

IRRADIADORES

GUSTAVO MOLINA
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES
MEXICO

El uso de irradiadores gamma de diferentes actividades y tipos, se ha extendido por todo el mundo en aplicaciones industriales, médicas y en investigación. Los irradiadores gamma producen tasas de exposición muy altas durante el modo de irradiación, de tal forma que la exposición accidental de personas en el tiempo de irradiación puede ser letal en cuestión de segundos o minutos por lo que deben tomarse medidas de control muy estrictas, para detectar la entrada no autorizada de personas a la cámara de irradiación. En situaciones normales, por ejemplo, cuando se atora un "rack" de fuentes, las tasas de dosis inciden al acceso directo a las fuentes, por lo que se dificultan las acciones de recuperación.

Además de los irradiadores gamma, se utilizan irradiadores beta en diferentes aplicaciones, sin embargo, en el presente trabajo nos restringiremos a los irradiadores gamma. Solo es conveniente puntualizar que los riesgos potenciales de los irradiadores beta son principalmente la contaminación por dispersión del material radiactivo, y la irradiación accidental de las capas superficiales de la piel.

En la actualidad existen cientos de irradiadores industriales operando en todo el mundo que aprovechan los siguientes efectos de la radiación:

- Efectos biológicos (esterilización, reducción de microorganismos, etc.)
- Efectos químicos (polimerización, enlaces cruzados, etc.)
- Efectos físicos (modificación en semiconductores, cambios de color, etc.).

Los irradiadores gamma se hacen con fuentes de ^{60}Co o de ^{137}Cs , el ^{60}Co se produce en reactores de producción de radioisótopos por activación neutrónica del ^{59}Co (natural); el ^{137}Cs es un producto de fisión. Las fuentes de irradiadores tipo alberca, se fabrican en forma de cilindros o "lapices" que se montan en bastidores rectangulares.

Existe una gran variedad de diseños de los irradiadores gamma, por lo que ha sido necesario estandarizar su clasificación a nivel internacional en cuatro categorías:

CATEGORIA I

Autointenido, irradiador con almacenamiento de la fuente en seco.

Irradiador en el que las fuentes selladas están perfectamente contenidas en un contenedor seco construido de materiales sólidos, las fuentes selladas están blindadas en todo momento y el acceso de personas a las fuentes selladas y al volumen (es) de irradiación es físicamente imposible en su configuración de diseño.

CATEGORIA II

Panorámico, irradiador con almacenamiento de la fuente en seco.

Irradiador con acceso controlado de personas donde las fuentes selladas están alojadas en un contenedor seco construido con materiales sólidos y las fuentes selladas están totalmente blindadas cuando no están en uso; las fuentes selladas se exponen dentro de un volumen (es) de irradiación, mantenido inaccesible durante su uso por medio de un sistema de control de acceso.

CATEGORIA III

Autocontenido, irradiador con almacenamiento bajo el agua.

Irradiador en el que las fuentes selladas están contenidas en una alberca de almacenamiento de agua, las fuentes selladas están blindadas en todo momento y el acceso de personas tanto a las fuentes selladas como al volumen (es) de irradiación es físicamente imposible en su configuración de diseño y su modo de uso apropiado.

CATEGORIA IV

Panorámico, irradiador con almacenamiento de agua.

Irradiador con acceso controlado de personas, en el que las fuentes selladas están contenidas en una alberca de almacenamiento llena de agua y las fuentes selladas están totalmente blindadas cuando no están en uso; las fuentes selladas se exponen dentro del volumen (es) de irradiación mantenidas inaccesibles durante su uso mediante un sistema de control de acceso.

FUENTES.

En los irradiadores gamma las fuentes usuales son el Co-60 y el Cs-137 en actividades de hasta 10 MCi de Co-60 y 30 MCi de Cs-137. Debido a que la energía promedio del decaimiento del Cs-137 es aproximadamente de un cuarto de la de Co-60 y a que en el diseño de las cápsulas de Cs-137 se emplea más espesor, se requiere siete veces más actividad de las fuentes de Cs-137 para producir la misma tasa de exposición que con fuentes de Co-60.

Las fuentes de Cs-137 contienen cloruro de cesio que es un material soluble en agua y ya ha ocurrido la fuga del cesio de las fuentes selladas; esto ha ocasionado la contaminación de la alberca y una costosa descontaminación de las instalaciones. Las

fuentes de Co-60 están hechas a base de cobalto metálico, por lo que en caso de una ruptura el escape de cobalto a la alberca es relativamente menos severo.

SEGURIDAD

Los mecanismos de seguridad en los irradiadores tienen el propósito de minimizar la irradiación accidental de personas. Los principios de estos mecanismos son:

Redundancia.- Consiste en el uso de más equipo del mínimo necesario para llevar a cabo una función de seguridad. Esto permite que una falla única de un equipo pueda ser tolerada sin perder la función de seguridad.

Diversidad.- La disponibilidad de algunos sistemas puede mejorarse usando el principio de diversidad. Consiste en incorporar diferentes atributos en los sistemas o componentes relacionados con la seguridad. Estos atributos diferentes pueden ser variables físicas diferentes, condiciones de operación diferentes, producción por diferentes fabricantes, etc.

Independencia.- Este principio consiste en diseño de sistemas y componentes, usando aislamiento de funciones y separación física, de tal forma que se minimice la ocurrencia de eventos que tengan una falla común, y que puedan afectar a dos o más sistemas o componentes relacionados con la seguridad.

Diseño de falla segura.- Este principio consiste en diseñar sistemas y componentes que son importantes para la seguridad de tal forma de que si uno de estos sistemas o componentes falla, la instalación puede pasar a un estado seguro sin el requerimiento de iniciar ninguna acción.

REGULACION.

Debe existir una autoridad competente en cada país, designada para verificar la seguridad de los irradiadores, la verificación incluye el diseño, la construcción, la operación y el desmantelamiento. La autoridad competente debe tener la autoridad para clausurar, multar e imponer otro tipo de sanciones al operador del irradiador cuando existe una degradación de la seguridad del mismo.

CARACTERISTICAS DE SEGURIDAD.

Las siguientes características de seguridad son aplicables en forma general a los irradiadores gamma, especialmente a los de tipo alberca. Las características específicas dependen de los requisitos que cada autoridad competente adopte.

Blindaje.- Los irradiadores se proveen con el blindaje adecuado para el tipo y modo de uso.

Sistemas de control de accesos.- Los irradiadores cuentan con

controles secuenciales que permiten el acceso al cuarto de irradiación y para operaciones de irradiación. Esto impide que la puerta de acceso se abra si no se han cumplido con ciertos requisitos secuenciales, por ejemplo, que las fuentes estén en posición segura, etc.

Llave única de varios propósitos.- Una llave única para operar los controles del irradiador para entrar al cuarto de irradiación y para actuar el reloj de seguridad es una característica muy importante que evita el acceso no controlado de personas. Esta llave está atada al medidor portátil de radiación con un cable o cadena. Sólo una llave de operación estará disponible para todo el personal autorizado.

Controles automáticos de acceso al personal.- La entrada al cuarto de irradiación del personal de los irradiadores, tiene controles automáticos que la aseguran antes de que pueda comenzar la irradiación. Los controles automáticos de la puerta están integrados con el sistema de control maestro en tal forma que cualquier violación al sistema automático o de la puerta causará la terminación automática de la irradiación. Aún si existiera un mal funcionamiento del sistema automático que termina la irradiación, la apertura de la puerta genera una señal visible y una alarma que avisan al individuo del riesgo.

Reloj de seguridad con alarma. El cuarto de irradiación normalmente está equipado con un reloj de seguridad operado por llave que automáticamente genera señales audibles y visibles que alertan al personal en el área que la secuencia para exponer la fuente, ha sido iniciada. El tiempo de las señales permite a cualquier individuo dentro del cuarto de irradiación dejar el área o operar la señal de paro de emergencia que detiene la secuencia de arranque. Este reloj está integrado con el sistema de control maestro de manera que la irradiación no puede comenzar a menos que la secuencia de arranque sea terminada.

Mecanismos automáticos en los puertos de entrada y salida de productos.- Existen medios físicos en los puertos de entrada y salida de productos para evitar la entrada accidental o inadvertida de personas en áreas de alta radiación. En caso de que el mecanismo de control del puerto se descomponga, una alarma audible o invisible lo indicará y la irradiación termina automáticamente.

Blindajes removibles en cuarto de irradiación.- Los blindajes del cuarto de irradiación están conectados con el sistema de control maestro, y detienen la irradiación automáticamente sison removidos.

Medidor portátil de radiación.- Un medidor portátil de radiación con la única llave de operación atada, deberá ser cargado por el operador cuando entra al cuarto de irradiación, una fuente de verificación debe ser usada antes de cada entrada al cuarto, para comprobar que el medidor funciona adecuadamente.

Monitor de radiación con alarmas.— Un monitor de área dentro del cuarto de irradiación indica cuando la irradiación ha terminado. Este está integrado a la puerta de acceso para evitar el acceso al cuarto de irradiación cuando hay exceso de radiación, cuando existe un malfuncionamiento del monitor o cuando este está apagado.

Salida de emergencia.— Se debe proporcionar medios para garantizar la salida del personal del cuarto de irradiación en cualquier momento.

Apagador de emergencia del cuarto de irradiación.— Los irradiadores cuentan con un apagador de fácil acceso que permite interrumpir el proceso de irradiación dentro del cuarto de irradiación.

Apagador de emergencia de la consola.— La consola de control cuenta con un apagador claramente visible que detiene el proceso de irradiación desde el cuarto de control.

Señal de aviso de irradiación.— En la puerta de acceso del personal al cuarto de irradiación debe existir el símbolo internacional de radiaciones.

Indicadores de status.— El irradiador cuenta con indicadores de status en la consola de control que indican cuando la irradiación ha sido terminada, cuando la irradiación está en curso y cuando está en preparación.

Señales audibles.— Las señales audibles del sistema de control del irradiador, deben ser lo suficientemente distinguibles e intensas para llamar la atención inmediata de las personas en el área.

Acceso controlado.— El cuarto de irradiación se designa como área restringida y por lo tanto el acceso está estrictamente controlado. El acceso después de la terminación de la irradiación sólo puede ser hecho por un operador que usa el monitor portátil. Los visitantes requieren ser escoltados por un operador.

Modo de operación.— el estado del irradiador esta continuamente indicado, de tal manera que el operador sabe en cualquier momento el estado del irradiador.

Control maestro.— Los irradiadores, normalmente tienen un control maestro que solo puede ser usado por operadores autorizados.

Control de gases de radiolisis.— Durante la irradiación, se producen gases como el ozono, óxidos de nitrógeno u otro tipo de gases, dependiendo del material irradiado. Para proteger al personal de estos gases, se instalan sistemas de ventilación forzada de aire para mantener la concentración de estos gases dentro de límites autorizados. La falla del sistema de ventilación, interrumpe la irradiación.

REVISION DE EVENTOS OCURRIDOS EN IRRADIADORES GAMMA.(1)

Se conocen tres muertes ocurridas en irradiadores industriales, una el 17 de mayo de 1975 en Italia, otra el 2 de septiembre de 1982 y la última en febrero de 1987 en El Salvador. Además, han ocurrido eventos que han causado sobreexposiciones de operadores, atoramiento de las fuentes, y diversas fallas de los mecanismos de seguridad. La revisión de los eventos más importantes nos da información de los factores iniciadores y de la magnitud de las consecuencias.

Italia, 1975.

El accidente en Italia ocurrió en una instalación con 1100 TBq de Co-60 que había estado en operación durante aproximadamente tres meses. Un operador estaba trabajando en la cinta transportadora haciendo ajustes y fue movido dentro de la cámara de irradiación mientras estaba la fuente expuesta, el operador posteriormente se quejó de dolor de cabeza intenso; uno de sus compañeros intentó rescatarlo de la unidad. Sin embargo, en vez de mover la cinta transportadora hacia atrás la movió hacia adelante y expuso el cuerpo entero de la víctima a la fuente sin blindaje. La víctima murió doce días después y la dosis absorbida que se le estimó fue de más de 10 Gy.

Noruega, 1982.

En Noruega, en el Instituto para la Tecnología en Energía, un técnico de servicio fue expuesto a una fuente de Co-60 de 2400 TBq. El irradiador tenía una banda transportadora del tipo continuo operando 24 horas al día, que no era atendida de noche. La banda se atoró durante la noche y las fuentes no regresaron automáticamente a la posición blindada por falla de los mecanismos de control. El técnico llegó a trabajar por la mañana y encontró una luz indicadora de color verde que significaba que la fuente estaba blindada, además encontró que la puerta de acceso le permitió el paso al cuarto de irradiación por falla del mecanismo de control (interlock). Al entrar la fuente estaba en la posición de exposición por lo que el técnico fue irradiado. En adición a todas las fallas anteriores, el detector portátil de radiación estaba en mantenimiento. El técnico murió como resultado de la irradiación, 13 días después. La investigación posterior encontró que el sistema de seguridad de las puertas no cumplía totalmente con el criterio de falla única ya que la cerradura de la puerta del cuarto de irradiación tenía un componente común tanto en el sistema de irradiación y el sistema de posición de la fuente.

En este evento la falla de un apagador único del sistema que indicaba la posición de la fuente originó una señal de "fuente blindada", por lo que la cerradura de la puerta permaneció abierta. El monitor de radiación que formaba parte del sistema de control de cerraduras por radiación estaba fuera de servicio por mantenimiento. Por estos motivos, cuando el técnico arribó vio la señal de "fuente blindada" y además pudo entrar por la puerta con la llave de operación porque el sistema de cerradura no se lo impidió.

El Salvador 1989.

En el accidente de El Salvador, un irradiador de Co-60 con los sistemas de seguridad degradados ocasionó la irradiación de tres personas de las cuales una murió seis meses después. Una descripción detallada puede encontrarse en la exposición de la Dra. Caridad Borrás.

Parsippany, N.J., 1974.

El 13 de junio de 1974, un operador se irradió al entrar a una celda de irradiación con la fuente de 4400 TBq de Co-60 expuesta. El se dio cuenta de su error y se salió después de 3 a 10 segundos, en los que recibió de 1.85 a 4 Gy. El operador no siguió los procedimientos de operación y la instalación tenía deficiencias de diseño. El operador tenía varios días trabajando de 10 a 12 horas diarias, por lo que se cree que el cansancio fue un factor importante en la ocurrencia de este evento.

Rockaway, N.J., 1977.

Un operador entró al cuarto de irradiación después del cambio de turno con la fuente descubierta. Esto ocurrió porque los directivos de la instalación habían decidido permitir exponer las fuentes con los sistemas de seguridad y las señales de cierre automático desconectados. El operador se expuso aproximadamente 10 segundos a la fuente de 18500 TBq de Co-60 y recibió de 1.5 a 3 GRAY.

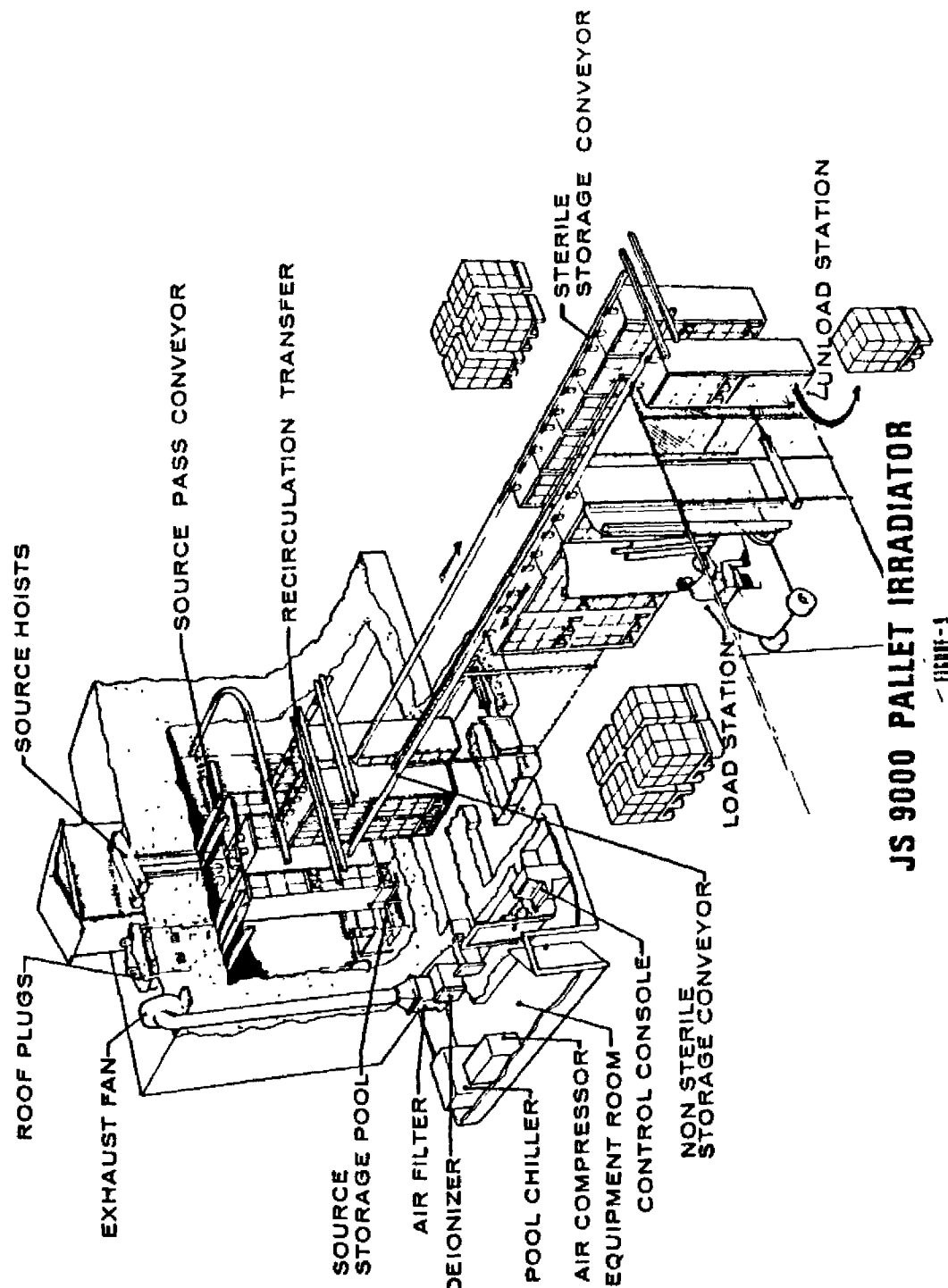
Decatur, Georgia 1988.

Este irradiador con fuentes de Cs-137, tenía altos niveles de radiación sobre la alberca de almacenamiento, que indicaban que una o más cápsulas tenían fugas de material radiactivo. Dado que el Cesio está en forma de un compuesto soluble, el escape de este es relativamente rápido. Los productos que estaban siendo irradiados mostraron contaminación externa debido a las propiedades volátiles del cesio. Se encontró contaminación en las casas de los empleados. Se iniciaron acciones de control de la contaminación y de recuperación.

Además de los eventos anteriores, han ocurrido diversos eventos en irradiadores de diversos tipos, un evento bastante común, es el atascamiento de la fuente en posición de irradiación. han ocurrido incendios en irradiadores, contaminación del agua de la alberca en irradiadores de Categoría IV, con fuentes de Co-60 como de Cs-137.

REFERENCIAS:

- (1) TRAGER, E. SPECIAL STUDY REPORT REVIEW OF EVENTS AT LARGE, POOL-TYPE IRRADIATORS. AEOD/S807.(1988).
- (2) SAFETY AND RADIATION PROTECTION ASPECTS OF THE DESIGN AND OPERATION OF GAMMA AND ELECTRON IRRADIATION FACILITIES, DRAFT REPORT OIEA, 1988.



JS 9000 PALLET IRRADIATOR

- 11001-1

