



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE QUIMICA**

**ALTERNATIVAS EN EL TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES CON FUENTES DE  
ENERGIA IONIZANTE**



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE,  
**INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A.

*Sergio Arturo de la Cruz Arellano*



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

## I N D I C E

**ANTECEDENTES Y OBJETIVO . . . . . 1**

### **Tema I Generalidades**

**1.- Aguas residuales . . . . . 5**

**A.- Aguas residuales de origen urbano . . . . . 5**

**B.- Aguas residuales de origen industrial . . . . . 6**

**C.- Aguas residuales de origen agrícola . . . . . 7**

**2.- Clasificación del agua residual de acuerdo a su  
origen y estado de septicidad. . . . . 7**

**3.- Características físicas y químicas de las aguas  
residuales . . . . . 9**

**A.- Características físicas . . . . . 9**

**B.- Características químicas . . . . . 12**

**C.- Características del agua después del tratamiento . . 19**

**D.- Diferentes métodos de desinfección utilizados  
actualmente. . . . . 20**

### **Tema II Contaminantes biológicos en aguas residuales.**

**1.- Composición microbiana . . . . . 25**

**A.- Bacterias . . . . . 27**

**B.- Virus . . . . . 30**

**C.- Protozoarios y Helmintos . . . . . 32**

**D.- Hongos . . . . . 34**

2.- Efectos de la radiación en el contenido microbiano en aguas residuales . . . . .	34
--	----

TEMA III Contaminantes químicos en aguas residuales y modificaciones fisicoquímicas producidas por la radiación:

1.- Contaminantes químicos . . . . .	38
2.- Efectos químicos y fisicoquímicos de la radiación en aguas residuales . . . . .	45
3.- Efectos de la radiación en la degradación de colorantes. . . . .	51
4.- Efectos de la radiación en detergentes . . . . .	54

TEMA IV Diferentes tipos de fuentes de irradiación.

1.- Radiación gamma . . . . .	56
2.- Fuentes de rayos "X" . . . . .	60
3.- Radiación gamma con productos de fisión . . . . .	61
4.- Electrones provenientes de aceleradores de partículas. . . . .	64
A.- Acelerador Van de Graaff . . . . .	64
B.- Acelerador lineal de electrones . . . . .	66
C.- Dinamitrón . . . . .	67

TEMA V Consideraciones de diseño (Experiencias en plantas piloto, ventajas y desventajas, posibilidades en México).

1.- Introducción . . . . .	72
2.- Posibilidades de una fuente de radiación . . . . .	74
3.- Experiencias en plantas piloto . . . . .	76
A.- Fuente de electrones . . . . .	76
B.- Fuente de radiación gamma . . . . .	80
4.- Ventajas y desventajas entre las diferentes fuentes de radiación . . . . .	83
A.- Fuentes de radiación gamma . . . . .	83
A.1 Fuentes de rayos gamma de isótopos indi viduales. . . . .	84
A.2 Diferencias entre Co-60 y Cs-137 . . . . .	85
B.- Productos de fisión . . . . .	88
B.1 Comparación entre productos de fisión e isótopos radiactivos individuales . . . . .	90
C.- Fuente de electrones . . . . .	99
C.1 Costo de la fuente de radiación de elec trones . . . . .	101
D.- Electrones contra gamma . . . . .	101
 TEMA VI Conclusiones . . . . .	 103
 TEMA VII Bibliografía . . . . .	 108

## ANTECEDENTES Y OBJETIVO

Los antecedentes en el tratamiento de aguas residuales se remontan a los estudios hechos por Ridernour y Arambuster, en la Universidad de Michigan en 1956 (1), los cuales prepararon en el laboratorio muestras con varios organismos, matándolos por medio de dosis altas de radiación, entre  $2.5 \times 10^4$  y  $10^5$  rads con Co-60.

Lowe, Lacey, Surkiewicz, de US Army (2), encontraron resultados similares matando el 90% a  $7 \times 10^4$  y el 99% a  $1.5 \times 10^5$  rads.

En 1964, Sidorenko, Pinigin y Savenkora en la URSS, hicieron estudios combinando el poder esterilizador del cloro con la radiación, encontrando que la dosis necesaria para la esterilización fue  $2.5 \times 10^4 - 10^5$  rads. en presencia de 0.75-2 ppm de cloro.

Rybchenko en la URSS (3) esterilizó aguas con E. Coli, Salmonella Typhi y Shigella con una dosis de radiación gamma de 40 -  $50 \times 10^3$  rads. (Co-60) dedujo que la E. coli requiere una elevada dosis, sin embargo, después se retractó al encontrar que E. coli es menos resistente que el virus de la poliomielitis.

Los resultados de estudios de tratamiento de aguas residuales aparecen en 1968-70 como el de la Metropolitan Sanitary District de Chicago, el US Atomic Energy Commission y la

Federal Water Pollution Control Administration que se mostraron interesadas. Touhill, Martín, Fujihara, Oleden, Stein y Mc. Donnell (4) en 1969, formando parte del programa del Distrito Sanitario Metropolitano de Chicago, reportaron la eliminación de microorganismos en aguas residuales del 99.95% con una dosis de  $2.5 \times 10^5$  rads. con una eliminación de esporas del 92%, los Streptococcus y E. coli se eliminaron completamente. Como una parte adicional al programa de Chicago, Gerrard (5), reportó para la Bechtel Corporation en USA, un diseño para una planta piloto con una capacidad de  $7,580 \text{ m}^3$  y una dosis de  $5 \times 10^4$  rads. no se reportaron detalles del proceso.

Ramakrishan, en 1970 (6), considera el uso de la radiación para el tratamiento de desechos en la India y otros países, donde la necesidad de saneamiento y eliminación regulada de los desechos domésticos tiene mayor importancia cada día, pues la dispersión e incidencia de las enfermedades intestinales a través de la comida y el agua son cada vez mayores. Puntualiza que dada la necesidad de conservar el agua para uso potable y utilizar los lodos de las aguas residuales como fertilizantes, este tipo de tratamiento puede ser adecuado.

Mann en 1971 (7), reporta los resultados de una planta de tratamiento de aguas residuales en Florida USA. En la cual las bacterias Coliformes se redujeron con una dosis total

de  $5 \times 10^4$  rads. no hay información sobre la eliminación de virus, la planta operó con un flujo de  $3.79 \text{ m}^3$  a  $57 \text{ m}^3/\text{día}$  con un irradiador de Co-60.

K.L. Murphy en 1974 (8), publica los resultados obtenidos en la planta piloto de Burlington, Ontario y demuestra que la radiación gamma puede degradar una gran variedad de contaminantes, sin inducir actividad en el agua irradiada.

Ballentine (9), considera que se han acumulado suficientes datos sobre la destrucción de varios microorganismos por radiación, para las aplicaciones en medicina, alimentos y aguas de desechos. Los resultados de E. coli, uno de los microorganismos más resistentes a la radiación, se reduce con  $2 \times 10^5$  rads.

John G. Trump y colaboradores (10) en 1981, muestran que la desinfección, por medio de electrones acelerados, pueden reemplazar a la cloración de los efluentes de aguas residuales con las siguientes ventajas; con la radiación se elimina el gas cloro que puede desprenderse y ser dañino para la salud, así como la producción de hidrocarburos clorados que son principalmente tóxicos, el método de la radiación es eficiente en cualquier salida de agua, destruye microorganismos encapsulados en partículas y destruye los huevos de parásitos.

F.C. Thomas y colaboradores (11) presentaron un estudio sobre la inactivación de virus proveniente de aguas residuales



por la acción de los rayos gamma. El experimento consistió en someter a la acción de los rayos gamma, provenientes de una fuente de Co-60, 20 muestras que contenían 14 tipos diferentes de virus, los resultados que obtuvieron muestran que ningún virus sobrevivió a una dosis de  $3 \times 10^6$  rads. y el rango de dosis letal para la mayoría de ellos fue de  $2.5 \times 10^5$  rads.

### OBJETIVO

De acuerdo a los antecedentes mencionados anteriormente, se desprende el hecho, de que la radiación ionizante para el tratamiento de aguas residuales es de gran importancia y da excelentes resultados, por lo cual en la presente tesis se plantea un panorama general en el tratamiento de aguas residuales, así como de las principales fuentes de radiación que pueden ser utilizadas y principalmente una comparación de costos y eficiencias de estas fuentes para poder aconsejar o señalar lo que a nuestro juicio sería favorable para ser implantada en nuestro país.

## I GENERALIDADES

### 1.- AGUAS RESIDUALES

Son todas aquellas aguas que han sido alteradas en su calidad original por algún uso específico a que ha sido destinada y que se descarga en un sistema de alcantarillado, corriente superficial o subterráneo a algún cuerpo receptor determinado.

Las aguas residuales están compuestas por un conjunto de sustancias orgánicas e inorgánicas, formándose así una composición fisicoquímica, que es la que determina la supervivencia de los microorganismos típicos y la abundancia de algunos de ellos. Debido a la variable composición de aguas residuales, podemos encontrar diferentes tipos y números de microorganismos como pueden ser hongos, protozoarios, bacterias y virus.

En la actualidad existe una gran variedad de aguas residuales, de orígenes muy diversos, clasificándolas en tres grandes grupos como son: aguas residuales de origen urbano, industrial y agrícola.

#### 1.- Aguas residuales de origen urbano.

Están constituidas principalmente por aguas domésticas

que provienen de un lavado corporal, de la ropa, de lavado de locales y provenientes de labores de la cocina. Las aguas domésticas tienen una gran afinidad por los protozoarios, bacterias y virus patógenos, que pueden provocar disentería, cólera y fiebre tifoidea; las heces de huéspedes infectados pueden fácilmente ser depositados en las aguas residuales con contaminantes como los virus que causan la polio-mielitis, hepatitis infecciosa, etc.

#### B.- Aguas residuales de origen industrial.

Las industrias tienden a contaminar el agua con una serie de sustancias ocasionando grandes riesgos para la salud pública, bienestar de la población y cambios en la ecología por poner residuos sin tratamiento en los ríos, lagos o mares. Las aguas residuales de origen industrial presentan un alto grado de toxicidad debido a los productos químicos utilizados. Estas aguas tienen una composición más específica y ligada directamente al tipo de industria; aparecen como un líquido turbio, generalmente grisáceo, que contiene materias en suspensión cuyo origen puede ser orgánico o mineral en cantidades extremadamente variables, materiales grasos y coloidales. Debido a la gran variedad de los productos utilizados en la industria, el trabajo para analizar estas aguas es siempre delicado y complicado por la presencia de materias orgánicas y minerales en cantidades importantes.

### C.- Aguas residuales de origen agrícola.

La necesidad de producir cada vez más y más variados alimentos para el sostenimiento de la población, debido a la explosión demográfica, da como consecuencia la tecnificación de los cultivos y la incorporación de nuevas áreas agrícolas, el empleo de nuevas técnicas para lograr el mayor rendimiento de la tierra, incorpora por escurrimiento a los cauces fluviales, nuevas y complejas sustancias tales como plaguicidas y fertilizantes que afectan gravemente la vida acuática.

### 2.- CLASIFICACION DEL AGUA RESIDUAL DE ACUERDO A SU ORIGEN Y ESTADO DE SEPTICIDAD.

**Alcalinas:** Agua que contine suficientes sustancias alcalinas para elevar el  $p^H$  por encima de 7.

**Crudas:** Aguas residuales antes de recibir cualquier tratamiento.

**Domésticas:** Aguas residuales que se generan y provienen de las casas habitación. (pueden o no contener aguas subterráneas, aguas superficiales y agua de lluvia).

**Estables:** Aguas residuales en las que la materia orgánica ha sido estabilizada.

**Frescas:** Aguas residuales de origen reciente que aún contienen oxígeno disuelto en el momento de su examen.

**Industriales:** Aguas residuales que se generan y provienen de industrias o zonas industriales.

**Municipales:** En su acepción más amplia, el agua suministrada a una población, que habiéndose aprovechado para diversos usos ha sido impurificada, desde el punto de vista de su origen, es una combinación del líquido o de desechos arrastrados por el agua de las casas habitación, edificios comerciales e instituciones, con los procedentes de los establecimientos industriales a los que se agregan las aguas subterráneas, las superficiales y las de lluvia, nieve, etc.

**Negras:** Aguas residuales generadas en zonas habitacionales y comerciales y que no han sido utilizadas con fines industriales, agrícolas.

**Sanitarias:** Aguas residuales domésticas que no están mezcladas con aguas de lluvia o aguas su per ficia les. Aguas residuales que por conveniencia sanitaria son descargadas de las casas habitación (incluyendo casas de departamentos y hoteles), edificios de oficinas, fábricas o instituciones.

**Sedimentadas:** Aguas residuales en las que los sólidos sedimentables han sido eliminados por gravedad.

**Sépticas:** Aguas residuales en estado de putrefacción bajo condiciones anaeróbicas.

### 3.- CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

#### A.- Características físicas.

Podemos decir que las aguas residuales son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población, después de haber sido contaminadas por diversos usos, se originan por la combinación de desechos arrastrados por el agua que vienen de las casas habitación, edificios comerciales, instituciones educativas e instalaciones industriales, a las que en algunos casos se les añaden las aguas pluviales,

que de alguna manera se introducen en los ductos. Las características físicas más importantes de las aguas residuales, las podemos clasificar en cinco grupos que son: sólidos totales, temperatura, color, turbiedad y olor.

### 1. Sólidos totales

Análiticamente, el contenido de sólidos totales de un agua residual se define como la materia que queda como residuo después de la evaporación de 103 a 105°C. Los sólidos totales se clasifican en:

Sólidos totales	{	Sólidos suspendidos Sólidos filtrables
-----------------	---	---

La fracción de sólidos suspendidos, incluye también los sólidos sedimentables (sólidos que se consideran como una medida aproximada de la cantidad de lodo que será removido por sedimentación).

La fracción de sólidos filtrables consiste en sólidos coloidales, la fracción coloidal no se puede eliminar por sedimentación.

### 2. Temperatura

La temperatura del agua es un parámetro muy importante debido a su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, en la rapidez de reacción,

etc. Los incrementos de temperatura pueden causar cambios, en algunos peces que existen en el agua. En conclusión, el oxígeno es más soluble en agua fría que en agua caliente.

### 3. Color

Las aguas negras frescas son generalmente grises, pero a medida que los compuestos orgánicos son degradados (por bacterias), el oxígeno disuelto se reduce a cero por lo que el color cambia de gris a negro, en estas circunstancias podemos decir que se trata de una agua residual en condiciones sépticas.

### 4. Olor

Los olores en un desecho son debido a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. Los desechos frescos tienen un olor distintivo, algo desagradable, menos molesto que los olores sépticos de los desechos. El olor característico de un desecho es debido al sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaeróbicos, los cuales reducen los sulfatos a sulfuro. Las aguas de desechos industriales pueden contener compuestos olorosos.



### 5.- Turbiedad

El término turbiedad se aplica a aguas que contienen materia suspendida, que interfiere con el paso de la luz a través del agua. La materia coloidal absorbe o dispersa la luz, evitando su transmisión.

### B.- Características químicas:

#### 1. Materia orgánica

El contenido orgánico de las aguas residuales domésticas, es del 70% en los sólidos suspendidos y 30% en los sólidos filtrables aproximadamente. Estos compuestos son combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, además del nitrógeno que puede estar presente en algunos casos otros elementos importantes como el azufre, fósforo y fierro. Las principales sustancias orgánicas encontradas en los desechos son las proteínas (40 a 60%), carbohidratos (25 a 50%) y grasas y aceites 10%, las aguas residuales contienen pequeñas cantidades de compuestos orgánicos sintéticos, ejemplos típicos son: surfactantes, fenoles y pesticidas agrícolas. La presencia de estas sustancias en los líquidos

años, ha complicado los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, debido a que gran parte de ellos no son biodegradables o son muy lentamente descompuestos por los sistemas biológicos de tratamiento. A continuación se describen brevemente:

a) Proteínas

Toda sustancia alimenticia animal o vegetal contiene proteínas. Los elementos más comunes de las proteínas son el carbono, hidrógeno y oxígeno, como características particular, contiene una alta y constante proporción de nitrógeno (aproximadamente 16%). En algunos casos encontramos azufre, fierro y fósforo. La urea y las proteínas son las principales fuentes de nitrógeno, que en grandes cantidades produce olores fétidos debido a su descomposición.

b) Carbohidratos

Se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, así como en todas las aguas de desecho, están constituidos por azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, son compuestos for-

mados de carbono, hidrógeno y oxígeno. La celulosa es el más importante carbohidrato encontrado en un desecho, debido a su resistencia a la descomposición.

c) Grasas y Aceites

Las grasas y aceites son ésteres de alcoholes o gliceroles (glicerina) con ácidos grasos. Los glicéridos de ácidos grasos que son líquidos a temperaturas ordinarias se llaman aceites y los que son sólidos se llaman grasas. Éstos son similares químicamente y están formados de carbono, hidrógeno y oxígeno en varias proporciones. Las grasas y aceites de los desechos domésticos provienen de la manteca, mantequilla, margarina y aceites vegetales. La grasa es uno de los compuestos orgánicos más estables y difíciles de biodegradar. Gran parte de las partículas de grasas y aceites que se encuentran en las aguas de desecho flotan, formando una capa que tiende a cubrir la superficie e interfiere con la acción biológica.

d) Surfactantes

Los surfactantes o agentes de superficie activa

son moléculas orgánicas muy grandes, ligeramente solubles y causan la formación de espuma en la superficie del agua donde el desecho es vertido. Su capacidad para formar espuma hace que interfiera en el proceso de lodos activados de una planta de tratamiento de aguas negras, ya que impide que el oxígeno sea transferido, debido a que tienden a acumularse en la interfase aire-agua. Además, se forman gruesas capas de espuma muy estables, que son arrastradas por el viento y constituyen un peligro para la salud pública.

e) Fenoles

Los fenoles causan problemas de olor en el agua potable, particularmente cuando el agua está clorada. Estos compuestos provienen principalmente de operaciones industriales y se encuentran en las aguas superficiales debido a descarga de este tipo.

f) Pesticidas y productos químicos utilizados en la Agricultura.

Los compuestos orgánicos tales como pesticidas, herbicidas y productos químicos son tóxicos para

muchas formas de vida, por lo que son contaminantes importantes en las aguas superficiales. No son comunes en las aguas de desecho, sino que, provienen principalmente de los escurrimientos de la agricultura. Bajas concentraciones de estos elementos contaminan al pescado y originan su muerte, causando además un deterioro de las fuentes de suministro de agua.

## 2.- Materia inorgánica.

Los componentes inorgánicos de las aguas naturales y de desecho son importantes para establecer y controlar la calidad del agua. Cuando la concentración de sustancias inorgánicas en el agua se incrementa se deteriora la calidad de las aguas naturales, por lo que es conveniente examinar el origen de éstos.

### a) PH

La concentración del ión hidrógeno es un parámetro importante de la calidad de las aguas naturales y de desecho. El rango de concentración adecuado para la existencia de gran parte de la vida biológica es pequeño y crítico.

### b) Cloruros

Es uno de los aniones inorgánicos que se pre-

senta en mayor concentración en las aguas naturales y de desecho, dado que los métodos convencionales de tratamiento no eliminan cantidades importantes de cloruros.

c) Alcalinidad

La alcalinidad de las aguas negras se originan del suministro de agua de las aguas subterráneas y de los materiales agregados durante su uso doméstico.

d) Nitrógeno y Fósforo

El nitrógeno y el fósforo son elementos necesarios para el crecimiento biológico de las plantas, el nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas, cuando está presente en las aguas negras frescas, se encuentra principalmente en la urea, la bacteria la descompone fácilmente formando amoníaco. El envejecimiento de las aguas de desecho domésticas nos indica la cantidad de amoníaco presente. El fósforo orgánico generalmente es de menor importancia en los desechos domésticos, pero es un importante constituyente de los lodos de las aguas de desecho domésticas y de algunos desechos industriales.

e) Azufre

Los sulfatos son componentes naturales de las fuentes de suministro de agua y de las aguas de desecho domésticas. El azufre se emplea en la síntesis de proteínas y se elimina en su degradación. Los sulfatos son reducidos químicamente por las bacterias a sulfuros y ácido sulfhídrico bajo condiciones anaeróbicas, además el ácido sulfhídrico es oxidado biológicamente a ácido sulfúrico, corrosivo para las alcantarillas.

Gases comunmente encontrados en las aguas residuales. Los gases más comunes encontrados en las aguas residuales son: el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y metano. Los tres primeros son gases que se encuentran en la atmósfera y en todas las aguas expuestas al Aire y los últimos tres se originan por la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas de desecho. Los siguientes gases se encuentran en las aguas residuales no tratadas:

a) Oxígeno disuelto

Es necesario para la respiración de los microorganismos aeróbicos, así como para otras formas

de vida aeróbica. La presencia de oxígeno disuelto en las aguas de desecho previene la formación de malos olores.

b) Sulfuro de hidrógeno

Se origina por la descomposición de la materia orgánica que contienen azufre o de la reducción de sulfitos y sulfatos minerales en ausencia de oxígeno. El sulfuro de hidrógeno se combina con el hierro presente formando sulfuro ferroso el cual hace un ennegrecimiento de las aguas residuales.

c) Metano

Es el principal subproducto de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica en las aguas residuales, es un hidrocarburo combustible, inodoro e incoloro.

C.- Características del agua después del tratamiento.

Las características del agua después del tratamiento son muy distintas porque depende de los constituyentes fisicoquímicos de las aguas residuales del proceso utilizado de la finalidad del tratamiento y de la acción biológica sobre los desechos. La acción biológica intensa y suficiente, produce agua mineralizada, lo cual significa una capacidad de intercambio



de cationes, intercambio gaseoso, oxígeno suficiente, materia orgánica biodegradable, mínima y una gran variedad de sustancias minerales, tales como carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos y fosfatos que actúan aniónicamente, y cationes como el sodio, potasio, calcio y magnesio, compuestos minerales como los silicatos, fluoruros, compuestos de fierro, magnesio, aluminio, boro y otros.

**D.- Diferentes métodos de desinfección utilizados actualmente.**

Su principal objetivo de estos métodos es no sólo evitar al hombre la transmisión directa de enfermedades a través del agua, sino también romper el ciclo enfermedad-infección, destruyendo los agentes infecciosos o responsables de daños. Los métodos de desinfección deben de cumplir ciertas características como son: tener la capacidad para destruir todas las clases y cantidades de agentes patógenos que pueden ser introducidos en las aguas residuales de un ámbito esperado de concentración y condiciones de las aguas. No debe ser tóxico ni al hombre ni a los animales domésticos, ni ser desagradable en sabor ni objetable a las condiciones requeridas. Debe tener un costo razonable, seguridad y aplicación, los métodos de desinfección se clasifican en: Agentes químicos y Agentes físicos.

**Agentes Químicos.**

a) Ozono

El ozono es un gas ligeramente azul de olor acre, es inestable y se descompone fácilmente en oxígeno normal, que es un potente oxidante. Inmediatamente que se genera se dispersa en el agua bajo tratamiento, en concentración suficiente es un bactericida efectivo, pero el gas debe de tener contacto directo con los organismos para destruirlos. Sólo un pequeño porcentaje del oxígeno se convierte en ozono (alrededor del 1%). La planta de generación es elaborada, costosa y requiere ser operada por expertos. Sirve como desinfectante en plantas de tratamiento de aguas, su uso es limitado, se usa principalmente para controlar olores y sabores.

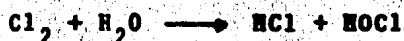
b) Iones metálicos

Este método consta en agregar pequeñas cantidades de metales, tales como el mercurio, plata y cobre, para desinfectar agua. Se construyó un aparato que contiene electrodos de plata, los cuales se conectan a una corriente eléctrica, por donde pasa el agua y recibe una alimentación de iones plata. La concentración de plata que se usa general

mente en las albercas es de 0.15 partes por millón: El tiempo requerido para la desinfección es demasiado largo ya que los cloruros, el amoníaco y las materias orgánicas interfieren fuertemente en la eficiencia de este tratamiento. Los experimentos indican que cuando se aplica la plata al agua, el número de E. coli disminuye, no así otras especies bacterianas. Los datos publicados son tan pocos que el uso de la plata en el tratamiento del agua residual no parece justificarse.

### c) Cloro

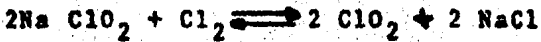
El cloro reacciona con el agua para formar ácidos clorhídrico e hipocloroso. El ácido hipocloroso en solución diluida, se disocia en iones hidrógeno e hipoclorito.



El HOCl y el OCl<sup>-</sup> son los que presentan la mayor actividad bactericida.

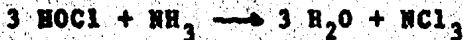
Dióxido de cloro: A la temperatura y presión ordinaria, el dióxido de cloro es un gas amarillo rojizo, de olor desagradable e irritante, tiene mayor actividad química que el cloro.

Reacciona con diferentes compuestos orgánicos y los oxida con mayor rapidez que el cloro solo. Proviene de la siguiente reacción.



Como es muy inestable y debe producirse en el punto de aplicación, su empleo en el tratamiento de agua se adoptó principalmente para destruir los sabores que frecuentemente se producen cuando se agrega solamente cloro al agua.

Cloraminas: El cloro reacciona con el amoníaco presente en el agua para formar cloraminas, que también tienen propiedades desinfectantes.



Se sabe que la dicloramina es el agente desinfectante más efectivo.

El mecanismo exacto de esta acción desinfectante no se conoce por completo. Algunas teorías consideran que el cloro ejerce una acción directa contra la célula bacteriana y la destruye.

Una teoría más reciente explica que el carácter tóxico del cloro, inactiva las enzimas de las cuales dependen los microorganismos para efectuar su metabolismo, y como resultado mueren. Desde el punto de vista del tratamiento de desechos, el mecanismo de acción del cloro es mucho menos importante que sus efectos como agente de sinfecante.

## II. CONTAMINANTES BIOLÓGICOS DE AGUAS RESIDUALES

### 1.- Composición Microbiana

Hay una gran diversidad de microorganismos en todas las etapas del ciclo biológico, aún en las aguas residuales, el agua atmosférica contiene flora microbiana que está presente en pequeñas partículas que arrastra el aire; pero encontramos una infinidad de microorganismos naturales, en los arroyos, ríos, pantanos, lagos y mares en donde se suman también los aportados por los primeros minutos de la precipitación pluvial. Los microorganismos que se propagan en el agua son los que generalmente causan infecciones intestinales (fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería y cólera, entre otros).

El agua superficial es contaminada generalmente por las descargas residuales domésticas e industriales, las cuales pueden contener millones de bacterias por mililitro, entre las que se incluyen coliformes, estreptococos, etc.

La presencia de contaminantes en el agua modifica la estructura ambiental requerida por los organismos típicos del agua dulce, los cambios pueden afectar la temperatura, la cantidad de oxígeno disuelto, las concentraciones de nutrientes, los depósitos

del fondo, etc.; sin embargo, son desconocidas aún las necesidades ambientales específicas de muchas especies de algas.

Los contaminantes biológicos más importantes de las aguas negras no tratadas, son indudablemente la presencia de organismos patógenos dañinos al hombre. Un muestreo continuo de las aguas residuales domésticas con la finalidad de determinar la presencia de estos organismos, es una medida conveniente para determinar el grado de susceptibilidad epidemiológica de la población con respecto a una determinada enfermedad.

Contenido de gérmenes patógenos en las aguas residuales antes de ser tratadas.

Generalmente estas aguas contienen organismos anaeróbicos especialmente bacterias, virus, protozoarios, hongos, etc. Se consideran como microorganismos patógenos, todos aquellos microorganismos capaces de producir enfermedades a las plantas, animales y al hombre mismo. Generalmente se encuentran en las aguas residuales o en las aguas negras, algunos sobreviven durante un largo tiempo en su forma juvenil o adulta, pero si no se encuentran en su ca-

mino al huésped necesario, mueren. También tienen un período vital definido, en ocasiones disminuido por las condiciones ambientales. Para poder estudiar es tos organismos los dividimos en cuatro grandes grupos que son:

- A.- Bacterias
- B.- Virus
- C.- Protozoarios y Helmintos
- D.- Hongos

#### A.- Bacterias

Las bacterias son consideradas como los vegetales unicelulares más primitivos, son abundantísimos en la naturaleza, las hay patógenas, saprofiticas y au- bióticas, son los elementos más representativos de las aguas residuales domésticas.

Las bacterias son organismos sumamente susceptibles a los tratamientos de desinfección. La siguiente ta- bla muestra las bacterias patógenas más importantes que pueden estar presentes en las aguas residuales y algunas enfermedades que pueden causar en el hombre.



<u>BACTERIA</u>	<u>ENFERMEDAD</u>
<b>Vibrio cholerae</b>	<b>Cólera-paracólera</b>
<b>Vibrio cholerae NAG</b>	<b>Enfermedad parecida al Cólera</b>
<b>Vibrio parahaemolyticus</b>	<b>Enteritis</b>
<b>Otros tipos de Vibrios</b>	<b>Enteritis</b>
<b>Salmonella typhi</b>	<b>Fiebre tifoidea</b>
<b>Salmonella paratyphi</b>	<b>Fiebre paratifoidea</b>
<b>Otras Salmonellas</b>	<b>Enteritis</b>
<b>E. coli de tipo patógeno</b>	<b>Enteritis</b>
<b>Shigella dysenteriae</b>	<b>Disenteria</b>
<b>Shigella flexneri y otras</b>	<b>Paradisenteria</b>
<b>Clostridium botulinum</b>	<b>Botulismo</b>
<b>Clostridium perfringens</b>	<b>Enteritis</b>
<b>Leptospira</b>	<b>Leptospirosis</b>
<b>Mycobacterium tub.</b>	<b>Tuberculosis</b>

A continuación se mencionan algunas características de estos grupos de bacterias:

Vibrio cholerae NAG (no aglutinable): Este tipo de virus puede causar una enfermedad parecida al cólera o gastroenteritis cuando la diarrea es suave. La bacteria ha sido aislada en algunas partes del mundo incluyendo el noroeste de Europa.

Salmonellas: Son muy comunes en la contaminación de las aguas negras pueden existir más de 30 tipos diferentes en un sólo lugar, alcanzando una concentración de  $10^4$  bacterias por 100 ml.

E. coli: Generalmente no son patógenas; son indicadores de contaminación, pueden causar trastornos intestinales. La concentración en aguas domésticas es de  $10^6$ - $10^7$  por 100 ml.

Fecal Streptococci: Son indicadores del grado de contaminación, pueden encontrarse en concentraciones de arriba de  $10^7$  por 100 ml. de agua.

Shigella: Tienen variada virulencia, aparentemente sobreviven un tiempo relativamente corto.

Clostridium botulinum: Se presenta en las aguas costeras, hay diferentes tipos con diferentes toxicidad; sus toxinas son las más dañinas que existen, pueden contaminar el plankton e invertebrados.

Clostridium perfringens: Es un miembro de la flora intestinal, sus esporas pueden sobrevivir por largo tiempo en el medio ambiente y puede causar envenenamiento en la comida, su concentración en aguas residuales domésticas puede contener  $10^5$  bacterias por 100 ml.

Leptospira: Es una bacteria que se presenta en la superficie del agua, la bacteria puede sobrevivir en agua especialmente en lagos alcalinos,  $pH > 7$ .

Mycobacterium Tuberculosis: Las personas infectadas de tuberculosis secretan esta bacteria por su saliva, las aguas residuales de sanatorios pueden contener microbacterias extremadamente resistentes que pueden sobrevivir por años en el medio ambiente y viajar muy lejos por el agua. Pueden existir  $10^5$  por 100 ml.

## B.- Virus

Los virus conocidos hasta hoy, son todos causantes de enfermedades, comunmente son parásitos patógenos altamente específicos, los virus que infectan a las plantas no infectan animales y viceversa, además, tienen la habilidad de permanecer vivos fuera del huésped durante largos periodos. La naturaleza química de los virus hace difícil un control químico efectivo en el

tratamiento de las aguas residuales. Su forma es muy simple ya que consiste de un ácido nucleico (ácido desoxirribonucleico o ácido ribonucleico) cubierto de una proteína específica. La presencia del virus en la célula del huésped, es combatida mediante la producción de anticuerpos, si esto no acontece, los virus se reproducen y el huésped se enferma. Esta es la única forma en que pueden reproducirse. Aunque los virus patógenos del hombre no son muy comunes en el agua, es posible encontrar virus productores de hepatitis infecciosa y poliomielitis. La viabilidad de los virus depende de factores ecológicos; al parecer, la presencia de los mismos. Los diferentes tipos de virus que afectan al hombre, presentes en las aguas residuales se enlistan en la siguiente tabla, junto con la enfermedad producida.

TIPOS DE VIRUS:	ENFERMEDAD
Poliovirus Coxsackievirus A Coxsackievirus B Echovirus	Fiebre, dolores de cabeza, diarrea, dolores musculares, poliomielitis, hepatitis.
Adenovirus	Fiebre, inflamaciones de los ojos, raramente síntomas de enteritis o en el sistema nervioso central.
Reovirus	Diarrea, hepatitis especialmente en niños.
Hepatitis virus	Fiebre, náuseas, diarrea, hepatitis (aguda o crónica).

### C.- Protozoarios y Helmintos

Los protozoarios y helmintos son encontrados especialmente en áreas tropicales, se distribuyen como quistes o huevos por contaminación fecal. No pueden multiplicarse fuera del huésped, usualmente uno o pocos huevos de parásito son suficientes para provocar una infección, tanto los quistes como los huevos son demasiado resis-

tentes para ser matados por el medio ambiente. Por estudios que se han realizado en Italia, se encontró que alrededor del 50% de las personas examinadas tuvieron uno o varios tipos de gusanos en su tracto intestinal. En comparación con Europa, los estudios mostraron que el porcentaje de Salmonellas encontradas en personas fue alrededor del 0.2 al 0.5%. A continuación se muestran los protozoarios y helmintos más importantes, que producen enfermedades para el hombre y que se encuentran en las aguas residuales:

<u>ORGANISMOS</u>	<u>ENFERMEDAD</u>
<b>Protozoarios:</b>	
Endamoeba histolítica	Disentería Amibiana
Giardia lamblia	Giardiásis
<b>Tremátodos:</b>	
Diferentes tipos de Schistosoma	Estomatosis
<b>Céstodo:</b>	
Diphyllobotrium latum	Diphyllobotriásis
Taenia saginata	Tenefsis

---

**Nemátodos:**
**Ascaris (gusano redondo)**
**Anchylostomum**
**Ascariasis**
**Anchylostomiasis**
**D.- Hongos**

Los hongos comunmente son saprófitos, sin embargo también los hay patógenos, aunque son pocos los que atacan al hombre y a los animales domésticos, la naturaleza química del protoplasma hace difícil el control por medio de tratamientos químicos. La presencia de hongos en las aguas residuales es ocasional ya que estos organismos son aeróbicos estrictamente.

**2.- Efectos de la radiación en el contenido microbiológico de aguas residuales.**

Algunas consecuencias de la radiación en el tratamiento de las aguas residuales son:

- a) Destruye la vida microbiana y sus propiedades son considerablemente benéficas.
- b) El agua irradiada es inodora
- c) Es capaz de alterar la estructura de moléculas orgánicas e inorgánicas.
- d) En el agua irradiada no existe ninguna radiación residual que pueda perjudicar o impedir el crecimiento

de la vida acuática, como sucede con el cloro residual.

- e) Facilita la formación de un lodo más compacto y una alta capacidad de sedimentación.
- f) La operación de este sistema es simple y el mantenimiento fácil.
- g) Es capaz de provocar la oxidación de compuestos químicos difíciles de degradar como: fenoles, detergentes, plaguicidas, dando lugar a que se degraden fácilmente. Además de todas las ventajas anteriores la radiación tiene un poder desinfectante muy grande, la única desventaja es de que su costo inicial es muy alto.

Se ha encontrado que en el tratamiento de la radiación en aguas residuales se reduce el olor desagradable y es necesario eliminar la materia orgánica por medio de la utilización de coagulantes y filtros, posterior a la irradiación, si el agua se va a destinar como agua potable.



RESUMEN DE DATOS REPORTADOS EN LA  
BIBLIOGRAFIA

Dosis reportadas para la reducción de: *Escherichia coli*

<u>AUTOR</u>	<u>MEDIO IRRADIADO</u>	<u>DOSIS (RADS)</u> <sup>a</sup>	<u>REDUCCION</u>
Vajdic (12)	Cultivos de <i>E. coli</i>	$3.4 \times 10^4$	99.9%
John G. Trump y colaboradores (13)	Cultivos puros de <i>E. coli</i> .	$2.7 \times 10^4$	90.0%
Touhill y colaboradores (14)	Fagos de <i>E. coli</i>	$2.5 \times 10^5$	100.0%
L.M. Melmed (15)	Efluente de un estanque	$5 \times 10^4$	100.0%
Harry M. Lowe Jr. y colaboradores (16)	Cultivos de <i>E. coli</i>	$4.0 \times 10^5$	100.0%
	Cultivos de <i>E. coli</i>	$6.5 \times 10^4$	99.0%
	Agua residual	$5.0 \times 10^6$	100.0%
	Cultivo de fagos	$7.5 \times 10^4$	100.0%
	Cultivo de fagos	$3.2 \times 10^4$	99.0%

Dosis reportadas para la reducción de: *Bacillus subtilis*

Harry M. Lowe Jr. y colaboradores (16)	Cultivos puros	$2.0 \times 10^6$	100.0%
	Cultivos puros	$3.4 \times 10^5$	99.0%
	Agua residual	$5.0 \times 10^5$	99.0%

Dosis reportadas para la reducción de: *Salmonella*

John G. Trump y colaboradores (13)	Cultivos puros de <i>Salmonella enteritidis</i> .	$1.5 \times 10^4$	90.0%
	Capas de <i>S. typhimurium</i>	$10.5 \times 10^4$	90.0%

<sup>a</sup> 1 Gy = 100 rad

Dosis reportadas para la reducción de: Streptococcus  
Fecales.

<u>AUTOR</u>	<u>MEDIO IRRADIADO</u>	<u>DOSIS (RADS)</u>	<u>REDUCCION</u>
John C. Trump y colaboradores (13)	Cultivos puros	$1.2 \times 10^5$	90.0%

Dosis reportadas para la reducción de: Clostridium

John G. Trump y colaboradores (13)	Cultivos puros de Clostridium perfringens	$2.5 \times 10^5$	90.0%
------------------------------------	---	-------------------	-------

Dosis reportadas para la reducción de: Mycobacterium Smegmatus

Harry N. Lowe Jr. y colaboradores (16)	Cultivos puros	$1.0 \times 10^6$	100.0%
	Cultivos puros	$1.4 \times 10^5$	99.0%
	Agua residual	$1.6 \times 10^5$	99.0%

Dosis reportadas para la reducción de: Micrococcus

John G. Trump y colaboradores (13)	Cultivos puros	$1.4 \times 10^4$	90.0%
------------------------------------	----------------	-------------------	-------

Dosis reportadas para la reducción de: Virus

John G. Trump y colaboradores (13)	Cultivos puros de:		
	Poliovirus	$1.8 \times 10^5$	90.0%
	Coxsackie	$2.0 \times 10^5$	90.0%
	Echovirus	$1.7 \times 10^5$	90.0%
	Reovirus	$1.6 \times 10^5$	90.0%
	Adenovirus	$1.5 \times 10^5$	90.0%
F.C. Thomas y colaboradores (17)	Parvovirus	$4.0 \times 10^5$	90.0%
	Adenovirus	$3.5 \times 10^5$	90.0%
	Reovirus	$4.5 \times 10^5$	90.0%
	Poxvirus	$2.2 \times 10^5$	90.0%
	Retrovirus	$2.0 \times 10^5$	90.0%

TEMA III. CONTAMINANTES QUIMICOS DE AGUAS RESIDUALES Y MODIFICACIONES FISICOQUIMICAS, PRODUCIDAS POR LA RADIACION.

1.- Contaminantes quimicos

**Eliminación de compuestos de nitrógeno:** La concentración de nitrógeno en aguas negras sin tratar en Africa del Sur es normalmente alrededor de 50 mg/l, pero bajas concentraciones pueden ocurrir en otras partes del mundo. Generalmente los compuestos que tienen nitrógeno se convierten en amoníaco (18). En el Africa del Sur, el " Instituto Nacional de Investigaciones del Agua " (NIWR), ha tenido éxito en desarrollar un proceso que puede producir un efluente con un contenido de 2 mg/l o menos de nitrógeno.

**Eliminación de componentes de fósforo:** Existen tres diferentes métodos, el tratamiento biológico, precipitación química y la combinación de ambos. El tratamiento biológico elimina el fósforo por síntesis celular. Esta técnica es algo impredecible pero recientes desarrollos de la NIWR, se ha mejorado la eficiencia, la patente en Africa del Sur (19) asegura la reducción de fósforo a menos de 2mg/l.

**Precipitación química;** para precipitar el fósforo se utilizan soluciones que contienen aluminio, sales de fierro y cal. La eliminación de fósforo adicionando

minerales puede producir efluentes con un contenido de menos de  $1\text{mg/l}$  de fósforo. La precipitación química es más fácil de efectuar que el tratamiento biológico.

El tercer tratamiento es la combinación de los dos anteriores.

**Eliminación de metales pesados:** En áreas industriales se desechan sustancias que contienen grandes concentraciones de metales pesados. La NIMR se ha preocupado por la eliminación de metales pesados mediante tratamientos de cal para eliminar el cobre, fierro, magnesio, cadmio níquel, plomo y zinc.

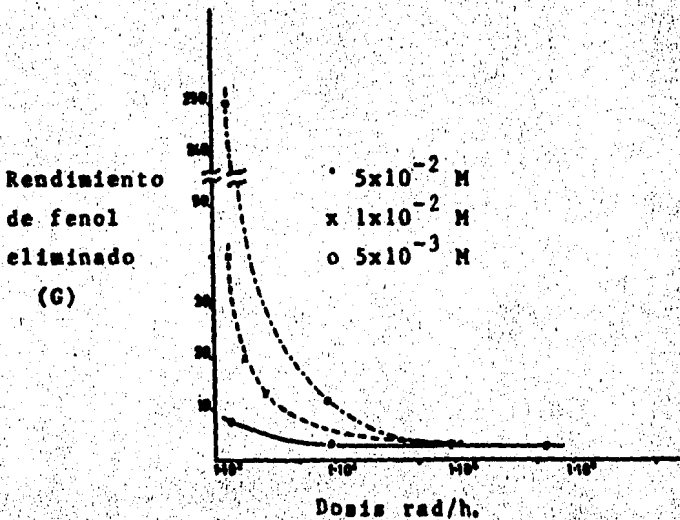
**Eliminación de compuestos orgánicos de carbón:** Este tratamiento ha dado buenos resultados el uso del carbón activado, diversos estudios (20) con carbón activado produce efluentes con bajo contenido de compuestos orgánicos a un costo de 2 centavos de dólar/ $\text{m}^3$ .

**Eliminación de fenol:** Ha sido confirmado para el fenol, la destrucción de moléculas orgánicas, esta característica ha sido la base de diversos estudios para la destrucción de soluciones acuosas de fenol, el máximo propósito de aplicación para el tratamien

to de aguas residuales (21-25). Las irradiaciones de soluciones de fenol fueron llevadas a cabo con una fuente de  $\text{Co}^{60}$ , la radiación química en una solución de fenol a  $5 \times 10^{-3}$  M de soluciones saturadas con varios gases a una dosis de 1.6 krad/min. viene dada enseguida.

Gas	G ( $-\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ )	G = Número de moléculas formadas por cada 100 eV de radiación absorbida.
Ar	5.7	
$\text{N}_2\text{O}$	5.34	
$\text{O}_2$	2.60	

El siguiente diagrama nos muestra los rendimientos de la destrucción del fenol en diferentes concentraciones:

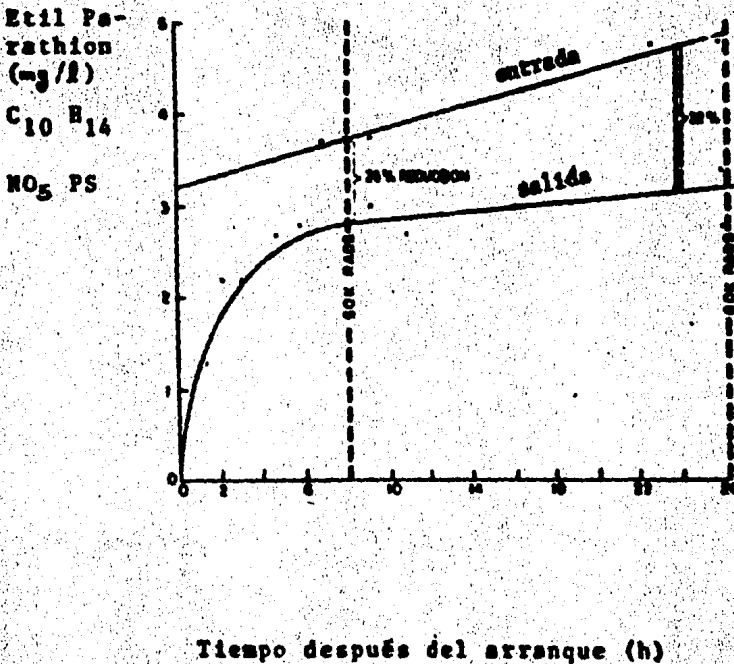


Eliminación de surfactantes: Estudios específicos con radiación gamma de  $^{60}\text{Co}$  sobre soluciones de surfactantes tales como el Alkyl Sulfonato se han venido realizando, producido en los Estados Unidos de América desde Junio de 1965 fue desarrollado para reemplazar el viejo Sulfonato Alkyl Benceno (ABS) que formaba mucha espuma en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Estos surfactantes se consideran biodegradables. Los detergentes son importantes en la contaminación del agua no solamente por su alto contenido de fosfatos sino que ayudan a la propagación de algas y vida microscópica. Como los surfactantes se concentran en la superficie del agua impiden la disolución de oxígeno dentro del agua, puede provocar la muerte a peces. Los cambios en Alkylbencensulfonatos debido a la radiación son: iones sulfato formados, la estructura aromática destruida y la biodegradabilidad se incrementa. Makarochkina, resume el mecanismo de destrucción del alkylbencensulfonato (26).

Eliminación de pesticidas: Otro grupo de contaminantes en las aguas residuales lo son los pesticidas, tienden a envenenar los sistemas de tratamiento porque son bastante tóxicos y no pueden ser desechados en

aguas fácilmente. Un estudio de los efectos de la radiación gamma sobre el etil parathion fue realizado por el Instituto de Tecnología por el señor William M. Bell, los resultados que se obtuvieron son representados en la siguiente figura:

**DEGRADACION DEL ETIL PARATHION**  
**POR RADIACION GAMMA**



La concentración de entrada se incrementa como una función del tiempo, esto es porque el etil parathion no fue debidamente disuelto. Después de 8 horas del arranque la reducción fue del 26% entre la concentración de entrada y salida, la dosis total absorbida fue de 50,000 rads. Después de 24 horas la reducción fue del 32% entre las concentraciones de entrada y salida, la dosis total absorbida hasta este momento fue de 60,000 rads. Esto indica una reducción sustancial de este pesticida. a continuación damos la degradación de pesticidas comerciales por irradiación.

#### DEGRADACION DE SUSTANCIAS

PRODUCTO COMERCIAL	AGENTE ACTIVO	%	AGENTE ACTIVO EN MUESTRAS (ppm)	DOSIS (Krad)	AGENTE ACTIVO % DESTROYIDO
BPD (Powder)	Lindane	0.3	0.6	300	50
	Dieldrin	0.7	1.4		79
	DDT	5.0	10.0		49
Gramixel	Paraquat	17.8	50	300	100
Delf	Metil Parathion	0.5	10	300	97
Weccid	Lindane	2	12	300	11
Paranderil	Rotenone	1	10	300 600	41 64
Tetradiphon	Tetradiphon	1	10	300	14



PRODUCTO COMERCIAL	AGENTE ACTIVO	X	(ppm)	DOSIS (Mrad)	AGENTE ACTIVO X DESTRUIDO
			AGENTE ACTIVO EN MUESTRAS		
Lindane	Lindane	1	10	300	68
Atrazine	Atrazine	1	10	300	99
Tomorfin	Connachlor	1	10	300	100

Comparación de resultados de algunas muestras irradiadas con varios pH la dosis fue de 300krads.

PRODUCTO COMERCIAL	AGENTES ACTIVOS EN MUESTRAS	pH	AGENTES ACTIVOS X DESTRUIDOS
Neocid	Lindane (10 ppm)	4.5	10
		7.2	12
		8.9	16
Paraderil	Rotamone (10 ppm)	4.5	34
		7.2	41
		8.9	49
Tetradiphon	Tetradiphon (10 ppm)	4.5	12
		6.5	14
		8.9	30

Eliminación de clorofenol: Se ha estudiado el comportamiento de la cloración del agua y la cloración de estas sustancias con radiación gamma para el tratamiento de soluciones acuosas, saturadas con orto, meta y para clorofenol con dosis de varios megarads, además se usaron soluciones con agua potable en bajas concentraciones y bajas dosis, los resultados son los siguientes:

Solución de para-clorofenol en agua bi-destilada;  
 Concentración 2.5% en peso, dosis 18 y 30 Mrads.  
 pH original 5.64 pH del producto irradiado (50ml)  
 = 1.58 y 1.05 respectivamente.

Para una solución de p. clorofenol en agua bi-destilada (concentración 1%) se nota que arriba de 1 Mrad el pH disminuye porque el fenol es casi destruido.

Dosis (MRAD)	0	.1	.4	.95	2.25	3	5
pH	6.4	3.8	3.45	3.35	2.45	2.34	2.15

Para una solución de o-clorofenol en agua (concentración 1%).

Dosis (MRAD)	0	.38	.8	1.15	3	4	5
pH	7.32	7.12	6.70	5.90	4.05	3.13	2.89

2.- Efectos químicos y fisicoquímicos de la radiación en aguas residuales. Cuando irradiamos aguas residuales con un alto nivel de energía favorecemos en primer lugar la formación de hidroxilos y radicales de hidrógeno y la solvatación de electrones. Dependiendo del pH y la concentración de oxígeno y las

sustancias disueltas en agua, las especies primarias pueden ser transformadas a  $O_2^-$  ( $HO_2$ ). Durante la irradiación se pueden presentar cambios en los sistemas aeróbicos y anaeróbicos, reacciones tales como autooxidaciones que se pueden presentar en circunstancias muy especiales.

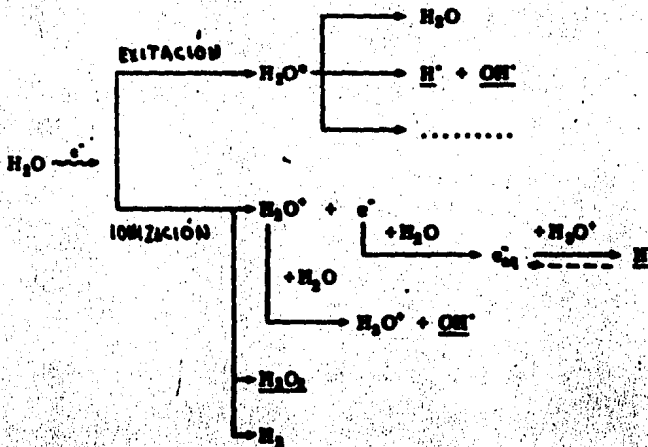
Solamente necesitamos dosis bajas de energía, para iniciar reacciones químicas en el tratamiento de agua por irradiación. A continuación se dan unas equivalencias útiles:

$$10^6 \text{ rads} = 10^3 \text{ krad} = 1 \text{ Mrad} \text{ (un millón de dosis de radiación absorbida).}$$

$$= 10 \text{ J/g} = 2.8 \text{ KWh/t} = 2.4 \text{ cal/g} = 6.22 \times 10^{22} \text{ eV/Kg}$$

$$100 \text{ rads} = 1 \text{ Gray} \quad 1 \text{ Mrad} = 100 \text{ KGray}$$

Las interacciones de la radiación con el agua, dan lugar a reacciones primarias, que son de importancia:

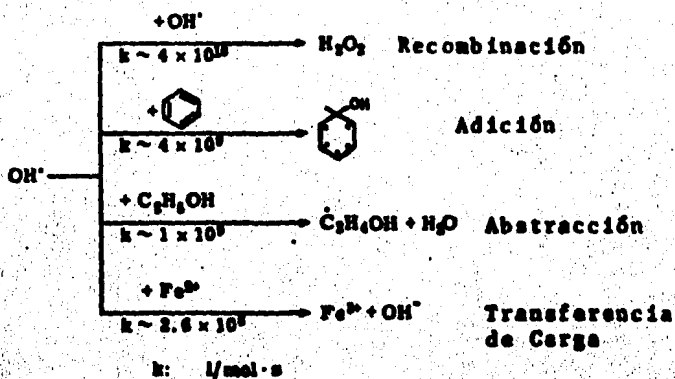


En la tabla siguiente se dan los rendimientos de especies primarias (X) en la radiólisis del agua, los valores G (X) denotan el número de especies X formadas por 100 eV de absorción de energía. Si G (X) = 1, 1.04 milimoles de especie X son formadas por kg de solución que ha absorbido 1 Mrad.

ESPECIES QUIMICAS PRIMARIAS	G (X) (MOLECULAS/100 eV)	MILIMOLES X POR KG POR MRAD
OH <sup>•</sup>	2.6	2.7
e <sup>-</sup> aq	2.6	2.7
H <sup>•</sup>	0.6	0.62
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.75	0.78
H <sub>2</sub>	0.45	0.46

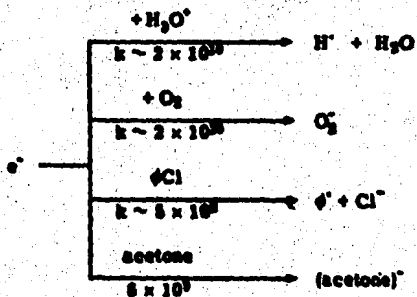
#### El radical OH


Este radical es muy reactivo, reacciona con solutos orgánicos por reacciones de abstracción de H<sub>2</sub>, adiciones en dobles ligaduras y por recombinación con otros radicales. En la siguiente figura se dan algunos ejemplos:



### Electrón solvatado

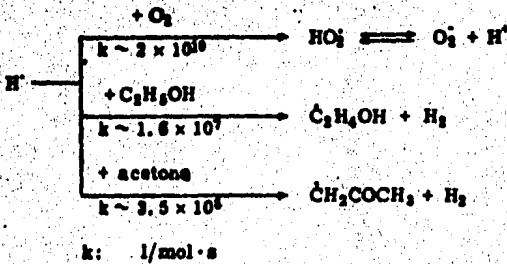
Es formado por la solvatación del electrón, es un reactivo que puede neutralizar reacciones y agregarse a moléculas. A continuación se dan algunos ejemplos:



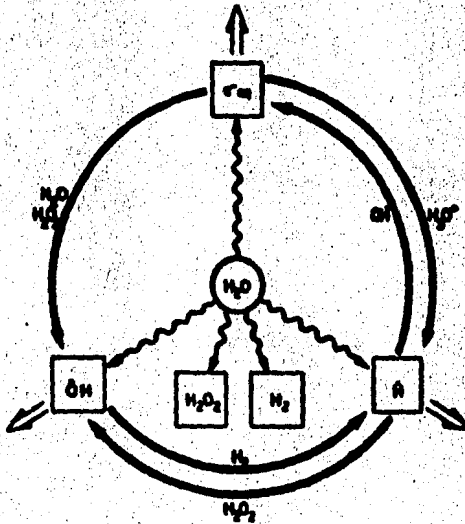
$k: \text{ l/mol} \cdot \text{seg.}$   
 $\text{Cl}$ : Clorotenceno  
 $\text{Cl}^{\cdot}$ : Fenil 

### Radical Hidrógeno.

Estos radicales son producidos en las especies químicas primarias y pueden reaccionar con solutos orgánicos por reacciones de abstracción o de adición, son menos reactivos que los radicales  $\text{OH}^\cdot$  y por lo tanto muestran mayor selectividad (27).

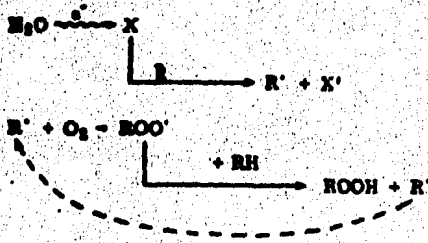


En la siguiente figura se muestran las especies primarias que se pueden interconvertir, con agregación de otros agentes:



### Posibilidades de reacciones en cadena

En principio las reacciones en cadena tales como las reacciones de auto oxidación son posibles, la siguiente reacción es un ejemplo:



### REACCION EN CADENA

### 3.- Efectos de la radiación en la degradación de colorantes.

El color cambia en soluciones acuosas irradiadas de colorantes y es asociada con la oxidación reversible, o con una oxidación irreversible de tinta. La siguiente ta



bla muestra el comportamiento de los colorantes en aguas residuales tratadas con radiación (28).

TABLA III

VIOLETA METILO

DOSIS KRAD	CAMBIOS EN EL COLOR	PRECIPITACION	pH	ABSORBANCIA $\lambda$ nm
0	Violeta		8.15	1.01
50		+	7.99	0.53
100		++	7.82	0.21
150		+++	7.75	0.10
200		++++	7.68	0.06
300	Decolorado	+++++	7.00	0.04
400			7.23	0.032
500			7.08	0.02

VERDE DE BRONOCRESOL

DOSIS KRAD	CAMBIOS EN EL COLOR	PRECIPITACION	pH	ABSORBANCIA $\lambda$ nm
0			8.13	3.58
50	Azul intenso		8.01	3.80
100			7.84	3.62
150			7.7	3.52
200			7.53	3.35
300	Azul		7.36	3.18
400			7.30	3.00
500	Azul ligero		7.28	2.6

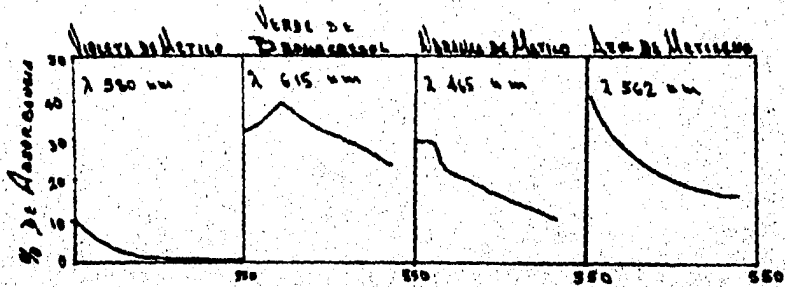
## NARANJA DE METILO

DOSIS KRAD	CAMBIOS EN EL COLOR	PRECIPITACION	pH	ABSORBANCIA $\lambda$ nm
0	Amarillo muy intenso		8.04	3.32
50			7.86	3.26
100			7.71	2.92
150			7.59	2.84
200			7.4	2.78
300	Amarillo		7.14	2.68
400			7.1	2.6
500			7.01	2.54

## AZUL DE METILENO

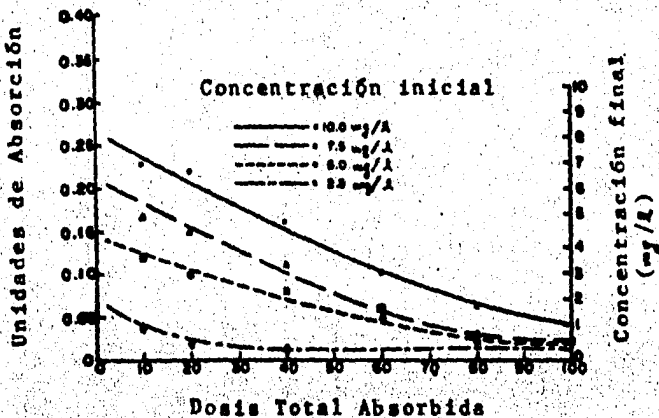
DOSIS KRAD	CAMBIOS EN EL COLOR	PRECIPITACION	pH	ABSORBANCIA $\lambda$ nm
0	Azul		8.17	4.86
50			7.98	3.9
100			7.77	3.27
150			7.67	2.88
200		+	7.54	2.64
300	Azul	+	7.42	2.49
400		++	7.28	2.16
500	Azul ligero		7.06	2.04

Enseguida se dan los diagramas espectrofotométricos de colorantes en soluciones de agua residual.

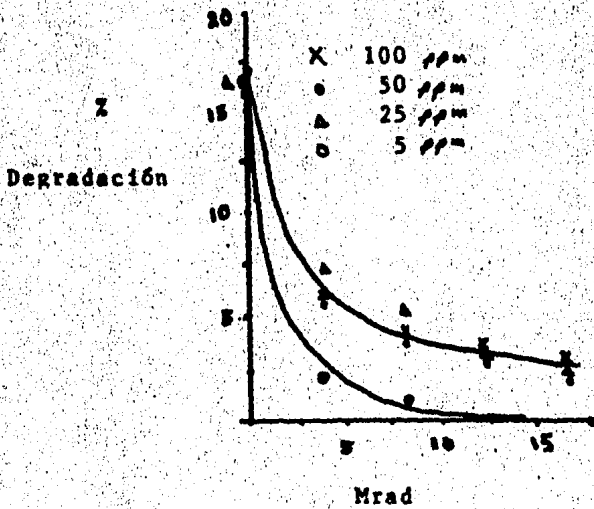


#### 4.- Efectos de la radiación en detergentes.

Uno de los más importantes componentes de los detergentes son los surfactantes o tensoactivos, de éstos los más importantes son los alquilsulfonatos. Se han hecho estudios de radiación para la degradación de alquil sulfonato con una dosis de radiación gamma de 366.7 rads/min. encontrándose los resultados siguientes:



La siguiente figura nos muestra la degradación del dodecilsulfonato a diferentes concentraciones para una intensidad de radiación, proveniente de una fuente de Co-60 (29).



TEMA IV. DIFERENTES TIPOS DE FUENTES DE  
IRRADIACION

Existen diferentes tipos de fuentes de irradiación útiles para el tratamiento de aguas residuales, las más importantes son:

- 1.- Radiación gamma (cobalto-60 y Cesio 137)
- 2.- Radiación X
- 3.- Radiación gamma con productos de fisión
- 4.- Electrones provenientes de aceleradores de partículas.

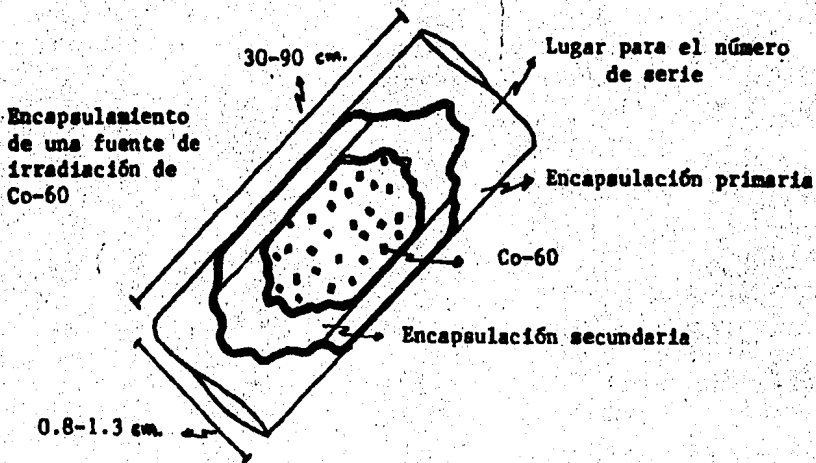
1.- Fuentes de radiación gamma.

Los rayos gamma carecen de masa y de carga, por lo tanto, tienen mayor energía, pueden provenir de radioisótopos (núcleos que han adquirido radiactividad dentro de un reactor nuclear, son inestables y emiten energía). Las fuentes de rayos gamma más comunes son las de cobalto 60 y de cesio 137. Principalmente se escogen estos radioisótopos porque tienen una vida media grande (5.258 y 30.2 años respectivamente, propiedades químicas estables y una alta actividad específica (curies/g de elemento).

El cobalto 60 es fabricado por bombardeo de neutrones sobre cobalto 59 metálico natural dentro de un reac-

tor nuclear. El cesio 137 es un producto de fisión que se obtiene al procesar el uranio de las varillas que alimentan a un reactor.

Encapsulación: El cobalto 60 es generalmente producido en pequeños cilindros de 1mm x 1mm a 6.25 mm x 6.25 mm los cuales son depositados dentro de un cilindro de acero inoxidable que puede ser de 0.8 a 1.27 cm. de diámetro y de 30.48 a 91.44 de largo.



Generalmente se encapsula en un segundo cilindro de acero inoxidable con el fin de protegerlo contra alguna abrasión accidental contra la corrosión o la oxidación.

Para el encapsulamiento del Cesio 137 se utiliza la misma cápsula que consta de dos cilindros de acero

inoxidable cuyas medidas son: 6.7 cm. de diámetro exterior y una longitud de 53 cm., conteniendo alrededor de 60,000 Ci de Cesio 137. La disponibilidad de la radiación proveniente del Cobalto 60 es de dos tipos de energía de rayos gamma de 1.17 y 1.33 Mev que son emitidos durante el decaimiento beta de Cobalto 60 a Níquel 60. También el Cesio 137 sufre un decaimiento beta a Bario 137, con la emisión de un rayo gamma de 0.66 Mev. Una característica de los rayos gamma provenientes del Co-60 y el Cs-137 es su alta penetrabilidad. El carácter exponencial de los procesos de absorción gamma de estos radioisótopos requieren una alta protección, por lo que se tienen que construir paredes de un espesor de 1 a 2 m. El cálculo puede realizarse por medio de la fórmula:

$$A = A_0 e^{-\mu X}$$

donde  $A_0$  y  $A$  son las actividades inicial y final (después de atravesar una pared o blindaje de espesor  $X$  y  $\mu$  es el coeficiente de atenuación lineal, en donde  $\mu = \frac{0.693}{X_{1/2}}$ , siendo  $X_{1/2}$  la capa hemireductora o grosor necesario para reducir la cantidad de radiación inicial a la mitad. En la siguiente tabla

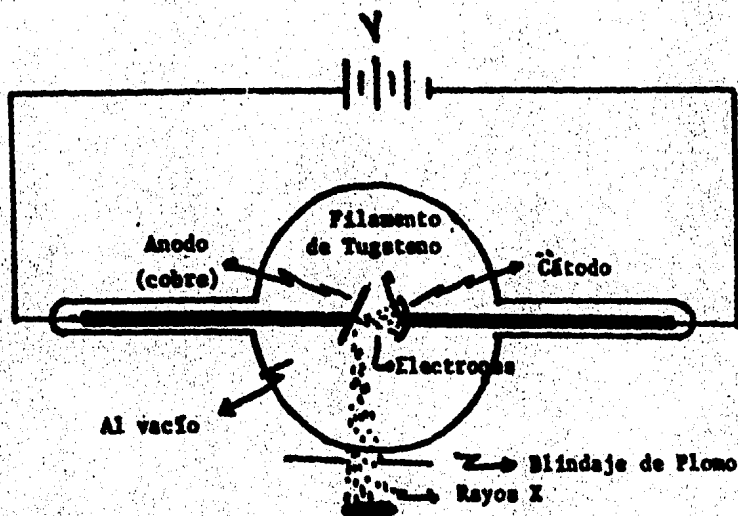
se muestran datos de absorción para espesores de materiales comunes, como el agua y otros.

MATERIALES	$X_{1/2}^{60} \text{ Co}$ Rayos $\gamma$ (cm)	$X^{1/10} \text{ Co}^{60}$ Rayos $\gamma$ (cm)	$X_{1/2} \text{ Cs}^{137}$ Rayos $\gamma$ (cm)	$X^{1/10} \text{ Cs}^{137}$ Rayos $\gamma$ (cm)
Agua	27	64	24	55
Concreto	13	28	9.0	21
Acero	3.5	8.0	2.5	6.6
Plomo	1.8	4.5	0.7	2.5



## 2.- Fuente de Rayos X

Los rayos X son producidos siempre que electrones de alta velocidad chocan con la materia. Un tubo convencional de rayos X se muestra en la siguiente figura.



El tubo de rayos X consiste de un cátodo y un ánodo dentro de una envoltura de vidrio que se encuentra al vacío. El cátodo es un filamento de tungsteno montado en una cúpula con el fin de que los electrones producidos al aplicar un alto voltaje, sean concentrados y enfocados en una zona de blanco en el ánodo de cobre. Cuando los electrones son desacelerados por el choque, se irradia energía hacia todas direc-

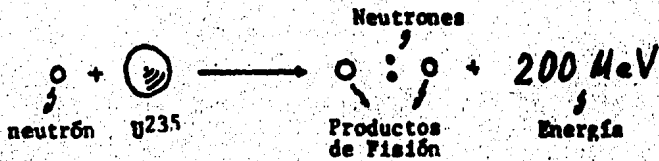
ciones, pero debido al efecto de blindaje de la zona de blanco y al plomo colocado alrededor del tubo, el haz útil es confinado a un cono.

### 3.- Radiación gamma con productos de fisión.

#### Fisión.

En el período de 1925 a 1935 se consiguieron muchas transformaciones nucleares bombardeando con protones, partículas alfa o rayos gamma, las cuales se solían obtener en máquinas aceleradoras de partículas, principalmente el ciclotrón, que se habían montado recientemente. Después de su descubrimiento en 1932, el neutrón adquirió extraordinaria importancia como partícula bombardeante. El motivo de la gran eficacia del neutrón radica en su masa relativamente grande y en la gran cantidad de energía que transporta, pero además, carece de carga eléctrica, puede atravesar el campo eléctrico que circunda los núcleos de los átomos. Así, hasta los neutrones de movimiento muy lento son capaces de llegar a los núcleos de los átomos y aportar energía suficiente para ocasionar la transformación. Habían demostrado así, que al absorber un neutrón lento, el Uranio, se divide aproxima-

damente en dos mitades, proceso que se le conoce con el nombre de Fisión (30), de la cual se desprenden los llamados productos de fisión, cuya reacción es la siguiente:



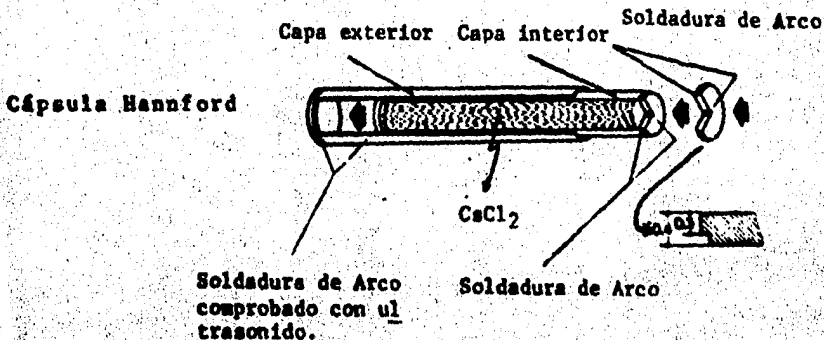
Los productos de fisión consisten en una mezcla de isótopos de diferente composición, que a continuación se muestra.

<u>ELEMENTO</u>	<u>MOL OXIGENO</u> <u>MOL METAL</u>	<u>% OXIDO</u>
Na	0.5	0.92
Rb	0.5	0.67
Cs	0.5	2.55
Sr	1.0	0.87
Ba	1.0	1.34
Y	1.5	0.63
La	1.5	1.23
Ce	2.0	2.80
Pr	1.5	2.12
Nd	1.5	4.25
Pm	1.5	0.20
Sm	1.5	0.75
Eu	1.5	0.12
Gd	1.5	0.11
Tb	1.5	0.002
Dy	1.5	0.002
Zr	2.0	4.19
Mo	3.0	4.67
Te	2.0	0.43
Ru	2.0	2.47
Rh	1.5	0.53
Pd	1.0	1.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.5	66.67

Encapsulación: Todas las fuentes radiactivas han sido encapsuladas para evitar contaminar el medio ambiente, mediante esta medida tenemos un nivel de seguridad - bastante aceptable. El encapsulamiento consiste en poner a la fuente radiactiva dentro de dos cilindros de acero inoxidable. La siguiente tabla tiene las medidas de la cápsula tipo COP-2/8.

FUENTE	DIAMETRO INTERIOR (Cm)	ESPESOR	LONGITUD ACTIVA (Cm)
Productos de Fisión	2.6	0.2	37
$^{137}\text{Cs}$	2.6	0.2	37
$^{60}\text{Co}$	1.4	0.1	44

La construcción de la cápsula Hannford se deriva de la siguiente figura:



Las especificaciones no pueden ser modificadas y las encontramos en la siguiente tabla (31).

DIMENSIONES DE LA CAPSULA HANNFORD

<u>CAPSULA</u>	<u>INTERIOR</u>	<u>EXTERIOR</u>
Espesor (cm)	0.241	0.277
Diámetro ext. (cm)	5.715	6.67
Longitud total (cm)	50.102	52.769

4.- Electrones provenientes de aceleradores de partículas

En la actualidad existen diversas fuentes de aceleradores de electrones pero las más usadas son:

- A.- Acelerador Van de Graaff
- B.- Acelerador lineal de electrones
- C.- Dinamitrón

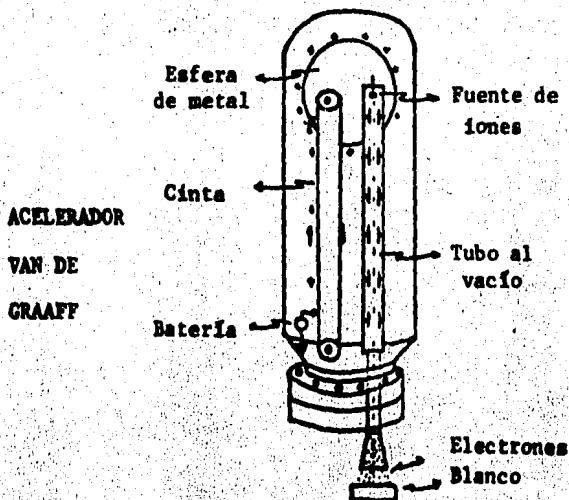
A.- Acelerados Van de Graaff

Comunmente se le conoce como generador de electrones, fue desarrollado por Van de Graaff y Trump en 1930 en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, consta de una gran hemisfera hueca, que se carga mediante una cinta transportadora de cargas eléctricas, procedentes de una batería.

A medida que la cinta pasa por entre una placa y un peine de puntas metálicas, los electrones saltan desde las puntas hacia el electrodo positivo, siendo capturadas por la cinta, al entrar a la hemisfera, los electrones saltan a las puntas de otro peine metálico, emigrando rápidamente a la superficie externa de la hemisfera.

Los electrones son acelerados a lo largo de un tubo al vacío, donde después de adquirir la energía total del voltaje disponible, bombardean al blanco.

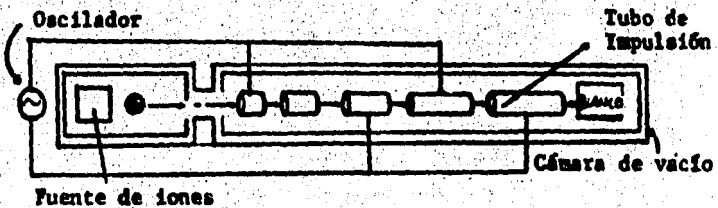
Se han construido aceleradores Van de Graaff que proporcionan electrones con energías superiores a los 12 Mev, pero son más comunes aplicados en el rango de energía de 2-3 Mev. (32).



### B.- Acelerador lineal de electrones.

Consisten en una serie de electrodos tubulares, alternando rápidamente la polaridad de éstos electrodos, una partícula cargada es repelida simultáneamente por un tubo a través del cual ha sido impulsada siendo atraída por el siguiente, su aceleración se produce sólo en cada espacio sucesivo entre los tubos.

Modelo de un acelerador lineal. El alto vacío reduce la posibilidad de colisiones indeseables entre partículas.



ACELERADOR LINEAL DE ELECTRONES

### C.- Dinamitrón

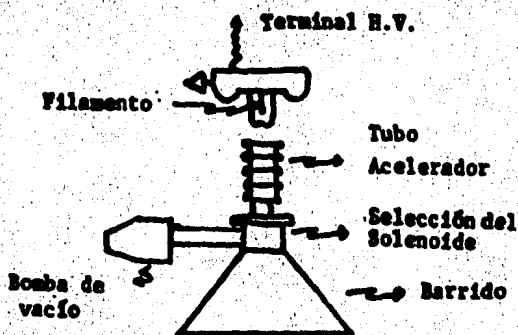
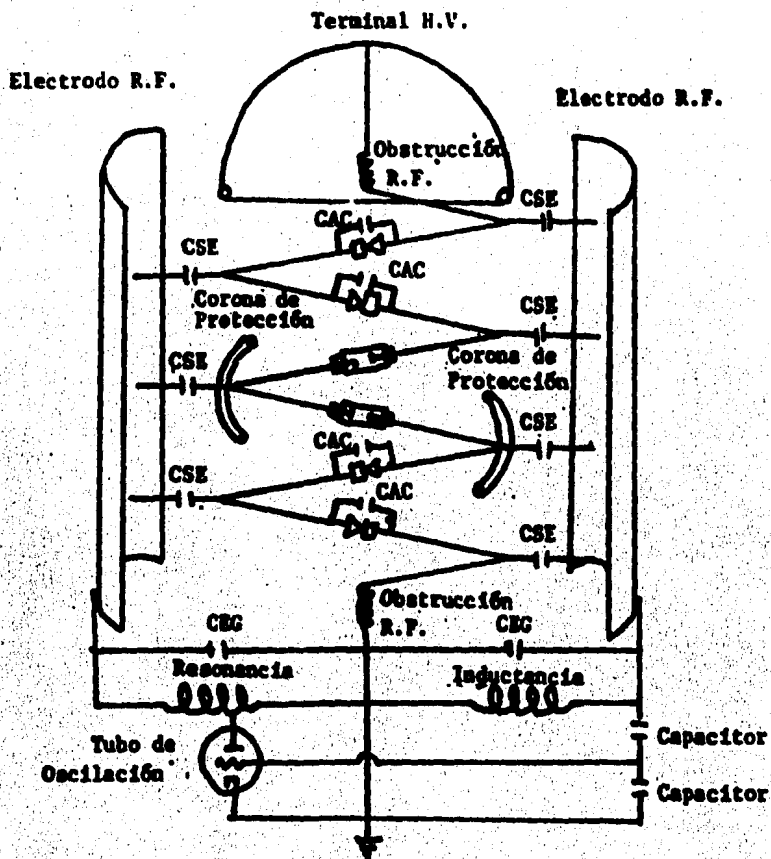
Para 1979 existían alrededor de 100 firmas usando más de 200 aceleradores de electrones aprovechando una fuerza de 10,000 kilowatts. Aceleradores modernos operando en un rango de fuerza de 10 a 100 kW. Para bajas energías la penetración del rayo en materiales sólidos puede ser inadecuada mientras que altas energías pueden ocasionar riesgo induciendo radioactividad en materiales pesados. La Insulating Core Transformer (ICT) hace para la High Voltage Engineering Corp. generadores usando transformadores magnéticos que son capaces de producir una potencia alta a voltajes moderados. Un típico haz de potencia de la ICT son: 100 kW a 1 MV y 50 kW a 2 MV (33). Series acopladas de sistemas en cascada se fabricaron para diversas firmas (34-36). Series acopladas en paralelo en sistemas de cascadas son los llamados Dinamitrones, hechos por la Radiation Dynamics, Inc., estos aceleradores tienen un rango de voltaje de 0.4 MV y de 20 a 200 kW. El desarrollo de estos aceleradores (dinamitrones) ha hecho una contribución sustancial al campo de los procesos de la ra



diación, más de 80 máquinas han sido vendidas para organizaciones industriales (37).

En el esquema siguiente se puede observar los componentes que generan el alto voltaje que son: un transformador R.F., una capacitancia formada por electrodos R.F., anillos corona y la terminal de alto voltaje. Los transformadores R.F., o solenoides (como comunmente se les conoce), el tubo de aceleración, la cámara de enfriamiento, rectificadores anillos corona, el cañón electrónico, etc. todo esto dentro de la cámara de presión. En principio el oscilador, en conjunción con el circuito resonante, localizados dentro de la cámara de presión convierte la línea de entrada a un alto voltaje R.F. Este circuito de resonancia comprende una inductancia que proviene de los transformadores, y una capacitancia de los electrodos y los anillos corona, alrededor de la columna de rectificadores. Cuando el potencial R.F. es aplicado al transformador primario éste entrega un alto potencial R.F. al del secundario por los electrodos R.F. El primer campo formado por estos electrodos aplica un potencial R.F. sobre cada uno de los rectificadores

para una capacitancia acoplada entre los electrodos y los anillos corona. Este arreglo proviene de la alimentación paralela de los rectificadores que están conectados en serie y consecuentemente la línea de salida de corriente directa viene adicionándose para producir el aceleramiento requerido en el voltaje para producir un voltaje terminal elevado. La magnitud de este voltaje es determinado por el número de rectificadores que hay en el arreglo, el tubo acelerador está conectado directamente a la terminal de alto voltaje manteniéndose bajo un alto vacío interno (35). La alta potencia de estas máquinas se ha desarrollado y ha reducido los costos por unidad de procesamiento de radiación y el alto voltaje ha dado desarrollo para irradiar nuevos productos.

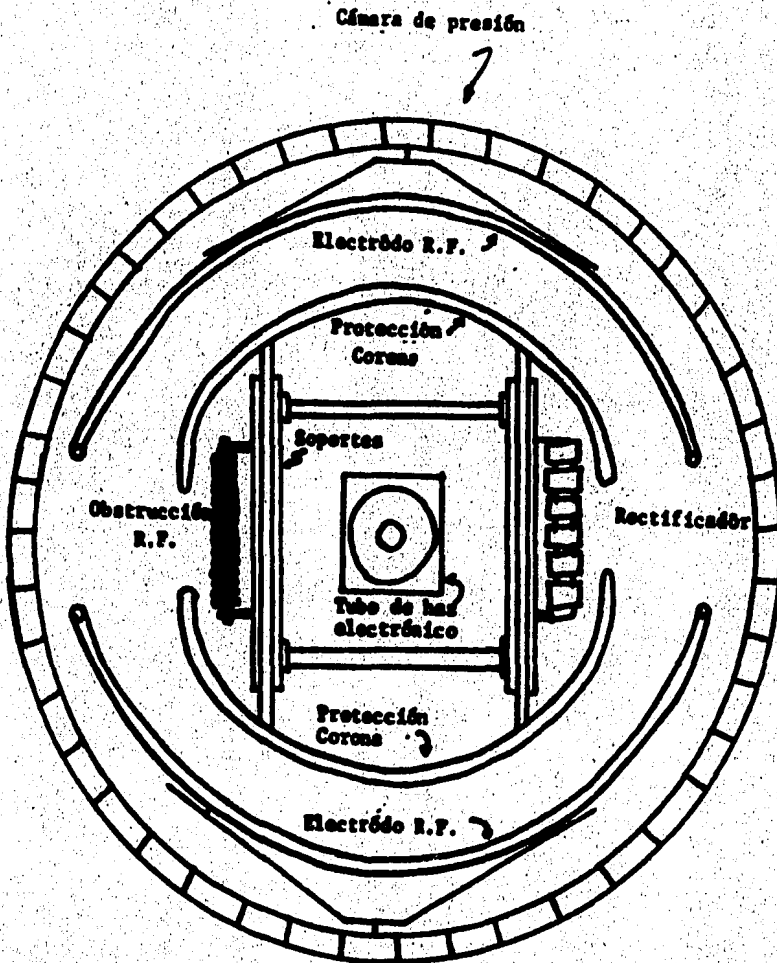


CSE = Protección para el electrodo.

CAC = Anodo para cátodo (capacitancia)

CEG = Electrodo para GND

D I N A M I T R O N E N C A S C A D A



Vista Superior

DINAMITRON EN CASCADA

## TEMA V

CONSIDERACIONES DE DISEÑO (EXPERIENCIAS EN PLANTAS PILOTO  
VENTAJAS Y DESVENTAJAS, POSIBILIDADES EN MEXICO).

1.- Introducción

El desarrollo actual de la Ingeniería Sanitaria permite obtener un tratamiento económico de las aguas negras para proporcionar agua para diversos usos que no requieran agua al 100% potable. El uso de las plantas de tratamiento se han incrementado considerablemente en los últimos años, para aliviar los problemas del agua, principalmente en las poblaciones de crecimiento demográfico acelerado. El Valle de México requiere el tratamiento de las aguas negras. Desde hace varios años el DDF ha desarrollado grandes obras - para disponer del agua pluvial y residual en la Ciudad de México, los procesos principales de tratamiento del agua son los siguientes:



Los tratamientos primarios, son procesos principalmente

mecánicos, como la utilización de rejillas, tamices, tanques desgrasadores. Los tratamientos secundarios son procesos químicos y biológicos. Aunque lo expuesto anteriormente, sea factible la transformación del agua negra en agua de la calidad que se desee, económicamente sólo es conveniente llevar el tratamiento hasta la etapa secundaria. El agua tratada en estas condiciones, si la procedencia de las aguas negras es principalmente doméstica y se utiliza hasta el tratamiento secundario seguido de cloración el agua que resulta será clara, brillante, sin olor y estable.

En la siguiente tabla se presentan algunas de las características de las plantas existentes en México

**Características de las plantas de tratamiento de aguas negras del DDF.**

<u>PLANTA</u>	<u>NO. DE UNIDADES</u>	<u>CAPACIDAD (l/s)</u>	<u>ORIGEN DEL AGUA NEGRA</u>	<u>USO DEL AGUA TRATADA</u>
Chapultepec	2	160	Doméstico	Riego de zonas verdes del bosque. Llenado del lago.
Ciudad Deportiva	2	230	Variable (inclusive residuos industriales)	Riego de áreas verdes de la Cd. Deportiva y Avenidas.
San Juan de Aragón	1	500	Doméstico	Riego de zonas verdes. Llenado de lagos.

<u>PLANTA</u>	<u>NO. DE UNIDADES</u>	<u>CAPACIDAD (l/s)</u>	<u>ORIGEN DEL AGUA NEGRA</u>	<u>USO DEL AGUA TRATADA</u>
Xochimilco	1	1250	Variable	Mantenimiento del nivel del lago.
Cerro de la Estrella	2	5000	Variable	Irrigación de 4000 Has. del Sureste del D. F.
Acueducto de Gpe.	1	80	Variable	Riego de zonas verdes.
Bosque de las Lomas	1	55	Variable	Irrigación.

## 2.- Posibilidad de una fuente de radiación.

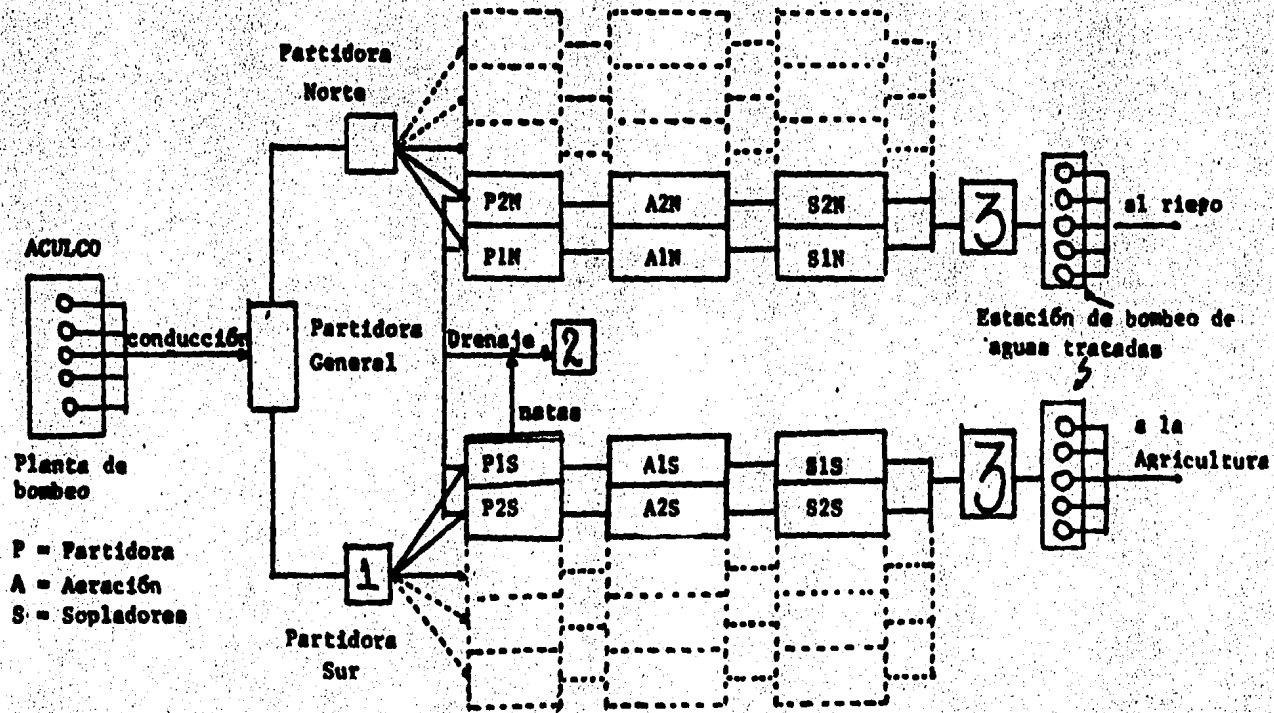
Para el tratamiento de las aguas negras en la planta del Cerro de la Estrella, podemos considerar tres lugares donde la irradiación puede utilizarse.

Primero, para el tratamiento de lodos de la partidora del sur (número 1 de la siguiente figura).

Segundo, de los lodos obtenidos provenientes tanto de la partidora norte como los de la sur (después del drenaje).

Tercero, al final de todo el proceso.

El proyecto anterior (Enero de 1981) tiene como uno de los propósitos el definir esta localización en esta planta, en las otras ya existentes y en las que en el futuro el DDF construye.



**DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA DEL CERRO DE LA ESTRELLA  
 LOCALIZACION POSIBLE DE LA UNIDAD DE IRRADIACION**

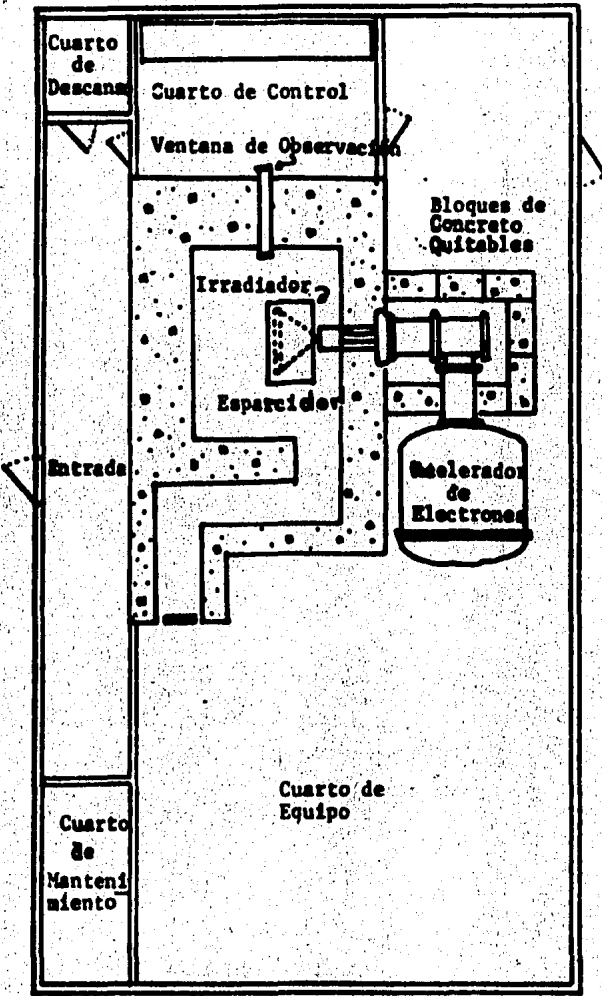


### 3.- Experiencias en plantas piloto

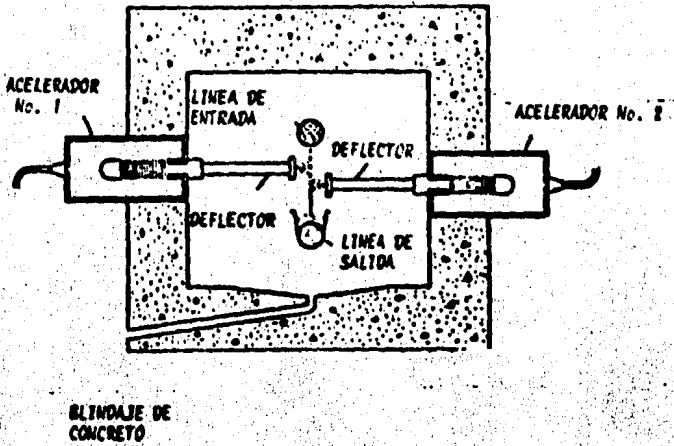
#### A.- Fuente de electrones.

a) Los procesos de tratamiento con electrones, no solamente son útiles para los lodos de las aguas negras, sino también pueden ser aplicables para las aguas residuales y agua potable. Con efluentes de aguas residuales municipales podemos hacer una adecuada desinfección con dosis de electrones de solamente 50 kilorads (39), estas dósas bajas reduce el costo por unidad de volumen. Los efectos benéficos de los electrones sobre el agua potable pueden ser demostrados (40). La desinfección con una dosis de 50 kilorads es suficiente para descomponer con taminantes orgánicos y mejorar el sabor del agua. El tratamiento de agua requiere algunos cambios con respecto al flujo para la desinfección del lodo, en primer lugar el flujo de agua es mayor por lo que se necesitan dos aceleradores colocados en serie. La siguiente figura 1 nos muestra una vista general de una construcción típica para la desinfección de aguas residuales por medio de electrones. Una

vista más particular del cuarto de irradiación la damos a continuación en la figura 2. Lo más importante dentro del tratamiento de agua por medio de electrones es sin duda los diferentes métodos de irradiación, esto es porque la penetración de los electrones dentro del agua es relativamente corta, así que, debemos de formar una capa delgada de agua para que haya una gran penetración de parte de los electrones. Los diferentes métodos usados están representados en la figura 3. (41).

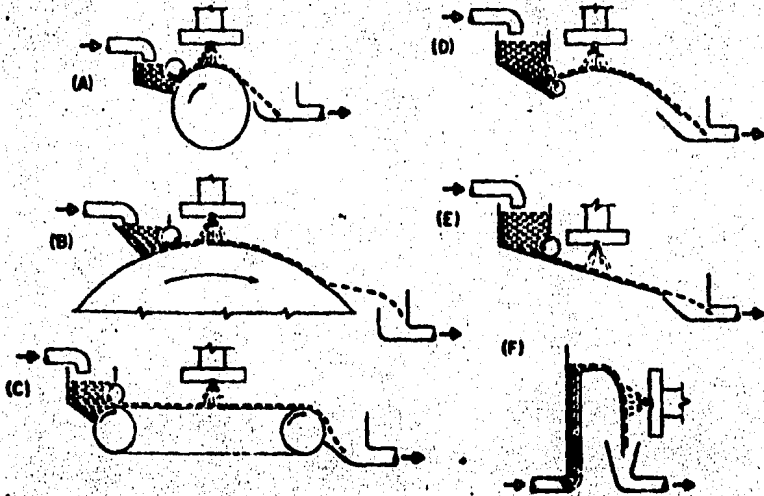


11 m



CUARTO DE IRRADIACION

DIFERENTES FORMAS PARA IRRADIAR



## B.- Fuente de radiación gamma

Se presenta aquí, la descripción del proceso de irradiación con Cs-137 (desarrollado en los Laboratorios Nacionales de Sandia (SNL) en Albuquerque, Nuevo México.

Esta planta opera con radiación gamma proveniente del Cs-137 del cual se utiliza una dosis de 1 megarad (Mrad), para una capacidad aproximada de 22 a 90 m<sup>3</sup>/día. La ventaja de esta planta, es que puede trabajar con un contenido de sólidos dentro del agua hasta en un 20%.

La fuente de radiación: La fuente de radiación que se utiliza es el Cs-137 que viene en forma de cloruro de cesio en un doble encapsulamiento en acero inoxidable. El cloruro de cesio es introducido dentro del primer encapsulamiento como una sal fundida, cuando ésta se solidifica se convierte en una masa sólida. Cada cápsula contiene alrededor de 70 kilocuries (kCi) de cesio-137, estas cápsulas están disponibles a un precio de 10 centavos de dolar por curie en U.S. Department of Energy Waste Encapsulation and Storage Facility (WESF) en Richland, Washington.

Las dimensiones de la cápsula fueron dadas anteriormente. La cantidad de Ce-137 está en función del volumen de agua a procesar. Según la capacidad de la planta la dosis mínima es de 1 Mrad durante 5 años, después de esos 5 años de operación aproximadamente el 11% de Ce-137 debe ser reemplazado.

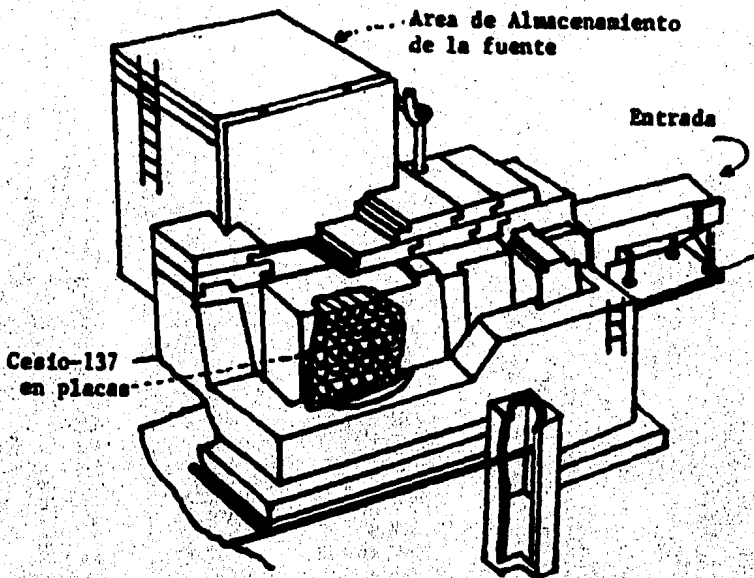
**Area de almacenamiento:** El área de almacenamiento consiste en una cámara de concreto; durante los períodos de mantenimiento o cuando el irradiador no está operando, la fuente es almacenada temporalmente en esta área.

**Sistema de ventilación:** El sistema de ventilación de la fuente sirve principalmente para eliminar el calor generado por la fuente de Cs-137 durante el proceso de irradiación.

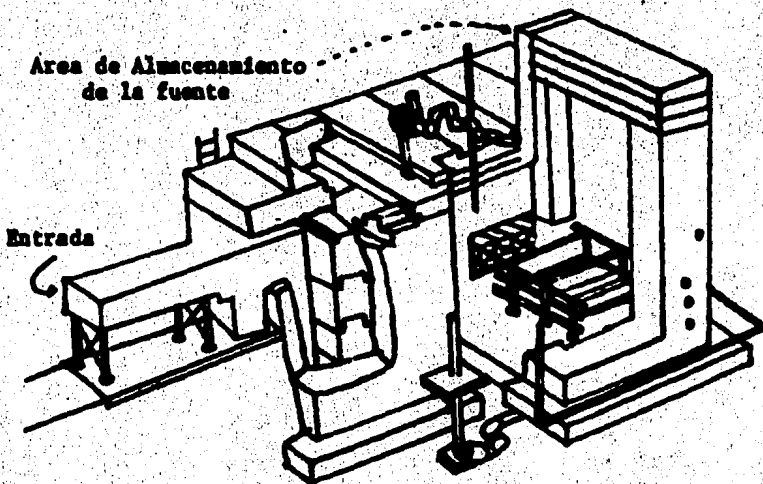
**Sistema de control:** El sistema de control consiste en un tablero de operaciones que contiene un sistema de monitoreo, interruptores, botones de presión de apagado y encendido. Dos sistemas completamente independientes, uno eléctrico y el otro mecánico. El propósito de estos sistemas es proteger al personal de accidentes debidos a la exposición de la radiación, proporcionan un mínimo de accidentes.

La planta antes descrita es mostrada en el sig. dibujo.

## VISTA DE FRENTE



## VISTA POR ATRAS



PLANTA DE IRRADIACION CON Co-137  
 SANDIA NATIONAL LABORATORIES (SRL)  
 ALBUQUERQUE, NEW MEXICO

#### 4.- Ventajas y desventajas entre las diferentes fuentes de irradiación.

##### A.- FUENTES DE RADIACION GAMMA

Las fuentes de irradiación gamma utilizadas industrialmente pueden ser de los siguientes tipos: Combustible gastado de un reactor nuclear, mezclas de sólidos de productos de fisión, productos de fisión aislados y purificados como el Cs-137 o bien elementos radi-activos producidos por medio de una reacción nuclear, como es el caso del Co-60 producido por medio de la reacción  $\text{Co}^{55} (n, \gamma) \text{Co}^{60}$  con neutrones térmicos de un reactor nuclear. (47)

Para escoger la fuente más adecuada de radiación gamma es necesario tomar en cuenta; el costo de encapsulación y el efecto de absorción de la fuente; por lo que examinaremos lo anterior y las técnicas de manejo para encontrar el tipo de fuente más económica.

La comparación la haremos para una planta de esterilización de aguas negras con una capacidad de  $30 \text{ m}^3/\text{día}$ . Las aguas residuales son bombeadas del tanque de almacenamiento a la cámara de



irradiación, en donde está en continua agitación hasta recibir la dosis requerida. Las fuentes de radiación gamma son encapsuladas por el fabricante, blindadas y transportadas tomando todas las precauciones necesarias. La planta de tratamiento se monitorea continuamente para checar cualquier posible fuga radioactiva y el agua tratada se transporta directamente al consumidor. Otra posibilidad es instalar la planta de tratamiento junto a una planta nuclear y utilizar las barras de combustible gastado, inmediatamente después de ser renovadas del reactor nuclear.

#### A.1 Fuentes de rayos gamma de isótopos individuales.

Una característica de los rayos gamma provenientes de Co-60 o del cesio 137 es su alta penetrabilidad. Como se muestra en la Pag. 89 de datos de absorción para espesores de materiales comunes, se dan:

	$X_{1/2} \text{ Co}^{60}$ (cm)	$X^{1/10} \text{ Co}^{60}$ (cm)	$X_{1/2} \text{ Cs}^{137}$ (cm)	$X^{1/10} \text{ Cs}^{137}$ (cm)
Agua	27	64	24	55
Concreto	13	28	9	21
Acero	3.5	8.0	2.5	6.6
Plomo	1.8	4.5	0.7	2.5

Donde la absorción es exponencial, es claro que con estos valores podemos utilizar blancos con un espesor de 50-60 cm. El carácter exponencial de los procesos de absorción requieren una protección bastante grande por lo que se tienen que utilizar paredes de 1-2 m de espesor.

Una desventaja de los materiales radiactivos por su naturaleza inestable es su decaimiento por lo que se tienen que reemplazar periódicamente. El Co-60 tiene una vida media de 5.26 años por lo que debe ser reemplazado anualmente en un 12.5%. El Cesio-137 tiene una vida media de 30.2 años y es necesario reemplazarlos anualmente en aproximadamente un 2.3%.

#### A.2 Diferencias entre Co 60 y Cs 137.

Las fuentes de rayos gamma disponibles hasta el momento son principalmente el cobalto 60 y el cesio-137. A diferencia de los electrones, los rayos gamma tienen una gran penetración en el agua, ésta es de 64 cm. para el cobalto-60 y de 55 cm. para el cesio-137, la diferencia de penetración se debe a que en el primero se emiten 2

tipos de rayos gamma de alta energía: 1.17 y 1.33 MeV, mientras que la energía de los emitidos por el cesio-137 es de 0.66 Mev. Las fuentes de radioisótopos son muy seguras porque no tienen partes móviles y su grado de liberación de energía está regido por las leyes de decaimiento de la radioactividad. Con un blindaje adecuado se evita la fuga de material radioactivo debido a la corrosión o abrasión continua. En la mayoría de los casos la compañía productora de las fuentes provee los medios para cambiar o reemplazar el material radioactivo. La disponibilidad de las fuentes es lo que podría constituir un problema en el momento en que el método de tratamiento se difunda, pues se ha demostrado (12) que para la aplicación de esta técnica a nivel mundial se requerirá de 50 a 100 MCi de Cobalto-60 por año, que es el máximo grado de producción anual mundial en esta época. Hay un gran número de proveedores de cobalto-60 en Europa, Australia, Canadá, URSS, India y U.S.A. Actualmente en México no se cuenta con los medios para producirlo. Posiblemente en un futuro no muy lejano, con la implementación del programa nu

clear, se tengan los medios adecuados para su producción.

La situación con el cesio-137, es diferente, ya que el único proveedor significativo ha sido Estados Unidos (42). La producción de cesio-137 está directamente relacionada con la industria nuclear y su disponibilidad depende de la demanda de un mercado a gran escala que puede convencer a los operadores de plantas de procesamiento de combustible nuclear, de la necesidad de contar en sus instalaciones con el equipo para la separación de cesio-137. A diferencia del cobalto-60, el cesio-137 es de muy poco uso comercial. En México la industria nuclear está en etapa de desarrollo y no se cuenta con la tecnología para la producción de este isótopo.

Debido a que en los últimos años ha habido un incremento en la demanda de aceleradores de electrones, se dice que su costo ha disminuido notablemente, sin embargo, Ballantine (9) en 1978 afirma que el costo por kilowatt para máquinas menores de 1MV será de 3000 a 4000 dólares y para unidades de 3MV, el costo fluctúa entre 5000 y 6000 dólares. En -

cuanto a las fuentes de isótopos radiactivos de acuerdo con los datos proporcionados por la Atomic Energy of Canada Limited (AECL) (42) el costo por curie de cobalto-60 es de 0.50 dólares y para el cesio-137 de 0.30 dólares. Se puede observar que el costo del segundo es menor, sin embargo, la cantidad requerida de cesio-137 es inicialmente mucho mayor que la de cobalto-60, aunque el decaimiento de este último es también mayor, en otras palabras, una fuente de cesio-137 requerirá un costo de capital inicial mucho mayor que una fuente de cobalto-60, pero su costo de reemplazamiento anual sería menor.

#### B.- Productos de Fisión.

Actualmente la mayoría de los elementos de combustible gastado, provienen de reactores de agua ligera ( $H_2O$ ). Lo más importante de estos compuestos es la composición de los productos de fisión, cuando el uranio está gastado (burn-up) y la medida de este burn-up es la energía en megawatts por día, por tonelada de uranio. Los datos más importantes de tales elementos

se dan a continuación:

Longitud total de las barras	447 CM
Longitud del óxido de U	367 CM
Diámetro exterior	1.043 CM
Grosor de las cápsulas	0.08 CM
UO <sub>2</sub> por tubo o cápsula	4.54 Kg
Número de tubos por elemento	49
Número de elementos por carga	228
UO <sub>2</sub> por carga	51 toneladas
UO <sub>2</sub> requerido por año	17 toneladas
Promedio de "burn-up"	20 000 MW d/ton
Potencia del reactor	950 MW <sub>th</sub>
Tiempo de operación	3 años
Tiempo de enfriamiento de los elementos irradiados	90-180 días

Estos productos de fisión también pueden ser separados de uranio no utilizado y del plutonio producido y solidificados. Esta mezcla de productos de fisión tienen la composición dada en la Pag. 62 y consisten de granos muy finos de los óxidos correspondientes y se encapsulan en cantidades de 200 l, en tubos de acero inoxidable.

### B.1 Comparación entre productos de fisión e isótopos radiactivos individuales.

Los productos de fisión tienen una actividad específica baja y un decaimiento más rápido en comparación con el cobalto y cesio por lo que tienen un limitado período de uso. Los costos en \$ Fr./m<sup>3</sup> de irradiación varían proporcionalmente con las dosis de radiación (43). La vida media del Co-60 es de 5.26 años por lo que es aproximadamente 6 veces menor que el Cs-137. El Co-60 requiere dos años de ciclo de carga para compensar el 25% de reducción en actividad. Los costos de la planta son establecidos en la siguiente tabla y la siguiente figura.

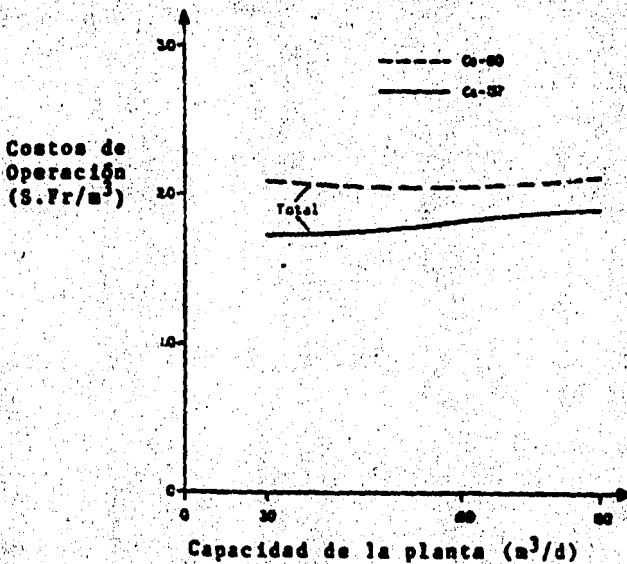
Planta de irradiación especificaciones y costos de operación con una fuente de Co-60 para un ciclo de 2 años.

Capacidad Nominal	(m <sup>3</sup> /d)	30	100	150
Capacidad media	(m <sup>3</sup> /d)	41.2	137.2	206
Capacidad anual	(m <sup>3</sup> /d)	14,000	48,000	72,240
Fuente inicial	(KCi)	109	381	598
Fuente final	(KCi)	84	298	460
Compensación de la fuente cada 2 años	(KCi)	25	87	138
Sp. de Co-60	(\$Fr/Ci)	1.56	1.47	1.45

Amortización e interés sobre la fuente de compensación	(S.Fr./Ci)	19,500	63,950	100,000
Interés sobre la fuente inicial (8%)	(S.Fr./a)	10,480	34,600	53,400
Costo total anual	(S.Fr./a)	30,000	98,600	153,400
Costos específicos de compensación	(S.Fr./m <sup>3</sup> )	1.33	1.33	1.38
Costos específicos de la fuente inicial	(S.Fr./m <sup>3</sup> )	0.75	0.73	0.74
Costos totales específicos de operación	(S.Fr./m <sup>3</sup> )	2.08	2.06	2.12

\* S.Fr = Franco Suizo 80.78 Pesos

Costos de operación con las consideraciones de la fuente inicial y compensación de la fuente.



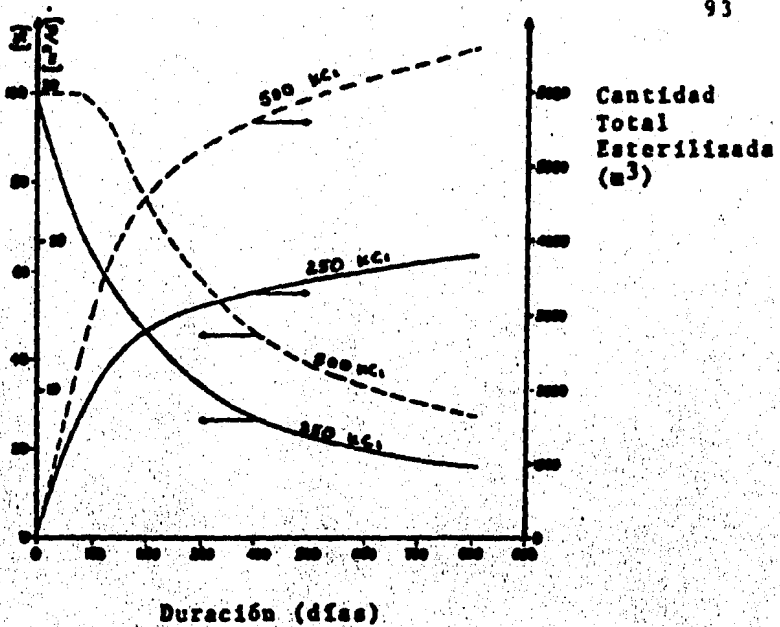


La actividad de los elementos combustibles decae rápidamente en los dos primeros años por lo que su utilidad efectiva es de corta duración. Para un gasto de  $30 \text{ m}^3$ / día y una dosis de 250 krad, es necesario una fuente concentrada de 250 kCi. Los datos de la fuente concentrada y costos se presentan enseguida; Para una varilla:

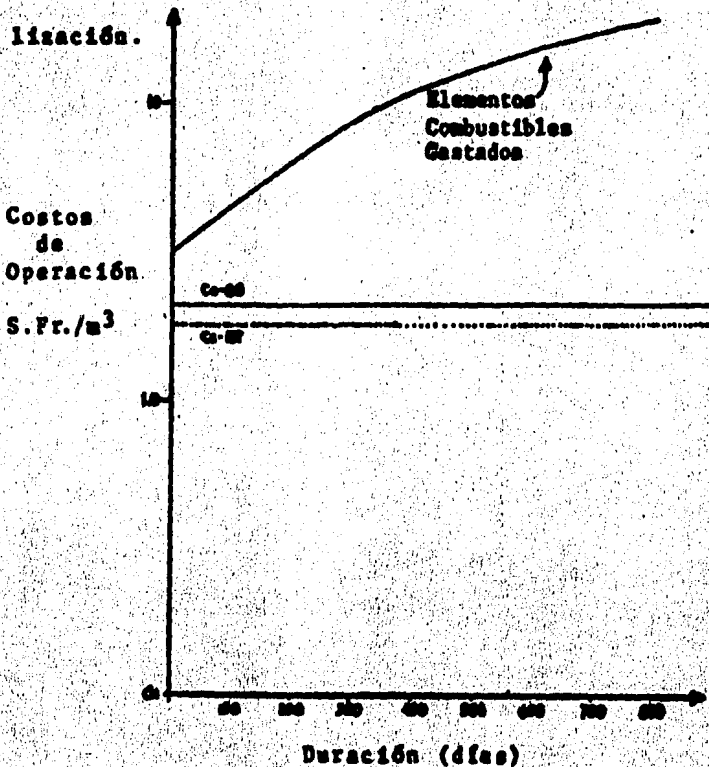
Potencia	84.6 KW
Fuente concentrada	$7.05 \times 10^3 \text{ Ci}$
Auto absorción	0.66
Curies efectivos	$2.4 \times 10^3$
S.Pr./a	36.4
S.Pr./Ci	$1.52 \times 10^{-2}$

Si nosotros consideramos una planta de irradiación con elementos combustibles sin renovación o sustitución entonces podemos considerar que tanto estos elementos pueden ser usados en orden competitivo con las fuentes de Co-60, durante un tiempo corto.

La siguiente figura muestra el promedio del gasto, la capacidad media de la planta y la producción total con elementos combustibles gastados.



La siguiente figura muestra los costos de operación como función de la duración y del uso de la planta de esterilización.



La duración de una barra de combustible gastado tiene una duración de aproximadamente 1.5 años, tiempo durante el cual puede ser competitivo con la fuente de Co-60.

El precio del curie para el refinamiento de los productos de fisión Cs-137 se muestra en la siguiente tabla. La gran vida media del Cs-137 hace que se reemplace la fuente cada 5 años para compensar el 11% de actividad.

Costos de curie efectivo de Cs-137 para la cápsula Hannford.

	S.Fr./cápsula
1.- Costos 0.1 \$/r Ci x 0.3 S.Fr./r Ci por cápsula: 56 kCi	16 800
2.- Transporte 4 cápsulas por contenedor	
Hannford/Europe Harbour ≈ 1000 S. Fr./caps.	1 000
Harbour/planta           300 S. Fr./caps.	300
Forklift, etc.	50
3.- Costo del contenedor       100 S. Fr./d 40 días	1 000
4.- Impuestos aduanales	20
5.- Ganancia del capital (12% de "1.-")	20 016
6.- Cargos del agente (3% de "1.-")	500
7.- Costo por contenedor	1 700
8.- Costo por Curie para una cápsula con 28 600 Ci                   S. Fr./Ci	0.76

Los datos de la planta y costos por metro cúbico para cinco valores diferentes de producción, similares a la referencia (44) se muestran en la siguiente tabla y con referencia a la figura de los costos de operación con las consideraciones de la fuente inicial y compensación de la fuente.

Especificaciones de la planta de irradiación y costos de operación con una fuente de Cs-137 para un ciclo de 5 años.

Capacidad nominal	(m <sup>3</sup> /d)	30	100	120	150
Capacidad media por día	(m <sup>3</sup> /d)	31.64	105.48	126.57	158.21
Capacidad media por año 350d	(m <sup>3</sup> /a)	11,070	36,900	44,300	55,350
Fuente inicial	(kCi)	234	820	1,004	1,285
Fuente final	(kCi)	260	911	1,115	1,429
Fuente de compensación por 5 años	(kCi/5a)	25.8	90.8	111	143
Costo del Cs-137	(S. Fr./Ci)	0.76			
Amortización e interés sobre la fuente de compensación	(S. Fr./a)	4,928	17,324	21,298	27,338
Interés de la fuente inicial (8%).	(S. Fr./a)	14,265	49,996	61,159	78,326
Costos totales anuales	(S. Fr./a)	19,192	67,320	82,457	105,664
Costos de compensación específicos	(S. Fr./m <sup>3</sup> )	0.44	0.48	0.49	0.50
Costos específicos de la fuente inicial	(S. Fr./m <sup>3</sup> )	1.29	1.35	1.38	1.41
Costos de operación específicos totales	(S. Fr./m <sup>3</sup> )	1.73	1.83	1.87	1.91

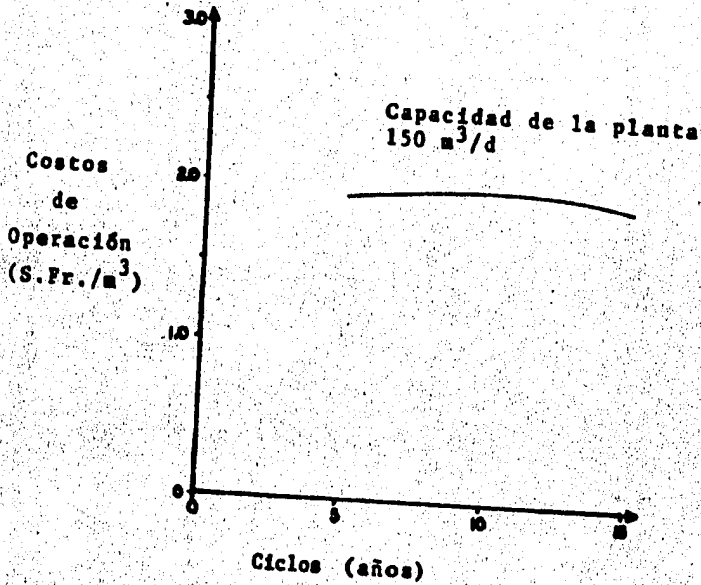
Podemos efectuar el resumen para una esterilización de 150

$m^3$ /día en los costos de operación para diversos períodos. La siguiente tabla muestra las computaciones para este efecto.

Costos de operación de  $150 m^3$ /día con variación de Co-137 para varios ciclos.

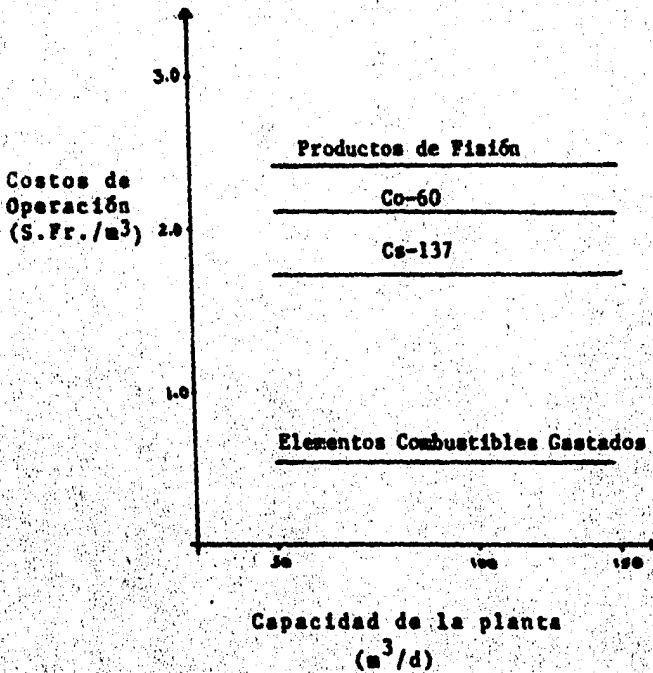
Capacidad media	( $m^3/a$ )	55,350	57,060	63,430
Fuente (ciclo)	(a)	5	10	15
Fuente inicial	(kCi)	1,429	1,865	2,070
Fuente final	(kCi)	1,285	1,285	1,285
Compensación de la fuente	(kCi/ciclo)	143	354	558
Amortización e interés (8%)	(%)	25.05	14.9	11.68
Amortización e interés sobre la fuente de compensación	(S.Pr./a)	27,338	34,222	42,189
Interés de la fuente inicial (8%)	(S.Pr./a)	78,326	78,326	78,326
Costos totales específicos de operación.	(S.Pr./ $m^3$ )	1.91	1.97	1.90
Costos totales de la fuente	(S.Pr./a)	105,664	112,548	120,515

Los costos totales de operación para varios ciclos se dan a continuación:



Enseguida se muestra los costos totales de operación de varias fuentes en función de la capacidad de procesamiento los costos de operación fueron calculados en base de 30 m<sup>3</sup>/día a 150 m<sup>3</sup>/día.

Costos de operación total para varios tipos de fuentes gamma.



En la figura anterior no han sido considerados los costos de transporte y manejo porque son insignificantes. La fuente de Cesio proporciona de un 15-20% menor en costo que la del Co-60. La supervisión y el mantenimiento de las fuentes puede estar a cargo del Control del Estado y la carga y la descarga de las fuentes puede ser hecha por la agencia responsable de entregar las fuentes. Lo concerniente a la resistencia de la corrosión del Cesio radioactivo está de acuerdo para que los cilindros resistan más de 10 años sin mostrar algún daño.

Para los elementos combustibles gastados podemos decir algunas de las dificultades que se encuentran en la operación de irradiación como lo son la radiación compleja debido a la mezcla de radioisótopos que contienen actividad, limitado período de uso, inexactas condiciones de operación problemas con el arreglo de las varilla, etc. Debe de existir un grado de seguridad en el transporte de los elementos desde el reactor hasta la planta.

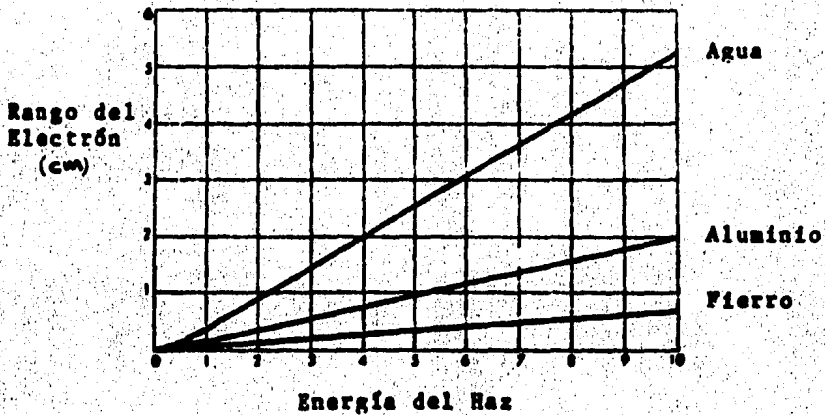
Para los productos de fisión ofrece algunos problemas uno de ellos es la presencia del Sr-90 que posee una baja actividad específica, un decaimiento variable rápido y alto, problemas de corrosión, etc. se le agrega también el caso de la solidificación.

Para el Cobalto-60 podemos decir que en base a la experiencia de 15 años de operación a escala industrial y 2 millones de Ci de Co-60 se ha demostrado que es un isótopo confiable y no se necesitan muchas instrucciones para el personal de operación. No se consideran los isótopos más peligrosos que los aceleradores de electrones.

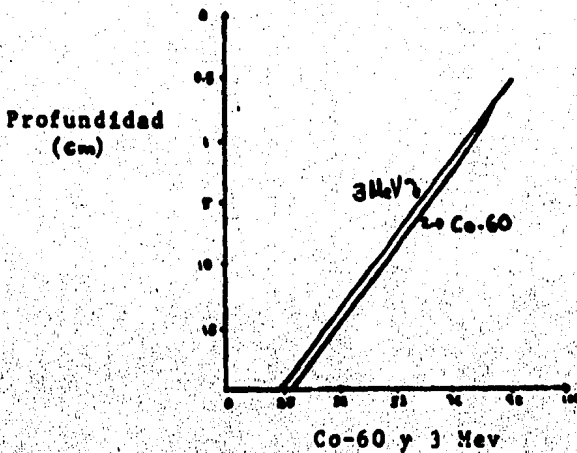
C.- Fuente de electrones.



Un acelerador es una máquina eléctrica capaz de producir rayos intensos de partículas cargadas de muy alta energía, estas partículas cargadas tienen limitada penetración. El rango de electrones de varias energías en diferentes medios se muestran enseguida:



Para el agua la proporción entre el rango del electrón y la energía es aproximadamente de 0.5 cm. por MeV. La siguiente figura muestra la comparación de profundidad entre los rayos gamma (Co-60) y una energía de 3 MeV.



### C.1 Costo de la fuente de irradiación de electrones.

Para un tratamiento de aguas residuales utilizando un sistema de haz electrónico doble para una capacidad de 6 millones de agua a tratar por día (23 mil metros cúbicos por día) (45) puede ser construido un equipo industrial. La corriente y la potencia pueden ser incrementadas de 75 mA y 112 kW a 1500 kV y 225 kW por lo que el barrido pueda ser incrementado a 120 pulgadas (3 m). La velocidad más apropiada para una dosis de 50 kilorads deberá ser de 29 pies por segundo (8.8 m/seg). El costo para un sistema de haz electrónico doble es estimado en 2.5 millones de dólares. El tratamiento anterior tendrá un costo de 34 centavos de dólar por mil galones (9 centavos de dólar por metro cúbico). En 1984 el costo del haz electrónico doble para el tratamiento de aguas residuales y agua potable probablemente será algo más alto que algunos otros tratamientos donde la dosis requerida sea cercana a 50 kilorads, sin embargo, la calidad del agua (mediante el sistema doble) la seguridad pública y la reducción en la contaminación ambiental mejoran económicamente.

### D.- Electrones contra rayos gamma

El costo de desinfección de agua con electrones será menor que con radiación gamma. Para el isotopo Co-60 para un nivel de entrada de un millón de curies, la fuente podría costar 750 mil dólares. La utilización del haz electrónico es del 40% en la caída de agua, así que la absorción será de 30 kW, que para una fuente gamma sería de 2 MCi de Co-60. El costo de operación para 2 MCi de Co-60 es más alto que para el equivalente de un proceso con electrones.

Los costos de irradiación de agua son todavía mucho más altos que la simple cloración pero los costos de los procesos con electrones será menor a medida que se desarrolla el uso de los aceleradores. La calidad del agua y la protección del medio ambiente son suficientemente importantes, el costo del tratamiento del agua con tecnología de electrones puede ser justificable ahora. Con el tratamiento con el haz electrónico podemos desinfectar las aguas residuales municipales, hasta convertirlas en agua potable.

La mayor limitante para el uso de los electrones energizados es el corto intervalo de penetración ya que en el agua el máximo intervalo de penetración es de 0.5 cm/MeV y en el aire es de 4 m/MeV.

TEMA VI  
CONCLUSIONES

Hasta este momento podemos decir, que el mejor método de tratamiento para aguas residuales es el empleado por medios radiactivos, ya que podemos reducir o eliminar bacterias, virus, protozoarios, etc. hasta un 100%; en el agua tratada no existe ninguna radiación residual que pueda ser dañina al medio ambiente, y tenemos agua con un contenido microbiano menor en comparación con el método de desinfección utilizando cloro ya que éste puede ser perjudicial a la vida acuática.

El agua tratada por medio de la radiación resulta inodora, se facilita la sedimentación y la separación de los sólidos existentes en el agua se favorece, facilita también, la degradación de sustancias (no biodegradables) como lo son los detergentes, plaguicidas, etc.

En el agua irradiada encontramos nitratos y fosfatos, elementos importantes que debe de contener el agua para ser utilizada como nutrientes de la tierra, por esta razón es importante utilizar este tipo de agua para el riego, tomando en consideración que debe tener un contenido microbiano sumamente bajo cuando se destina para hortalizas de lo contrario facilitaremos la contaminación.

De los datos presentados en este trabajo se concluye que nosotros podemos reutilizar el agua proveniente de aguas domésticas mediante la radiación, para el riego (incluyendo el agua de riego para hortalizas) con una dosis de  $5 \times 10^5$  rads, la cual es suficiente para eliminar el gran contenido microbiano y así obtener un tipo de agua con la calidad exigida por las normas mexicanas.

Para instalar una planta de radiación de tratamiento de aguas residuales debemos de tomar en cuenta la composición del agua lo más aproximada posible del efluente que se va a tratar y además cual será la calidad del agua que esperamos obtener después de la irradiación.

El método de la radiación es muy útil si queremos transformar el agua residual en agua potable (7,8,15).

Con respecto a la selección de la mejor fuente de irradiación, debemos de considerar los siguientes parámetros principalmente, los costos totales de la planta, la capacidad y la inversión inicial, otros aspectos importantes lo son: la disponibilidad y confiabilidad de la fuente, limitaciones en su caso, el tipo de radiación y sus formas de obtención.

En la tabla siguiente tenemos las principales características de tres diferentes fuentes de radiación, de la cual

podemos hacer las siguientes conclusiones:

Si nosotros queremos construir una planta de irradiación debemos de considerar primeramente su capacidad, si ésta es menor de  $100 \text{ m}^3/\text{día}$  nos inclinaremos porque la fuente sea de radiación gamma de acuerdo con los datos observados en la tabla y también está de acuerdo con la inversión inicial que es menor que los aceleradores, pero los costos totales son altos por la recarga de la fuente, algo similar ocurre con los productos de fisión.

Si la capacidad de la planta es mayor a  $100 \text{ m}^3/\text{día}$  según los datos obtenidos, se recomienda que la fuente de la planta de irradiación sea con aceleradores, ya que éstos ofrecen las mejores ventajas sobre las otras fuentes radioactivas puesto que los costos totales son más bajos. Puesto que el tratamiento de aguas tiende a aumentar en volumen cada vez más los aceleradores de electrones serán suficientes para solventar nuestras necesidades, lo que no suceda con la radiación gamma y productos de fisión.

Además para los aceleradores de electrones la inversión inicial es menor con respecto a la radiación gamma y productos de fisión (para más de  $100 \text{ m}^3/\text{día}$ ); otro punto importante es que los aceleradores de electrones no se

esté perdiendo radiación por decaimiento por lo que no se tiene el problema de estar reemplazando la fuente y cuando se conecta el aparato emite una radiación constante todo el tiempo necesario para irradiar y al apagar el aparato se deja de emitir radiación, lo que no sucede con la radiación gamma y productos de fisión. Conforme lo anotado anteriormente y los datos obtenidos se recomienda utilizar para una planta de tratamiento de aguas residuales un acelerador de electrones.

Algunas características de diferentes fuentes de radiación.

<u>CARACTERISTICAS</u>	<u>GAMMA</u>	<u>PRODUCTOS DE FISION</u>	<u>ACELERADOR</u>
Forma de la <u>ener</u> gía.	radiación	radiación	radiación electrónica
Consumo de <u>ener</u> gía.	constante	constante	solamente en operación
Fuente:	Co-60 Cs-137	Prod. radioactivos seleccionados	electricidad
Costo	Cs=0.56 \$/Ci Co=0.8 \$/Ci	0.68 \$/Ci por varilla	Q89 \$/m <sup>3</sup>
Reemplazo	Si	Si	No
Proveedor	Co, solamente Bannford Wash. USA	USA (México no lo produce)	USA y Francia
	Co, USA, India Canadá, Asia, Europa		

<u>CARACTERISTICAS</u>	<u>GAMA</u>	<u>PRODUCTOS DE FISION</u>	<u>ACELERADOR</u>
Tiempo de aplicación	determinado	limitado (1.5 años)	Constante
Decaimiento	lento	rápido	-----
Costo por reemplazamiento	bajo	alto	-----
Energía emitida	constante	irregular	constante
Cálculos dosimétricos	fácil	difícil	fácil
Precauciones de transporte	Si	Si	No
Penetración en el agua	Cs, 64 cm. Cs, 55 cm.	variable	0.5 cm/MeV
<b>Planta:</b>			
Construcción	fija	fija	movil/fija
Precauciones de seguridad	muchas	muchas	pocas
Tiempo de construcción	9 meses	-----	6 meses
Costos totales	altos	altos	bajos
Capacidad	baja	baja	alta
Inversión Inicial >100 m <sup>3</sup> /día	mayor	mayor	menor
<100 m <sup>3</sup> /día	menor	menor	mayor
<b>Operación:</b>			
Mantenimiento	poco	regular	regular
Personal	no necesariamente calificado	no necesariamente calificado	altamente calificado
Aplicación final del agua	riego	riego	riego



BIBLIOGRAFIA

- (1) Ridenour, G. M. Armbruster, E. H. Effect of high-level gamma radiation on disinfection of water and sewage, J. Am. Water Works Assoc. 48 (1956) 671.
- (2) Lowe, H.N. Lacey W.J. Surkiewicz, B. F., Jaeger, R.F. Destruction of micro-organisms in water, sewage sludge by ionising J. Am. Water Works Assoc. 48 (1956) 1363.
- (3) Ryabchenko, V. A. "The Sanitary Significance of Colon Bacilli in Water Disinfected with Gamma Radiation (in Russia)", Gig. Sanit.,9, (1964).
- (4) Touhill, C.J., Martin, E. C., Fujihara, M. P., Olesen, D. E., Stein, J. E., Mc Donnell, G., Effects of radiation on Chicago metropolitan sanitary district municipal and industrial waste waters, J. Water Pollut. Control Fed. 41 (1969) R44.
- (5) Gerrard M., Conceptual design of an irradiation test facility for waste and sewage sludge I sot. radiat. Technol. 8 4 (1971) 35.
- (6) Ramarrishnan C.V. "Possible use of Gamma radiation in waste Water Treatment" Radiation Technology and Applied Nuclear Chemistry. 2 (1970) 1.

- (7) Mann L.A. "Biological - Gamma - Radiation System for Sewage Processing" Isotopes and Radiation Technology Vol. 8, No. 4 1971.
- (8) Murphy K.L. Gamma Radiation as an Effective Desinfectant" Water and Pollution Control. April (1974).
- (9) Ballantine D.S. Radiation Treatment of Waste Water J., W.P.C.F. (1978).
- (10) Trump John G., Shah Dinish N. Robinson Denis M. "National Symposium on Applications of Nuclear and Allied Techniques in Public Health and Pollution Control" February (1981) Bombay.
- (11) Thomas F.C., Davies A.G., "Dulac G.C., Willis N. G., Pappuid G. and Girar A". "Gamma Ray Inactivation of Some Animal Viruses" Can J. Comp. Med 45: 397-399 October (1976).
- (12) Vadjdil Ann H. "Gamma-Ray Treatment of Tastes and Odors" J.A.W.W.A. July (1971).
- (13) Trump John G. Shah Dienes N. Robinson Denis M. "National Symposium on Applications of Nuclear and Allied Techniques in Public Health and Pollution Control" July (1981) Bombay.

- (14) Touhill C.J. Martin E.C., Fujihara, M.P., Olensen D.E., Stein, J.E., and Mc. Conell, G. "The effects of Radiation on Chicago Metropolitan Sanitary District Municipal and Industrial Waste Waters". J. Water Pollut. Contr. Feder., Vol. 41, No. 2 (1969).
- (15) Helmed L.N. "Disinfection of Municipal Waste Water with Gamma Radiation" Water S A. Vol. 2 No. 3, July 1976.
- (16) Love Harry N. Jr., Lacey W.J. Surkiew ICZ, B.F., "Destruction of Microorganism in Water Sewage and Sewage Sludge by Ionising Radiations" Water Works Assoc. 54 (1959) 864.
- (17) Thomas F.C., Davies A.G., "Dulac G. C., Willis N.G., Papp-Vid G. and Girard A." "Gamma R.A." Inactivation of Some Animal Viruses" Can J. Comp. Med 54: 397-399 October (1981). 254-258
- (18) Culp, G. L., WESNER, G. M., CULP, R.L., Advanced Wastewater Treatment Seminar Manual Lake Tahoe, USA (1974).
- (19) BARNARD, J. L., Provisional Patent on Improvements in and Relating to Wastewater Treatment (1974).

- (20) G. G. CILLIE. CURRENT TECHNOLOGY AND ADVANCES IN TRUE RE-USE OF EFFLUENTS. International Atomic Energy Agency, Vienna-SM/194/103.
- (21) Etzel, J. A., Condren, A.J., Trans, Am. Nucl. Soc. 11 (1968) 56.
- (22) Condren, A.J., Radiation Induced Oxidation of Selected Organics in Waste Water, Thesis, Purdue University, Lagayette, Ind. (1969); Nucl. Sci. Abs, 24 (1970) No. 33722.
- (23) Toyhill, C.J., et al., J. Water Pollut. Control Fed. 41 (1969) R44.
- (24) Sunada, T. Genshiryoku Kogyo 13 (1967) 34; Nucl. Sci. Abs. 22 4 (1968) No. 6324.
- (25) Brusentseva, S.A. et al., Khim. Vys. Energi 4 (1970) 88.
- (26) L.M. Makarochkina, T.B. Peterova, S.A. Petro, M.T. Filippov and R.V. Dzhagatspanyan, Role of short-lived water radiolysis products in the desulfuration of alkylbenzenesulfonates, Khimiya Vysokikh Energi II, 10, (1976).
- (27) Aqueous Radiation Chemistry in Relation to Waste Treatment. An introductory review J. Hoigne IAEA-SM-194/401.

- (28) Possible Use of High-Level Radiation for the Degradation of Some Substances Present in Urban and Industrial Waters, C. Cappadona, P. Guarino, E. Calderaro, S. Petruso, S. Ardica IAEA-SM-194/408.
- (29) Degradation of Dodecyl Benzensulfonate By Gamma Irradiation in Detergent Solutions. Guillermina Burillo and Emilia Bustos, Centro de Estudios Nucleares, UNAM México, Radiat. Phys. Chem. Vol. 14, pp 329-332.
- (30) On Nuclear Energy, Donal J. Hughes Q C 721. H828.
- (31) Fission Product Gamma - Ray Sources As an Alternative to Cobalt - 60 Sources for Sewage Sludge Sterilization IAEA-SM-194/505.
- (32) Introduction to Radiological Health Radiation, its Sources and Properties Blatz, H. Ra 569 B 55.
- (33) "The Handbook of Electron Beam Processing", High Voltage Engineering Corp., Burlington, Mass. 1978.
- (34) Emile Haefely & Co., LTD., Basel, Switzerland.
- (35) Mitsubishi Electric Corp. Tokyo, Japan.
- (36) Nissin - HV Co., LTD., Kyoto, Japan.

- (37) High Power DC. Electron Accelerators for Industrial Applications M. R. Cleland, K. H. Morganstern and C.C. Thompson, Radiation.
- (38) Dynamics Inc. Melville, New York 11747  
Radiation Sources - "E.B."  
Richard E. Schuler. Radiation Physics and Chemistry  
Volume 14 Number ; 1979 P 177.
- (39) Trump, J., K. A. Wright. R. A. Fernald, J. L. Danforth and D. W. Shah (1981). Electron Treatment of Municipal Sewage Effluents.  
Proceedings of the Water Reuse Symposium II,  
Washington, D. C. American Water Works Association,  
Denver, Colorado.
- (40) Levailant, C. and C. L. Gallian (1979); Sanitation Methods Using High Energy Electron Beams. Radiation Physics and Chemistry 14, 309-316.
- (41) Electron Beam Process Design for the Treatment of Wastes and Economic Feasibility of the Process M. R. Cleland, R. A. Fernald and S. R. Maloof Radiat. Phys. Chem. Vol 24 No. 1 pp 179-190 1984 Printed in Great Britain.
- (42) Ouwerkerk T. and Ashfield G.

"Radiation Application in Sludge Management"

Atomic Energy of Canada Limited, Commercial Products,  
September 11 (1980).

- (43) HERRNBERGER, V., Die Strahl enhygienisierung mit Spaltprodukt gamma quellen am Beispiel des Klärschlammes, EIR Report (1975), para ser publica do.
- (44) Lüscher, O., Betriebskostenbeitrag durch den Isotopenverbrauch der Klärschlamm - B A: Vergleich Co-60 mit Cs-137, Internal Technical Rep. TA-1730, Gebr. Sulzer, Winterthur, Switzerland (1973).
- (45) Electron Beam Process Design for the Treatment of Wastes and Economic Feasibility of the Process. Radiation Processing for Environmental Conservation, M. R. Cleland, R. A. Fernald and S. R. Maloof Radiat Phys. Chem. Vol. 24 No. 1 pp 179-190 1984.
- (46) Electron Beam Process Design for the Treatment of Wastes and Economic Feasibility of the Process. Radiation Processing for Environmental Conservation, M. R. Cleland, R. A. Fernald and S. R. Maloof Radiat Phys. Chem. Vol. 24 No. 1 pp 179-190 1984.
- (47) Navarrete, T.M. y Cabrera, M.L. Introducción al Estudio de los Radioisótopos. Editorial Mexicana. 1979.