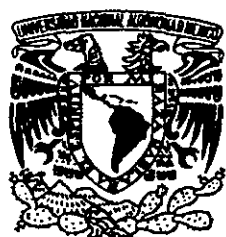


26
2e3



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CAMPUS ARAGÓN

“OPTIMIZACIÓN DE UN IRRADIADOR GAMMA”

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICO**

P R E S E N T A N:

**JESUS MAGAÑA RIVAS
VICTOR MANUEL TOTOTZINTLE MONROY**

**ASESOR:
DR. JOSÉ LUIS GALVAN MADRID**

MÉXICO

1999

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CAMPUS ARAGÓN

SECRETARÍA ACADÉMICA

Ing. RAÚL BARRÓN VERA
Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica,
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 26 de octubre del año en curso, por la que se comunica que los alumnos JESÚS MAGAÑA RIVAS y VÍCTOR MANUEL TOTOTZINTLE MONROY, de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, han concluido su trabajo de investigación intitulado "OPTIMIZACIÓN DE UN IRRADIADOR GAMMA", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

Atentamente
"POR MI PAZ HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 27 de octubre de 1998
EL SECRETARIO


LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS

c c p Asesor de Tesis.
c c p Interesado.

AIR/vr





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

JESÚS MAGAÑA RIVAS
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 23 de enero del año en curso, presentada por Víctor Manuel Tototzintle Monroy y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Dr. JOSÉ LUIS GALVÁN MADRID pueda dirigirles el trabajo de Tesis denominado, "OPTIMIZACIÓN DE UN IRRADIADOR GAMMA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México., 11 de febrero de 1998
EL DIRECTOR


M. C. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

c c p Jefe de la Unidad Académica.
c c p Jefatura del Area de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
c c p Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/IIa.






UNIVERSIDAD NACIONAL
ARAGON DE
MEXICO

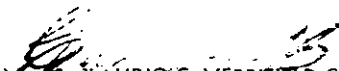
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

VÍCTOR MANUEL TOTOTZINTLE MONROY
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 23 de enero del año en curso, presentada por Jesús Magaña Rivas y usted, relativa a la autorización que se les debe conceder para que el señor profesor, Dr. JOSÉ LUIS GALVÁN MADRID pueda dirigirles el trabajo de Tesis denominado, "OPTIMIZACIÓN DE UN IRRADIADOR GAMMA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México., 11 de febrero de 1998
EL DIRECTOR


Merrit CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

c c p Jefe de la Unidad Académica.
c c p Jefatura del Area de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
c c p Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/lla.



Dedicatoria:

A nuestros padres:

Gracias por su apoyo y dedicación, por que con sus consejos, nunca dejaron que nos diéramos por vencidos para el logro de esta meta, que es más de ustedes que de nosotros.

A la máxima casa de estudios:

Por habernos brindado la oportunidad de adquirir una formación profesional que nos compromete a ser cada día mejores para el desarrollo de este país.

A nuestros profesores:

Por habernos impartido sus conocimientos y experiencias profesionales para desarrollarnos como profesionistas.

A nuestros compañeros y amigos:

Por su amistad que compartimos a lo largo de este reto:

En especial a:

Nohemi Gutiérrez, Alberto Ortiz, Jesús Camarena, Paul Maya, Israel Sánchez, Jorge "hacha", Juan de Dios, "Kevo", Ulises "ice", Guadalupe Angeles, Javier Bernabé, Margarita, y A TODOS LO QUE FALTARON, que aunque no están escritos no los olvidamos.

PERO SOBRE TODO A DIOS GRACIAS QUE NOS PERMITIÓ LOGRAR ESTA META.

CONTENIDO.

1. INTRODUCCIÓN

2. ANTECEDENTES

3. DESARROLLO

4. CONCLUSIONES

5. BIBLIOGRAFÍA

INDICE

Capitulo 1 Introducción	
1.1 Objetivos	1
1.2 Tesis	1
1.3 Hipótesis	2
1.4 Planteamiento metodológico	2
Capitulo 2 Antecedentes	
2.1 Concepto de átomo	3
2.2 Reacciones químicas	5
2.3 Reacciones nucleares	6
2.4 Energía nuclear	10
2.5 Radioactividad	16
2.6 Radiación ionizante	20
2.7 Fuentes de radiaciones ionizantes	23
2.8 Esterilización con radiaciones	24
2.9 Radiaciones gamma	24
2.10 Efectos de la radiación	25
2.11 Seguridad nuclear	27
2.12 descripción del irradiador	29
2.13 Instalaciones de apoyo	33
2.14 Productos irradiados	33
2.15 Procedimiento de calidad para mantenimiento	34
2.16 Fallas en los sistemas y equipos	36
2.17 Proceso de carga o recarga de las fuentes radiactivas en los módulos del bastidor de la fuente	36
Capitulo 3 Desarrollo	
3.1 Aumento de la actividad en la fuente	40
3.2 Dosis para el producto	41
3.3 Productos muertos	42
3.4 Diseño de un transportador aéreo para el cuarto de irradiación	43
3.5 Análisis de factibilidad financiera	51
Capitulo 4 Conclusiones	54
Capitulo 5 Bibliografía	55

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares opera, desde 1980, una planta de irradiación gamma diseñada para la sanitación de productos farmacéuticos; esta planta es actualmente empleada para uso general, es decir, se emplea para el tratamiento de alimentos, aditivos para alimentos deshidratados, envases para medicamentos, materias primas para medicamentos, instrumental y equipo de uso quirúrgico, cosméticos, productos de belleza y otros semejantes.

Actualmente, el ININ están buscando aumentar la eficiencia de su planta, para lo cual ha iniciado diversos estudios; el presente trabajo es uno de ellos.

1.1 Objetivos.

Analizar los parámetros de trabajo necesarios para lograr una optima operación de una planta comercial de irradiación gamma.

1.2 Tesis.

Es posible hacer optima la operación del irradiador, si se conjunta una variación adecuada de diversos parámetros como: aumento de carga de material radiactivo, mejora en los tiempos y movimientos, actualización del sistema mecánico y neumático.

1.3 Hipótesis.

Para mejorar la eficiencia técnica y económica del irradiador, se requiere hacer pasar por la cámara de irradiación, en un mismo tiempo un mayor volumen de material a tratar.

Esto se puede lograr con mayor carga de Co^{60} , así también, eliminando o disminuyendo las suspensiones en su operación, cargando a su máxima eficiencia los contenedores.

1.4 Planteamiento metodológico

El presente trabajo busca analizar las posibilidades de aumento en la eficiencia del irradiador tipo contenedor -JS 6500- instalado en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares con dirección en: Km. 36.5 carretera México-Toluca, Estado de México, Municipio de Ocoyoacac.

Se presenta una introducción, antecedentes, el desarrollo del tema, resultados, conclusiones y bibliografía.

2. ANTECEDENTES

2.1 Concepto de átomo.

La teoría atómica, dice que todo lo que nos rodea está formado de moléculas y éstas, a su vez, de elementos que son sustancias sencillas que no pueden descomponerse en sustancias más simples por cambios químicos. Los elementos, a su vez, están formados por átomos, partículas extremadamente pequeñas de volumen 6.02×10^{23} .

Los átomos, de acuerdo con la teoría de Rutherford, están constituidos por un núcleo de carga eléctrica positiva, rodeado por una nube de electrones con, con carga eléctrica total de igual magnitud que la del núcleo, pero de signo opuesto. Los electrones que giran alrededor del núcleo tienen carga eléctrica negativa y una masa muy pequeña; del orden de una dosmilésima parte de la masa de un protón. El tamaño del núcleo es tan pequeño, comparado con el resto del átomo, que si el átomo fuera una esfera de 1 kilómetro de diámetro, su núcleo tendría apenas el tamaño de una esfera de 1 cm y los electrones se verían apenas como puntos a los que difícilmente se les podría medir sus dimensiones. De hecho, el núcleo contiene casi toda la masa de el átomo, y es aproximadamente 4 000 veces más pesado que los electrones periféricos, pero tiene dimensiones muy pequeñas.

Por ser la parte fundamental del núcleo, a los protones y neutrones se les llama nucleones. Por su tamaño, el núcleo del átomo es muy denso.

Una vez que se estableció el modelo nuclear del átomo, se hizo evidente que las transformaciones radiactivas son procesos nucleares. Todos los núcleos, excepto el del hidrógeno, están formados, básicamente por protones y neutrones. El número de protones, que es igual al número de electrones extranucleares en el átomo eléctricamente estable, es su número atómico. Por otra parte, el número total de protones y neutrones, se conoce como masa atómica.

Los números atómicos de los elementos conocidos del 1 para el hidrógeno hasta el 106 para el elemento más pesado conocido. Se conocen, además, núcleos con número de neutrones desde cero hasta 159.

Los números de masa atómica de los elementos conocidos varían desde 1 hasta 263. Es importante señalar que en el caso de los elementos más ligeros la masa atómica es aproximadamente el doble del número atómico. Esto es otra forma de ver que, estos núcleos ligeros, contienen aproximadamente números iguales de protones y neutrones.

Como las masas de los núcleos atómicos son tan pequeñas, cuando se expresan en gramos menos de 10^{-21} , por lo general se expresan en una escala diferente. La escala que se acepta universalmente en la actualidad está basada en la masa de un átomo de carbono-12 tomado exactamente como 12.000 000 de unidades atómicas de masa.

2.2 Reacciones químicas.

Las sustancias que nos rodean experimentan cambios continuos. Todas las sustancias de origen vegetal, animal y mineral se descomponen, los metales se corroen, el agua se convierte en hielo cuando la temperatura disminuye lo suficiente y vuelve a su forma líquida cuando la temperatura aumenta. Los cambios que ocurren en la materia se pueden clasificar en dos categorías: cambios físicos y cambios químicos. Los cambios químicos son aquellos en los que las sustancias cambian sus propiedades físicas y químicas.

El cambio físico es aquel que no da lugar a sustancias con propiedades diferentes las de la que se partió. Por ejemplo, al fundirse el hielo y convertirse en agua, o al triturar la arena hasta obtener un fino polvo no aparece ninguna sustancia con propiedades fisicoquímicas diferentes.

A todo cambio físico o químico le acompaña siempre un cambio de energía, cuando las sustancias o una sola sustancia, cambia de tal manera que cede energía a sus alrededores, el cambio se denomina exotérmico -da calor-. Los cambios en los que las sustancias toman energía de sus alrededores se denominan endotérmicos.

La energía química de los productos debe ser inferior a la energía química de las sustancias que reaccionan por que una parte de la energía química se transforma en calor y luz durante la reacción.

En toda reacción endotérmica ocurre lo contrario: la energía química de las sustancias resultantes es mayor que la energía química de las sustancias iniciales.

2.3 Reacciones nucleares.

El descubrimiento de elementos radiactivos por Henri Becquerel, en 1896, dió lugar al estudio de la radiactividad natural. Se encontró que el núcleo de un átomo radiactivo pierde peso y carga positiva al emitir partículas alfa, que tienen una carga de 2 protones y tienen una masa aproximadamente cuatro veces mayor que la del protón, no obstante, cuando un núcleo emite una partícula beta su peso permanece casi sin cambio, pero su carga aumenta, debido a que los rayos beta son haces de electrones que se desplazan aproximadamente 0.4 veces la velocidad de la luz. Así fue como Soddy pudo deducir los pesos de la carga nuclear de muchos productos radiactivos. En varios casos, dos productos radiactivos diferentes tienen la misma carga nuclear pero diferentes pesos. La carga positiva que posee un núcleo es la que determina la cantidad de electrones necesarios para neutralizar el átomo, la carga del núcleo, es por lo tanto, la responsable de sus características externas, o sea, las propiedades químicas del átomo.

Esta conclusión se confirmó cuando se encontró que los diferentes materiales radiactivos no siempre se podían separar unos de otros por técnicas químicas, lo cual indicaban que eran un mismo elemento químico, y que en el mismo sitio de la tabla periódica quedaban clasificados átomos químicamente iguales con núcleos diferentes y con propiedades físicas distintas. Se propuso el nombre de isótopos, para designar a las especies de un grupo; ese nombre indica, que tales especies ocupan el mismo lugar en la clasificación de los elementos. En cada casilla de la tabla de elementos se clasifican todos los átomos con el mismo número de protones, o sea, con el mismo número atómico, aún cuando su masa sea diferente como consecuencia de tener diferente número de neutrones.

Algunos isótopos de elementos que se encuentran en la naturaleza son inestables. Esto significa que sus núcleos emiten radiaciones o partículas, o ambas, y se descomponen espontáneamente, formando átomos del mismo o de otros elementos. A estos isótopos inestables se les llama isótopos radiactivos o radisótopos.

Los cambios nucleares de la serie radiactiva natural son cambios en los que únicamente intervienen un átomo reaccionante y los productos formados cuando este átomo aislado emita una partícula. Se pueden observar estos cambios radiactivos e incluso concentrar y purificar grandes cantidades de materias radiactivas, pero no se puede controlar la naturaleza de las partículas emitidas ni la velocidad a la que se emiten.

Cuando un núcleo decae por la emisión de una partícula alfa, su masa atómica disminuye en cuatro unidades, ya que pierde dos neutrones y dos protones, y su número atómico en dos unidades, pues pierde dos cargas positivas del núcleo. Las partículas beta emitidas por los núcleos son electrones negativos y electrones positivos, a los primeros se les llama también negatrones y a los segundos positrones, estos electrones no deben confundirse con los electrones que se mueven al alrededor del núcleo del átomo. Ya que la masa del electrón es sólo una pequeñísima parte de la masa del átomo, la emisión de una partícula beta prácticamente no altera el número de masa de un núcleo radiactivo, sin embargo, la emisión de una partícula beta negativa se lleva una unidad de carga negativa del núcleo. Como consecuencia, éste se carga positivamente y el número atómico del átomo aumenta en una unidad. La emisión de una partícula beta positiva tiene un efecto opuesto, el núcleo pierde una carga positiva y el número atómico disminuye en una unidad. Los rayos gamma, en la mayoría de los casos, acompañan a la emisión de partículas alfa o beta y acarrean el exceso de energía que tiene el núcleo después de su decaimiento. Cuando un átomo emite un rayo gamma (sin carga), se altera su contenido energético pero no cambia el número de partículas, de modo que continúa siendo el mismo elemento.

Cada una de las radiaciones nucleares alfa, beta y gamma se caracteriza, entre otras propiedades, por su diferente poder de penetración en la materia, las partículas alfa son frenadas por una hoja de papel, que no les permite continuar su trayectoria, mientras que la misma hoja si permite el paso de las partículas beta y a la radiación

gamma; una hoja delgada de aluminio de aproximadamente un milímetro de espesor sólo deja pasar una pequeña fracción de la radiación beta y casi la totalidad de la radiación gamma; una placa de plomo intercepta la radiación gamma, dejando pasar una pequeña parte de ella. La poca penetración que tienen en la materia las radiaciones alfa y beta se debe principalmente a que son partículas cargadas eléctricamente y a que, por esto mismo, interaccionan con la materia. Existen dos tipos de interacción de las partículas cargadas con la materia: la ionización y la excitación. La ionización es el fenómeno en el que las partículas alfa y beta, al atravesar el material, le ceden parte de su energía, arráncandole electrones de sus átomos y dejándolos cargados positivamente. La excitación consiste en que cuando las partículas cargadas, alfa o beta, atraviesan el material, dejan a los electrones periféricos de sus átomos con mayor energía que la que tenían antes. La radiación gamma no tiene carga ni masa y su poder de penetración en la materia es muy grande, sin embargo, esta radiación puede producir otros fenómenos como el efecto Compton, el efecto fotoeléctrico y creación de pares. La radiación nuclear se puede decir que interacciona con la materia que atraviesa y produce de manera directa o indirecta ionización o excitación de los átomos y por este efecto puede ser medida.

Sin embargo existe otra clase de reacciones nucleares que pueden controlarse; se obtienen estas reacciones cuando partículas de tamaño atómico o subatómico chocan contra átomos de una cierta sustancia y producen cambios permanentes en ellos.

Uno de los descubrimientos más importantes es el de bombardear los núcleos con neutrones; ya que el de bombardearlos con partículas alfa, éstas son repelidas por el núcleo debido a que están cargadas positivamente.

La capa de electrones que rodea los núcleos de los átomos actúa como un aislante de éstos, por lo que incidir en ellos requiere de romper una barrera energética alta. De no ser así, las reacciones nucleares serían espontáneas, como lo son las reacciones químicas.

2.4 Energía nuclear.

La energía nuclear puede ser obtenida a partir de la fisión o división de los núcleos de elementos pesados o bien a partir de la fusión o combinación de los núcleos de elementos ligeros. Las partículas que se ponen en movimiento por medio de estos procesos proporcionan energía calorífica en forma instantánea. La cantidad de energía liberada por átomo en reacciones nucleares sobrepasa, en un factor de varios millones, a la que puede obtenerse por átomo en una reacción química. Se ha tenido un éxito considerable en la utilización de energía calorífica por la fisión, para la generación de energía eléctrica la propulsión, la producción industrial y la experimentación científica.

Se tiene una reacción nuclear cuando se modifican las condiciones en que se encuentran las partículas que forman el núcleo de un átomo.

Un electrón posee una unidad de electricidad, de carga negativa, y tiene una masa en reposo igual a 1/1836 veces la masa del átomo del hidrógeno. Los electrones emitidos por los átomos radioactivos se llaman rayos beta y tienen energías de hasta varios millones de electrón-volts (MeV)

Un protón posee una unidad de electricidad de carga positiva, de magnitud igual que el electrón (1.6×10^{-19} Coulomb), y tiene una masa en reposo de 1.0072 764 unidades de masa atómica. Los protones no son emitidos en forma espontánea por los núcleos atómicos.

Un neutrón tiene una masa aproximadamente igual a la del protón, pero no tiene carga eléctrica, no puede detectarse mediante campos eléctricos o magnéticos, ni puede manifestar su presencia por su paso a través de cámaras de niebla. La presencia de los neutrones sólo puede indicarse por su interacción con otras partículas.

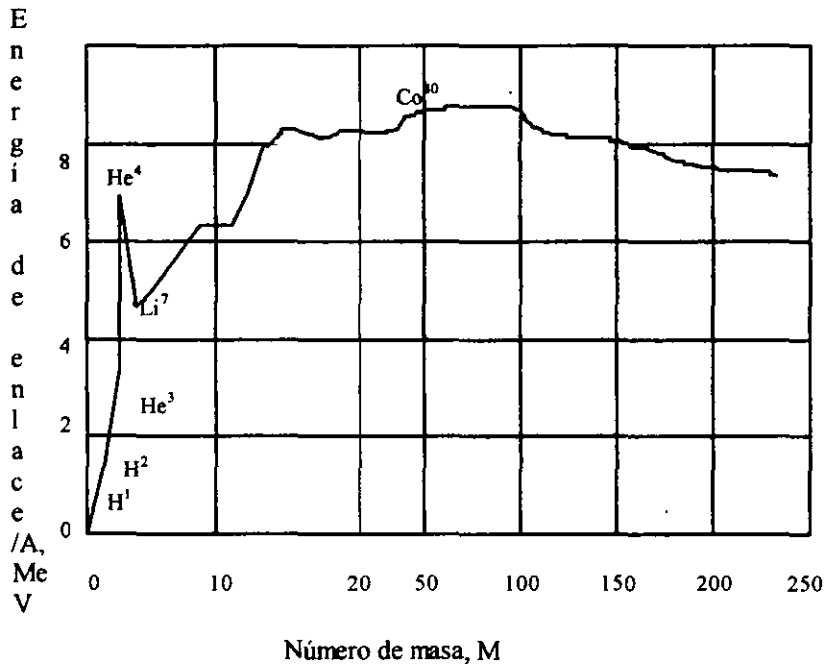
Un átomo, que es la unidad básica de cualquier elemento químico, consta de un núcleo central rodeado por electrones externos. El número y posición de sus electrones determina sus características químicas y en los átomos eléctricamente estables, es igual a la carga positiva de su núcleo.

Los isótopos son elementos con el mismo número atómico y diferente peso atómico; es decir, átomos del mismo elemento tienen, en el caso de los isótopos números diferentes de partículas en sus núcleos.

Como la radiación tiene las propiedades de onda y de partícula, se expuso la teoría de que, en la emisión o absorción de energía por parte de átomos o de moléculas, el proceso se lleva a efecto por pasos, siendo cada paso la emisión o la absorción de una cantidad indivisible de energía electromagnética, la que se consideró como el cuanto elemental de acción, este se conoce como constante de *Planck* y tiene el valor $h=6.624 \times 10^{-27}$ erg. s. Se aplica en casi todas las relaciones cuánticas, incluyendo la ecuación de Schödinger y el principio de incertidumbre de Heisenberg, y la fórmula para los niveles de energía del hidrógeno básico. La notación normal es: $h=h \cdot 2\pi$.

Cuando las partículas en movimiento se aproximan a la velocidad de la luz, no se satisface la aproximación dada para la energía cinética $\Sigma \frac{1}{2} m_0 v^2$, entonces se hace necesario aplicar la ecuación $E=mc^2$ y utilizar la masa relativista, una función que se incrementa con la velocidad, según $m=m_0/\sqrt{1-(v/c)^2}$, en donde m_0 es la masa en reposo y v es la velocidad coordenada de la partícula.

La energía de enlace es el trabajo requerido para desintegrar por completo un átomo en Z protones y $-Z$ neutrones; es una medida de energía cinética y potencia total de los nucleones que se encuentran en el núcleo.

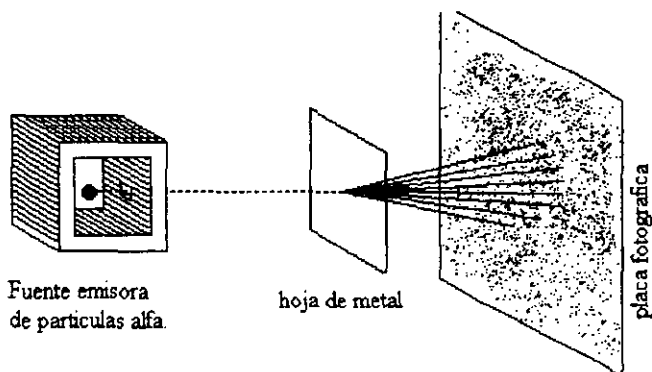


2.4.1 Fuente: manual del ingeniero mecánico.

En la figura 2.4.1 se muestra que si dos núcleos de deuterio (H^2) reaccionan para producir un núcleo de H^3 más un neutrón, la energía total de enlace de las cuatro partículas (dos neutrones más dos protones) que intervienen en la reacción se incrementa aproximadamente de 4.4 a 7.6 MeV y en la reacción se liberan 3.2 MeV. A este proceso se le conoce como fusión. Para que ocurra la fusión, los dos núcleos deben aproximarse entre sí con una energía cinética alta, para vencer su repulsión electrostática, y como la energía cinética es proporcional a la temperatura, la fusión efectiva sólo puede ocurrir a temperaturas muy altas.

Para que la fusión continúe, como una reacción en cadena, se necesita además que las colisiones nucleares sean lo suficientemente frecuentes como para mantener la temperatura elevada, a pesar de la radiación del calor. La condición necesaria para que las condiciones sean frecuentes es una presión alta. La fuente principal de calor en el sol es una reacción en cadena de elementos ligeros; se está convirtiendo hidrógeno en helio, como resultado neto de un proceso de etapas múltiples. Puede sostenerse una reacción deuterio - deuterio a temperaturas y presiones considerablemente inferiores a las que se realizan en las reacciones solares, pero todavía son muy elevadas para los niveles terrestres. El logro de una reacción en cadena controlada de elementos ligeros, para la generación de potencia de fusión, depende de la producción, por medios electromagnéticos, de una alta velocidad de las partículas y de una elevada densidad local, sin la producción de las correspondientes temperaturas y presiones altas en las paredes del contenedor.

Fisión es la división de un núcleo atómico en partes de masa comparable, en forma instantánea o por la inducción con neutrones, partículas alfa α , rayos gamma γ , deuterones o protones.



Las partículas que emite la fuente radiactiva se desvían al pasar a través de una hoja metálica. El grado de desviación queda registrado cuando las partículas chocan con la placa fotográfica.

Figura 2.4.2 fuente: Radioactividad Bulbulian Silvia

La fisión es importante ya que, en el proceso se emiten neutrones que, en ciertas condiciones, pueden utilizarse para producir más fisiones, lo que conduce a una reacción autosostenida o en cadena. Por tanto es posible consumir uranio para obtener una liberación de energía por átomo. La *radiactividad* se presenta cuando un núcleo inestable sufre desintegración atómica por la emisión de partículas α , β , o β^+ y radiación electromagnética de los rayos X o γ .

La partícula alfa (α) es idéntica al núcleo de un átomo de helio. La emisión de una partícula α crea un núcleo nuevo con Z reducido en 2 y A disminuido en 4 unidades de masa.

La desintegración beta (β) implica la emisión de un electrón por el núcleo de un átomo, incrementándose en consecuencia Z en una unidad.

El positrón (β^+) es una partícula cuya masa es igual que la de el electrón y cuya carga es similar en magnitud a la de este pero de signo opuesto. La emisión del positrón disminuye Z en una unidad.

Se produce la captura electrónica al decaer un átomo inestable por la captura de un electrón orbital en el núcleo, lo que también da por resultado la disminución de Z en una unidad. Esta captura produce un espacio vacío en la capa orbital, a la que se llena con un electrón que se mueve desde una capa exterior, lo que conduce a características de rayos X.

La vida media de un isótopo es el tiempo necesario para que decaiga en la mitad, la actividad radiactiva original.

2.5 Radiactividad.

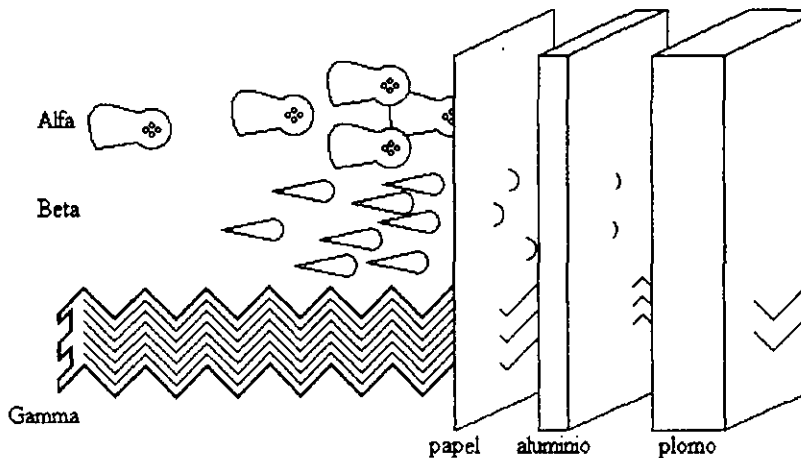
Henri Becquerel estimulado por el descubrimiento de los rayos X y observando que en el tubo de rayos catódicos se notaba una fosforescencia en el lugar donde partían los rayos X, pensó que los fenómenos de fosforescencia podían estar acompañados de la emisión de rayos semejantes. Para probar si su hipótesis era correcta investigó una serie de sustancias fosforescentes con resultados negativos, sin embargo, en forma casual encontró que las sales de uranio que no habían estado expuestas a la luz y que por lo tanto no presentaban el fenómeno de fosforescencia, eran capaces de impresionar la película fotográfica. Esto lo llevó a descubrir en 1896 que el uranio emitía radiaciones semejantes en sus efectos a los rayos X y que la emisión

no dependía del estado físico o químico de este elemento. Este fenómeno recibió después el nombre de radiactividad.

Los esposos Curie observaron que los minerales de uranio emitían mayor radiación que el propio uranio, esto le hizo pensar que en los minerales de uranio existía un elemento aún más radiactivo que el uranio mismo. Tras un proceso de separación muy laborioso lograron en 1898, primero descubrir el polonio y luego el radio. En ese mismo año G. C. Schmidt encontró otro elemento radiactivo, el torio. Debierne en 1899 descubrió el actinio y en poco tiempo se encontraron los isótopos radiactivos producidos en las cadenas de desintegración del uranio y del torio. Fueron Rutherford y Soddy quienes en 1902 propusieron la teoría que explica la desintegración de los átomos radiactivos.

La radiactividad es generada por elementos inestables que al desintegrarse emiten energía en forma de radiación, por medio de la radiactividad los elementos inestables tienden a estabilizarse. La radiación se genera en el átomo en forma de energía

Existen elementos radiactivos naturales. Los materiales radiactivos al emitir radiación se transforman en otros materiales ya sea en el mismo elemento o en otro. La radiación emitida por los elementos radiactivos esta constituida principalmente por tres componentes: radiación alfa, beta y gamma.



Las partículas alfa son frenadas por una hoja de papel, pero las partículas beta sí la atraviesan. Una hoja delgada de aluminio sólo deja pasar una fracción de las partículas beta y casi la totalidad de la radiación gamma. La placa de plomo es la única que intercepta la radiación gamma.

2.5.1 fuente: Radiactividad. Silvia Bulbulian.

Al pasar un haz de radiación a través de un campo magnético, los rayos alfa se desvían ligeramente en un sentido, los rayos beta se desvían fuertemente en el sentido contrario, y por último los rayos gamma no se desvían esto por que: los rayos alfa en presencia de campos magnéticos se desvían en forma opuesta a la de los electrones, por lo tanto los rayos alfa están cargados positivamente, además por desviarse ligeramente tienen una masa muy grande. Los rayos beta consisten en electrones cargados negativamente ya que se desvían en el mismo sentido, los rayos gamma son radiaciones electromagnéticas.

Para cada material radiactivo se asigna un tiempo en el que decaen la mitad de los átomos de la actividad original, después de transcurrir esta vida media, solo tiene la actividad que tenía originalmente,

después de dos vidas medias, solo la cuarta parte, y así sucesivamente hasta que el material radiactivo se pierde en su mayor parte, Al construir una gráfica de la actividad de radiación, disminuye en el curso del tiempo a lo que se tiene un exponencial decreciente.

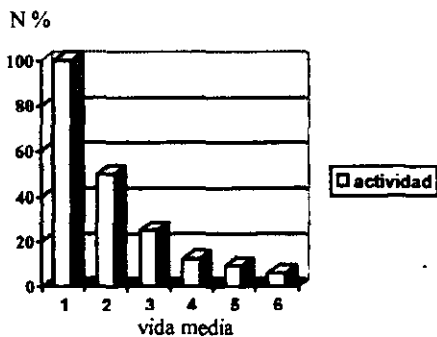


Figura 2.5.2 fuente: Manual del ingeniero mecánico. Marks.

La figura 2.5.2 expresa la rapidez con que se transforma el material radiactivo en otro material.

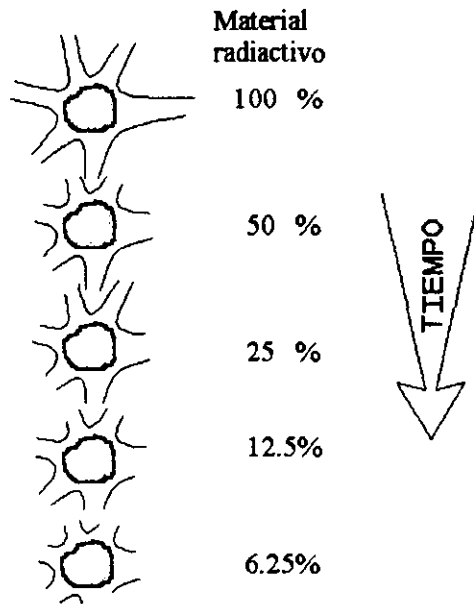


Figura 2.5.3 Radiactividad. Silvia Bulbulian.

El núcleo de un átomo radiactivo pierde peso y carga positiva al emitir una partícula beta.

2.6 Radiación ionizante.

Se entiende por radiación el fenómeno físico de la propagación de energía en el espacio en todas direcciones aunque este esté vacío. Las radiaciones ionizantes son capaces de arrancar electrones orbitales separándolos de átomos estables y transformando a éstos en iones de carga positiva o negativa. La radiación se puede dividir como:

1. Radiaciones corpusculares: emisión de partículas atómicas o subatómicas que transfieren su energía cinética a todo con lo que

chocan. La energía cinética de las radiaciones corpusculares depende de su velocidad.

2. Radiaciones electromagnéticas: de naturaleza eléctrica y magnética con capacidad de autopropagación y cuya energía se disipa al modificar la estructura interna de la materia. El contenido energético de las radiaciones electromagnéticas es inversamente proporcional a la longitud de onda de la radiación, de modo que los rayos de corta longitud de onda tienen alto contenido energético y los de larga longitud de onda tienen bajo contenido energético, este valor energético se expresa en electron-volts.

El filósofo griego Demócrito es citado con frecuencia como iniciador de la teoría atómica, en que teorizaba que todas las cosas están compuestas por menudas porciones de materia a las que llamó atoma -no divisible-, los antiguos eruditos venían enseñando el concepto general que el mundo material estaba compuesto de muchas pequeñas partículas. Los científicos actuales han logrado un conocimiento íntimo de varios componentes básicos de la materia, a saber: moléculas, elementos, átomos, partículas subatómicas.

El conocimiento de la teoría atómica permite comprender la naturaleza de los riesgos de la radiación ionizadora y los medios para protegerse de ella.

Cuando el átomo se encuentra en estado estable o no excitado, los electrones se mueven en orbitales, a cierta distancia del núcleo. Cuando el átomo absorbe energía en su área orbital, la distancia

orbital de los electrones cambia, y se dice que el átomo se encuentra en estado de excitación, o inestable. El átomo absorbe o emite energía en cantidades llamadas quantum -o fotón-, en el curso de tal transición. En cada átomo son posibles varias transiciones dentro de niveles determinados de energía. Por ejemplo el sodio tiene aproximadamente 120 quanta o niveles de energía diferentes.

La radiación corpuscular es la correspondiente al movimiento de partículas que cuentan, carga eléctrica, durante la cual se transfiere energía de un punto a otro. Estas minúsculas porciones de materia se comportan en cierta forma como una bola de billar. En ocasiones son rechazadas de obstáculo en obstáculo hasta que son capturadas o se agota su energía. Las partículas más frecuentes son las alfa, beta, deuterón, neutrón, protón, mesón, electrón, positrón y neutrino. Cada una de ellas es descrita en relación con su masa, su carga y fuente.

En su aspecto ondulante la radiación electromagnética se propaga, y es medida, en la forma característica de todos los movimientos ondulatorios. Las ondas largas son bajas en energía; las ondas cortas, a su vez, son altas en energía. Las longitudes mas altas en energía son las que tienen una mayor penetración. Las unidades comunes de longitud de onda para las radiaciones en fotón tales como las infrarrojas, ultravioleta, rayos X, y rayos gamma, son el micrón, el angstrom y la unidad X.

Una partícula en movimiento, o haz de energía -fotón-, penetra en forma que ha sido comparada a una bola que derriba los bolos en un juego de boliche. Cuando la partícula rápida y energética golpea la materia, perturba de forma abrupta la organización y equilibrio de la estructura atómica en el lugar en que se mueve. Cuando el equilibrio eléctrico de los átomos que forman aquella materia se ve alterado, se produce la ionización.

No es posible medir directamente una cantidad de radiación. Se le mide mediante la ionización producida por el paso de la radiación a través de un medio conocido. Se utiliza un cierto número de unidades para indicar la cantidad de radiación medida. Las unidades generalmente utilizadas son el roentgen, rep, rad, y rem. El roentgen es una medida de ionización en el aire debida a la radiación X o gamma.

Como el número de átomos que se desintegran por unidad de tiempo es proporcional al número de los átomos presentes, no debe suponerse que la actividad del elemento se habrá agotado totalmente al final del doble del tiempo correspondiente a su vida media.

Al final de cada periodo de la vida media seguirá presente la mitad del número total de átomos activos.

2.7 Fuentes de radiaciones ionizantes.

Los rayos gamma son emitidos por radionúclidos, como el cobalto, producido en los reactores induciendo al cobalto un nivel suficientemente alto de radioactividad. Los rayos gamma esterilizan

debido a que el nivel energético es relativamente bajo. La cantidad de energía de radiación que es absorbida por la sustancia se expresa en rad. El rad se define como la unidad de dosis que equivale a la absorción de 100 ergios de energía por gramo.

2.8 Esterilización con radiaciones.

Para esterilizar un producto hay que destruir todos los microorganismos que puedan alterar o producir toxinas durante el subsiguiente almacenamiento a temperatura ambiental.

2.9 Radiaciones gamma.

Las radiaciones ionizantes son aquellas que tienen un nivel energético suficientemente alto como para liberar electrones orbitales de átomos o moléculas. Entre las radiaciones ionizantes se encuentran los rayos gamma que son radiaciones electromagnéticas de corta longitud de onda. Las radiaciones ionizantes son radiaciones corpusculares y electromagnéticas cuyo nivel energético es lo suficientemente alto para liberar electrones de los átomos produciendo iones y no son capaces de llegar al núcleo de los átomos. También es posible un estado de excitación de energía.

La radiación gamma, con longitudes de onda muy cortas y frecuencias muy altas. Se produce normalmente cuando un núcleo radiactivo avanza hacia un estado menos excitado, por ejemplo, el radio radiactivo al pasar a través de muchas etapas transitorias intermedias

hasta llegar a alcanzar plomo estable. La radiación gamma es capaz de originar la destrucción de los tejidos, y quemaduras graves, con gran rapidez.

Esta radiación interactúa con la materia en forma comparable a los rayos X. Las interacciones crean alternativamente partículas cargadas con la suficiente energía para excitar y ionizar los tejidos orgánicos. Por esta razón la radiación gamma es un riesgo para todo el cuerpo, ya que penetra hasta profundidades extremas y, mediante interacciones, ioniza y excita los tejidos que ha alcanzado.

La radiación gamma induce la formación de radicales libres, que al reagruparse generan moléculas diferentes a las que intervienen en las vías metabólicas, interrumpiendo y modificando esta, particularmente en los procesos enzimáticos que se dan en la reproducción celular.

2.10 Efectos de la radiación.

Los efectos biológicos de la radiación son debidos a la alteración de las células del organismo, inducida por la exposición radiactiva. El cuerpo responde generalmente al daño en sus células de la misma manera, independientemente de la causa que haya producido aquel daño, y de esta manera los síntomas de las lesiones por radiación se aproximan mucho a las causadas por una cierta variedad de otras enfermedades. Los aspectos graves del daño por radiación estriban en que pueden ocurrir en cualquiera de las células del organismo, ya que en circunstancias adecuadas todos los tejidos vivos son vulnerables.

Cuando se hizo evidente que la radiación ionizante podía causar daño a los organismos expuestos a ella, se hicieron esfuerzos para desarrollar normas que protegieran a quienes tenían necesidad de iteracionar esta forma de energía.

Se considera que los efectos de la radiación ionizante son debidos posiblemente a una destrucción de las enzimas en las células individuales. Entre los resultados figura una hinchazón de los núcleos y de la célula en su conjunto, una mayor permeabilidad de la membrana de la célula, un aumento en la viscosidad del protoplasma de la célula, y la rotura de sus cromosomas. El efecto en los cromosomas puede producir cambios que den como resultado el nacimiento de hijos que difieren de sus padres en características bien marcadas. Este cambio o mutación, producido después de la exposición a radiaciones ionizantes, es de un gran interés en la genética. Sin embargo, hay pruebas, basadas en informes a largo plazo, conservados en relación con los trabajadores expuestos a radiación, (cuyas dosis de exposición posiblemente son las mas elevadas) de que los actuales límites de dosis no afectarán el número de mutantes nacidos.

La dosis de radiación se define como la cantidad total de energía radiante absorbida por una parte o la totalidad del.

Aun cuando no puede ser expresada íntegramente en unidades, si puede ser exactamente calificada. Es necesario identificar el lugar de absorción al referirse a la dosis. Por ejemplo, pueden aplicarse con toda seguridad 10,000 roentgens a una pequeña parte del cuerpo, en una terapia basándose en radiaciones, pero solo 500 roentgens, es

decir, una vigésima parte de lo anterior aplicada a la totalidad del cuerpo resultaría mortal en aproximadamente un 50% de los casos.

2.11 Seguridad nuclear.

En la industria de productos nucleares la responsabilidad para determinar y administrar el programa de protección contra las radiaciones corresponde al grupo de seguridad radiológica de la planta, y al departamento médico. Los físicos son responsables de aquellas actividades relacionadas con la seguridad radiológica de los empleados, tales como la vigilancia, la evaluación del riesgo, y la supervisión de las operaciones para prescindir de los desperdicios. El departamento médico tiene a su cargo el examen médico y el tratamiento de los empleados, y tiene jurisdicción final en todos los asuntos relacionados con la salud radiológica.

El conocimiento del tema de la protección de la radiación ayudará mucho al especialista en seguridad para redactar las recomendaciones adecuadas y llevar a cabo el control de los peligros inherentes.

La presencia de materiales radiactivos debe hacerse del conocimiento general por una o más etiquetas adecuadas, fijadas en la fuente radiactiva o en el dispositivo que lo contenga, o mediante señales en el sector en donde está localizada aquella fuente.

2.11.1 Instrumentos para la detección y medición de las radiaciones.

La selección de los instrumentos para la detección y la medida de la radiación puede hacerse de entre un grupo de distintos tipos, cada uno de los cuales está ideado para vigilar un tipo particular y un nivel determinado de energía de radiación.

La medición de la radiación beta y gamma se realiza normalmente mediante el uso de dispositivos que emplean una cámara de ionización o en tubo Geiger-Müller.

En general los dispositivos para medición de radiaciones empleados en la protección de la salud están diseñados para uno de los tres propósitos de medición siguientes:

- 1.- Determinación de la contaminación.
- 2.- Determinación de la dosis.
- 3.- Determinación de la tasa de dosificación.

La selección de un instrumento de medición depende del tipo de radiación que haya de ser medido; por ejemplo los aparatos utilizados para detectar la radiación gamma pueden no ser sensibles a las beta.

Los equipos para la protección de la salud mediante la medición de las radiaciones incluyen:

- 1.- Dosímetros.
- 2.- Dosímetros de cristal.
- 3.- Cámaras de ionización.
- 4.- Contador Geiger-Müller.
- 5.- Contadores proporcionales.
- 6.- Contador de destellos

2.12 Descripción del irradiador.

El irradiador industrial de ^{60}Co del Instituto Nacional de Investigación Nuclear (ININ) es del tipo traslape de producto a fuente, lo que significa que la altura del producto es mayor que la altura de la fuente y fue diseñado originalmente para la esterilización de material quirúrgico desechable. Sus componentes principales son:

- 1.- Fuente radiactiva de ^{60}Co .
- 2.- Transportador de carga.
- 3.- Contenedores de productos.
- 4.- Transportador monorraíl para experimentación.
- 5.- Empujadores neumáticos.
- 6.- Compuertas automáticas.
- 7.- Consola de control.

Irradiador industrial marca: Nordion.

Modelo: JS.

Serie: 6500.

Consola de control, Extractor de ozono, compresores, deionizador, transportadores y equipo medidor de radiación ionizante portátil.

Durante la operación del irradiador deben verificarse los equipos auxiliares, estén funcionando, verificar que la unidad de mantenimiento de las electroválvulas reciba de los compresores una presión mínima de 6.5 kg/cm^2 y máxima de 8.5 kg/cm^2 , que es la presión de trabajo de los cilindros neumáticos que mueven los contenedores dentro de la cámara.

En el transportador de entrada deben estar formados los contenedores con el producto a irradiar, en la consola de control se verifica el piloto luminoso blanco “entra carro”, “reloj T.C.”, “reloj de sobredosis”, “contenedor en entrada” y “posición 1/ciclo completo” se encuentren encendidos.

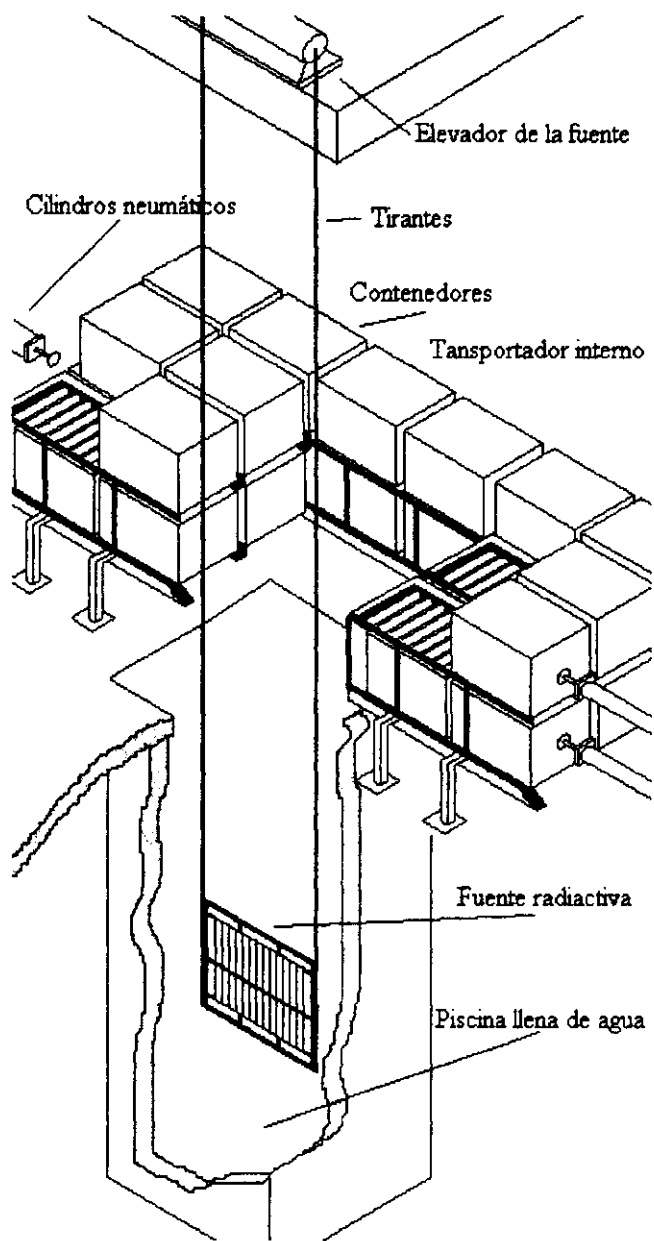


Figura 2.12.1 fuente: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

En la cámara de irradiación se verifica que el cuarto de irradiación haya sido evacuado y se accionará el interruptor “retardo de seguridad” girando la llave del equipo medidor de radiación ionizante en operación hasta accionar la alarma, regresar la llave a la posición “apagado” y sacar la llave esto accionará un temporizador de 90 seg. Colocar la llave en el interruptor “maquina” y se gira en el sentido de las manecillas del reloj desde “apagado” hasta “arranque” se suelta la llave hasta la posición “encendido” Y el piloto luminoso “irradiador funcionando” se encenderá; automáticamente se accionará la alarma de movimiento de la fuente, en la estación de carga se encenderán las luces indicadoras “peligro área alta radiación”.

En la consola de control cuando el piloto luminoso “fuente arriba” se enciende el bastidor de la fuente llega a la posición de irradiación e inmediatamente dejará de sonar la alarma de movimiento de la fuente.

En la cámara de irradiación los sistemas de transportación comenzarán a funcionar automáticamente.

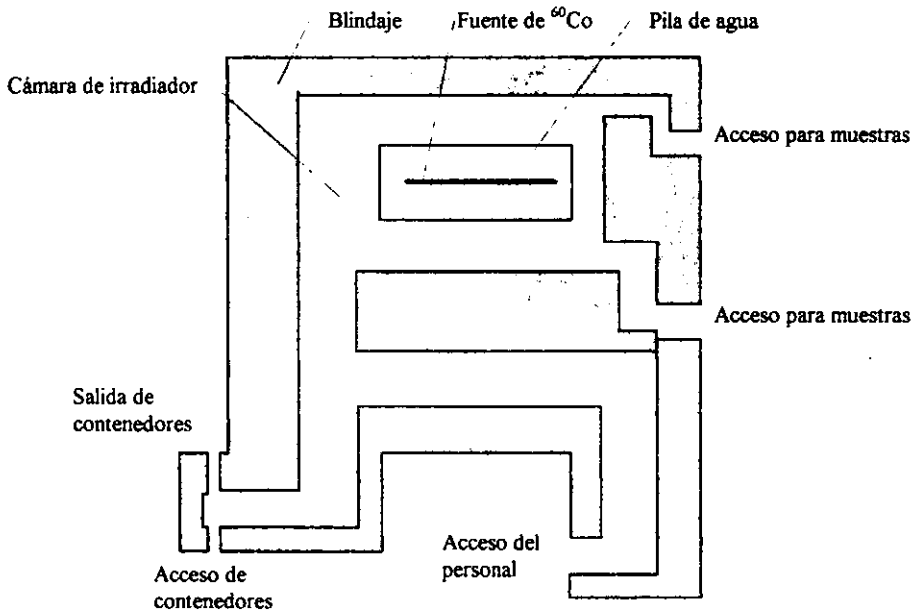


Figura 2.12.2 fuente: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

2.13 Instalaciones de apoyo.

Se tienen instalaciones de apoyo que incluyen: los sistemas de señalización y ventilación, la consola de control, el extractor de ozono de la cámara de irradiación y el sistema de desmineralización del agua de la piscina.

2.15 Productos irradiados.

Actualmente en México el servicio de esterilización por radiación gamma ha tenido mucha demanda, gracias a la difusión de esta

tecnología, por lo tanto el servicio se ha extendido a una gran variedad de productos comerciales en un total de 193 usuarios, con 473 productos diferentes, englobados en los siguientes grupos:

- Productos desechables de uso médico.
- Medicamentos.
- Alimentos.
- Cosméticos.
- Bienes culturales (acervos bibliotecarios con base celulosa).

2.15 Procedimiento de calidad para mantenimiento.

2.15.1 Mantenimiento.

Es detectar posible mal funcionamiento del Irradiador JS-6500 en los equipos o sistemas, antes de que se presente una falla en ellos, haciendo inspecciones cada tiempo determinado; los tipos de inspecciones son:

2.15.2 Visual.

Consiste en observar: desgaste, posiciones, golpes, limpieza, existencia, aspecto, respuesta, lecturas y fugas.

2.15.3 Prueba.

Consiste en probar: giros, ajuste, funcionamiento correcto, sensibilidad, respuesta interrelacionada y hermeticidad.

2.15.4 Medición.

Consiste en medir: niveles, amperaje, voltaje, tensión y temperatura.

2.15.5 Auditiva

Consiste en escuchar: ruido anormal, fugas de aire y funcionamiento de alarmas.

2.15.6 Mantenimiento mecánico.

El mantenimiento se hace elaborando un calendario de inspecciones de mantenimiento de acuerdo a las tablas de tipo y frecuencia de inspecciones.

2.15.7 Transportadores de producto.

Cama de rodillos: su tipo de inspección es visual, prueba y medición; con una frecuencia de inspección promedio trimestral.

Transportador aéreo: su tipo de inspección es de prueba, visual y medición con una frecuencia de inspección promedio anual.

2.15.8 Mantenimiento neumático.

Cilindros neumático: su tipo de inspección es de prueba y visual, con una frecuencia de inspección trimestral.

Elevador de contenedores: su tipo de inspección es de prueba y visual; con una frecuencia de inspección trimestral.

2.15.9 Mantenimiento limpieza de la pila.

La limpieza de la pila: su tipo de inspección es visual prueba y medición; con una frecuencia promedio de inspección semestral.

2.15.10 Mantenimiento en la consola de controles.

La consola de controles: su tipo de inspección es visual, prueba y medición; con una frecuencia promedio de inspección anual.

2.15.11 Mantenimiento de equipo de refrigeración.

Equipo de enfriamiento: su tipo de inspección es de prueba, visual y medición; con una frecuencia promedio de inspección semestral.

2.16 Fallas en los sistemas y equipos.

Este procedimiento es obligatorio para el personal y mantenimiento del DIG y será revisado cada tres años; estableciendo la secuencia general de las acciones de mantenimiento correctivo del Irradiador JS-6500 para establecer su operación segura y eficiente.

Estas actividades se realizan para restablecer el funcionamiento normal de un equipo o sistema, cuando se ha presentado una falla en el mismo.

2.17 Proceso de carga o recarga de las fuentes radiactivas en los módulos del bastidor de la fuente.

2.17.1 Mantenimiento en recarga de ^{60}Co

La recarga de ^{60}Co : su tipo de inspección es de medición y visual; con una frecuencia de inspección cada 10 años.

Para la carga o recarga de material radioactivo es necesario contar con lineamientos como son:

-Certificado de “no-contaminación de una muestra de agua de la piscina”.

-Certificados de calibración actualizados del equipo medidor de radiación portátil y manómetros empleados en las maniobras.

Para las maniobras se requiere el siguiente equipo y material:

-Medidor de radiación, medidor de radiación portátil con escala en cuentas por minuto, grúa neumática con capacidad de 6 toneladas, unidad de mantenimiento neumático y otros más.

2.17.2 En primer lugar se desarma el transportador y se habilita la grúa de seis toneladas, con el siguiente procedimiento:

Se apaga la consola de control, Se cierra la válvula de la línea de aire del transportador interno situada a la izquierda de la entrada de la cámara de irradiación. Se abre la válvula de purga del transportador interno situada junto a la válvula de aire del transportador interno. Se remueve el barandal de protección. Se remueve y saca de la cámara de irradiación las camas de rodillos; Se remueve y saca la guía inferior del transportador aéreo, Se coloca el barandal de protección. Se coloca la grúa de seis toneladas, Se coloca la unidad de mantenimiento neumático; se conecta la grúa a la línea neumática, se abre la válvula de alimentación a la grúa de seis toneladas y se verifica el buen funcionamiento de la misma.

2.17.3 Traslado del contenedor a la cámara de irradiación siguiendo el proceso:

Se coloca el estrobo en el tapón del contenedor, se retira la llave de espiga y los tapones de la prueba de fuga; se rompe el sello de

garantía de los pernos del tapón del contenedor. Se introduce el contenedor a la cámara de irradiación hasta que quede debajo de la grúa.

2.17.4 Colocación de las varillas de acero inoxidable con ^{60}Co en el fondo de la piscina.

Se quita el barandal de protección a la piscina, se instala las dos lamparas subacuáticas dentro de la piscina; se coloca la eslinga al contenedor, se aseguran con cinta adhesiva los ganchos de la eslinga al contenedor, se tensa la eslinga. Se sube el contenedor y se saca el transportador manual de patín; se baja el contenedor hasta el fondo de la piscina ayudándose con las cuerdas de seda enganchando estas al contenedor para evitar su balanceo durante el descenso. Se desengancha la grúa; se aflojan los pernos totalmente utilizando el dado de 1 5/16 y tubo de extensión. Se enganchan el estrobo a la grúa y se tensan lentamente para verificar que los pernos del tapón estén totalmente libres, se retira el tapón del contenedor y se sube alrededor de un metro al contenedor, se desengancha el estrobo de la grúa y se engancha la eslinga a la grúa con la ayuda del gancho y tubo de extensión. Se tensa la eslinga para asegurar la sujeción de la grúa al contenedor. Se eleva el contenedor hasta la superficie, midiendo el nivel de radiación a diferentes profundidades; se deja escurrir el contenedor. Se eleva el contenedor arriba del nivel del piso de la cámara de irradiación. Se mueve el contenedor a una posición que permita colocarlo en el transportador nuevamente, se saca el contenedor de la cámara de irradiación hasta el cuarto de equipo.

2.17.5 Colocación de las varillas de acero inoxidable con ^{60}Co en los módulos del bastidor.

Se baja la mesa con las cuerdas de seda hasta colocarla en los ganchos de la pared de la piscina; se coloca la canastilla en el hueco de la mesa; se retiran los módulos del bastidor y colocan en orden en la ranura para módulos en la mesa para recargas, se colocan los lápices de acuerdo al plano de distribución. Terminadas las maniobras anteriores retirar la mesa para recargas, cuerdas y lamparas midiendo el nivel de radiación, con el equipo medidor de radiación ionizante portátil todo lo que salga del fondo de la piscina.

Posteriormente se arma el transportador interno y se hacen pruebas del funcionamiento del equipo elevador de la fuente y del transportador interno.

Después de todas las maniobras anteriores se toma una muestra de agua de la piscina para prueba de fuga, realizar frotis de la cámara de irradiación en:

Transportador interno, piso de la cámara de irradiación, en la mampara de la fuente, en el interruptor "fuente arriba", en las paredes de la cámara de irradiación, en el bastidor de la fuente parte trasera, en el bastidor de la fuente parte delantera.

Realizar frotis a la superficie del contenedor ya sea vacío o con carga de retiro.

3. Desarrollo.

3.1 Aumento de la actividad en la fuente.

La fuente radiactiva está hecha de tubos de acero inoxidable y su interior contiene el ^{60}Co metálico, este material emite radiación gamma. Los cilindros consisten en dos barras de ^{60}Co , encapsuladas en dos tubos concéntricos, uno de zircalor y el otro de acero inoxidable, y en los extremos tapones soldados. Los lápices forman parte de un bastidor donde están acomodados 6 módulos con cuarenta y dos lápices cada módulo. En 1980 se tenía una carga de 103 lápices con una actividad de 936 987 Curies, durante el transcurso de 10 años se tiene una actividad de 290 000 Curies, y en siete años más con un total de 5 recargas se opera con una actividad de los 600 000 Curies.

Debido a que el proceso de desbacterización, esterilización, etc.; por medio de rayos gamma ha desarrollado gran demanda entre los usuarios de este proceso, es posible pensar en un aumento en la productividad del irradiador; lo cual conduce a un aumento permisible en la carga o actividad de la fuente. Se ha pensado en esta posibilidad como la más viable debido a que el irradiador funciona durante todo el año (en realidad opera 300 días mientras que los 65 restantes son para mantenimiento preventivo anual) y no sería posible parar para una modificación a su sistema de transportación o de otro tipo. Para el estudio de este desarrollo se analizarán las siguientes variables:

1. Costo de la adquisición de ^{60}Co desde su transportación hasta la colocación en la rejilla y si es redituable de acuerdo con los gastos del irradiador.

2. Analizar, que si al aumentar la actividad de la fuente, determinar el tiempo de exposición del contenedor para obtener un control de calidad optimo. Así como el periodo en que se debe hacer otra recarga.

El cobalto 60 es un radioisotopo obtenido al irradiar cobalto 59 (^{59}Co que existe en forma elemental en la naturaleza) con neutrones en reactores nucleares. El ^{60}Co decae emitiendo partículas beta y rayos gamma.

Debido a este decaimiento, el contacto con un ser vivo genera cambios en las moléculas de sus tejidos provocando su destrucción o incapacitación, los más comunes son la alteración en la reproducción celular que regeneran las uñas, los cabellos, espermatozoides, óvulos. Sin embargo con los cuidados necesarios y la aplicación correcta, es posible eliminar organismos que pueden alterar productos envasado. Lo cual es una ventaja útil para el proceso de desbacterización.

3.2 Dosis para el producto (Tiempo de exposición del producto en la cámara del irradiador).

Dentro de la cámara se irradian 57 contenedores de aluminio 44 x 44 cm de base por 88 de altura con un peso máximo de 45 kg.

Para que al producto se le aplique un megarad debe permanecer 3.1 minutos en 57 posiciones diferentes dentro de la cámara. Para aplicarle 1.5 megarad debe permanecer 3.75 minutos. Cuando se tiene una actividad de 500,000 Curies. Lo que un ciclo correspondería: para un megarad 2.9 horas y para 1.5 megarad 3.5 horas. Ahora si se tuviera

una actividad en la fuente de 1 000 000 de Curies, cada contenedor permanecería en la cámara aproximadamente 2 minutos para un megarad y 2.35 para 1.5 megarad. Lo cual se optimiza en un 34% aproximadamente la eficiencia del irradiador.

La demanda que genera es de 198 usuarios con 472 productos diferentes y su costo por contenedor varía de \$60.00 a \$180.00 pesos más IVA.

La cuantificación de dosis se controla por medio de dosímetros (perspex rojo 4034 y gammachrome YR).

El perspex rojo 4034 se utiliza para rangos de dosis alta de 5 KGy a 50 KGy y el gammachrome YR para dosis bajas de 100 Gy a 3 Kgy. Estos dosímetros funcionan presentando un cambio en su absorbancia, la cual determina la dosis recibida por el producto mediante un espectrofotómetro. Existe una forma visual de diferenciar un producto irradiado, esta es una etiqueta sensible a la radiación cambia de color amarillo a color rojo.

3.3 Tiempos muertos.

Durante el proceso de esterilización se generan problemas que inciden en el paro del irradiador. Los problemas más comunes son en el que se atoren los contenedores, en el transportador de rodillos interno. Este problema se soluciona, bajando la fuente en posición de seguridad (esto es sumergiendo la fuente en la piscina para protección de las radiaciones al cuerpo) y el operador se introduce en la cámara para acomodar el contenedor o contenedores, que provocaron el problema. Otro de los problemas más frecuentes es la descompostura

de los cilindros neumáticos que desplazan a los contenedores, por lo regular es el cambio de las ligas de los vástagos; para este tipo de inconvenientes se cuentan con cilindros neumáticos de repuesto, así cuando falla uno solo se hace la operación del cambio del cilindro y no la de el cambio de ligas o repuestos (lo que provocará que se desarmen los cilindros por completo).

El tiempo que se genera por estos problemas es de un día por semana o a lo que es lo mismo de seis a ocho horas por semana.

La operación del irradiador también es interrumpida durante el mes de diciembre de cada año para mantenimiento preventivo, este paro en la operación del irradiador solo dura 30 días.

3.4 Diseño de un transportador aéreo para el cuarto de irradiación.

Para reducir tiempos muertos, en lo que concierne a mantenimiento correctivo, es factible analizar la sustitución del transportador de rodillos por un transportador "aéreo". Este propósito pretende evitar que los contenedores se atoren; así como reducir su desgaste ocasionado por la fricción y el choque de uno contra otro. Además, de reducir los movimientos significativamente; teniendo la misma posición de exposición de cada uno de los contenedores. Este transportador consiste en un riel superior del que penden los carros que llevarán los contenedores.

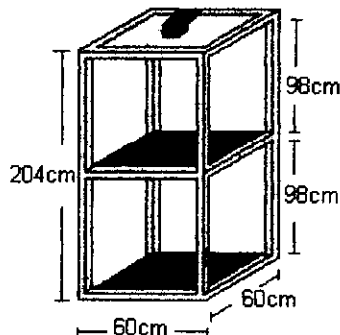
El reemplazo del transportador de rodillos por un transportador aéreo se requieren de las siguientes especificaciones:

1. **Transportación de contenedores en dos niveles, con las siguientes dimensiones: 44 cm. de base y 88 cm de altura, con una capacidad máxima de 45 kilogramos por contenedor.**
2. **Este sistema de transportación requiere ser fabricado de materiales ligeros, que a la vez permitan ser una estructura resistente para soportar cargas de 100 kilogramos sin que exista una fatiga del transportador.**
3. **Los materiales de fabricación serán de fácil adquisición y sustitución.**

3.4.1 Dimensiones.

Con base en las especificaciones que se plantearon, la estructura del porta contenedor es de las siguientes dimensiones:

1. **El diseño de estructura es de forma cubico rectangular con dos niveles, para alojar un contenedor en cada nivel: con una base de 60 centímetros y una altura de 204 centímetros con una altura de cada nivel de 98 centímetros. Como se muestra en la figura siguiente:**



3.4.2 Materiales de fabricación:

Los materiales de fabricación que cumplen con las características para la fabricación son los siguientes:

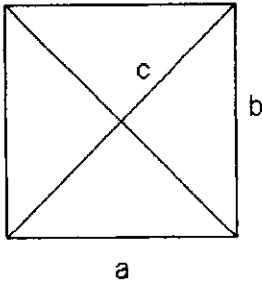
1. Placas de aluminio de 1/4 x 24 plg.
2. Perfil ángulo de aluminio de 1/8 x 1 plg.
3. Perfil "T" de aluminio de 1/8 x 1.
4. Tornillos de grado 3 1/4-10 UNF
5. Perfil "I" PTR de 1/4.
6. Motem de 1/4 x 4 plg.
7. Rodamiento de poliuretano con rodamiento de balero. 4 plg. de diámetro.
8. Riel Monten de 1/4 x 2 plg.
9. Cadena de perno de 1/2 plg
10. Engranés de estrella de 4 plg de diámetro.
11. Rueda de poliuretano de 4 plg.
12. Placa de acero cold rolled 1/8.

3.4.3 Análisis matemático:

Pesos teóricos de los materiales de fabricación.

Aluminio 6063	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Porcentaje en peso	0.2-0.6	0.35	0.10	0.10	0.4-0.9	0.10	0.10	0.15

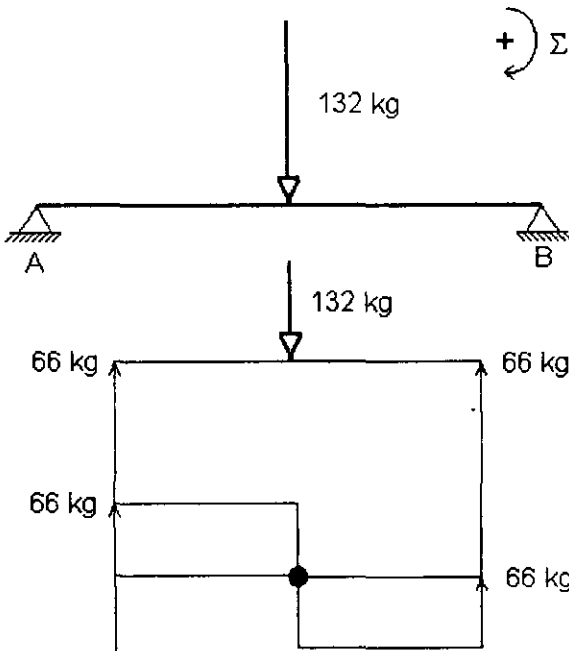
Material aluminio 6063	Cantidad de material	Peso teórico en un metro	Peso total
Angulo de 1/8 x 1 plg.	8.16 m.	0.411 kg.	3.35 kg.
Pérfil T de 1/8 x 1 plg.	7.20 m.	0.405 kg.	2.92 kg.
Placa de 5/16 x 24 plg.	1.80 m.	.16.175 kg x lámina.	24.26 kg.
PTR aluminio de 1 1/4 plg.	.8485 m	.550 kg.	0.933 kg.
Peso total requerido.			31.463 kg.
Peso de carga.			100 kg.
Peso total con carga			132 kg.



$$c^2 = a^2 + b^2$$

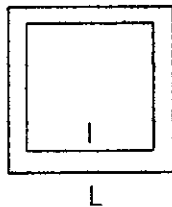
$$= \sqrt{(60)^2 + (60)^2}$$

$$= 84.84 \text{ cm}$$



$$+ \curvearrowright \Sigma MA = 132(42.425) - RB(84.85)$$

$$RB = \frac{5600.1 \text{ cm/kg}}{84.85 \text{ cm}} = 66 \text{ kg}$$



Deformación

$$\delta = (PL)/(EA)$$

$$A = L^2 - l^2$$

$$L = 3.17 \text{ cm}$$

$$l = 3.17 - (0.165(4)) = 2.51 \text{ cm}$$

$$A = (3.17)^2 - (2.51)^2 = 3.7488 \text{ cm}^2$$

$$\delta = (PL)/(EA) = (132 \text{ kg} \times 84.85 \text{ cm}) / (.703 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \times 3.74 \text{ cm}^2) = 0.004 \text{ cm}$$

Carga máxima aplicable:

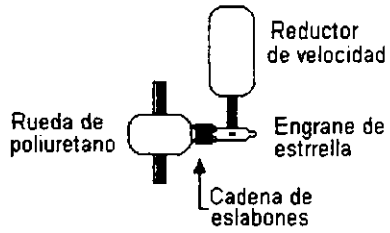
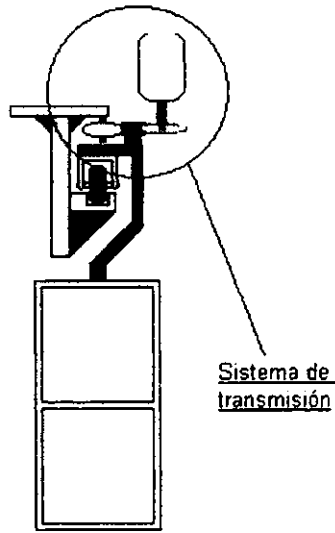
$$P0(\delta EA)/(L)=(0.008 \text{ cm} \times 0.703 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \times 3.74 \text{ cm}^2)/(84.85 \text{ cm})=248 \text{ kg}$$

3.4.5 Ventajas:

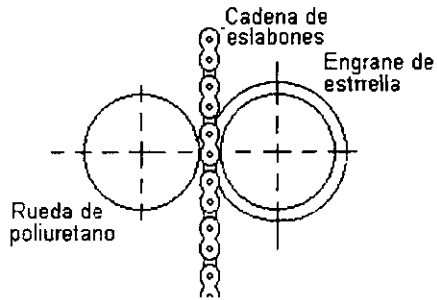
- ◇ Por sus diseño este mecanismo requiere de un mantenimiento correctivo mínimo.
- ◇ No existe riesgo de desgaste prematuro por exceso de fricción de los materiales.
- ◇ Por el diseño de estructura es practico para alojar los contenedores y transportarlos dentro de la cámara de irradiación.
- ◇ Cumple con las especificaciones de transportación para lo cual es requerido.

3.4.6 Desventajas

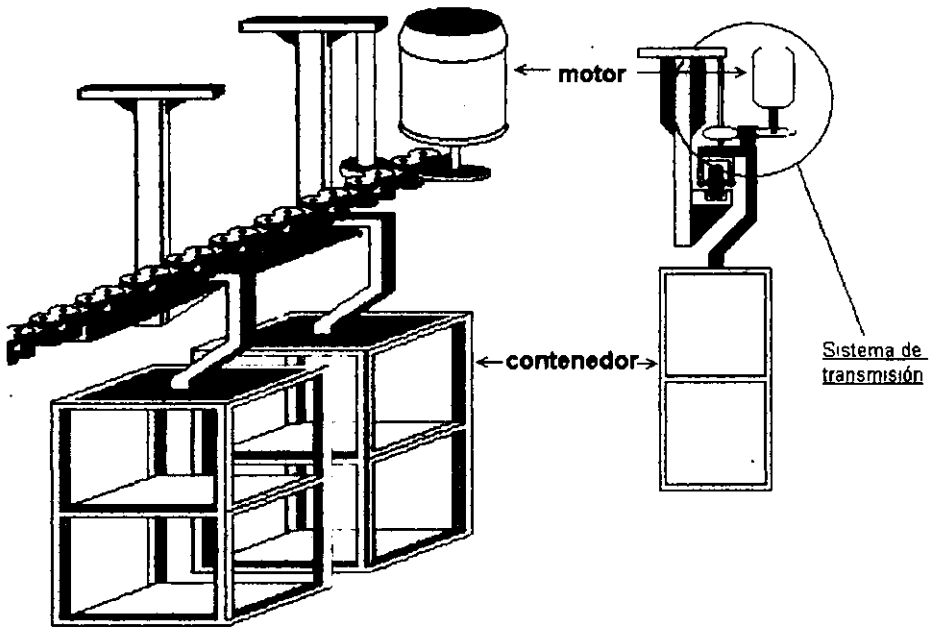
- ◇ Debido a sus dimensiones requiere de un espacio de alojamiento mayor.
- ◇ Si se excede en el peso de carga puede haber deformación por fatiga.



Vista frontal



**ESTA TUBO NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**



Proveedores:

ALCOMEX. AV. DE LA PRESA N° 290. SAN JUAN IXHUTEPEC.
TLALNEPANTLA EDO. DE MÉXICO. 54180.

ENGRANES DE MÉXICO. MENDIZABAL ORIENTE 480. COL. IND. VALLEJO
MEXICO D. F.

CADENAS INDUSTRIALES PISA. TEL 379 44 19.

RIELES Y ACEROS DE MÉXICO. AV CEYLAN 1403 C. P. 02300

GRYL RUEDAS Y RODAJAS. SABINAS 49. COL. VALLE GOMEZ.

- 2.El fácil mantenimiento preventivo en menor tiempo.
- 3.Caso de requerir un mantenimiento correctivo se analizó la necesidad de tener un contenedor de repuesto para la posible sustitución de uno dañado.
- 4.Para la sustitución de todo el mecanismo de transportación se requeriría de un paro permanente de la cámara de irradiación para efectuar los trabajos de sustitución con un programa a seguir:
 - a. Desmontar el transportador interno de rodillos.
 - b. El montaje de los mecanismos de sustitución, con base en un estudio dimensional de la cámara de irradiación.
 - c. Análisis de la modificación en el programa de tiempos y movimientos a seguir para el nuevo transportador.
 - d. Pruebas físicas del funcionamiento del transportador.

Llevado a cabo todo este programa el tiempo real de sustitución emplearía un tiempo aproximado de 30 a 45 días de trabajo.

Como ya se ha mencionado en los antecedentes una de las ventajas que tiene que tiene el empleo de radiaciones gamma es que no activa los materiales que se van a emplear con la construcción de dicho contenedor; por que lo único que ocurre al emplear este tipo de

radiaciones es la destrucción de los organismos unicelulares; aunque, sin embargo, se requiere la autorización de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (C.N.S.N.S.).

4. Conclusiones.

De acuerdo con los objetivos propuestos el análisis de la optimización del irradiador y al estudio realizado se observó lo siguiente:

1. Una vez optimizando el irradiador se cumplirá con el máximo nivel de material irradiado.
2. Se requiere de un mayor mantenimiento preventivo por la reducción de tiempo de exposición.
3. Cubriendo con las necesidades de servicio sería necesario reducir el tiempo de almacenaje una vez tratado el producto.
4. Al aumentar la carga radiactiva se reduce el tiempo de exposición; por lo que aumenta la velocidad, y es necesario hacer un análisis de mantenimiento por posibles fallas del nuevo transportador interno.
5. Es importante proporcionar un mantenimiento mayor a la instalación y así bajar las interrupciones no programadas
6. Es necesario aumentar las áreas de almacenamiento para evitar la multiplicidad de movimientos, contaminación de olores de los aditivos para alimento a los medicamentos.

Aumentar el patio de maniobras

5. Bibliografía.

1. - Brandan, María Ester. "Armas y explosiones nucleares". Fondo de Cultura Económica. México D. F. 1988.
- 2.- Bulbulian, Silvia. "La radioactividad". Fondo de Cultura Económica. México D. F. 1993.
- 3.- Marks. "Manual del Ingeniero Mecánico". Mc graw hill. México 1995.
4. - "10th international meeting on radiation processing". Anaheim, California U.S.A. 1997.
5. - "Programa de garantía de calidad para el irradiador gamma" por: Ing. David Mariano Magaña. 1993.
6. - "Seguridad radiológica y nuclear". Departamento del irradiador gamma. 1990.
7. - Tesis: "Estudio para la optimización de un irradiador industrial de Co^{60} de 250 kCi". Por: Piña Villalpando Germán. México D.F. 1995.
8. - Alonso, Marcelo. "Física". Addison-Wesley Iberoamericana. E. U. A. 1995
- 9.- Alonso, Marcelo. "Física vol. II campos y ondas". Fondo educativo interamericano. México D. F. 1976.
- 10.- Sears, Francis W. "Física universitaria". Addison-Wesley Iberoamericana. E. U. A. 1982