} = Energía del fotoelectrón
 E_{γ} = Energía del rayo γ absorbido
 $E_{e.a.}$ = Energía de amarre del electrón lanzado.

El fotoelectrón, a su vez, pierde energía causando -- producción de pares iónicos. La vacante orbital es ocupada por

otro electrón proveniente de órbitas exteriores o sea de superiores niveles de energía, emitiéndose un rayo X con una energía específica, igual a la diferencia entre las energías de amarre de los electrones a ambos niveles. Pero en vez de rayo X, esta energía puede ser transferida a otro electrón en una órbita cercana al núcleo con un nivel bajo de energía, mismo que es lanzado del átomo y se conoce como electrón Auger.

2.- Efecto Compton.

Cuando un rayo gamma tiene una mayor energía que en el caso previo, no es absorbido completamente en una colisión. Al causar el lanzamiento de un electrón, desvía su trayectoria, para continuarla con menor energía, con mejor oportunidad de encontrar electrones en su camino a quienes comunicarle su energía. La energía del rayo dispersado se obtiene por la relación.

$$E_{g2} = E_{g1} - E_{e.a.}$$

Donde: E_{g2} = Energía del rayo dispersado.

E_{g1} = Energía del rayo incidente.

$E_{e.a.}$ = Energía de amarre del electrón lanzado.

El rayo dispersado puede sufrir varias colisiones, antes de ser absorbido por efecto fotoeléctrico. Si el electrón lanzado pertenece a una órbita cercana al núcleo de bajo nivel energético, tendrá lugar la emisión de rayos X o electrón Au--

ger, igual que durante el efecto fotoeléctrico,

3.- Producción de pares.

Cuando la energía del rayo γ incidente es muy alta, al ser absorbido por la materia se transforma en masa y produce 2 partículas β , una negativa y otra positiva. Como 2 masas de -- electrón son producidas, es necesaria al menos una energía equivalente a ellas ($2 \times 0.51 = 1.02$ MeV). Si la energía del rayo γ inicial es mayor que este valor umbral, el exceso aparecerá como energía cinética del par formado. El negatrón a su vez causa ionización y el positrón existe hasta que interacciona con otro electrón para aniquilar el par, produciéndose ahora 2 rayos γ de 0.51 MeV cada uno, conocidos como radiación de aniquilación, por lo que el proceso de aniquilación puede considerar se hasta cierto punto como el inverso de la producción de pa--res.

De este modo, el efecto fotoeléctrico es predominante de rayos γ con energías menores de 60 KeV - 600 KeV. El efecto Compton predomina para energías de rayos γ entre 60KeV y 5 MeV. La producción de pares es el principal mecanismo de interacción para energías mayores al límite donde se produce principalmente el efecto Compton.

Debe de tomarse en cuenta, que la emisión e interacción

de las radiaciones con la materia están en relación muy estrecha. Así, frecuentemente en vez de emitir un rayo γ , la radiación γ interacciona con sus capas electrónicas externas y causa la emisión de un electrón con una energía cinética igual a la diferencia entre la energía del rayo γ y la energía de amarre del electrón. Al mismo tiempo, puede tener lugar la emisión de rayos X cuando la vacante es ocupada por otro electrón de una capa exterior de mayor energía, o en su lugar producirse la emisión de electrones Auger.

Absorción de rayos γ .

Cuando un flujo de rayos γ pasa a través de la materia, el número de radiaciones detectadas decrece exponencialmente con el espesor del material absorbente. Por tanto, existe una relación análoga a la ley fundamental del decaimiento radiactivo. Los rayos γ son absorbidos según una ley exponencial caracterizada por un espesor medio y un coeficiente de absorción. El coeficiente de absorción lineal es una función de la energía de la radiación y de la densidad del medio absorbente. Si llamamos I_0 a la intensidad inicial de un flujo de rayos γ , medida en términos de cuentas por unidad de tiempo en un sistema de detección, X el espesor en centímetros de un determinado material colocado entre la fuente radiactiva y el detector y μ al coeficiente de absorción lineal de ese determinado material, tendremos que la intensidad I del rayo γ después de atravesar-

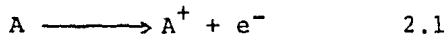
el material, estará dada por la expresión:

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

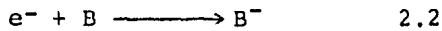
En la tabla 2.1.1. se muestran diferentes valores de μ para diferentes materiales en función de la energía del fotón.

2.2. Formación de Sustancias por la Radiación Gamma.

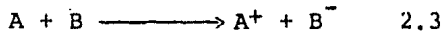
Cuando un electrón es expulsado de un átomo resulta un ión $A^{(+)}$ y un electrón (e^{-}), los cuales tienen una gran energía.



El electrón puede no existir libre por un gran tiempo debido a la captura por otra molécula o átomo, produciendo un ión negativo (B^{-}).



El resultado total es la formación de dos iones, uno positivo y otro negativo siendo:

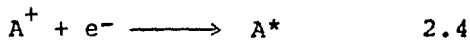


Aunque los productos de la ecuación 2.1 son los primeros iones formados.

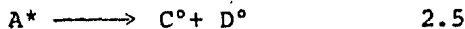
La afinidad electrónica relativa de las moléculas próximas al electrón expulsado, determinan cual puede capturar al electrón. El oxígeno que es uno de los elementos que tiene ma

por afinidad electrónica es el más común captador de éstos.

Cuando los e^- sólo son capturados por iones (+) de los que fueron removidos se le llama neutralización de carga o reac
ción de recombinación.



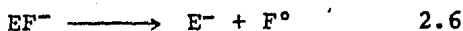
Esto puede o no ocurrir en forma usual, ya que hay - -
otras moléculas que tienen mayor afinidad electrónica, un gran
porcentaje del total de ionizaciones es igual al número de re-
combinaciones ocurridas. Las moléculas formadas por estas re-
combinaciones (A^*), tienen más energía que aquellas con estabi-
lidad normal y se disocian inmediatamente, por lo general esta
disociación origina radicales libres muy reactivos.



Donde: C° y D° son radicales libres.

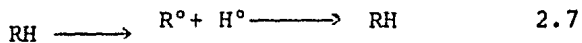
2.2.1. Formación de Radicales Libres.

Los pares iónicos pueden reaccionar y formar radica--
les libres con mucha energía.



Los radicales libres son casi siempre intermediarios - entre un par iónico y el producto químico final. Son extremadamente reactivos, el número de radicales libres que reaccionan son dependientes de su concentración y de la reactividad de -- las moléculas del medio.

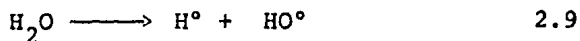
Cuando dos radicales libres se unen, para compartir el electrón no apareado en el enlace químico, se puede originar - la siguiente reacción:



Los radicales pueden reaccionar con otros átomos como oxígeno, formando así el radical peróxido el cual es muy reactivo y representa una nueva molécula en el sistema:

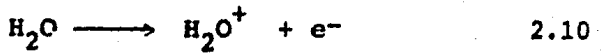


La reacción general aceptada para la radiólisis del -- agua es:

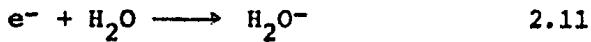


Los planteamientos más probables en la formación de radicales libres, son:

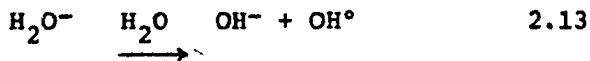
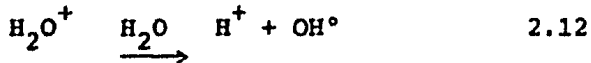
- 1) Un electrón expulsado de la molécula de agua.



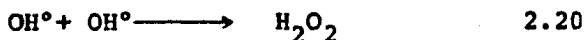
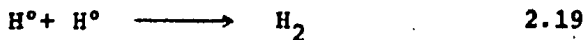
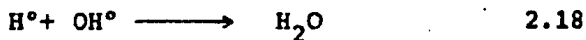
2) Un electron capturado por otra molécula de agua.



3) El ión positivo (H_2O^+) y el ión negativo (H_2O^-), - que son formados en presencia de otras moléculas de agua, se descomponen en iones y radicales libres.



Los iones H^+ y OH^- , no contienen una cantidad excesiva de energía y pueden recombinarse para formar H_2O . En cambio los radicales libres HO° y OH° son altamente reactivos, pueden reaccionar para dar: H_2O , H_2 y H_2O_2



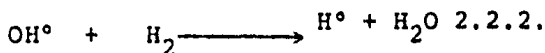
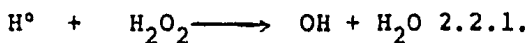
La probabilidad de las tres reacciones anteriores, dependen de la distribución espacial de los radicales, un radical es más probable que reaccione con otro próximo, que con

uno que tenga gran distancia respecto a él.

El mecanismo sugerido para la formación de radicales libres, es suponer que el electrón expulsado no se mueva suficientemente rápido para escapar de la vecindad de los iones (H_2O^+) de los cuales fueron expulsados. La recapturación del e^- por (H_2O^+) , forma una molécula muy energética (H_2O^*) , la cual inmediatamente se disocia en radicales libres OH^\bullet y H^\bullet ; que son altamente reactivos y pueden reaccionar para formar H_2O , H_2 y H_2O_2 .

2.2.2. Formación de H_2O_2 .

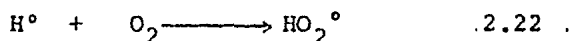
El agua oxigenada es un agente oxidante activo, es capaz de destruir enzimas en sistemas biológicos, por lo que es deseable generar esta sustancia en el medio hasta cierto límite.



Sin embargo, otras moléculas presentes en el medio a irradiar, son capaces de reaccionar con los radicales libres H^\bullet y OH^\bullet evitando la destrucción de H_2O_2 , una de estas sustancias es acrilamida ($CH_2=CH-CO-NH_2$), donde los radicales libres se-

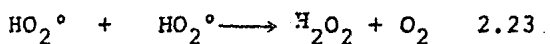
adicionan al doble enlace (C=C), a mayor concentración de acrilamida menor remoción de H₂O₂. (Gráfica 2.2.1).

Si se lleva a cabo la irradiación en presencia de oxígeno, el oxígeno se combina con el radical hidrógeno (H°) formando el radical peróxido (HO₂°).

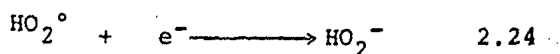


El HO₂° tiene menor poder oxidante que OH° y H₂O₂, pero tiene una gran vida y es capaz de distribuirse y provocar reacciones futuras.

También dos radicales peróxido pueden reaccionar para formar H₂O₂ y O₂.



Si en el medio está presente un elemento que sea capaz de oxidar (dando un e⁻), los radicales peróxido pueden aceptar fácilmente un e⁻.



Donde el HO₂⁻ es el anión del H₂O₂ y bajo solución fuertemente alcalino y puede formar H₂O₂.



La producción de H_2O_2 en un sistema acuoso puede resumirse en la (gráfica 2.2.2) donde:

1.- Con agua pura y sin oxígeno hay poca cantidad medible de H_2O_2 , la cual es formada y destruida por radicales libres presentes (curva A).

2.- Con acrilamida presente, la cual reacciona con radicales libres pero no con oxígeno del sistema, el agua oxigenada es medida y es formada por la reacción 2.20 (curva B).

3.- En presencia de oxígeno, puede formarse agua oxigenada por la reacción 2.23 (curva C).

4.- En presencia de oxígeno más aditivos, los cuales oxidan al radical peróxido (HO_2°), la producción de H_2O_2 es mayor (curva D).

2.3. Interacción de la radiación con células vivas.

La relación entre el número de microorganismos que son muertos y la dosis de radiación absorbida, nos la da la teoría del blanco propuesta por Crowther y desarrollada por D.E.Lea., la teoría establece que la producción de ionización

interna de los átomos o estructuras bombardeadas, son los responsables de los efectos medidos. La producción de un evento en el blanco es llamado golpe, los golpes pueden ser en toda la célula, en alguna parte o en una molécula vital.

La teoría supone que cada evento ocurre al azar, por lo que hay cambios estadísticos en un bombardeo particular y el efecto asociado al organismo causado por los golpes.

Para bajas dosis de radiación, el número de blancos - golpeados y su efectividad, es directamente proporcional a la cantidad de radiación absorbida. El número de efectividad de golpes decrece con un incremento de dosis.

La gráfica 2.3.1 nos dá la relación de dosis y el número de golpes así como su efectividad.

Efectividad.- Se puede apreciar de mejor modo en la gráfica 2.3.1, donde se observa que hay una relación directamente proporcional cuando se irradia una colonia de microorganismos, entre el número de golpes producidos por la radiación y el efecto letal en la célula hasta cierto límite. Cuando la dosis de radiación se aumenta más de este límite, la cantidad de células muertas no aumenta debido a que los golpes ya no son a células vivas en gran parte, sino a células muertas.

La relación mostrada en la gráfica 2.3.1 es expresada

en sentido contrario cuando la teoría de blanco es aplicada a una población de células, en las que los efectos medidos son letales. Entonces el número de organismos muertos es incrementado de diferente manera por incrementos sucesivos de dosis, - siendo así la curva de supervivencia exponencial (gráfica ---- 2.3.2.).

La forma simple de la teoría del blanco es expresada como sigue:

N_0 = Número de microorganismos inicialmente presentes.

N = Número de microorganismos supervivientes después de la dosis D .

dD = Número de dosis adicional.

N es disminuido por dN en una cantidad proporcional al número presente N .

$$-\frac{dN}{dD} = KN \quad 2.3.1$$

$$\frac{dN}{N} = -KdD \quad 2.3.2$$

$$\text{Integrando: } \ln \frac{N}{N_0} = -KD \quad 2.3.3$$

$$N = N_0 e^{-KD} \quad 2.3.4$$

Si la fracción de células supervivientes es S , cuando la distribución de Poisson describe todos los eventos al-azar y la probabilidad de ocurrencia es pequeña y constante, se tiene:

$$S = e^{-KD} \quad 2.3.5.$$

Si se gráfica la fracción de organismos que sobreviven en escala logarítmica vs. dosis en escala lineal (gráfica 2.3.3.), la pendiente de la curva de supervivencia es K y es la constante de proporcionalidad.

$$K = 1/D_0$$

Donde:

D_0 = es la dosis que da en promedio un golpe en un blanco. En la práctica, es la dosis requerida para reducir el número de microorganismos de la población a un 37% y se determina directamente en la gráfica, 2.3.3. D_0 varía inversamente proporcional con la sensibilidad de las células a la radiación.

La probabilidad de que un blanco no sea golpeado es equivalente al por ciento de organismos que sobrevivan.

La probabilidad mínima de golpear es según la teoría multiblanco.

$$(1 - e^{-KD}) \quad 2.3.6.$$

La probabilidad de que todos los blancos sean golpeados es:

$$s = 1 - (1 - e^{-KD}) \quad 2.3.7$$

Para grandes valores de D

$$s = ne^{-KD} \quad 2.3.8$$

El parámetro n puede interpretarse de muchas formas:

- 1.- Representa el número de blancos que son golpeados
- 2.- El número de golpes necesarios en un blanco para producir un efecto medio.
- 3.- n es sensible al cambio de condiciones experimentales.

SIMPLIFICACIONES DE LA TEORIA DE BLANCO.

- a) El grado de efectos no es influenciado por la velocidad de dosis.
- b) Nos da una idea del mecanismo de acción de la radiación, en una variedad de poblaciones de microorganismos.
- c) Todos los microorganismos pueden ser considera - dos como blancos.

- d) Los procesos de inactivación involucran la interacción directa de la radiación con una molécula crítica y un efecto indirecto en los cambios de las moléculas no esenciales de las células por cambios en el medio.

- e) Cuando el blanco es pequeño (célula), los cromosomas son el lugar donde ocurre el daño de la célula por la radiación, ya que constituye la mayor porción de la célula y nos da un efecto letal.

Interpretación de resultados experimentales en términos de la teoría del blanco.

Ciertos sistemas biológicos responden a la radiación en forma cinéticamente diferente, lo cual es explicado por la teoría del blanco de la siguiente forma:

- a) Los datos de supervivencia se grafican: fracción de supervivencia vs. dosis para ver el efecto de la radiación.

- b) La velocidad de inactivación es representada por K (pendiente de la línea) y es característica de cada microorganismo y de las condiciones experimentales.

- c) Por el parámetro n .

La supervivencia en microorganismos es definida como la habilidad de los microorganismos irradiados para multiplicarse y formar colonias en medios dados y desarrollarse.

TABLA 2.1 DIVERSOS PROCESOS DE ABSORCIÓN DE LA RADIACIÓN NUCLEAR (*)

Las reacciones de sección transversal (σ) dan únicamente órdenes de magnitud alrededor de 1 MeV en $Z = 20$

| Partículas Reaccionantes y Producidas. | Tipo de Reacción | σ | Nombre del proceso |
|--|---|-------------|----------------------------------|
| 1. Protones y iones lentos que reaccionan con: | | | |
| 1a. Electrones orbitales | Partículas atómicas continuas con menor energía por excitación y -- ionización. | $\geq 10^5$ | Ionización, excitación ató mica. |
| 1b. — | Partículas por dispersión elástica. | ≤ 10 | Dispersión nuclear. |
| 1c. — | Núcleos atómicos Partículas por dispersión inelástica. | < 1 | Excitación nuclear Coulombica. |
| 1d. — | Partículas capturadas, formación de núcleos compuestos ($E_p > E_c < \text{Mínimo}$). | ≤ 0.1 | Transmutación nuclear. |
| 2. Electrones (e^- , β^- , β^+) que reacciona con: | | | |
| 2a. — | Electrones orbitales Partículas atómicas continuas de menor energía por excitación y - ionización. | $\gg 10^2$ | Ionización, excitación ató mica. |
| 2b. — | Muestra la aniquilación β^+ , se for | 100% | Aniquilación del positrón. |

| | | | |
|----|--|---|---------------------------------------|
| | | man de 2-3 fotones. | |
| 2c | Campo eléctrico de núcleos | Dispersión de partículas con menor energía, emisión continua de $h\nu$ - ($E_e \gg 1 \text{ Mev}$). | $\gg 1$ Bremsstrahlung |
| 3 | Los fotones (γ) reaccionan con: | | |
| 3a | Campo de los electrones orbitales. | Dispersión γ más allá de la menor energía. | ≤ 0.01 Dispersión coherente. |
| 3b | Electrones libres externos. | Dispersión γ con menor energía, ionización. | Efecto Compton. |
| 3c | Electrones de enlaces internos. | Absorción completa de γ un electrón golpeado externamente. | $\leq 10^{(a)}$ Efecto fotoeléctrico. |
| 3d | Producción de fuerza nuclear. | Aniquilación γ , formación del positrón negatrón ($E_\gamma > 1.02 \text{ Mev}$). | Formación de pares. |
| 3e | } Núcleo atómico | Dispersión γ más allá de la menor energía. | Efecto Mossbauer. |
| 3f | | Dispersión γ con menor energía. | $\leq 10^{-3}$ Excitación nuclear. |
| 3g | | Absorción γ por núcleos, transmutación nuclear. ($E_\gamma > 5 \text{ Mev}$). | Efecto foto-nuclear. |
| 4 | Los neutrones reaccionan con: | | |

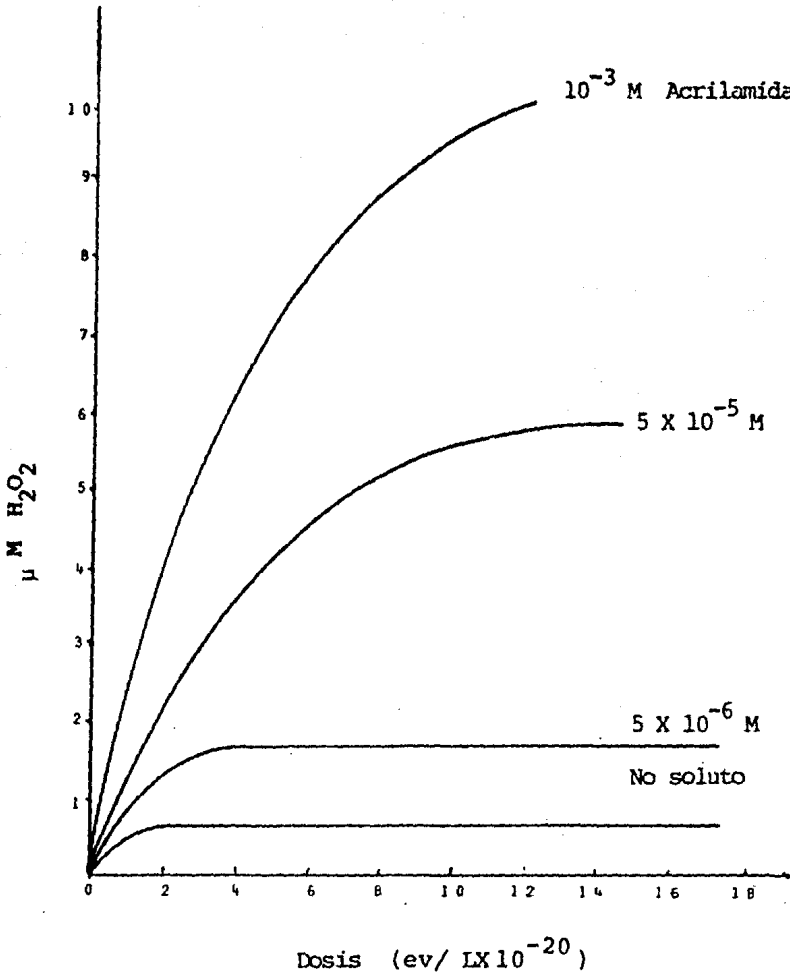
| | | | | |
|----|------------------|--|-------------|----------------------|
| 4a | Núcleos atómicos | Dispersión neutrón con menor energía. | ≤ 10 | Moderación neutrón. |
| 4b | | Neutrón capturado, transformación nuclear. | $\leq 10^4$ | Captura del neutrón. |

(a) σ se incrementa grandemente con disminución de la energía.

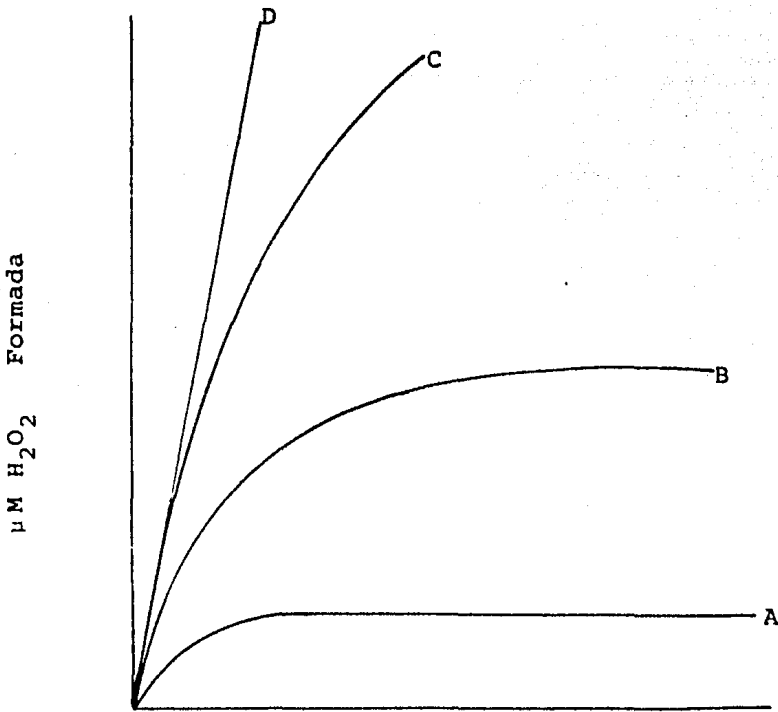
(*) Referencia # 39.

TABLA 2.1.1. COEFICIENTE DE ABSORCION LINEAL (cm⁻¹).

| ENERGIA | AGUA | HORMIGON | ALUMINIO | HIERRO | PLOMO | AIRE |
|---------|--------|----------|----------|--------|-------|-------------------------|
| Y Mev | μ | μ | μ | μ | μ | μ |
| 0.5 | 0.0966 | 0.240 | 0.227 | 0.651 | 1.640 | 3.82 x 10 ⁻⁵ |
| 1.0 | 0.0706 | 0.149 | 0.166 | 0.468 | 0.776 | 3.60 " |
| 1.5 | 0.0575 | 0.121 | 0.135 | 0.381 | 0.581 | 3.30 " |
| 2.0 | 0.0493 | 0.105 | 0.117 | 0.333 | 0.518 | 3.05 " |
| 3.0 | 0.0396 | 0.0853 | 0.0953 | 0.284 | 0.477 | 2.70 " |
| 4.0 | 0.0339 | 0.0745 | 0.0837 | 0.259 | 0.476 | 2.40 " |
| 5.0 | 0.0301 | 0.0674 | 0.0761 | 0.246 | 0.483 | 2.25 " |
| 8.0 | 0.0240 | 0.0571 | 0.0651 | 0.232 | 0.520 | 1.95 " |
| 10.0 | 0.0219 | 0.0538 | 0.0618 | 0.231 | 0.554 | 1.85 " |



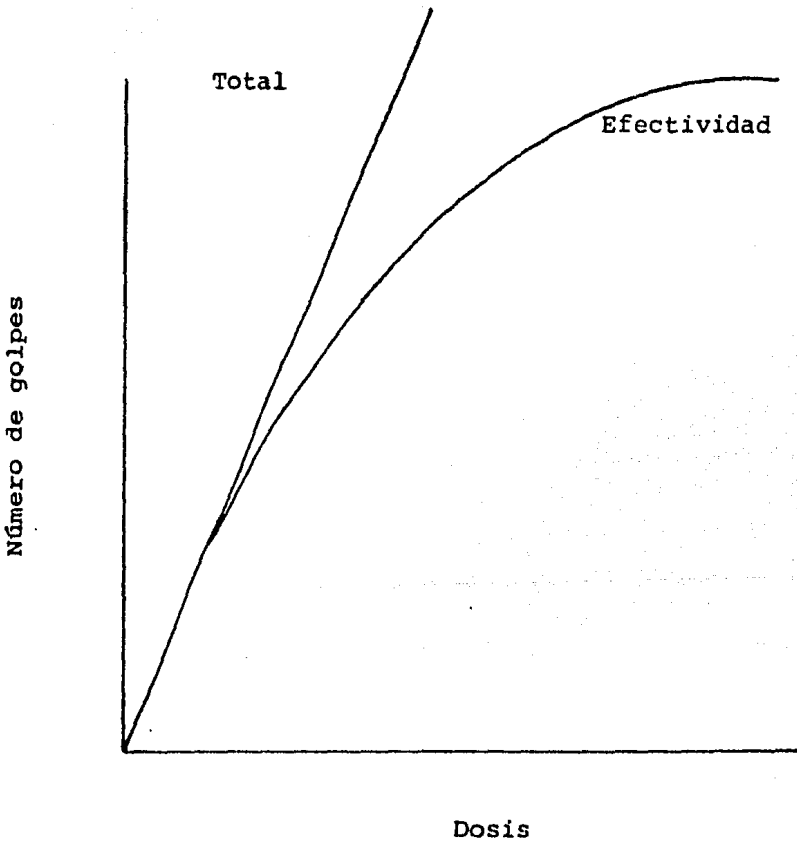
Gráfica 2.2.1. Formación de H_2O_2 en soluciones acuosas irradiadas de Acrilamida.



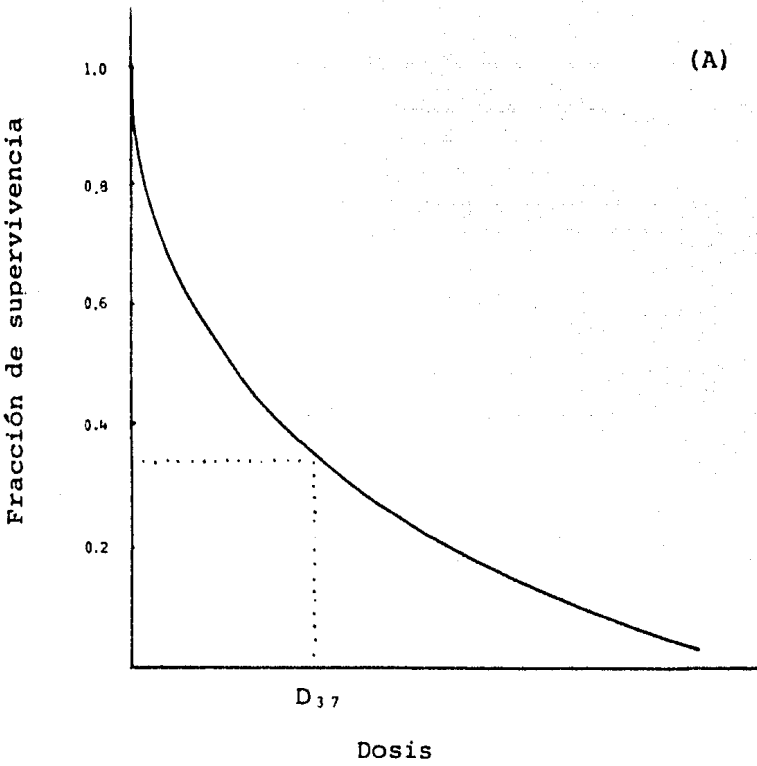
Dosis de radiación

Gráfica 2.2.2. Producción de H_2O_2 en sistemas acuosos.

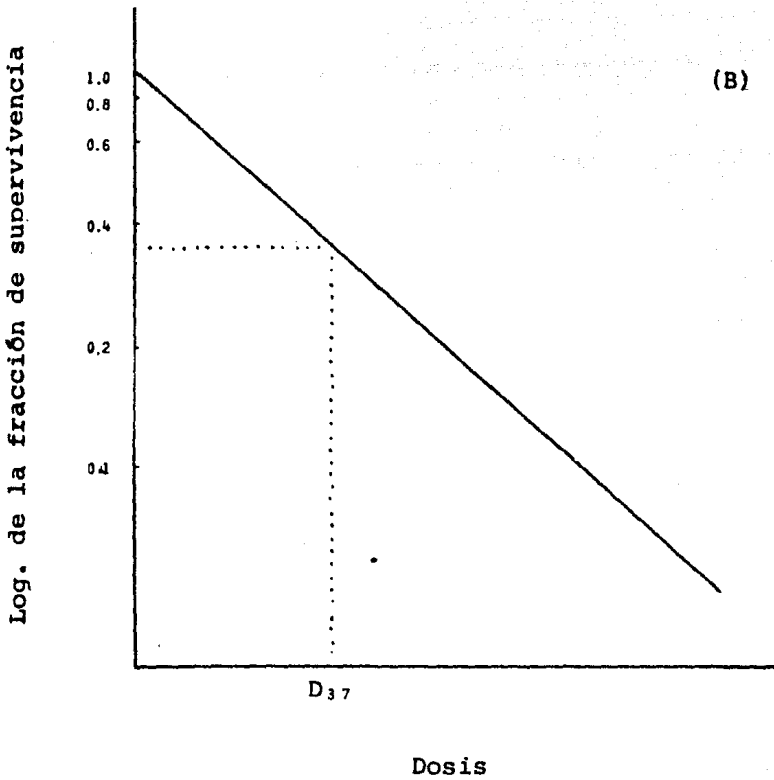
A agua pura, B agua más radicales libres, C agua más oxígeno, D agua más oxígeno y aditivos oxidantes.



Gráfica 2.3.1. Relación de dosis y número de golpes así como su efectividad.



Gráfica 2.3.2. Relación entre dosis y fracción de supervivencia de microorganismos en escala lineal.



Gráfica 2.3.3. Relación entre dosis y fracción de supervivencia de microorganismos en escala semi-logarítmica.

CAPITULO III

SEGURIDAD RADIOLOGICA

3.1. Generalidades.

En vista de que se considera la aplicación de un material radiactivo en un proceso industrial, que consiste en -- irradiar un sistema directamente y obtener un producto con -- características específicas, es necesario tener un conocimiento de las unidades que midan la exposición a la radiación, -- para controlar los niveles máximos permisibles de dosis que no causan daño al ser humano, así como los medios de protección al personal que laboraría en el proceso productivo.

Existen 3 unidades de exposición a la radiación usadas. El Roentgen es usado para la intensidad de campo, el Rad para dosis absorbida y el REM para dosis biológica.

Roentgen (R) unidad de intensidad de campo.

Es la exposición a la radiación X ó Y tal, que la emisión corpuscular asociada a 0.001293 g (peso de 1 cm³ de aire en condiciones normales de presión y temperatura), produce los iones que transportan una unidad electrostática --- (u.e.s.) de cantidad de electricidad de cualquier signo.

Indice de exposición = Roentgen/Tiempo.

Rad (r) unidad de dosis absorbida.

El rad (radiation absorption dose), es la dosis de radiación que resulta en la absorción de 100 ergios de energía por gramo de cualquier material.

El rad puede usarse sin considerar el tipo de radiación y absorbedor.

Indice de dosis absorbida = rad/tiempo

Razón de dosis = rad/tiempo

Intensidad de dosis = rad/tiempo

Gray. - Unidad creada en 1975 para medir la dosis absorbida. Se define al Gray (Gy) como la unidad de radiación absorbida que disipa 1 julio de energía por kilogramo de material, su equivalencia con el rad es la siguiente:

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad.}$$

REM (rem).-Unidad de dosis biológica o equivalente hombre, unidad para medir el daño biológico producido al hombre, cuando absorbe una cierta dosis de un determinado tipo de radiación. Se define como el daño biológico cuando es absorbido 1 rad de radiación o el daño originado por cualquier o-

tro tipo de radiación, es igual al producto de la dosis absorbida en rads por el valor característico EBR de ese tipo de radiación ($\text{rem} = \text{rad} \times \text{EBR}$).

Como en tejidos vivos, en particular, iguales cantidades de energía absorbida de diferentes tipos de radiación -- dan diferentes efectos biológicos, es necesario introducir -- el término (EBR).

Efectividad biológica relativa (EBR).

Unidad que se utiliza para medir el daño biológico -- causado por iguales dosis de diferentes tipos de radiación. -- Se define como la dosis de radiación γ dividida entre la dosis de cualquier otro tipo de radiación que produce igual daño biológico.

Equivalencia entre unidades de dosis.

Para radiación γ o X (electromagnética) $1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} = 1 \text{ R}$.

Para cualquier otra radiación: $1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} \times \text{EBR}$.

Unidad de actividad Curie (Ci ó C).

$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps} \text{ ó } 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$

Donde:

$1 \text{ dps} = 1 \text{ desintegración por segundo} = 1 \text{ Bq}$

Becquerel (Bq).- Henri Becquerel fué el descubridor de la radiactividad. Se designa con su nombre a una de las unidades útiles para medir la intensidad del fenómeno de la radiactividad y es igual a una desintegración por segundo.

3.2. Efectos Biológicos de la Radiación.

La radiación de diferente naturaleza en función de la probabilidad de interacción, causan una variedad de efectos físico-químicos y biológicos en la materia viva, ya que es un sistema bioquímico y fisiológico complejo.

Es importante diferenciar la naturaleza de las moléculas excitadas o ionizadas en el material absorbedor, para saber las posibles formas y tipos de las reacciones que se llevarían a cabo (reacciones primarias y secundarias), debido a la gran cantidad de átomos y moléculas diferentes que sufren cambios por la absorción de energía de la radiación.

La generación de productos de una reacción química originada por la acción de la radiación es determinada por:

- 1.- Procesos elementales a través de la radiación absorbida y los productos químicos primarios (iones, radicales, átomos y moléculas excitadas o ionizadas).

2.- Procesos secundarios (reacciones químicas principales, re combinaciones, etc).

Los efectos biológicos de la radiación son debidos a:

- Area o volumen del cuerpo expuesto.
- Dosis total absorbida.
- Ionización específica.
- Energía de la radiación.
- Localización de la ionización.
- Tiempo de exposición.
- Radiación interna o externa.
- Tiempo de eliminación del material radiactivo por el cuerpo humano para dosis interna.
- Edad y estado de salud del individuo entre otros factores.

El mecanismo de producción y extensión de los daños biológicos no se conoce todavía, pero se piensa que en un inicio la absorción física de energía (efecto fotoeléctrico, Compton, etc), para el caso de radiación γ , por los átomos o moléculas del material vivo pueden ser excitados o ionizados originando moléculas inestables por cambio en su configuración molecular o su rompimiento, las cuales llevan a cabo reacciones de óxido-reducción y de recombinación entre otras, originando el cambio de composición físico-química del medio inicialmente irradiado. También depende de una compleja in-

terrelación de diferentes sustancias dentro del sistema viviente, el cual reacciona a través del cambio, así como la acción -- que producen los radicales libres formados, debido a que el -- principal constituyente de las células es agua (alrededor del- 70%) y cuando la radiación pasa a través del cuerpo humano, -- las moléculas de agua son las más probables de ser ionizadas.- Por tanto, la radiólisis del agua es uno de los principales medios por los cuales la radiación produce el efecto sobre la célula y ocasiona consigo el daño biológico.

El daño biológico de la radiación en el tejido humano- expuesto (cualquier parte constituyente del cuerpo humano), es variable en los diferentes órganos y miembros del organismo, - respondiendo de manera distinta a la radiación. Lo mismo ocu-- rre para diferentes clases de animales, vegetales y microorga- nismos, igual que en las diferentes fases de desarrollo de la- célula a lo largo de su vida.

Los muchos factores involucrados anteriormente, hacen- difícil predecir los efectos biológicos de la radiación y la -- cantidad única de dosis absorbida para producir cierta canti-- dad definida de algunos efectos biológicos, debido a la gran - interacción que existe entre ellos.

Pero en cambio se resume que a niveles de sobreexposición:

1.- La radiación ocasiona daños genético (cambios-- hereditarios). El daño genético ocurre a razones muy bajas de la radiación, aunque también es inducido por calentamiento y por contenidos-- químicos y dependiendo del daño estructural de los cromosomas, resulta el daño genético.

1.1.- A más radiación absorbida más mutación.

1.2.- Si el total de dosis recibida por una persona es mayor, el daño genético causado por la radiación es acumulado en el tiempo de reproducción.

2.- La radiación básicamente es destructiva. La exposición crónica de la piel en primer lugar -- causa un eritema, del cual pueden surgir ampollas y la formación de lesiones que son menores en comparación con quemaduras, aunque también daña y destruye tejidos vivos.

3.- La radiación destruye un proceso canceroso, pero también puede provocarlo. El cáncer puede--

desarrollarse en pocos años después de la exposición continua.

- 4.- Cuando la radiación es en forma externa, el mayor peligro es la radiación γ y X debido a su mayor alcance.
- 5.- Cuando la radiación es en forma interna (por introducción de sustancias radiactivas), el mayor peligro es ocasionado por emisores alfa, por producir mas ionización específica. Algunos elementos son eliminados del cuerpo fácilmente y rápidamente, otros se combinan y dan problemas serios y duraderos.
- 6.- Cuando la radiación tiene un efecto retardado, origina diferentes daños en función a la dosis absorbida. Una idea de la magnitud de los iones que se generan, cuando se irradia el cuerpo humano a una dosis letal es:

LD-50/30 días para rayos γ es aproximadamente de 400 rad.

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g} = 6.25 \times 10^{13} \text{ ev/g}$$

$$\left[\frac{(400 \text{ rad}) (6.25 \times 10^{13} \text{ ev/g})}{1 \text{ rad}} \right] / (32.5 \text{ ev}/16n) =$$

7.69×10^{14} iones/g

Como se observa es apreciable la cantidad de iones-
por gramo de cuerpo humano que se generan por la radiación.

LD - 50/30 días = Dosis letal para aniquilar la mi-
tad del cuerpo humano en 30 días.

35.5 ev/ión Es la energía que pierde la radiación-
para producir un par iónico.

Los efectos comunes al cuerpo humano expuesto a la
radiación son:

Efectos somáticos.- Son aquellos que sufre un indi-
viduo o tejido cuando absorbe radiaciones. Normalmente no-
aparece en sus descendientes, se les clasifica de dos tipos:

a) Efectos no estocásticos.- Es en los que hay apa-
rición de cataratas, perturbaciones en los vasos sanguíneos
o esterilidad. Lo anterior varía con la magnitud de dosis-
recibida, no son detectables a menos que se sobrepase un --
valor umbral.

b) Efectos estocásticos.- Inducen enfermedades can

cerígenas, cuya gravedad aumenta con el incremento de dosis sin existencia de un valor umbral.

A veces un efecto somático nos da un efecto genético.

Efecto Genético.- Cuando un individuo absorbe radiación y afecta a sus descendientes. Los efectos genéticos son irreversibles y dependen de la dosis total absorbida.

Efecto Latente.- No se manifiesta de inmediato, sino hasta una o varias generaciones o tiempo después de la irradiación. Puede manifestarse como efecto somático y genético.

3.3. Dosimetría.

La aplicación de altos niveles de radiación en tratamientos de desechos requiere de una correcta técnica de dosimetría, para obtener un trabajo eficiente, seguro y económico, por lo que es necesario una técnica en dosimetría rutinaria suficientemente precisa con detectores resistentes mecánica y químicamente, de fácil operación que cubran y abarquen el rango de dosis,

La elección de las técnicas de dosimetría depende:-

de las propiedades específicas y las necesidades de aplicación particular de la irradiación, factores de geometría, magnitud de la razón de dosis, homogeneidad, distribución espectral del campo de radiación y las propiedades de los materiales que van a ser irradiados.

En referencia a experiencias de una planta piloto de 150 KCi de ^{60}Co , se llevaron a cabo la comparación de las siguientes técnicas dosimétricas en el rango de exposición de interés indicado en la gráfica 3.3.1, para esta representación pocos sistemas dosimétricos cubren el rango de detección entre 10 KR y 1 Mrad, las técnicas son:

- a) Decoloración por inducción gamma de plata semi fluida.
- b) Vidrio fosfatado o perspex.
- c) Radio - termoluminiscencia de borato de litio --
($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Mn}$)
- d) Radio-termoluminiscencia de monocristales de li
tio (TLD - 100).
- e) Reducción de los iones céricos en soluciones de--
sulfato cérico.

Los rangos de exposición total mencionados en la fig. 3.3.1. pueden ser cubiertos por uso de detectores de vidrio de es-

pesores variables o por cambios del haz de luz (310, 400, 500- y 600 nm), dándonos órdenes siempre con transmisiones ópticas de valores entre 90 a 100%.

La determinación de la técnica dosimétrica es importante, ya que depende de ésta, el poder definir nuestras variables operativas y obtener el producto con las especificaciones esperadas.

Se recomienda usar perspex HX por ser el sistema dosimétrico que más se ajusta al rango de dosis empleado para irradiar a los lodos. Da una mayor confiabilidad en comparación -- con otros métodos dosimétricos como se observa en la gráfica - 3.3.1.

En esta parte del capítulo se ha hablado de dosimetría pero sólo para el producto irradiado, con la finalidad de comprobar las dosis en referencia a la actividad con que cuenta - el material radiactivo, más no de equipos de monitoreo que ayuden a dar un conocimiento de la dosis recibida por el personal que trabajaría en la zona de radiación. Por tanto, es de suma- importancia tener un control de la dosis absorbida por el personal.

El hombre con sus sentidos normalmente no puede de --

etectar la radiación proveniente de los materiales radiactivos, el cuerpo puede ser atravesado por radiación de alta intensidad y no sentir dolor alguno aún cuando sea severamente dañado por la radiación. Una persona que recibe una sobreexposición puede no darse cuenta de ella hasta algún tiempo después, cuando se desarrolla la enfermedad por radiación, requiriendo el hombre de alguna clase de instrumentos para detectar la radiación nuclear.

Se tienen en el mercado dosímetros: de bolsillo, película y de termoluminiscencia. Un dosímetro mide la cantidad de energía absorbida en el cuerpo del receptor en un período de tiempo. El dosímetro reacciona por una variedad de efectos:

- a) número de iones formados en un gas.
- b) Cambios químicos en un líquido o en una emulsión fotográfica.
- c) La excitación de átomos en un cristal.
- d) Cambios de color en un sólido.

Los equipos de monitoreo portátiles para el personal que se propone para medir la intensidad de campo más recomendables e indispensables para el manejo de fuentes radiactivas de esta índole se muestran en el cuadro 3.3.2.

Los monitores de superficie miden inmediatamente la intensidad de dosis de exposición, originada por la contaminación de una superficie.

En el cuadro 3.3.3. del apéndice se observan los monitores ambientales que detectan y miden las contaminaciones.

El criterio para seleccionar que tipo de dosímetro y medidores ambientales resultan necesarios en un determinado trabajo se basa en:

- 1.- Saber que tipo de radiación o radiaciones se van a detectar y a medir.
- 2.- Saber en forma aproximada el rango de la radiación.
- 3.- Ventajas y desventajas de los equipos disponibles.

Las fuentes radiactivas de ^{60}Co son en forma de pastillas o de lápices metálicos, dentro de cilindros de acero inoxidable. La única posibilidad de contaminación radiactiva es por corrosión, que ocasionaría radiactividad en el agua del pozo donde se sumerge el bastidor de las fuentes radiactivas. Por lo que no es necesario hablar de riesgos de contaminación de otras partes de la planta de tratamiento en general.

CAPITULO IV

TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS EN LA PLANTA DE IXTAPALAPA.

El tratamiento actual de aguas negras en la planta de tratamiento del D.F. Cerro de la Estrella, con una capacidad instalada de 4000 l/s es en forma sucesiva el siguiente:

- 1.- Tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos y un desnatador.
- 2.- Tanques de aereación (reactor).
- 3.- Tanques de sedimentación secundaria con eliminación mecánica de lodos.
- 4.- Tanque de cloración.

Ver figura 4.1 donde se muestra el diagrama de bloques de la planta.

4.1. Tratamiento Primario (Sedimentación Simple).

Tiene como finalidad retirar de las aguas negras los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, mediante el proceso físico de sedimentación. Esto se lleva a cabo reduciendo la velocidad del flujo hasta uno o dos cm/seg, durante el tiempo suficiente para dejar que se depositen la mayor parte de los sólidos sedimentables, que son principalmente inorgánicos, separados.

rándose de la corriente de aguas negras. Los sólidos asentados se sustraen continuamente a intervalos frecuentes, para no dar tiempo a que se desarrolle la descomposición con formación de gases. Los sólidos son acumulados por gravedad, en una tolva o embudo, de donde se descargan por la acción de la presión estática o por bombeo. Este tanque es rectangular, la recolección de los sólidos sedimentales es por medio de rastras.

Las rastras se fijan cerca de las orillas a una cadena sin fin que pasa sobre engranes o ruedas dentadas, accionadas por medio de motores. Las rastras se hacen pasar lentamente por el fondo del tanque, empujando los sólidos sedimentados hacía la tolva de lodos localizada en el extremo de entrada del tanque, luego son levantadas por la cadena hacia la superficie del tanque en donde, parcialmente sumergidas, sirven para empujar los sólidos flotantes, las grasas y los aceites a un recolector de natas situado en el extremo superior de salida del tanque, lo que corresponde al flujo horizontal de material desde su extremo de entrada al extremo de salida.

La eficiencia de los tanques de sedimentación simple es cerca del 90-95% de sólidos sedimentables, es decir un 40-60% de sólidos suspendidos totales. La (DBO) debe disminuir de un 25-35%. Desde luego estas cifras son de carácter general-

y no pueden aplicarse a casos especiales.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).- Es la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación aeróbica biológica de los sólidos orgánicos de las aguas negras.

4.2. Tratamiento Secundario (Tanque de Aereación).

Para satisfacer los requerimientos de las aguas receptoras, el tratamiento primario (Sedimentación Simple) no es suficiente. Por lo que se acompaña de un tratamiento secundario (Lodos Activados), en este tratamiento se emplean cultivos biológicos para llevar a cabo una descomposición aeróbica u oxidación del material orgánico, a compuestos más estables, lográndose un mayor grado de tratamiento. El éxito de la operación estriba en mantener las condiciones aeróbicas ambientales que son favorables para el ciclo vital de los organismos y en controlar la cantidad de materia orgánica que descompongan. La materia orgánica que lleva el agua negra es el alimento de que se sustentan estos organismos y su eficiencia disminuye tanto por una sobrealimentación como por una alimentación deficiente. Los organismos son originados por la composición del agua negra.

El proceso de los lodos activados es un proceso biológico.

gico de contacto, en el que los organismos vivos aeróbicos y los sólidos orgánicos de las aguas negras, se mezclan íntimamente en un medio ambiente favorable para la descomposición aeróbica de los sólidos.

Como el medio ambiente está formado por las mismas aguas negras, la eficiencia del proceso depende de que se mantenga continuamente oxígeno disuelto en las aguas negras durante todo el tratamiento.

Las aguas negras normales contienen algunas de estos operarios biológicos, pero su número es pequeño para que puedan llevar a cabo el trabajo requerido. Es necesario, por lo tanto, tener más organismos y distribuirlos bien antes que el proceso de lodos activados pueda empezar a funcionar con eficiencia. Debido a que las aguas negras contienen sólidos suspendidos y coloidales, cuando se agitan en presencia de aire, los sólidos suspendidos forman núcleos sobre los cuales se desarrolla la vida biológica, pasando a formar partículas más grandes de sólidos que se conocen como lodos activados.

Los lodos activados están formados por flóculos parduzcos que consisten, principalmente, de materia orgánica procedente de las aguas negras, pobladas por bacterias y otras formas de vida biológica. Estos lodos activados, con organismos vivos, tienen la propiedad de absorber o de adsorber la materia orgánica coloidal y disuelta, disminuyendo la cantidad de

sólidos suspendidos.

Los organismos biológicos utilizan como alimento el material absorbido convirtiéndolo en sólidos insolubles no putrescibles. Algunas bacterias atacan las sustancias complejas originales, produciendo compuestos más simples. Otras bacterias usan estos desechos, produciendo compuestos aún más simples, continuando así el proceso hasta que los productos finales de desecho no puedan ya ser usados como alimento para las bacterias.

La generación de lodos activados es un proceso lento e inadecuado para tratar rápida y eficazmente las aguas negras, pues se requiere de una gran concentración de lodos activados. Esta gran concentración se logra recolectando los lodos activados producidos por cada volumen de aguas negras tratadas y usándolos nuevamente para el tratamiento de volúmenes subsecuentes de aguas negras. Los lodos que se vuelven a emplear se conocen como lodos recirculados. La excesiva acumulación o exceso de lodos activados, se retira del proceso.

Resumiendo, el proceso de lodos activados consta de las siguientes etapas:

- 1.- Mezclado de los lodos activados con las aguas negras que se van a tratar.

- 2.- Aereación y agitación de este licor mezclado durante el tiempo que sea necesario.
- 3.- Separación de los lodos activados del licor mezclado.
- 4.- Recirculación de la cantidad adecuada de lodos activados, para mezclarlos con las aguas negras.
- 5.- Disposición del exceso de lodos activados.

4.3. Tanque de Sedimentación Secundaria

Como en los tanques de aereación se alteran las características de los sólidos de las aguas negras, más no se eliminan del efluente, los sólidos suspendidos (lodos activados) deben de ser eliminados antes que se disponga del efluente, vayan al lago de Xochimilco o a zonas de riego.

Para este propósito se usan tanques de sedimentación secundaria o de asentamiento final, los cuales son de diseño similar a los tanques de sedimentación simple.

El ciclo de remoción de los lodos en los tanques secundarios tiene mayor importancia que en los tanques primarios, ya que cierta proporción de lodos debe retirarse continuamente para utilizarlos como lodos recirculados en el tanque de aereación. El exceso de lodos debe eliminarse antes de que pierdan su actividad por la muerte de los organismos aerobios debido a

la falta de oxígeno en el fondo del tanque.

4.4. Tanque de Cloración.

El cloro tiene como finalidad la desinfección. Ninguno de los métodos primarios o secundarios de tratamiento de aguas negras puede eliminar completamente las bacterias patógenas que siempre están presentes potencialmente. Debido al uso del agua, hace falta un tratamiento para destruir los microorganismos patógenos (aunque adicionar cloro no es un tratamiento 100% eficaz para inactivar los microorganismos patógenos existentes en las aguas negras).

El cloro puede introducirse en forma de gas, de solución o en forma de hipoclorito, ya sea de sodio o de calcio, los cuales al disolverse en agua desprenden cloro. Como el cloro gaseoso cuesta mucho menos que el que se obtiene a partir de los hipocloritos, es el que se usa en la planta.

La cantidad de sustancias reductoras, tanto orgánicas como inorgánicas, es variable, por lo cual no es fija la cantidad de cloro que tiene que agregarse a las aguas negras. El cloro que consumen esas sustancias reductoras orgánicas e inorgánicas, se define como demanda de cloro. Es igual a la cantidad que se agrega, menos la que permanece como cloro combinado después de un cierto tiempo (15 min.). La cantidad que queda después de satisfacer la demanda de cloro es la que lleva a ca

bo la desinfección, se define como cloro residual y se expresa en ppm.

La demanda de cloro depende de la cantidad de agua negra a tratar en el tiempo. Para lograr una desinfección, debe agregarse el cloro necesario para satisfacer la demanda de cloro y dejar un cloro residual que destruya a los microorganismos. La experiencia en plantas, ha demostrado que si se agrega a las aguas negras el cloro suficiente para que a los 15 -- min. de agregado quede una concentración de cloro residual de 0.5 ppm. se logra la desinfección.

La demanda de cloro es: $(\text{Cloro agregado g/m}^3) - (\text{Cloro residual } 0.5 \text{ g/m}^3)$.

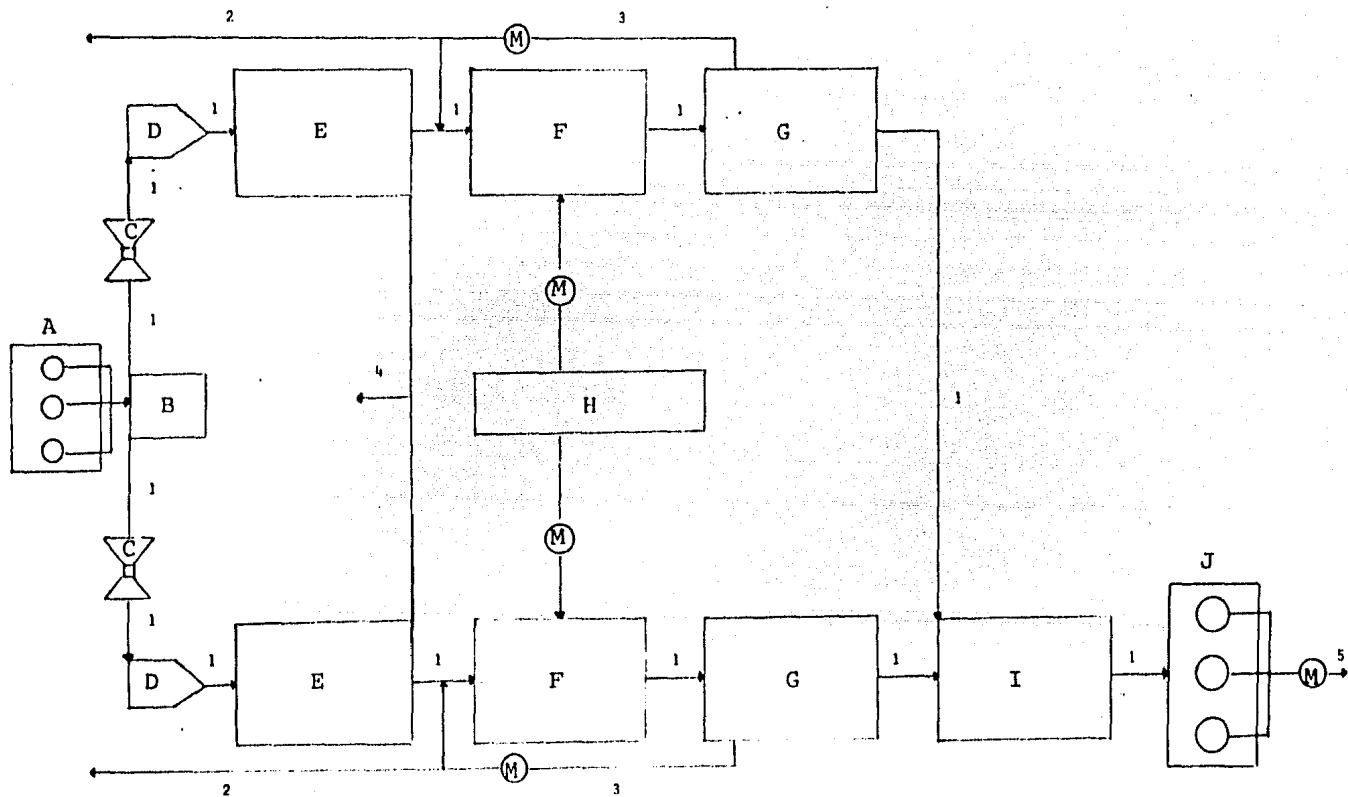


Figura 4.1. Diagrama de bloques de la planta "Cerro de la Estrella".

NOMENCLATURA DEL DIAGRAMA DE BLOQUES .

- A. Estación de bombeo de aguas negras de Aculco.
- B. Caja de llegada.
- C. Medidor Parshall.
- D. Caja partidora.
- E. Sedimentador Primario.
- F. Aereadores.
- G. Sedimentador Secundario.
- H. Turbosopladores.
- I. Tanque de contacto de cloro.
- J. Estación de bombeo de aguas negras.
- M. Medidor de flujo.

CORRIENTES.

- 1.- Agua negra (flujo de proceso).
- 2.- Exceso de sólidos líquidos al alcantarillado.
- 3.- Recirculación de sólidos líquidos (lodos).
- 4.- Sólidos del sedimentador primario al alcantarillado.
- 5.- Agua tratada a zona de riego o al lago de Xochimilco.

CAPITULO V

TRATAMIENTO DE SOLIDOS POR RADIACION GAMMA Y ACELERADORES DE ELECTRONES.

5.1 DISPONIBILIDAD DE LAS DIFERENTES FUENTES RADIATIVAS EXISTENTES EN EL MERCADO MUNDIAL (DESVENTAJAS Y VENTAJAS).

Las fuentes de radiación usadas en estudios de radiación química son divididas en dos grupos:

- I. Aquéllas que emplean isótopos radiactivos naturales o artificiales. Se incluyen las fuentes de radiación (Radio, Radón, ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{90}Sr , y núcleos de desechos radiactivos).
- II. Aquéllas que emplean aceleradores de partículas. - Se incluyen los tubos de rayos X, aceleradores lineales Van de Graff, betatrones, ciclotrones y otros mecanismos de alta energía.

En la tabla 5.1.0. al final del capítulo se dan los isótopos radiactivos comúnmente usados como fuente de radiación.

- I.a. Elementos de combustible nuclear gastado de reactores nucleares y productos óxidos de fisión (u-

sándolos después de la separación de actínidos).

DESVENTAJAS.

- 1.- Contienen isótopos que emiten neutrones los cuales pueden activar los sólidos líquidos y materiales.
- 2.- Dan espectro complejo de radiación, siendo difícil determinar la dosis de exposición al paso del tiempo por ser una mezcla de isótopos radiactivos.
- 3.- El período de uso es de aproximadamente un año.
- 4.- El tiempo para usar estos elementos es de 3-12 meses, después de haber sido removidos del reactor nuclear, durante los cuales la actividad de los elementos es disminuida por un factor de 10.
- 5.- Estos elementos decaen más rápidamente que el ^{60}Co y ^{137}Cs .
- 6.- Gran costo por reemplazamiento constante.
- 7.- México no cuenta con los medios para producirlos.
- 8.- No es frecuente usar esta fuente para tratar sólidos líquidos.
- 9.- No tiene amplias aplicaciones en materiales densos, con absorción del 99% del total de energía emitida por la fuente, o cuando el material es recirculado para asegurar una dosis uniforme.

- 10.- Período corto que limita su uso.
- 11.- Por rápido decaimiento, hay incertidumbre para asegurar que el producto irradiado presenta en un tiempo la dosis deseada.
- 12.- Presenta desventaja económica respecto a otros tipos de desinfección de sólidos líquidos de desecho.
- 13.- Problemas en la distribución de contenedores, por lo que está muy distante de la actual facilidad de irradiación.
- 14.- Decaimiento variable y rápido de su actividad específica.
- 15.- Se tendrían muchos problemas operativos por el reemplazamiento frecuente del material radiactivo.
- 16.- Transportación constante del reactor nuclear a la fuente, para reemplazar el material nuclear.

VENTAJAS.

- 1.- Bajo costo de operación por metro cúbico de sólido líquido tratado, en comparación con ^{137}Cs , ^{60}Co y aceleradores de electrones.
- 2.- La provisión del material nuclear es asegurada debido a las estaciones nucleares de operación en el

mundo.

- 3.- La fuente radiactiva es segura por no presentar partes móviles.

Por lo visto anteriormente este método es descartado.

I.b. Fuente de Radiación γ de ^{137}Cs .

DESVENTAJAS.

- 1.- Actualmente el costo de operación es mayor que --
 ^{60}Co .
- 2.- El rayo γ emitido por ^{137}Cs tiene menor energía --
que el de ^{60}Co , siendo de 0.66 MeV con 55 cm de --
penetración en agua pura.
- 3.- El ^{137}Cs tiene una pérdida de energía del orden --
de 50% por auto-absorción.
- 4.- Hay un único proveedor significativo, Handford --
Washington, U.S.A., produciendo anualmente alrede --
dor de 220 MCi/año y si se propagara el uso de es --
te radionúclido en el mundo, no alcanzaría a sa--
tisfacer la demanda mundial.
- 5.- La emisión de rayos gamma por Curie es de cerca --
de 1/4 de ^{60}Co .
- 6.- La separación del ^{137}Cs sobre una escala indus---

trial necesita ser perfeccionada a una cantidad mayor de 300 MCi/año para obtener precio atractivo.

- 7.- Mayor inversión inicial que ^{60}Co (ver pag.80) -- para una eficiencia efectiva de fuente.
- 8.- México no cuenta con los medios para producirlo.
- 9.- Presenta desventaja económica, respecto a otros tipos de desinfección de sólidos líquidos. También en comparación con el análisis de aceleración de electrones (sección 5.2 pag. 81), se observa que es la fuente radiactiva en que el costo por galón es más caro.
- 10.- Para una misma potencia efectiva de fuente se requiere más material radiactivo que ^{60}Co , por lo que la fuente radiactiva resulta más grande.
- 11.- Se encuentra el ^{137}Cs en forma de cloruro, siendo soluble en agua teniendo que reforzar precauciones y controles.
- 12.- Tiene poco uso comercial, siendo incierto su éxito para cumplir el objetivo.

VENTAJAS.

- 1.- El costo por curie es aproximadamente de 0.56 dólares.

- 2.- El producto irradiado no presenta radiactividad.
- 3.- El uso de ^{137}Cs como fuente de radiación gamma, tendría una aplicación a un futuro no muy lejano.
- 4.- En los próximos años puede presentar una reducción significativa en la inversión inicial.
- 5.- Es uno de los productos de fisión que se encuentran en mayor cantidad.
- 6.- La fuente puede ser adaptada para dar la eficiencia efectiva comparada con ^{60}Co .
- 7.- La fuente radiactiva es segura por no tener partes móviles.
- 8.- La compañía productora del material radiactivo provee los medios para reemplazar el ^{137}Cs .
- 9.- Los cambios de dosis con el tiempo pueden calcularse fácilmente y el espesor del blindaje puede también calcularse fácilmente, porque las emisiones radiactivas están regidas por las leyes de decaimiento radiactivo, al no haber una mezcla de radioisótopos.
- 10.- Los costos de blindaje son menores que los de ^{60}Co .
- 11.- Presenta un espectro simple apreciable, pudiéndose fijar la dosis deseada fácilmente.
- 12.- Puede tratar sólidos líquidos de 6-10% de composición de sólidos con densidad de 1g/cm^3 . Tam---

bién puede tratar sólidos secos con 50% de composición, con densidad de 0.5 g/cm^3 .

- 13.- Puede tratar agua después de pasar por el tratamiento por cloración, para reducir aún más el contenido de microorganismos y obtener agua para beber.
- 14.- Reduce de un 99-100% el contenido de microorganismos patógenos a dosis de 250-400 Krad en el desecho sólido-líquido.
- 15.- Su producción está directamente relacionada con la industria nuclear, estando a disposición de la demanda del mercado, para que los operadores de plantas de reprocesamiento de combustible nuclear separen el ^{137}Cs .
- 16.- Su tiempo de vida media es 5.74 veces mayor que ^{60}Co , implicando un costo de reemplazamiento menor.

Tiempo de Vida Media.- Es el tiempo necesario para --
que la actividad decaiga a la
mitad que inicialmente tenía.

I.c. Fuente de Radiación Gamma de ^{60}Co .

DESVENTAJAS.

- 1.- Actualmente en México no se cuenta con los medios para producirlo.

- 2.- El costo por curie comparado con ^{137}Cs es más caro, aproximadamente \$ 0.80 de dólar para la mayor capacidad de la planta.
- 3.- El costo de reemplazamiento del material nuclear es mayor que el de ^{137}Cs .
- 4.- Presenta desventaja económica respecto a otros tipos de métodos de desinfección de sólidos líquidos.
- 5.- Si el método de tratamiento se difunde a nivel mundial, se requeriría aproximadamente de 50-100-MCi/año.

VENTAJAS.

- 1.- Aunque el costo por curie de ^{60}Co es mayor que ^{137}Cs , se compensa por necesitar menor cantidad de curies para igualar una fuente con una eficiencia efectiva igual a la de ^{137}Cs . (Esto se verifica en las páginas 74 y 76 de la parte 5.2).
- 2.- El producto después de haber sido irradiado no presenta radiactividad.
- 3.- El rayo gamma emitido por ^{60}Co tiene mayor energía que el emitido por ^{137}Cs , con energías de 1.17 y 1.33 Mev y una penetración en agua pura de 64 cm.

- 4.- El tamaño de la fuente es menor en comparación con ^{137}Cs .
- 5.- En más de 30 años de operación en las diferentes industrias ha demostrado confiabilidad y facilidad al personal de operación.
- 6.- Hay un gran número de proveedores de ^{60}Co en Europa, Australia, Canadá, U.R.S.S., India, U.S.A.
- 7.- La compañía productora de material radiactivo -- provee los medios para reemplazarlo.
- 8.- La fuente radiactiva es segura por no tener partes móviles.
- 9.- Los cambios de dosis con el tiempo pueden calcularse fácilmente y el espesor de blindaje puede diseñarse en forma simple, porque las emisiones radiactivas están regidas por las leyes del decaimiento radiactivo y no existe una mezcla de radioisótopos.
- 10.- No presenta problemas en la distribución del material radiactivo en los contenedores como es el caso de ^{137}Cs .
- 11.- Puede garantizarse que el producto irradiado reciba en un tiempo la dosis deseada, obteniendo el producto con las especificaciones anheladas.
- 12.- Puede tratar sólidos líquidos de 6-10% de composi

ción de sólidos, con densidad de 1 g/cm^3 , también puede tratar sólidos secos con 50% de composición de densidad 0.5 g/cm^3 .

- 13.- Puede tratar agua después de pasar por el tratamiento de cloración, para reducir aún más el contenido de microorganismos y obtener agua para tomar.
- 14.- Reduce de un 99-100% el contenido de microorganismos patógenos a dosis de 250-400 Krad, en el desecho sólido líquido.
- 15.- Tiene menor inversión inicial que ^{137}Cs .
- 16.- Tiene pérdida de energía por auto-absorción del 10%.

II.a. Aceleradores de Electrones.

DESVENTAJAS.

- 1.- Como los electrones acelerados tienen su poder penetrante en función del potencial del acelerador, se necesitarían varios millones de electrones volt, para poder solventar la poca penetración de los electrones en el sólido líquido radiado, trayendo consigo que para tratar grandes

volúmenes, el problema sería una compleja electrónica que no podría ser aplicable a escalas industriales.

- 2.- La primordial limitante para el uso de electrones de alta energía es su corta penetración en agua que es de 0.5 cm/MeV.
- 3.- Requeriría personal operativo altamente calificado, que a diferencia de ^{60}Co y ^{137}Cs no es necesario.
- 4.- Se tendría un alto consumo de energía eléctrica, el cual no ayuda a la conservación de recursos no renovables.
- 5.- Se tendría por falla mecánica o electrónica una interrupción de tiempo considerable.
- 6.- En algunas ocasiones se operaría las 24 horas del día, con un flujo continuo de fluido a tratar y esto puede o no acoplarse a la planta de tratamiento de agua negra.

VENTAJAS.

- 1.- El problema de la poca penetración de los electrones en el sólido líquido con una densidad de 1 g/cm^3 y del sólido seco con una composición de 50% de sólidos de densidad 0.5 g/cm^3 , pueden solventarse si se diseña un arreglo de tal manera que se pueda llevar a cabo la irradiación del

- fluido, de tal manera que se tenga una película - de poco espesor y así manejar grandes volúmenes.
- 2.- El costo por litro de sólido líquido es menor que cuando se utiliza ^{60}Co o ^{137}Cs (ver parte 5.2).
 - 3.- Los aceleradores de electrones tienen una aplicación muy extensa en diversos campos.
 - 4.- Son seguros y confiables.
 - 5.- Puede tratar sólidos líquidos de 6-10% de composición de sólidos con una densidad de 1 g/cm^3 , también puede tratar sólidos secos con 50% de composición de densidad 0.5 g/cm^3 .
 - 6.- Puede tratar agua después de pasar por el tratamiento por cloración, para reducir aún más el contenido de microorganismos patógenos y obtener agua para beber.
 - 7.- Reduce 99-100% el contenido de microorganismos patógenos a dosis de 400 Krad en el desecho sólido líquido.

II.b. Espectros Electromagnéticos.

Otro posible método a considerar es el uso de la -- energía de los espectros electromagnéticos. La luz ultra -- violeta sólo es efectiva para purificar agua en pocas cantidades, pero es ineficiente para un desecho crudo a nivel de

efluente secundario. Por tanto, este método no presenta posibilidades.

RESUMIENDO.

Los tipos de fuentes que se recomienda utilizar para la disminución de microorganismos patógenos son:

Actualmente: ^{60}Co .

A futuro: ^{137}Cs y aceleradores de electrones.

Los aceleradores de electrones se propone emplearlos cuando se manejen volúmenes mayores, que no puedan ser tratados por ^{60}Co y ^{137}Cs . Los volúmenes son dados en la parte -- 5.2 (análisis de pre-inversión).

5.2. Elección del tipo de fuente radiactiva y análisis de pre-inversión.

La planta de tratamiento de D.D.F. que se eligió para tratar el sólido líquido de desecho por radiación gamma, es la planta que tiene mayor capacidad de diseño "Cerro de la Estrella" con 4 000 l/s, que está constituida por dos unidades de tratamiento: norte y sur; cada una con una capacidad de diseño de 2 000 l/s aproximadamente, que produce un gasto de lo

do de desecho hacia el gran canal o drenaje profundo mayor, ocasionando un incremento de contaminación de este efluente, lo cuál origina peligro constante para los bienes naturales al paso de esta corriente. También se escogió esta planta por tener una unidad de tratamiento terciario (tratamiento para obtener agua para tomar), próxima a funcionar, y tener terreno suficiente para la instalación de la planta radiactiva.

La capacidad máxima de operación de la planta es de 700 l/s y considerando que las dos plantas norte y sur funcionarán al mismo tiempo, se tendría un total de 1400 l/s de agua negra a tratar por el método dicho en el capítulo IV.

Por el análisis visto en el punto 5.1, se aprecia que la fuente de ^{60}Co es la más aceptable actualmente desde un punto de vista técnico, falta ver si económicamente lo es también; para esto se analizarán las tres fuentes siguientes: ^{60}Co , ^{137}Cs y aceleradores de electrones para varios gastos que pueden manejar las fuentes. El gasto no fue posible que fuera el real de la planta interesada para poder elegir la fuente radiactiva más conveniente desde un punto de vista económico y técnico, por no haberse tenido acceso a datos que ayudaran a elaborar un balance de materia de la

planta o un valor de flujo del lodo de desecho en forma directa o indirecta.

Análisis de Pre-Inversión.

Para llevar a cabo el análisis de pre-inversión se necesita en primera instancia conocer un gasto del sólido - líquido a tratar. Para esto se considerarán 4 diferentes gastos para cada una de las 3 fuentes a comparar y de esta manera se tenga una comparación económica de las fuentes suponiendo que:

- | | | | |
|-------------|-------------------------------|----------------|--|
| 1) Densidad | lg/c.c. | | |
| | $1\text{m}^3 = 1\text{ton}$ | | |
| | $1\text{m}^3 = 264.2$ galones | | |
| 2) Dosis | mínima (250-400) Krad | | |
| | intermedia 1 M rad | | |
| | máxima 2.5 M rad | esterilización | |
| | | total | |

A dosis mínima se ha comprobado que en plantas pilotos se obtienen:

- En la planta Deer Island, USA, con dosis de 400 - K rad para un volumen a tratar de $650-4800\text{ m}^3/\text{d}$ por un ace

lerador de electrones, es suficiente para obtener una desinfección adecuada.

- En la planta de Giselbullach, Alemania, se emplea una fuente de ^{60}Co para tratar con 650 000 Ci, un gasto de sólido líquido de $150 \text{ m}^3/\text{d}$ con una composición de 4 - 6% de sólidos, la dosis es de 300 Krad obteniéndose también una desinfección adecuada.

I Planta de Cobalto.

Trabaja con tipo de proceso por lotes.

Para dosis de 1 M rad gal/hr requiere para operar -
22 hr/d _____ 1410 Ci

1 Mrad gal/d requiere _____ 64 Ci

(*)

El cálculo de la actividad es: $A = \frac{85.1 \times \text{dosis Mrad} \times \text{lb/hr}}{0.4}$

| Gasto (gal/d) | Fuente | \$/Ci |
|---------------|----------------|-------|
| 1) 6,600 | 422 400 Ci | 0.88 |
| | \$ 371 712 | |
| | \$ 66 908 160 | |
| 2) 13,200 | 845 450 Ci | 0.85 |
| | \$ 718 632 | |
| | \$ 129 353 760 | |
| 3) 26,400 | 1,691 000 Ci | 0.83 |
| | \$ 1 403 530 | |
| | \$ 252 635 400 | |

| | | | |
|----|--------|----------------|------|
| 4) | 52,800 | 3 382 000 Ci | 0.80 |
| | | \$ 2 705 600 | |
| | | \$ 487 008 000 | |

(*) Referencia # 35.

Blindaje.

- 1) \$ 86 800
\$ 15 624 000
- 2) \$ 232 200
\$ 40 176 000
- 3) \$ 359 600
\$ 64 728 000
- 4) \$ 496 000
\$ 89 280 000

Instalación del Irradiador.

- 1) \$ 248 000
\$ 44 640 000
- 2) \$ 289 332
\$ 52 079 925
- 3) \$ 330 665
\$ 59 519 851
- 4) \$ 372 000
\$ 66 960 000

| Gasto (gal/d) | 6 600 | 13 200 | 26 400 | 52 800 |
|--|------------|------------|------------|------------|
| Costo/d | | | | |
| Costo Capital (10%) | \$ 34 842 | \$61 159 | \$ 103 256 | \$ 176 232 |
| Depreciación(10años) | \$ 34 842 | \$ 61 159 | \$ 103 256 | \$ 176 232 |
| Reemplazamiento de ⁶⁰ Co | \$ 26 763 | \$ 35 439 | \$ 69 215 | \$ 133 427 |
| Salarios | \$ 22 320 | \$ 27 900 | \$ 33 480 | \$ 39 060 |
| Carga de fuente | \$ 8 928 | \$ 10 044 | \$ 11 160 | \$ 18 972 |
| Energía, manteni - miento, dosimetría | \$ 5 580 | \$ 6 696 | \$ 7 812 | \$ 8 928 |
| Costo Aproximado/d | \$ 133 275 | \$ 202 397 | \$ 328 179 | \$ 552 851 |
| Costo aproximado/gal | \$ 20.2 | \$ 15.3 | \$ 12.4 | \$ 10.5 |

II Planta de Cesio.

| <u>Gasto (gal/d)</u> | <u>Diámetro del lápiz 1".</u> |
|----------------------|-------------------------------|
| 6 600 | 2,168 000 Ci A 56 ¢/Ci |
| | \$ 1 214 080 |
| | \$ 218 534 400 |
| 13 200 | 4,337 000 Ci a 56 ¢/Ci |
| | \$ 2 428 720 |
| | \$ 437 169 600 |
| 26 400 | 8,675 000 Ci a 56 ¢/Ci |
| | \$ 4 858 000 |
| | \$ 874 440 000 |

52 800 ————— 17 350 000 Ci a 56 C/Ci

\$ 9 716 000

\$ 1 748 880 000

| Gasto (gal/d) | 6 600 | 13 200 | 26 400 | 52 800 |
|---|------------|------------|------------|-------------|
| Costo/d | | | | |
| Costo Capital(10%) | \$ 63 297 | \$ 128 933 | \$ 253 760 | \$ 498 713 |
| Depreciación(10años) | \$ 63 297 | \$ 128 933 | \$ 253 760 | \$ 498 713 |
| Salarios | \$ 22 320 | \$ 27 900 | \$ 33 480 | \$ 39 060 |
| Energía, manteni- miento, dosimetría | \$ 5 580 | \$ 6 696 | \$ 7 812 | \$ 8 928 |
| Costo aproximado/d | \$ 154 494 | \$ 292 462 | \$ 548 812 | \$1 027 558 |
| Costo Aproximado/gal | \$ 23.4 | \$ 22.1 | \$ 20.8 | \$ 19.5 |

Para la obtención de la depreciación, el blindaje se considera 20% más económico que el de ^{60}Co .

Como puede apreciarse no se incluye el reemplazamiento del material radiactivo y carga de la fuente, por tener el ^{137}Cs un tiempo de vida media mayor que ^{60}Co . También se considera que los salarios serían los mismos que ^{60}Co así como el costo de energía, mantenimiento y dosimetría

III Aceleradores de electrones.

Tipo de proceso continuo

| <u>Gasto (gal/d)</u> | <u>Acelerador</u> |
|----------------------|---|
| 6 600 | 1.25 Kw Tipo ICT con capacidad máxima de 10,6000 gal/d o Tipo linac con capacidad máxima de 9 200 gal/d |
| 13 200 | 25 Kw Tipo ICT con capacidad máxima de 21 000 gal/d |
| 26 400 | 75Kw Dynamitrón |
| 52 800 | 75Kw Dynamitrón con capacidad máxima de 60 000 gal/d |
| 79 200 | 150Kw Dynamitrón con capacidad máxima de 125 000 gal/d |

Restricciones máximas de espesor para el tipo de Acelerador

| | | |
|-------|--------|------|
| LINAC | 3.5 cm | |
| DC | 1 Mev | 1cm. |
| | 1.5Mev | 1cm. |
| | 3Mev | 1cm. |

Precio del Acelerador

| Gasto (gal/d) | Unidad | Costo de Unidad | Costo de blindaje. |
|------------------|---------------|-----------------|--------------------|
| 0 - 9 200 | 1 LINAC | \$2 480 000 | \$ 434 000 |
| | | \$ 446 400 000 | \$ 78 120 000 |
| 9 200 - 21 000 | 2 de 25Kw | \$ 2 480 000 | \$ 310 000 |
| | 3Mev tipo | \$ 446 400 000 | \$ 55 800 000 |
| | RDI Dynatrons | | |
| 21 000- 60 000 | 2 de 75Kw | \$ 2 728 000 | \$ 372 000 |
| | 3 Mev tipo | \$ 491 040 000 | \$ 66 690 000 |
| | RDI Dynatrons | | |
| 60 000 - 125 000 | 2 de 150Kw | \$ 3 100 000 | \$ 434 000 |
| | 3 Mev tipo | \$ 558 000 000 | \$ 78 120 000 |
| | RDI Dynatrons | | |

NOTA: Experimentalmente se ha encontrado que unidades menores de 3 Mev son adecuadas para esta aplicación. Dos unidades de 3 Mev para cada gasto pueden ser posibles, las cuales dan lugar a restricciones de espesor de -- 3cm. Por tanto, unidades y costos para varios gastos fueron considerados.

No se incluye el costo que tiene el funcionamiento automático del acelerador.

| Gasto (gal/d) | 10 000 | 20 000 | 50 000 | 100 000 | 125 000 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Costo/d | | | | | |
| Costo capital (10%) | \$137 589 | \$137 589 | \$152 877 | \$174 279 | \$174 279 |
| Depreciación(10años) | \$137 589 | \$137 589 | \$152 877 | \$174 279 | \$172 279 |
| Energía 5/Kw H | \$3 571 | \$7 142 | \$21 427 | \$37 944 | \$42 408 |
| Energía de agua de enfriamiento | \$4 464 | \$6 696 | \$8 928 | \$13 392 | \$15 624 |
| Costo de reemplazamiento y mantenimiento. | \$39 060 | \$44 640 | \$55 800 | \$52 496 | \$65 844 |
| Salarios | \$44 640 | \$51 336 | \$61 380 | \$66 960 | \$69 192 |
| Costo aproximado/d | \$366 913 | \$384 992 | \$453 289 | \$529 350 | \$541 626 |
| Costo aproximado/gal | \$36.7 | \$19.2 | \$9.0 | \$5.3 | \$4.3 |

Resumiendo.

Costo total aproximado de la inversión inicial, para las diferentes capacidades de las plantas.

| Gasto (gal/d) | 6 600 | 13 200 | 26 400 | 52 800 | 125 000 |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|--------------|
| Inversión inicial | | | | | |
| ⁶⁰ Co | \$127 172 160 | \$221 609 685 | \$376 883 251 | \$643 248 000 | - |
| ¹³⁷ Cs | \$231 033 600 | \$469 310 400 | \$926 222 400 | \$1,820,304,000 | - |
| Ac. electrones* | \$524 520 000 | \$502 200 000 | \$558 000 000 | \$636 120 000 | \$636,120,00 |

Por la tabla anterior se obtiene para los gastos siguientes que la inversión inicial es aproximadamente:

| <u>Gasto gal/d</u> | <u>Inversión inicial</u> |
|--------------------|--|
| 6 600 | $^{60}\text{Co} < ^{137}\text{Cs} < \text{Ac. electrones}$ |
| 13 200 | $^{60}\text{Co} < ^{137}\text{Cs} < \text{Ac. electrones}$ |
| 26 400 | $^{60}\text{Co} < \text{Ac. electrones} < ^{137}\text{Cs}$ |
| 52 800 | $\text{Ac. electrones} < ^{60}\text{Co} < ^{137}\text{Cs}$ |

* Como se aprecia en la tabla de la pág. 79, los aceleradores de electrones presentan un amplio rango en el flujo que pueden manejar para la misma inversión inicial.

El costo/gal de las diferentes capacidades de las tres fuentes son:

| <u>Gasto (gal/d)</u> | 6 600 | 13,200 | 26 400 | 52 800 | 125 000 |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <u>\$/gal</u> | | | | | |
| ^{60}Co | \$ 20.2 | \$ 15.3 | \$ 12.4 | \$ 10.5 | — |
| ^{137}Cs | \$ 23.4 | \$ 22.1 | \$ 20.8 | \$ 19.5 | — |
| Ac. electrones | \$ 36.7 | \$ 19.2 | \$ 9.0 | \$ 5.3 | \$ 4.3 |

Por la anterior tabla, el costo/gal para las diferentes plantas es:

| <u>Gasto (gal/d)</u> | <u>\$/gal</u> |
|----------------------|--|
| 6 600 | $^{60}\text{Co} < ^{137}\text{Cs} < \text{Ac. electrones}$ |
| 13 200 | $^{60}\text{Co} < \text{Ac. electrones} < ^{137}\text{Cs}$ |
| 26 400 | $\text{Ac. electrones} < ^{60}\text{Co} < ^{137}\text{Cs}$ |
| 52 800 | $\text{Ac. electrones} < ^{60}\text{Co} < ^{137}\text{Cs}$ |

a) Definitivamente el ^{137}Cs no es comparable con ^{60}Co y aceleradores por tener inversión inicial

y costo operativo mayor, para capacidades mayores de 6 600 gal/d.

- b) Las plantas de cobalto y aceleradores de electrones son las más económicas, para capacidades a partir de 6 600 gal/d desde un punto de vista operativo.
- c) Los aceleradores de electrones, son más económicos en inversión inicial como en menor costo de operación para capacidades mayores de --- 52 800 gal/d, que las fuentes de ^{60}Co y ^{137}Cs .
- d) NOTA. Los costos son aproximados al año 1984, considerando una equivalencia con el dólar a \$ 180.00.
Se partió de precios de 1980 y se considera una inflación promedio de 5.6% de los E.U. para actualizar precios.
- e) El análisis de pre-inversión puede cambiar si se ajustan ciertos parámetros a condiciones de nuestro país como:

- Salarios.

- Costo de reemplazo y mantenimiento.

- Energía eléctrica.

Las siguientes cuestiones son algunas de las importantes para evaluar una fuente radiactiva:

- Amortización e interés de la fuente.
- Costo de material irradiado.
- Costo total de la fuente.
- Disponibilidad del material radiactivo.
- Forma o geometría de la fuente.
- Gasto a manejar.
- Garantía.
- Los ensambles del material radiactivo.
- Recargas del material radiactivo.
- Seguridad del personal.
- Seguridad operacional.
- Tipo de encapsulamiento y material de la cápsula.
- Tipo del material a irradiar.
- Transportación del material radiactivo.

5.3. Descripción de la fuente radiactiva de ⁶⁰Co.

La planta consiste de dos componentes subterráneos.

- 1) Cámara de irradiación.- Está constituida por dos partes:
 - a) Sitio donde se localiza el material radiactivo.

b) Zona donde el fluido es recirculado para re
cibir la dosis de radiación.

2) Zona de bombas y válvulas que dan la recircula--
ción necesaria del fluido de proceso y su evaluau
ción.

a) Cámara de irradiación.

El ^{60}Co puede ser de forma de pastilla o lápiz, el-
cual es introducido en tubos o contenedores que son de for-
ma de cápsula con doble pared de acero inoxidable. Los conu
tenedores están sujetos en un cabezal superior e inferior -
de forma hexagonal. Los arreglos de tubos se cubren total-
mente con una lámina de acero inoxidable, quedando de esta-
forma encerrados en un recipiente hexagonal por donde se hau
ce fluir agua de enfriamiento, siendo su entrada por la plau
ca superior y su salida por la inferior.

En la figura 5.3.1. se muestra un lápiz típico de -
 ^{60}Co .

b) Zona de recirculación del fluido de proceso.

El flujo es alimentado en la parte superior de la zou
na de irradiación. y guiado en forma descendente por con -

ductos de acero inoxidable, unidos a las paredes de acero-inoxidable del recipiente. El espacio para el fluido es de geometría hexagonal de acero inoxidable. El fluido es en esta forma irradiado y manipulado fácilmente.

La fuente radiactiva se aloja en una estructura -- subterránea para hacerla más segura y más económica por -- ahorro de materiales en el blindaje.

La fuente radiactiva de ^{60}Co en total debe de contener:

- Alumbrado.
- Blindaje contra las radiaciones.
- Bombas.
- Cámara de radiación.
- Cuarto de control.
- Cuarto de mantenimiento.
- Equipo de monitoreo para la radiación.
- Estructura (edificio).
- Grúa de aproximadamente 25 ton.
- Instrumentación.
- Sala de servicios.
- Servicio para atender una emergencia.
- Sistema de enfriamiento.

- Tuberías.
- Válvulas.
- Zona de recirculación del fluido de proceso.

En la figura 5.3.2. se muestra una perspectiva de la fuente de radiación de ^{60}Co y de la zona del fluido de proceso para absorber la dosis de radiación, así como el sistema de enfriamiento y otros aditamentos.

En la figura 3.3.3. se muestra la zona de bombas y válvulas del sistema de recirculación.

Además de tratar sólidos líquidos con una composición de 6-10% de materia sólida con densidad de 1g/cm^3 , puede tratar sólido seco de densidad 0.5g/cm^3 de la siguiente manera:

| <u>Gasto (gal/d)</u> | <u>^{60}Co</u> |
|----------------------|------------------------------------|
| 55 000 | 483 500 Ci |
| 110 000 | 967 000 Ci |
| 220 000 | 1 934 000 Ci |
| 330 000 | 2 901 000 Ci |

Otra ventaja que presenta no sólo el ^{60}Co , sino --

también ^{137}Cs y aceleradores de electrones, es el poder -- tratar agua después del tratamiento por cloración para obtener agua para beber.

La eficiencia efectiva de la radiación se estima -- de 40% debido a las pérdidas ocasionadas por los contenedores, agua de enfriamiento, pared que cubre los contenedores y la radiación que no interactúa con el fluido, para el caso de ^{60}Co .

5.4. Filosofía de operación del proceso de desinfección.

Los sólidos líquidos son irradiados en lotes. El -- sólido líquido proveniente del sedimentador primario y los -- dos activados, pasan por un tanque de almacenamiento (T-1), con un volumen en base a la cantidad que se vaya a tratar, -- cuando se abre la válvula de llenado del tanque (V-1), con -- la finalidad de establecer la concentración de sólidos en el fluido antes de entrar a la cámara de irradiación por gra -- vedad, para poder determinar el tiempo de exposición a la -- que estaría sujeto. Una vez que se haya verificado que las -- válvulas de salida del fluido de la cámara de irradiación -- (V-3, V-4) estén cerradas y la válvula del sistema de re -- circulación esté abierta (V-5), la válvula de salida del --

tanque de almacenamiento (V-2) se abre, se llena la tube
ría del sistema de recirculación y la cámara de irradiación con el fluido y se cierra la válvula (V-2). Se pone a trabajar la bomba de recirculación (P-1) para recircu-
lar el fluido, a fin de obtener una homogeneidad en la dosis de absorción hasta que termine el tiempo de irradiación. Una vez terminado el tiempo de irradiación, se cierra la
válvula (V-5) y se abre la válvula (V-4) y se pone a fun
cionar la bomba de evacuación (P-2) para bombear el flui
do a otro equipo.

Como hay generación de calor por el material ra-
diactivo, el agua en que están contenidas las fuentes a-
yuda a remover el calor por un sistema de enfriamiento, -
con ayuda de la bomba (P-3).

Mientras ocurre el proceso de higienización, se-
puede estar llenando el tanque de almacenamiento, para -
que después de evacuado el sólido líquido de la cámara -
de irradiación se vuelva a llenar el sistema nuevamente,
la secuencia de proceso es a intervalos de tiempo y con-
troles automáticos, no requiriendo una especial aten --
ción excepto ocasionalmente.

Es recomendable lavar con agua limpia la planta-
una vez a la semana o verificar que el pH del efluente -

no se incremente de 7.1 a 8.0 para prevenir la formación de partículas en partes planas del sistema.

Es de primordial importancia realizar trabajo dosimétrico en la planta, para determinar que actividad se tiene, para fijar así el tiempo de exposición a la que estaría sujeto el fluido de proceso y cumplir con el objetivo.

También es importante monitorear diferentes lugares de la planta para ver si no hay incremento de la radiactividad del medio.

5.4.1. Mecanismo de reemplazo del material radiactivo.

Los pasos para reemplazar y recargar las fuentes de radiación en los contenedores son:

1. Llenar con agua el recinto donde están los contenedores de ^{60}Co , como medida de protección de la radiación, así como la zona de paso del fluido de proceso.

2. Quitar la loza que cubre al tanque irradiador con la grúa provista para tal fin que se encuentra en la parte superior, figura 5.4.1.

3. El material radiactivo de los tubos o contenedores son removidos por un manipulador, que controla la remoción y conduce las fuentes a cajas blindadas.

4. Se procede a desmontar los contenedores para que -

sean reemplazados por otros nuevos.

5. Una vez colocados los nuevos tubos, bajar el transportador de las fuentes.

6. De cajas laterales tomar un nuevo material radiactivo y depositarlos en los contenedores hasta llenarlos.

7. Volver a colocar la loza.

El mecanismo de reemplazo se observa en la figura 5.4.

1.

5.5. Posibles problemas operativos.

En referencia a la experiencia de la planta piloto -- operando 18 meses para tratar lodo de desecho en Geiselbullach, Republica Federal Alemana, durante los años de 1972 y 1973, - con una capacidad de $300 \text{ m}^3/\text{d}$ a dosis de 300 Krad, se obtuvieron los siguientes informes.

- Acumulación de depósitos en el sistema de enfriamiento.
- Después de 7 meses de continua operación, se encontraron depósitos de diversos espesores en centímetros en lugares planos del impulsor de la bomba, cuyo análisis dió de fórmula $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, este depósito fue debido al incremento del pH de 7.1 a 8.0. El incremento del pH fue causado por desprendimiento de CO_2 del sólido y es removido por un ventilador de tiro forzado. El método eficiente para disolver este

- depósito es con ácido fórmico al 5%, disolviendo por cada 100 ml de ácido 10 g de sustancia. La efectividad del ácido fórmico termina a un pH de 3.1 a 3.2.
- La recirculación origina vibraciones en el tubo central (donde está contenido el material radiactivo), - para evitar ésto, las válvulas deben estar parcialmente cerradas en el sistema de recirculación para reducir la potencia de las bombas o la velocidad del impulsor con nuevos motores.
 - Para prevenir la acumulación de partículas, semanalmente se debe lavar con agua o controlar que el pH no sea incrementado de 7.1 a 8.0 .
 - Serios problemas no pueden presentarse debido a su simple diseño, el cuál tiene la ventaja adicional de que la planta no requiere personal especializado para su operación.

Tabla 5.1.0. Isótopos radiactivos comúnmente usados como fuentes de radiación.

(*)

| Isótopo | Vida media | Tipo de energía (Mev) de la principal radiación - emitida. |
|------------------------------|-------------------------|--|
| Isótopos naturales | | |
| Polonio-210 | 138 días | α , 5.304 (100%) γ , 0.800 (0.0012%) |
| Radio-226 | 1620 años | α , 4.777 (94.3%) α , 4.589 (5.7%) γ , 0.188 (4.00%) (+ radiación de productos de decaimiento) |
| Radon-222 | 3.83 días | α , 5.49 (+ radiación de productos de decaimiento) |
| Isótopos artificiales | | |
| | | prom. |
| Cesio-137 | 30 años | β , 1.18 max (8%) β , 0.52 max (92%) γ , 0.6616 (82%) |
| | | 0.24 |
| Cobalto-60 | 5.27 años | β , 0.3414 max γ , 1.332 γ , 1.173 |
| | | 0.93 |
| Estroncio-90+ | 28.0 años | β , 0.544 max |
| | | 0.205 |
| Ytrio-90 | (γ^{90} , 64hr) | β , 2.25 max |
| | | 0.93 |

(*) Referencia # 41.

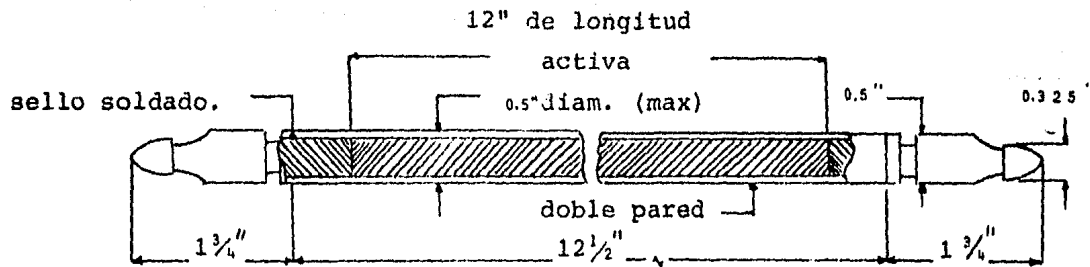


Figura 5.3.1. Lápiz típico de ⁶⁰Co.

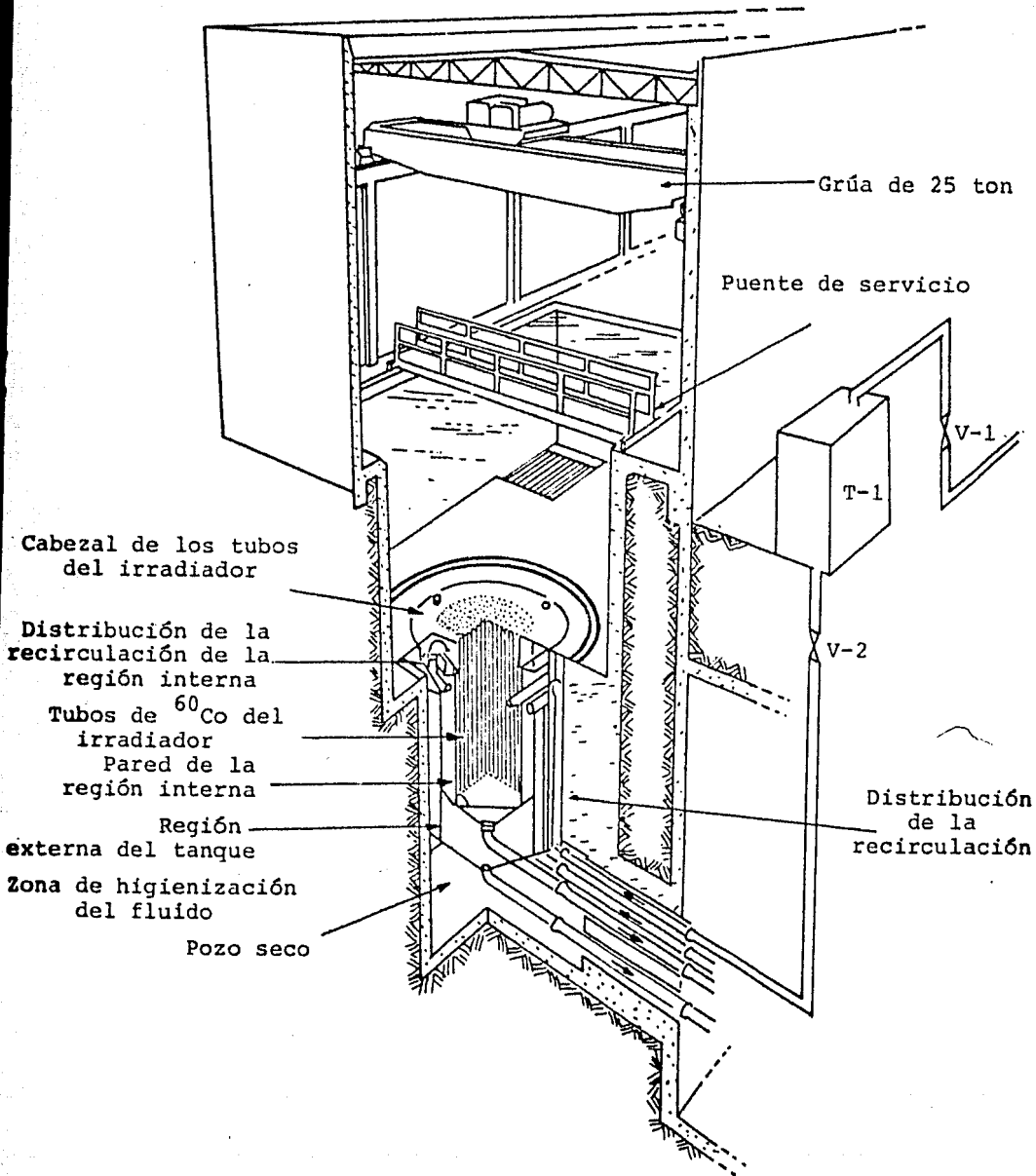


Figura 5.3.2. Perspectiva de la fuente de radiación de ^{60}Co .

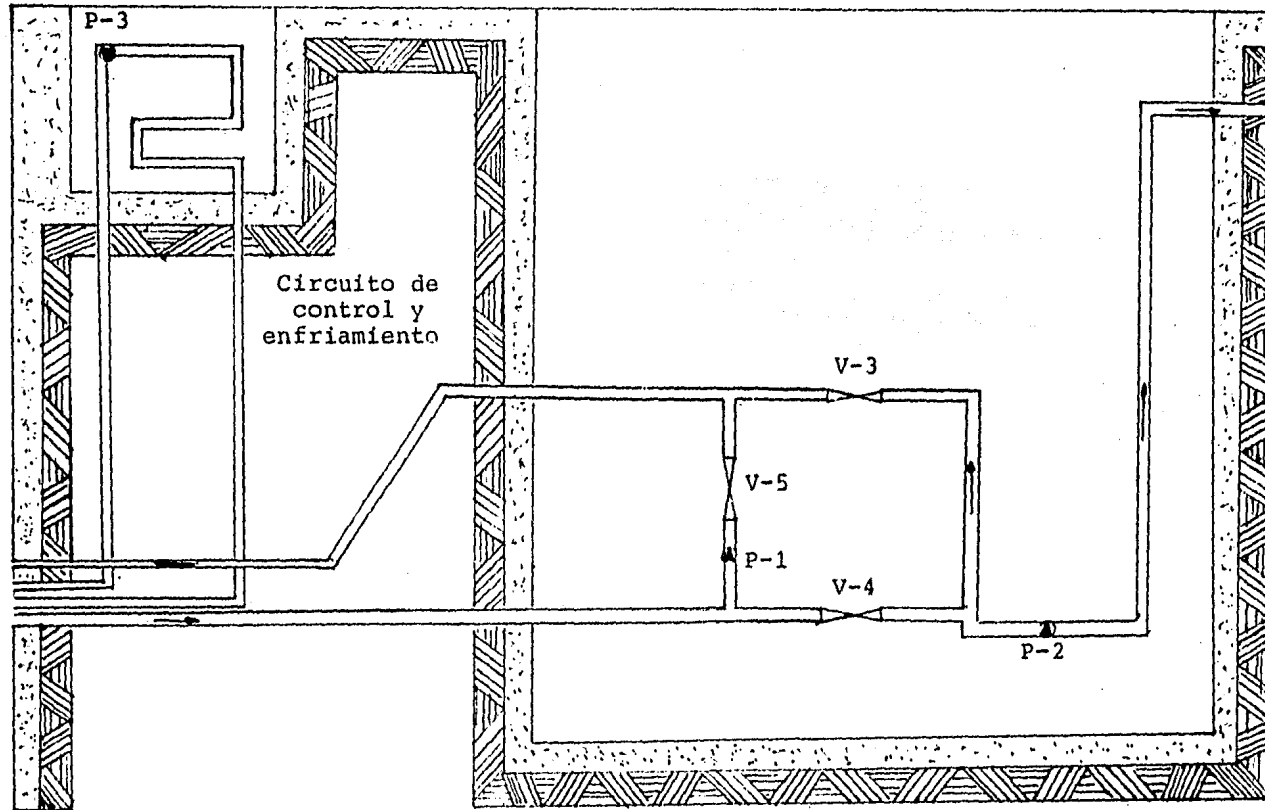


Figura 5.3.3. Zona de bombas y válvulas del sistema de recirculación del fluido.

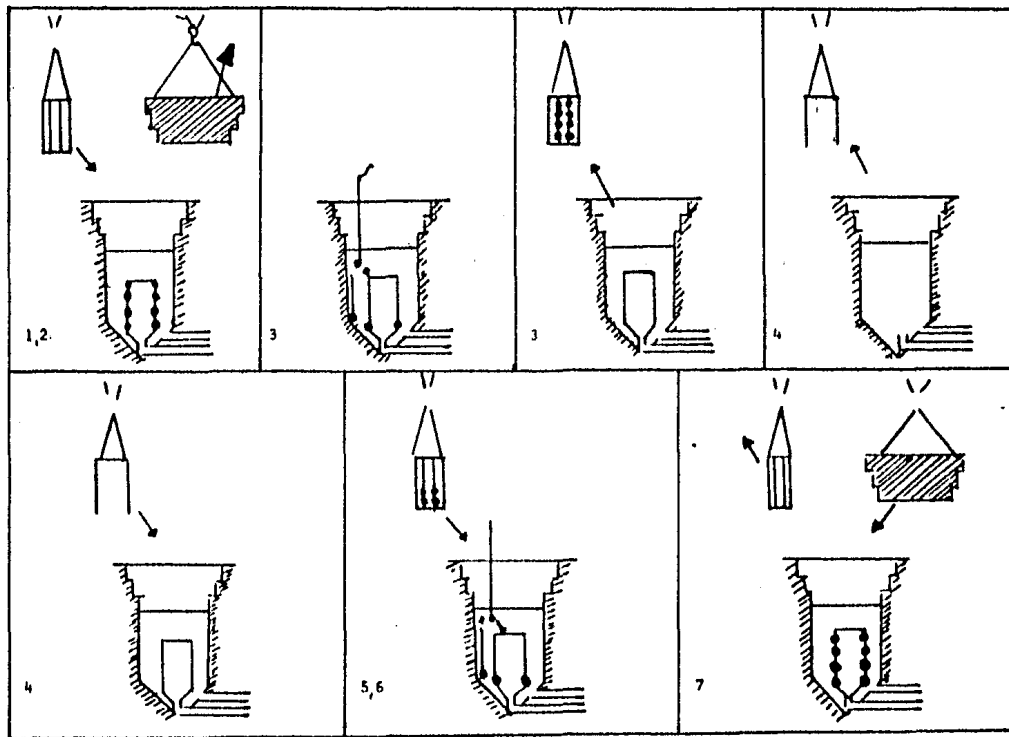


Figura 5.4.1. Mecanismo de reemplazo del material radiactivo.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

La tesis es una aplicación más de los radioisótopos a escala industrial como un anteproyecto para tratar los sólidos-líquidos o lodos de desecho de la planta de tratamiento de aguas negras de Ixtapalapa "Cerro de la Estrella" en el D.F. -- con radiación gamma, por medio de una fuente radiactiva de -- ^{60}Co , para disminuir a un nivel mínimo el contenido de microorganismos patógenos que los acompañan.

En vista del crecimiento demográfico de la ciudad de México, las enfermedades hídricas tienden a incrementarse paralelamente por el aumento de volumen de agua negra a tratar y con ello se espera un incremento significativo de sólidos de desecho a tratar en los próximos años.

Debido a que no se le da ningún tratamiento al lodo de desecho, no sólo en la planta elegida sino también en las otras plantas de tratamiento de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, se presenta aquí una contribución para solucionar este problema.

Se eligió la planta "Cerro de la Estrella" por tener la máxima capacidad de diseño 4000 l/s y la capacidad de operación si se consideran las dos plantas (Norte y Sur) es aproximadamente de 1400 l/s, teniéndose un gasto de lodo de desecho-

mayor que otras plantas de tratamiento hacia el gran canal o drenaje profundo. También se escogió esta planta por tener una unidad de tratamiento terciario próxima a funcionar y tener terreno suficiente para la instalación de la planta radiactiva.

En base a los capítulos anteriores, se comprende que el tratamiento por radiación para la desinfección de sólidos-líquidos de desecho de la planta de Ixtapalapa es eficaz. Debido a la magnitud e importancia que este método presenta en un futuro mediano es preciso señalar y valorar las ventajas e inconvenientes.

Las razones para utilizar la radiación ionizante en tratamientos de desechos domésticos, industriales y combinados son:

- 1.- Aumenta la recuperación de sólidos.
- 2.- Con ayuda de otros equipos unitarios se puede lograr acondicionar el sólido y hacer un abono para la agricultura con las óptimas condiciones biológicas.
- 3.- Degrada la materia orgánica.
- 4.- En conjunción con oxígeno y cloro se presenta un efecto sinérgico.

Efecto sinérgico.- Fenómeno mediante el cual se ---
crea una cooperación mutua para
separar sustancias con mayor e--
fectividad.

5.- El agua después del tratamiento sólido líquido --
por radiación puede usarse para irrigación, propó
sitos industriales y para tomar, dependiendo de -
la dosis absorbida.

6.- El producto irradiado desde luego no presenta ra-
diactividad inducida.

7.- El equipo de tratamiento de lodos de desecho de a
guas negras con radiación gamma de fuentes como -
 ^{60}Co y ^{137}Cs o por aceleradores de electrones, no
sólo se puede aplicar para este caso sino también:

7.1 Para tratar agua después del tratamiento por
cloración, con la finalidad de disminuir el -
contenido de microorganismos patógenos y obte
ner agua para tomar.

7.2 Para tratar desechos acuosos industriales par
te líquida o sólida líquida.

7.3 Para tratar desechos industriales y domésti--
cos en conjunción.

Se pueden tratar sólidos líquidos de 6-10% de composi
ción en sólidos con densidad de 1 g/cm^3 , también puede tratar-

sólidos secos con 50% de composición de densidad 0.5 g/cm^3 .

Para este último tipo de fluido con una cantidad fija de cu-
ries puede tratar mayor cantidad de gasto, ver página 86.

- 8.- El tratamiento radiactivo esta disponible y es -
confiable.
- 9.- Inactiva la microfauna y microflora patógena.
- 10.- La radiación es más efectiva que otros métodos de
desinfección, porque la materia suspendida pro-
tege a los microorganismos patógenos que están em-
bebidos en ésta, evitando su destrucción, ya que
es casi imposible obtener una completa interac-
ción con todas las partículas de materia en los -
sólidos líquidos. En cambio, la radiación no pre-
senta esta dificultad.
- 11.- Mejora la biodegradación del sólido, disminuyendo
así el tiempo de su disposición.
- 12.- Mejora su sedimentación.
- 13.- Mejora la filtración de sólidos (menor tiempo de
filtración).
- 14.- Modifica moléculas orgánicas e inorgánicas (dismi-
nuyendo su toxicidad).
- 15.- No se gastaría tanta energía térmica como en el mé-
todo de pasteurización, trayendo consigo la preser-
vación de combustibles no renovables.

- 16.- Reduce la demanda biológica y química del oxígeno.
- 17.- Reduce de un 99-100% el contenido de microorganismos patógenos a dosis de 250-400 Krad, en el desecho sólido líquido y sólido con 50% de composición. La dosis varía en función de las condiciones de irradiación y de la composición del material a irradiar.
- 18.- Reduce olores pestilentes.
- 19.- Se evita un punto de contaminación que actualmente se presenta en nuestro país, ya que no es tratado el lodo de desecho.
- 20.- Se requiere poco personal para operar las plantas de ^{60}Co , ^{137}Cs y aceleradores de electrones, aunque éstos últimos requieren personal más calificado.

Los cambios en los sólidos líquidos originados por la radiación dependen primordialmente de:

- Actividad de la fuente radiactiva.
- Area expuesta.
- Atmósfera presente.
- Cantidad de energía que es impartida por la radiación y con ello la ionización producida.
- Ciclo mitótico en que se encuentren los microorganismos.
- Composición química y biológica cuantitativa y cua-

litativa que tenga el sólido líquido.

- Condiciones experimentales de la radiación.
- Distribución de los pares iónicos en el medio.
- Dosis de radiación absorbida.
- Estado condensado del medio.
- Concentración del sólido.
- Efectividad de golpe de la radiación.
- Medio nutriente de los microorganismos.
- Naturaleza de la moléculas ionizadas (pares iónicos).
- Radiosensibilidad de los microorganismos.
- Tiempo de exposición.
- Tipo de radiación.
- Tipos de productos de la radiólisis.

El efecto que produce la radiación al desecho sólido es una conjunción:

- A.- Efecto biológico de la radiación.
- B.- Interacción de la radiación en células vivas.
- C.- Interacción de la radiación con la materia.

Cada uno de los efectos anteriores tiene una -- gran influencia, que debe de tomarse en cuenta para obtenerse un resultado satisfactorio, después de la radiación.

Ciclo mitótico. Es un proceso ordenado en el cual se lleva a cabo la precisa e igual distribución del cromosoma duplicado, para formar dos núcleos hijos con igual tipo y número de cromosomas.

El tratamiento de sólidos líquidos por radiación ionizante técnicamente es factible y es mejor que otros métodos de desinfección, con el inconveniente que para manejar volúmenes mayores de 52,800 gal/d no es posible para las plantas de ^{60}Co y ^{137}Cs , a menos que se tenga un arreglo de varios irradiadores para satisfacer una demanda mayor. Puede que no sea competitivo económicamente con otros tipos de desinfección, pero si lo consideramos desde un tipo de vista de preservación ecológica y de sanidad pública, es el método al que tiene que optarse, ya que no hay ningún otro que reduzca a un mínimo el contenido de microorganismos patógenos y nos dé las ventajas que anteriormente se dieron.

Si se quisiera retribuir parte de los gastos que produce este tratamiento y seguir cumpliendo con el objetivo inicial (reducir a un mínimo aceptable el contenido de microorganismos patógenos) se propone:

- 1.- Al poder ser tratado el producto de la planta nuclear con otros equipos unitarios de tratamiento

de lodos se puede llegar a obtener abono natural - para la agricultura (al ser separado el sólido), - La parte líquida se puede utilizar para riego, industria o para tomar, dependiendo de la dosis absorbida.

- 2.- Dependiendo del alcance del proyecto sería provechoso tratar los sólidos líquidos por planta o por zonas en base a la localización de las plantas, en referencia a un análisis detallado técnico-económico.

Para el tratamiento de mayores volúmenes de los que manejan las plantas de ^{137}Cs y ^{60}Co (pudiendo manejar iguales capacidades estas dos plantas), se recomienda utilizar aceleradores de electrones, a pesar de su poca penetración en agua, que se resuelve al diseñar un arreglo para irradiar el fluido, de tal manera que se tenga una película de poco espesor y así manejar grandes volúmenes hasta que se logre la dosis absorbida deseada.

Como se vió en la parte 5.2 páginas 79 y 80, los aceleradores de electrones para un gasto de 52,800 gal/d tienen menor inversión inicial que el de ^{60}Co y ^{137}Cs , también el costo por galón de fluido tratado es menor. Por tanto, si actualmente se quisiera elegir una fuente de radiación ionizante para capacidades mayores de las que puedan tratar las plantas de ^{60}Co y ^{137}Cs , se considerarían los aceleradores de electrones. Para ca

capacidades bajas se recomienda emplear ^{60}Co (ver parte 5,2).

Definitivamente el ^{137}Cs no es comparable con el ^{60}Co y aceleradores, por tener inversión inicial y costo por galón mayor.

Las plantas de ^{60}Co y aceleradores son las más económicas para capacidades a partir de 6,600 gal/d desde un punto de vista operativo.

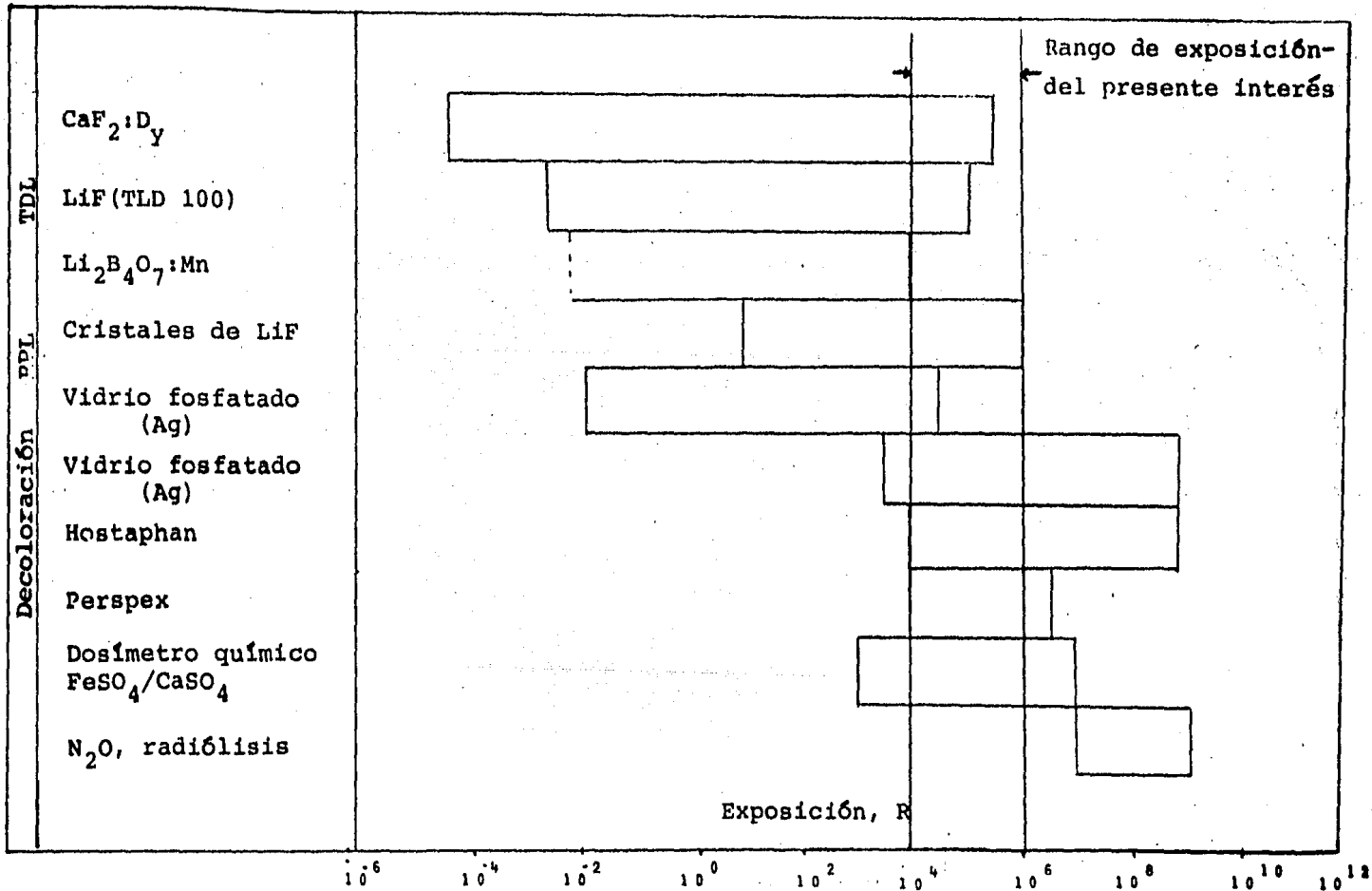
El análisis de pre-inversión puede cambiar si se ajustan ciertos parámetros a condiciones de nuestro país como: salarios, costos de reemplazamiento y mantenimiento del material radiactivo y energía eléctrica.

Debido al diseño de la planta de ^{60}Co es fácil de operar, segura y no requiere de personal calificado para hacerla funcionar.

Los problemas operativos ya son conocidos y sus posibles soluciones, por experiencias en plantas radiactivas en otros países.

NOTA. Los costos son aproximados al año de 1984, considerando una equivalencia con el dólar de --- \$180.00 . Se partió de precios de 1980 y se tomó una inflación promedio anual de los Estados Unidos de 5.6%.

APENDICE



Gráfica 3.3.1 Rangos de medición para diferentes sistemas dosimétricos químicos y de estado sólido.

CUADRO 3.3.2. INSTRUMENTOS DE MONITOREO PORTATILES PARA EL PERSONAL

| INSTRUMENTO | DETECTOR | RADIACION DETECTADA | RANGO NOMINAL | APLICACIONES | OBSERVACIONES |
|---|--|---|---|--|--|
| Cámara de bolsillo lectura indirecta | Cámara de ionización | γ | 5 - 200 mR | Medición de expo- sición y dia- riamente | Relativamente indepen- diente de la energía- y requiere de un car- gador. |
| Cámara de bolsillo lectura indirecta | Cámara de ionización | γ | 5 - 200 mR posible ma- yor rango | Observación vi- sual de la expo- sición y | Posición de la piedra electrométrica en len- tes de aumento |
| Monitor personal de radiación | Tubo G.M. | γ, X, β de alto ni- vel. | Advertencia Audible de- Máx 0.5R/hr | Alerta audible - de campo de ra- diación | Señal de frecuencia - proporcional a la in- tensidad de radiación disponible en rangos- mayores. |
| Dosímetro químico | Tetracloro etileno y pH | γ | 5 rad a 2×10^6 rad | Mide la componen- te γ de un campo mixto. | Leído por titulación- cambio en la conducti- vidad. medición de pH |
| Dosímetro de cristales | Cristales de meta fosfato de plata | γ | 0.005 a va- rios cien- tos de rads o mayores | Mide la exposi- ción γ en un am- plio rango | Requiere lector cali- brador. |

TABLA 3.3,3. MONITORES AMBIENTALES

| INSTRUMENTO | DETECTOR | RADIACION DETECTORA | RANGO NOMINAL | APLICACION | OBSERVACIONES |
|----------------------|----------------------|----------------------------------|---|--|--|
| Juno | Cámara de ionización | α, β, γ | Para γ tres escalas: 50, 500 y 5000 mR/hr | Mide la razón de dosis para γ y β de intensidad relativa. | El error máximo en toda la escala es 10%. |
| Geiger Muller | G-M tubo | $\beta > 0.2$ 1 Mev, γ | 3 escalas: XI, X10, X100; XI es de 600 - 800 n toda la escala | Para $\gamma > 0.2$ Mev y γ mide la razón y pulsos audibles | Dependiendo de la energía puede ser usada como audifonos para respuesta rápida. Algunos modelos se saturan alrededor de 50-100-mR/hr y pueden no indicar razones de dosis altas. |
| Contador gamma | Cristal de NaI | γ | Bajo nivel | Usado para muy bajo nivel de monitoreo γ , - 0.001-1 mR/hr | La sensibilidad depende del tamaño del cristal; depende de la energía. |
| Monitores portátiles | 5 o más tubos G-M | β, γ | | Existen monitores para áreas de supuesta contaminación. | Tiene señales de cantidad audible y punto de alarma ajustables. |

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Alarcón Herrera María Teresa, Desinfección de Aguas Residuales Municipales por Radiación Gamma, Tesis, 1982.
- 2.- Bhatt, Distribution of Chromosome Exchanges Induced by Radiation of Different Qualities, Biophysical Aspects of Radiation Quality Proceeding of a Panel, I.A.E.A., Vienna, - 10-14, April 1967.
- 3.- Casarett Alison P., Radiation Biology, Prentice-Hall, Inc New Jersey, 1968.
- 4.- Cember Herman, Introduction to Health Physics, Pergamon - Press, 1969.
- 5.- Charlesby A., Radiation Sources, Mc. Millan Company, New-York, 1964.
- 6.- Coggle J.E., Biological Effects of Radiation, Wykeham Publications (London) LTD, 1971.
- 7.- Comptont D.M., Destruction of Organic Substances in Waste Water by Ionizing Radiation, Isotopes and Radiation Technology, Vol. 8., No. 4, Summer, 1971.
- 8.- Cork James M., Radiactivity and Nuclear Physics, D. Van - Nostrand Company, INC., 2^a Edition.
- 9.- Denberg A.J. Van, H.D. Hollis, Gamma Irradiation for Sewage Treatment at U.S. Army Facilities, I.A.E.A., SM-194/-- 305, Vienna, 1975.
- 10.- Feates F.S., y D. George, Radiation Treatment of Wastes a Review, Radiation for a Clean Enviroment Proceedings of a

Symposium, Munich 17-21 March, 1975, I.A.E.A., Vienna, ---
1975.

- 11.- Friedlander Gerhart, Nuclear and Radiochemistry, J. Wiley
1964.
- 12.- Gerrard Martha, Sewage and Waste-Water Processing with Iso
topic Radiation: Survey of the Literature, Isotopes and Ra
diation Technology, Vol. 8, No. 4, Summer, 1971.
- 13.- Gerrard Martha, Conceptual Design of an Irradiation Test-
Facility for Waste Water and Sewage Sludge, Isotopes and-
Radiation Technology, Vol. 8., No.4, Summer, 1971.
- 14.- Glassner Alvin, Introduction to Nuclear Science, D. Van -
Nostrand Company, INC., 1961.
- 15.- Goded Echeverría Federico y Serradell García Vicente, Teo
ría de Reactores y Elementos de Ingeniería Nuclear, Secc.
de Publicaciones de la J.E.N., Madrid, 2ª Edición, 1975.
- 16.- Harvey Bernard G., Introduction to Nuclear Physics and --
Chemistry, Prentice-Hall, Inc., 2ª Edition, 1962, 1969.
- 17.- Harwood & Hausner Morse, The Effects of Radiation on Mate
rials, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1958.
- 18.- Herrnberger V.R.D., Fission Product Gamma-Ray Sources as-
an Alternative to Cobalt-60 Sources for Sewage Sludge Ste
rilization, I.A.E.A.- SM -194/505, Vienna, 1975.
- 19.- Hess E., Breer C., Sanitary Effect of Gamma Irradiation -
on Sewage Sludge, I.A.E.A.-SM 194/308, Vienna, 1975.
- 20.- Holl P. & Schneider H., Desinfection of Sewage and Waste-

Water by Irradiation with Electrons of Low Accelerating -
Voltage, I.A.E.A.-SM-194/301, Vienna, 1975,

- 21.- International Atomic Energy Agency, Radioisotope Applications in Industry, Vienna, 1963.
- 22.- Investigation of the Effects of Ionizing Radiation on Synthetic Detergents, Sewage Colloids Characteristics and Sewage Sedimentation, Final Report, USAEC Report COO-275, Undynamics, September 6, 1963, (Nucl. Sci., Abst., 18:53-62).
- 23.- R.D. Jarrett, A Brynolfsson, Wang C.P., Wall Effects in - Gamma-Ray Dosimetry, National and International Standardization of Radiation Dosimetry, Vol. II, I.A.E.A.-SM-222/-33, Vienna, 1977.
- 24.- Katz R., Track Theory and Radiation Quality, Biophysics - Aspects of Radiation Quality, Proceedings of a Symposium- 8-12 March, I.A.E.A., Vienna, 1971.
- 25.- Lapa Ralph E. and Howard L. Andrews, Nuclear Radiation -- Physics, Prentice-Hall, Inc., 2^a Edition, 1954.
- 26.- Lessel T., Motsch H., Hennig E., Experience with A Pilot-Plant for the Irradiation of Sewage Sludge, I.A.E.A.-SM--194/604, Vienna, 1975.
- 27.- Lewis N.F., Scope for Utilizing Gamma Radiation for Microbiological Control of Sewage Waste Water in India, I.A.E.A.,-SM-194/307, Vienna, 1975.
- 28.- Mann Leland A., Biological Gamma Radiation System for Sewage Processing, Isotopes and Radiation Technology, Vol.-

8, No. 4, Summer, 1971.

- 29.- Mawson C.A., Management of Radioactive Wastes, D. Van Nostrand Company, Inc., 1965.
- 30.- McLaughlin William L., Topics in Radiation Dosimetry, L. Física, UNAM, Vol. 4., No. 2, 1981.
- 31.- Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse, 2^a Edition, Mc. Graw Hill, 1969.
- 32.- Murphy Glenn, Elementos de Ingeniería Nuclear, Continental S.A., 1^a Edición, 1962.
- 33.- Navarrete Manuel, Cabrera Luis, Introducción al Estudio de los Radioisótopos, C.F.E., 1979.
- 34.- Nielson N.E., The Need for the Use of High Level Radiation in water treatment and in waste water sewage treatment, radiation for a clean environment, I.A.E.A. SM- -- 194/202 Vienna, 1975.
- 35.- Ouwerkerk T. and Ashfield G., Radiation Application in Sludge Management, Atomic Energy of Canada Limited, 1980, September 11.
- 36.- Plan Maestro y Reuso, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Septiembre, 1982.
- 37.- Regulla D.F. & Schurmann G., Suess A., Dosimetry at a High Activity Cobalt-60 Waste Treatment Facility, ---- I.A.E.A. -SM-194/605, Vienna, 1975.
- 38.- Rochlin and Schultz, Radioisótopos en la Industria, Marcombo, S.A., 1962.
- 39.- Rydberg Choppin, Introduction to Nuclear Chemistry, Perga

mon Press, London, New York, 1982.

- 40.- Selby J.M., Carson H.V., Bartlett W.T., Radiation Protection Instrumentation Test and Calibration, National and International Standardization of Radiation Dosimetry, --- Vol I, I.A.E.A.-SM-222/06, Vienna, 1977.
- 41.- Spinks J.W.T., An Introduction to Radiation Chemistry, A-Wiley Interscience, 2^a Edition, 1976.
- 42.- State Department of Health Albany, N.Y., E.U., Manual of-Instruction for Sewage Treatment Plant Operators, N.Y.,-1967.
- 43.- The Effects of Ionizing Radiation on Colloids, USAEC., --Report COO-1653-15, Final Report, May 1964-November 1966, Unidynamics.
- 44.- Vajdic, A.H., Gamma Irradiation of Waters and Waste Wa---ters for Desinfection Purposes, Isotopes and Radiation --Technology, Vol. 8., No. 4., Summer, 1971.
- 45.- Woodbridge D.D., Lealand A.Mann, Application of Gamma Ra-diation to Sewage Treatment, Nuclear News/September, 1970.
- 46.- Wizigmann I. & Wursching F., Experience with a Pilot ----Plant for the Irradiation of Sewage Sludge, I.A.E.A.-SM--194/606, Vienna, 1975.