

Curso de Capacitación para los Trabajadores Radiológicos



**BIENVENIDOS AL CURSO DE CAPACITACIÓN PARA LA
SEGURIDAD RADIOLÓGICA**

para los Operadores de los Gabinetes de Rayos X

The authorized user of a hardcopy of the material covered by this instruction manual may reproduce this publication only for the purpose for which it is intended. No part of this publication may be reproduced or transmitted for any other purpose, such as selling copies of this publication or providing paid-for support services. © 2015 RCE Consulting. All rights reserved.

para los Operadores de los Gabinetes de Rayos X

OBJETO FINAL:

Demostrar un entendimiento básico de:

- OF1 Los principios generales para la protección contra la radiación, para poder operar los aparatos de rayos X de forma segura

OBJETOS DE CAPACITACIÓN:

Al terminar el curso, los participantes se encontrarán capacitados para:

- OC1 describir los componentes básicos del átomo
- OC2 describir la ionización, la radiación ionizante y las fuentes de la radiación ionizante
- OC3 describir las unidades de medición (Rem, Rad, Roentgen)
- OC4 describir qué son los rayos X, cómo se generan, y cómo interactúan con la materia
- OC5 demostrar un conocimiento de las dosis máximas federales, de los controles administrativos específicos para la planta, ALARA, y los métodos principales para controlar y minimizar la exposición externa
- EO6 describir los efectos biológicos de los rayos X
- EO7 identificar y describir los instrumentos para monitorear la radiación y los aparatos para monitorear el personal apropiados para detectar los rayos X
- EO8 identificar y describir las medidas de protección que restringen o controlan el acceso a las áreas y a los aparatos de rayos X, y advertir contra los riesgos de los rayos X; poder identificar y describir los documentos de trabajo que proveen los procedimientos específicos para garantizar la operación segura de los aparatos radiológicos
- EO9 explicar los elementos y los controles de seguridad incorporados en el aparato de rayos X
- EO10 explicar quién tiene la responsabilidad para implementar los sistemas y procedimientos de seguridad radiológica y describir las responsabilidades de los que trabajan con la radiación.

LOS PRINCIPIOS DE LA PROTECCIÓN CONTRA LA RADIACIÓN

A. OBJETIVOS

i. El objetivo de la módulo

Al complementar esta unidad los participantes deben entender los principios básicos de la protección contra la radiación, los cuales son fundamentales para operar de forma segura los aparatos de rayos X.

ii. Objetivos

Después de su debido repaso en clase, los participantes se encontrarán capacitados para:

1. definir la radiación ionizante
2. identificar fuentes de radiación de fondo naturales y artificiales
3. definir las dosis máximas federales y los niveles de control administrativos específicos para la planta
4. describir el principio ALARA
5. enumerar los tres métodos principales para reducir la exposición externa

B. EL ÁTOMO

El átomo, la unidad básica de la materia, se compone de tres partículas primarias: los protones, los neutrones y los electrones. Los protones y los neutrones se encuentran en el núcleo del átomo; los electrones se encuentran girando alrededor del núcleo. Los protones tienen una carga positiva; los neutrones son neutros; los electrones tienen una carga negativa. La configuración de las capas de electrones y el número de los electrones en las capas determinan las características químicas de los átomos.

C. LA IONIZACIÓN

En general, un átomo tiene un número de electrones igual al número de protones en su núcleo, de modo que el átomo es eléctricamente neutro. Un átomo cargado, llamado *ion*, puede tener una carga positiva o negativa. Los electrones libres también se llaman iones. Un ion nace cuando radiación ionizante interactúa con un electron en órbita y causa que este sale de su órbita, proceso que se llama *ionización*. Esto resulta en un átomo (o molécula) con carga positiva y un electrón libre.

D. LA RADIACIÓN

Radiación en el sentido en que usamos la palabra aquí, abarca partículas alfa, partículas beta, rayos gama, rayos X, neutrones, electrones de alta velocidad, protones de alta velocidad y demás partículas capaces de producir iones. La radiación con suficiente energía para causar ionización se llama *radiación ionizante*. Radiación que carece de la energía para causar ionización se llama *radiación no ionizante*. Ejemplos de la radiación no ionizante son las ondas de radio, microondas, luz visible, etc.

Para protegerse contra la radiación, la ionización es importante ya que puede afectar los procesos químicos y biológicos del cuerpo. La ionización también facilita la detección de radiación. Para que se acuerden.

"LA RADIACIÓN CAUSA IONIZACIÓN"

El único tipo de "radiación ionizante" presente durante la operación de los equipos de es la radiación de rayos X.

Los rayos gama y X son una forma de radiación electromagnética. Los rayos X son diferentes de los rayos gama en cuanto a su punto de origen. Los rayos gama nacen adentro del núcleo atómico, mientras los rayos X nacen de electrones fuera del núcleo y de electrones libres decelerando cerca de átomos (la así llamada "bremsstrahlung", radiación de deceleración). El capítulo 2 trata de cómo se producen los rayos X

E. LAS UNIDADES

- Roentgen (R), una medida de la *exposición* a la radiación, se define por ionización en el aire.
- Rad, una medida de energía absorbida por unidad de masa, es definida de acuerdo al material absorbiente.
- Rem es una unidad de equivalente de dosis, es decir la energía absorbida por unidad de masa multiplicada por el factor de calidad aplicable y otros factores modificadores.

Para rayos X, se puede suponer que $1 R = 1 rad = 1 rem = 1000 mrem$.

F. RADIACIÓN DE FONDO

La radiación de fondo, a la cual estamos expuestos todos, proviene de fuentes naturales tanto como artificiales (= hechas por el hombre). La radiación de fondo natural puede categorizarse como cósmica y terrestre. El radón es el contribuyente mayor a la radiación de fondo terrestre. Las fuentes más comunes para la radiación de fondo artificial son los procedimientos médicos y los productos de consumo.

La dosis de fondo promedia a la cual está expuesta la población general, de fuentes naturales tanto como artificiales, es de unos 360 mrem por año en todo el cuerpo. Fuentes naturales aportan un promedio de 200 mrem por año de las hijas del radón, unos 40 mrem por año de emisores internos como por ejemplo el potasio-40, unos 30 mrem por año de fuentes cósmicas y cosmogénicas, y unos 30 mRem por año de fuentes terrestres como el uranio y el torio que se encuentran en la naturaleza. Fuentes hechas por el hombre aportan un promedio de alrededor 50 mRem por año en todo el cuerpo, de fuentes médicas como por ej. radiografías del pecho.

G. DOSIS MÁXIMAS

Los límites de las dosis ocupacionales se basan en datos sobre los efectos biológicos de la radiación ionizante. La ICRP (Comisión internacional para la protección radiológica) y el NCRP (Consejo nacional para la protección y la medición radiológica) publican pautas para establecer normas para la protección contra la radiación. La NRC (Comisión reguladora nuclear) estableció requisitos reguladores en conexión con la protección contra la radiación. Estos límites fueron establecidos para minimizar la probabilidad de efectos biológicos.

DOSIS MÁXIMAS OCUPACIONALES PARA MUJERES “DECLARADAS EMBARAZADAS”

La Comisión reguladora nuclear (NRC) estableció las dosis máximas para el embrión o feto de una operadora embarazada, entrando en vigor el 1 de enero del 1994. La cifra de 500 mRem para todo el período de gestación ha funcionado como una guía desde hace muchos años. Si una mujer que está embarazada o que está intentando de quedar embarazada quiere ser puesta bajo el límite de 500 mRem, ella debe “declarar” su embarazo por escrito. El empleador tiene la responsabilidad de mantener consistente la dosis sobre la mujer embarazada a lo largo de su embarazo, generalmente entre los 45 – 55 mRem o menos por mes. La mujer puede o no declarar su embarazo, y también tiene el derecho de invertir su declaración en cualquier momento del período de gestación. La declaración tanto como la inversión de su declaración debe producirse por escrito bajo la autoridad del Funcionario de la seguridad radiológica.

Acuérdense que el límite administrativo anual de la compañía es de 500 mRem para todos los operadores ocupacionales, y que hay muy poca probabilidad de que algún operador que trabaja con o cerca de un equipo de rayos X tipo “gabinete” reciba más de 100 mRem en un año. Se les recomienda a las operadoras embarazadas que informen al Funcionario de la seguridad radiológica para que este pueda suministrar a la mujer las informaciones y materiales adicionales publicados por la NRC (es decir: las Guías Reguladoras 8.13, 8.29, 8.36).

H. CAUSAS DE LA EXPOSICIÓN ACCIDENTAL

Aunque la mayoría de los operadores de rayos X no reciben dosis de radiación cerca del límite regulatorio, es importante darse cuenta de que han ocurrido accidentes en conexión con los equipos de rayos X, en casos en que no se había cumplido con los procedimientos apropiados. La falta de cumplir con los procedimientos apropiados ha sido el resultado de:

- Apuro para terminar un trabajo
- Aburrimiento
- Cansancio
- Enfermedad
- Problemas personales
- Falta de comunicación
- Complacencia

Cada año se producen numerosos accidentes relacionados con los rayos X en todo el país.

Alrededor de un tercio de ellos resulta en que una persona queda herida. La tasa de incidentes en facilidades médicas es muy inferior al promedio nacional.

I. ALARA

Debido a que no se saben con exactitud los efectos de dosis crónicas de niveles bajos de radiación ionizante, suponemos que sí hay cierto riesgo para cualquier dosis. El principio ALARA y sus elementos claves fueron diseñados para mantener la dosis de radiación *lo más bajo que se pueda razonablemente lograr* considerando las restricciones económicas y sociales.

El objetivo del programa ALARA es: mantener la dosis de radiación lo más debajo de las dosis ocupacionales máximas y debajo de los niveles de control administrativo que se puede razonablemente lograr. El éxito de un programa ALARA está en directa relación con un entendimiento claro de y un cumplimiento con los métodos y procedimientos para la protección de los operadores. Mantener la dosis de radiación ALARA [sigla que quiere decir As Low As Reasonably Achievable, o sea “Lo más bajo que se puede razonablemente lograr”] es la responsabilidad de todos los operadores, de la gerencia, y de la organización para la protección radiológica.

J. REDUCIR LA DOSIS EXTERNA (PUNTO CLAVE)

Tres maneras fundamentales para reducir las dosis externas son:

- minimizar el tiempo
- maximizar la distancia
- usar blindaje

Planificar de antemano minimiza su tiempo cerca de una fuente de radiación. Se puede aumentar la distancia a la fuente de radiación si uno se aleja de ella cada vez que se pueda. La dosis de una fuente de rayos X guarda una proporción inversa con el cuadrado de la distancia. Se llama la ley del cuadrado inverso; quiere decir que cuando al duplicarse la distancia, la dosis se reduce a un cuarto de su valor original. Los diseños correctos de plantas y máquinas usan la cantidad y el tipo de blindaje apropiados para el riesgo de radiación. El plomo, el hormigón, y el acero son eficaces como blindaje en contra de los rayos X.

Los gabinetes de rayos X de Smiths Detection han sido diseñados, fabricados y son operados de acuerdo con las regulaciones 21 CFR 1020.40 de la FDA (la Administración para los Alimentos y las Medicinas de los EE.UU.). Estas regulaciones se llaman “Las normas para el buen funcionamiento de los productos emisores de radiación ionizante – rayos X en gabinete” y estipulan que, en parte, ninguna radiación emitida desde la superficie externa del equipo excederá 0,5 mR en una hora (0,5 mR/hr) en ningún punto a 5 cms (2 pulgadas) de la superficie del equipo.

LA PRODUCCIÓN DE LOS RAYOS X**A. OBJETIVOS****i. Objetivo del módulo**

Al completar esta unidad, los participantes comprenderán qué son los rayos X y cómo son producidos, de modo que los participantes se encontrarán capacitados para trabajar en su entorno sin peligro.

ii. Los objetivos

Después de debido repaso en clase, los participantes se encontrarán capacitados para:

1. Describir en rasgos generales la historia temprana de los rayos X y las consecuencias de trabajar con o cerca de los rayos X sin medidas protectivas.
2. Definir los tipos de radiación electromagnética
3. Describir la diferencia entre los rayos X y los rayos gama
4. Identificar cómo se producen los rayos X
5. Definir la bremsstrahlung y rayos X característicos
6. Describir cómo el voltaje y la corriente del tubo de los rayos X afectan la energía y la potencia de los fotones
7. Explicar cómo los rayos X interactúan con la materia.
8. Identificar cómo la energía está relacionada con la dosis de radiación.
9. Hablar de los efectos del voltaje, la corriente y la filtración sobre los rayos X.

LA HISTORIA DE LA RADIACIÓN CON RAYOS X

Los rayos X fueron descubiertos en 1895 por el cientista alemán Wilhelm Roentgen. El 8 de noviembre, Roentgen estaba investigando electricidad de alto voltaje, y notó que un poco de fósfor que estaba cerca, se iluminaba en la oscuridad cada vez que él prendió el equipo. Pronto logró comprobar que estos desconocidos rayos “x”, como los llamaba, viajaron en líneas rectas, penetraron ciertos materiales, y fueron detenidos por otros materiales más densos.

Continuó sus experimentos con estos rayos “x” y finalmente produjo una radiografía de la mano de su esposa en la cual se pueden apreciar los huesos y el anillo de boda. El 1 de enero del 1896, Roentgen envió copias de esta foto junto con su informe a sus colegas científicos.

En los primeros días de febrero del 1896, se produjo la primera radiografía diagnóstica en EE.UU., seguido a la brevedad por la primera radiografía de un feto en utero. En marzo del mismo año se tomaron las primeras radiografías dentales. En el mismo mes, el científico francés Henri Becquerel estaba buscando efectos fluorescentes del sol, usando uranio sobre una placa fotográfica. El cielo se puso nublado, entonces guardó el uranio y la placa en un cajón. Cuando Becquerel reveló las placas unas semanas después, se dio cuenta de que había hecho un descubrimiento nuevo. Su alumna, Marie Curie, lo llamó radioactividad.

ii. Descubrimiento de efectos dañinos

Debido a que casi no se usaron medidas de protección en aquel entonces, no pasó mucho tiempo después del descubrimiento de los rayos X antes que la gente empezó a darse cuenta de los efectos dañinos. Los que trabajaron con rayos X estaban expuestos a dosis de radiación muy grandes, y enfermedades de la piel resultando de esta exposición fueron observadas y documentadas en principios del 1896. En marzo del mismo año, Thomas Edison informó sobre lesiones de los ojos como consecuencia del trabajo con rayos X.

En junio, los experimentadores fueron avisados que no se acercaran muy cerca a los tubos de los rayos X. Al fin del mismo año ya circularon informes sobre casos de pérdida de pelo, piel enrojecida, piel que se caía, y lesiones. Algunos que trabajaron con rayos X perdieron dedos, y otros terminaron por contraer cáncer. Cuando empezó el siglo XX, ya hubo informes sobre el potencial efecto cancerígeno de la exposición a los rayos X en seres humanos.

Desde entonces, se han gastado más de mil millones de dólares tan sólo en este país, en la investigación de los efectos biológicos de la radiación ionizante. Se han formado agencias nacionales e internacionales para ayudar en la estandarización de los usos de los rayos X para garantizar una práctica más segura.

iii. Los rayos X son ondas electromagnéticas

Los rayos X son un tipo de radiación electromagnética. Otras clases de radiación electromagnética son las ondas de la radio, microondas, infrarrojo, la luz visible, ultravioleta, y los rayos gama. Se distingue entre los tipos de radiación en base de la cantidad de energía llevada por los fotones individuales. La radiación electromagnética no tiene masa ni carga, a diferencia de otros tipos de radiación ionizante como por ej. las partículas alfa, beta o neutrones.

Toda radiación electromagnética consiste de fotones, los cuales son paquetes individuales de energía. Por ejemplo, una lámpara de luz casera emita alrededor de $10 - 22$ fotones de luz (radiación no ionizante) por segundo.

La energía llevada por fotones individuales, y que se mide en voltios electrónicos (eV), está relacionada con la frecuencia de la radiación. Varios tipos de radiación electromagnética y sus energías de fotones típicas aparecen en la tabla a continuación.

iv. Rayos X y rayos gama

Tanto los rayos X como los rayos gama ionizan átomos. La energía requerida para la ionización varía según el material (por ej. 34 eV en el aire, 25 eV en tejidos) pero por lo general se encuentra en el rango de varios eV. Potencialmente, un rayo de 100 keV puede crear miles de iones.

Como hablamos en el capítulo 1, la distinción entre los rayos X y los rayos gama es su origen, o sea su método de producción. Los rayos gama originan de adentro del núcleo; los rayos X originan de electrones atómicos y forman electrones libres decelerando cerca de los átomos (lo cual se llama: la bremsstrahlung).

Además, muchas veces los fotones gamas tienen más energía que los fotones de rayos X. Por ejemplo, los rayos X diagnósticos son de unos 40 keV, mientras que los gama de cobalto-60 son de más de 1 MeV. Sin embargo, existen muchas excepciones. Por ejemplo, los gama de tecnecio-99m son de 140 keV, y la energía de los rayos X de una máquina radiográfica de alta energía puede llegar hasta los 10 MeV.

C. LA PRODUCCIÓN DE LOS RAYOS X

Los aparatos que producen radiación producen rayos X a través de la aceleración de electrones mediante un potencial de voltaje eléctrico, parándolos en un objeto. Muchos aparatos que usan alto voltaje y una fuente de electrones, producen rayos X como un subproducto no deseado de la operación del equipo. Estos se llaman rayos X *incidentales*.

La mayoría de los aparatos de rayos X emiten electrones desde un cátodo, los aceleran con un voltaje, y los hacen chocar con ánodo, el cual emite fotones de rayos X.

i. Bremsstrahlung

Cuando los electrones chocan con el ánodo, deceleran o frenan, emitiendo la *bremsstrahlung* (palabra alemán que significa *radiación de frenar*). La *bremsstrahlung* se produce más eficazmente cuando pequeñas partículas cargadas interactúan con átomos largos, como cuando electrones chocan con un ánodo de tungsten. Pero, se puede producir *bremsstrahlung* con cualquier partícula cargada y con cualquier objeto. Por ejemplo, en los laboratorios de investigaciones se ha producido *bremsstrahlung* acelerando protones haciéndolos chocar con hidrógeno.

ii. Rayos X característicos

Cuando electrones cambian de un órbita atómico a otro, se producen *rayos X característicos*. Las energías fotones individuales son características del tipo de átomo y pueden ser usados para identificar cantidades muy pequeñas de cierto elemento. Por esta razón, son importantes en las aplicaciones analíticas radiológicas en los laboratorios de investigaciones.

D. EL EFECTO DEL VOLTAJE Y LA CORRIENTE SOBRE LA ENERGÍA Y LA POTENCIA DE LOS FOTONES

Es importante distinguir entre la energía de protones individuales en un barrido de rayos X, y la energía total de todos los fotones en el barrido. También es importante distinguir entre la potencia promedia y la potencia máxima en un aparato de rayos X pulsado.

Típicamente, la energía fotón individual se da en voltios electrónicos (eV), mientras que la potencia de un barrido se da en vatios (W). Un fotón individual de 100 keV tiene más energía que un fotón individual de 10 keV. Sin embargo, un barrido de rayos X consiste de un espectro (una distribución) de energías fotones, y la velocidad en que la energía es entregada por un barrido es determinado por la cantidad de fotones de cada energía. Si hay mucho más fotones de energía baja, es posible que el componente de energía baja dé más energía.

Se puede variar la distribución de la energía fotón cambiando el voltaje. Se puede variar el numero de fotones emitido cambiando la corriente.

i. El voltaje

La alimentación de muchos aparatos de rayos X no produce un voltaje alto de potencia constante (corriente continua) pero más bien energiza el tubo de rayos X con un alto voltaje que varía con el tiempo o que pulsa. Además, ya que los rayos X producidos por la bremsstrahlung constituyen un espectro de energías hasta un máximo igual al voltaje máximo acelerando los electrones, el voltaje acelerador del aparato de rayos X suele describirse en términos del kilo-voltaje máximo o sea kVp.

Un voltaje de 50 kVp producirá un espectro de energías de rayos X con un máximo teórico de 50 keV. El espectro de energías es continuo desde su máximo hasta cero. Sin embargo, normalmente se filtran los rayos X, para minimizar el componente de energía baja.

ii. La corriente

La cantidad total de fotones producida por un aparato de rayos X depende de la corriente, la cual se mide en amperios (A). La corriente es controlada por el aumento o la disminución de la cantidad de electrones emitidos desde el cátodo. Cuanto más alta la corriente de los electrones, más son los fotones de rayos X que se emiten del ánodo. Muchos aparatos de rayos X disponen de medidores para medir la corriente. Sin embargo, como se explicó aquí arriba, los rayos X pueden ser producidos por el voltaje aun cuando la corriente está tan baja que no se puede leerla en el medidor.

iii. Determinar la alimentación eléctrica

La alimentación eléctrica, la cual se mide en vatios (W), es igual a: corriente x voltaje ($P = I \times E$). Por ejemplo, un aparato de 10kVp con una corriente de 1 mA usa 10 W de electricidad.

E. LA INTERACCIÓN CON LA MATERIA

i. Dispersión

Al pasar por cualquier material, algunos rayos X son transmitidos, otros son absorbidos, y otros son dispersados. En qué proporción, depende de la energía fotón, el tipo de material y el espesor.

ii. Las implicaciones de la alimentación eléctrica y la producción de rayos X

Cuando electrones de alta velocidad chocan con el ánodo objeto, la mayor parte de su energía es convertida en calor en el objeto, pero una porción de ellos es radiada hacia otra parte en forma de rayos X. Como ya se explicó antes, la potencia eléctrica de un circuito se da por:

$$P = I \times E$$

donde P es la alimentación en vatios o joules por segundo, E es la diferencia potencial en voltios, e I es la corriente en amperios.

Usando esta relación, se puede calcular la potencia desarrollada en el ánodo de un tubo de rayos X. Consideremos una máquina de 150 kilovoltios (kVp), con una corriente de 50 miliamperios (mA).

$$P = [150.000 \text{ (V)}][0,050 \text{ (I)}] = 7500 \text{ W}$$

Esto es más o menos la misma cantidad de calor que se encuentra en el elemento de calefacción de una estufa eléctrica. Máquinas de rayos X más poderosas usan voltajes y corrientes más elevadas y pueden desarrollar potencias hasta de 50.000 W ó más.

iii. Filtración

A veces se refiere a los fotones de baja y de alta energía como *rayos X blandos* y *rayos X duros* respectivamente. Ya que los rayos X duros son más penetrantes, son más deseables para la radiografía (= para producir fotos del interior del cuerpo o de una parte de un aparato). Los rayos X blandos son menos útiles para la radiografía ya que son absorbidos en su mayor parte cerca de la superficie del cuerpo que se está radiando. Sin embargo, hay aplicaciones médicas donde los rayos X blandos sí son útiles. Se puede usar un filtro, como por ej. unos milímetros de aluminio, o cobre, para *endurecer* el rayo mediante la absorción de la mayor parte de los fotones de energía baja.

LOS EFECTOS BIOLÓGICOS

A. OBJETIVOS

Objetivo del módulo

Al complementar esta unidad, los participantes entenderán los efectos biológicos de los rayos X y la importancia de las medidas de protección en el trabajo con o cerca de los rayos X.

i. Objetivos

Después de debida revisión en clase, los participantes se encontrarán capacitados para:

1. Identificar los factores que determinan los efectos biológicos de la exposición a los rayos X.
2. Mencionar las diferencias entre quemaduras termales y las de rayos X.
3. Identificar los signos y los síntomas de una dosis aguda de rayos X
4. Explicar los efectos de la exposición crónica a los rayos X
5. Identificar la diferencia entre los efectos somáticos y heritables

B. LOS EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA IONIZACIÓN

Los rayos X pueden penetrar en el cuerpo humano y ionizar los átomos. Este proceso crea radicales capaces de romper o modificar enlaces químicos dentro de moléculas biológicamente críticas. Esto puede causar lesiones en las células, muerte de células y puede ser la causa de cáncer inducido por la radiación. El efecto biológico de radiación depende de varios factores.

En algunos casos, las células alteradas pueden recuperar el daño. Pero en otros casos, los efectos son transmitidos a células hijas a través de la división celular, lo cual después de varias divisiones puede resultar en grupos de células con características alteradas. Estas células pueden resultar en el desarrollo de tumores o de cáncer. Si suficientes células en un órgano del cuerpo son lesionadas o dañadas, el funcionamiento del órgano puede verse perjudicado.

C. FACTORES DETERMINANTES DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS

Hay varios factores que contribuyen a los efectos biológicos de la exposición a los rayos X. Entre ellos:

i. La velocidad de la dosis

La velocidad con que la dosis se recibió es comúnmente categorizada como *aguda* o *crónica*. Una dosis *aguda* se recibe en un período corto (de segundos hasta días); una dosis *crónica* se recibe a lo largo de un período más largo (de meses hasta años). Cuando las dosis totales son iguales, una dosis aguda es más dañina que una dosis crónica. Se cree que este efecto se debe a la habilidad de las células de recuperarse de los daños con el tiempo. En caso de una dosis aguda, una célula puede recibir muchos “golpes” sin tener suficiente tiempo para recuperarse del daño.

ii. Dosis total recibida

Cuanto más alta la cantidad total de radiación recibida, más grandes serán los efectos biológicos. Los efectos de una dosis sobre todo el cuerpo de menos de 25 rem no son clínicamente observables, en general. Para dosis de 25 - 100 rem no hay síntomas por lo general, pero unas pocas personas pueden mostrar leves síntomas prodromales, como náusea y anorexia.

Se puede notar daño a la médula de los huesos; también será perceptible una disminución del recuento sanguíneo rojo y blanco y de los plaquetas. De 100 a 300 rem puede resultar en náuseas leves hasta severas, malestar, anorexia y infección. El daño hematológico será más severo. Recuperación es probable, aun no garantizada.

Aunque los efectos de dosis inferiores no han sido observados directamente, se supone conservativamente que cuanto más alta la dosis total, mayor será el riesgo de contraer un cáncer fatal sin consideración de un umbral para los efectos. A veces, esta suposición conservativa se llama la relación “lineal de no umbral” entre los efectos sobre la salud y la dosis.

iii. La energía de la radiación

La energía de los rayos X puede variar de menos de 1 keV hasta más de 10 MeV. Cuanto más alta la energía del rayo X, más penetrante será en los tejidos del cuerpo.

Los rayos X de energía más baja son absorbidos en la piel por su mayor parte. Pueden causar una considerable dosis en la piel, pero no pueden contribuir mucha dosis al cuerpo entero (dependiente de la energía).

iv. La zona expuesta del cuerpo

De la misma manera en que una quemadura en una parte muy grande del cuerpo es más dañina que una quemadura que se limita a una zona más pequeña, una dosis de radiación en todo el cuerpo es más dañina que una dosis en solamente una zona pequeña. Además, cuanto más grande la zona, más difícil para el cuerpo recuperarse del daño.

v. La sensibilidad individual

Algunos individuos son más sensibles a la radiación que otros. La edad, el sexo, y la salud en general pueden tener un efecto en cómo el cuerpo responde a la exposición a la radiación.

vi. La sensibilidad de las células

Algunas células son más sensibles a la radiación que otras. Células que son más sensibles a la radiación se llaman *radiosensitivas*; células que son menos sensibles son *radioresistentes*.

Se acepta generalmente que las células tienden a ser radiosensitivas cuando son:

- 1) células que tienen una alta velocidad de división
- 2) células que tienen una alta velocidad metabólica
- 3) células que son de un tipo no especializado
- 4) células que son bien alimentadas

Los siguientes son tejidos radiosensitivos:

- 1) germinal
- 2) hematopoético
- 3) epitelio de la piel
- 4) epitelio del tracto gastrointestinal

Los siguientes son radioresistentes:

- 1) los huesos
- 2) el hígado
- 3) los riñones

- 4) los cartílagos
- 5) los músculos
- 6) los tejidos del sistema nervioso

D. LOS EFECTOS SOMÁTICOS

Los efectos somáticos son efectos biológicos que se presentan en el individuo expuesto a la radiación. Los efectos somáticos pueden ser el resultado de dosis de radiación agudas o crónicas.

i. Efectos somáticos agudos tempranos

La lesión más comúnmente asociada con la operación de los equipos de análisis por rayos X ocurre cuando una parte del cuerpo, en general una mano, es expuesta al barrido primario de los rayos X. Tanto los equipos de rayos X para el análisis por difracción como los de fluorescencia generan rayos X de alta intensidad y baja energía, que pueden causar lesiones severas y permanentes si alguna parte del cuerpo quede expuesta al barrido primario.

La lesión más comúnmente asociada con la operación de los equipos de rayos X industriales ocurre cuando un operador queda expuesto al barrido X primario por tan solo unos pocos segundos. A veces se refiere a estos tipos de lesiones como *quemaduras de radiación*.

ii. La diferencia entre el daño por rayos X y quemaduras termal (ítem clave)

La mayor parte de las terminaciones de los nervios se encuentra cerca de la superficie de la piel, de modo que pueden avisar de inmediato cuando reciban calor o una quemadura termal en la superficie, como las que los participantes puedan recibir al tocar un objeto muy caliente. Por su parte, el cuerpo no puede sentir inmediatamente la exposición a los rayos X. Históricamente, se refiere al daño por los rayos X como “quemadura de radiación”, tal vez porque la reacción de la piel después de la exposición a la radiación pueda verse parecida a una quemadura termal.

En realidad, el daño por los rayos X a los tejidos es muy diferente de una quemadura termal, y no se siente nada, no hay sensación, cuando se produce el daño.

En las quemaduras de radiación, la radiación no hace daño a las capas externas, maduras, que no se dividen. Más bien, la mayor parte de los rayos X penetra hasta la capa más profunda, la piel basal, dañando o matando las células germinales, que se están dividiendo rápidamente, células que de otra manera hubieran servido para remplazar las capas externas a medida que estas se desprenden naturalmente. Después de este daño, las células externas que se desprenden naturalmente no son remplazadas. La falta de una capa basal de células totalmente viable significa que las quemaduras de los rayos X se curan muy lentamente, y en algunas casos quizás no se curan nunca. Con frecuencia, quemaduras como estas requieren injertos de piel. En algunos casos, las quemaduras de rayos X han llevado a la gangrena y a amputaciones.

Una variable importante es la energía de la radiación porque es esta la que determina la profundidad de penetración en un material dado. La radiación de calor es infrarroja, típicamente de 1 eV; las quemaduras del sol son causadas por rayos ultravioleta, típicamente de 4 eV; y los rayos X típicamente son de 10 a 100 keV, capaces de penetrar a la profundidad de la capa basal de la piel.

iii. Los efectos latentes de la exposición a la radiación

La probabilidad de que un efecto latente se presente varios años después de la exposición a la radiación depende de la cantidad de la dosis. Cuanto más alta la dosis, más grande el riesgo de que se desarrolle un efecto sobre la salud. Cuando un individuo recibió una exposición grande accidental y ya se han resuelto los efectos inmediatos de esta exposición, sigue existiendo una preocupación por efectos latentes años después de la exposición. Aunque no hay ninguna enfermedad única asociada con la exposición a la radiación, existe la posibilidad de que se desarrolle un cáncer fatal. Cuanto más alta la dosis acumulada, mayor será el riesgo de un efecto sobre la salud, en base del modelo “linear – no umbral”

iv. El riesgo de contraer cáncer por dosis bajas

No se puede cuantificar de forma absoluta el riesgo de cáncer por dosis de radiación bajas, ya que no se pueden distinguir entre los efectos sobre la salud y la gran cantidad de casos de cáncer naturales (aproximadamente un 20 por ciento de los estadounidenses mueren de cáncer). Debemos inferir el riesgo de efectos sobre la salud por dosis bajas desde los efectos observados de dosis altas agudas. Las estimaciones del riesgo de dosis altas fueron desarrolladas a través de estudios de los sobrevivientes de las bombas atómicas en Japón, mineros de uranio, pintores de los relojes con faz de radio, y pacientes de radioterapia. Estos factores de riesgo se aplican a las dosis bajas, aplicando un factor de reducción para las exposiciones crónicas.

Sin embargo, debajo de los 10 rem, los efectos sobre la salud son demasiado bajos para medirse. Las dosis máximas y los niveles de control administrativos listados en el Capítulo 1, fueron establecidos para que el riesgo para los operadores quedara en el mismo nivel como el de los operadores en otras industrias, suponiendo una relación lineal entre la dosis y los efectos sobre la salud. Sin embargo, estos son valores máximos y el principio ALARA hace hincapié en mantener las dosis bien debajo de estos valores.

v. Los efectos de la exposición prenatal (efectos teratogénicos)

El embrión o feto tiene una sensibilidad especial a la radiación. El embrión es sensitivo a la radiación a causa de la actividad relativamente alta de replicación celular y la gran cantidad de células no especializadas.

Se les aconseja a las trabajadoras que queden embarazadas que avisen a sus supervisores de su embarazo por escrito. La dosis máxima para el embrión o feto de una mujer declarada embarazada es de 500 mrem durante el período del embarazo.

E. EFECTOS HEREDABLES

Efectos heredables son los efectos biológicos pasados por los padres a sus hijos en el momento de la concepción. La irradiación de los órganos reproductivos puede dañar células que contienen informaciones heredables transmitidas a la próxima generación.

Los efectos heredables inducidos por la radiación han sido observados en experimentos extensos con moscas de la fruta y ratones irradiados con grandes dosis de radiación. Este tipo de efectos sobre la salud no han sido observados en seres humanos.

En base de los datos de los animales, sin embargo, se hace la suposición conservativa de que podrían ocurrir efectos heredables inducidos por la radiación en los seres humanos.

Efectos heredables inducidos por la radiación no resultan en enfermedades genéticas únicas, y que son diferentes de las que ocurren naturalmente. Observaciones extensas de los hijos de los sobrevivientes de las bombas atómicas en Japón no han revelado ningún efecto heredable sobre la salud estadísticamente significativa.

LA DETECCIÓN DE LA RADIACIÓN**A. OBJETIVOS****i. El objetivo de la módulo**

Al completar esta unidad, los participantes entenderán cuáles son los instrumentos monitores de la radiación apropiados para detectar y medir los rayos X.

ii. Los objetivos

Después de debido repaso en clase, los participantes se encontrarán capacitados para:

1. Identificar los instrumentos usados para la medición y la detección de los rayos X
2. Describir los chequeos pre-operacionales efectuados antes de su uso

B. INSPECCIONES PARA DETECTAR RADIACIÓN

Inspecciones de protección radiológica deben ser efectuadas en todos los equipos de rayos X nuevos o recién instalados, por el instalador o el ensamblador autorizado, y deben ser repetidos con una frecuencia determinada por la RSO y las prácticas de la planta.

Siempre se realizan inspecciones de pérdidas de radiación en los equipos de Smiths Detection previa al envío de las máquinas al dueño, para garantizar el cumplimiento con los requisitos estándar de buen funcionamiento de la FDA, es decir de $< 0,5$ mR/hr medido a 5 cms. Después de la instalación, un técnico de servicio de Heimann Systems realiza una inspección pos-instalación para ver si haya pérdidas, para asegurar que el equipo, los repuestos y los materiales usados para blindar la radiación de los rayos X no se hayan alterado y no hayan creado una área externa al sistema en exceso de 0,5 mR/hr medido a 5 cms. Esta inspección es documentada, y el cliente recibe una copia.

C. INSTRUMENTOS PARA LA DETECCIÓN DE RAYOS X

Los controles para la exposición externa usados para minimizar el equivalente de dosis a los trabajadores se basan en los datos obtenidos con monitores de radiación portátiles durante una inspección de radiación. El buen entendimiento de estos instrumentos es importante para asegurar que los datos obtenidos sean correctos y apropiados para la fuente de radiación.

Hay muchos factores que pueden afectar cuán correctamente los resultados de la inspección reflejen las condiciones reales. Entre ellos:

- La selección del instrumento apropiado, basada en el tipo y la energía de radiación y en la intensidad de la radiación
- La operación correcta del instrumento, basada en las características operativas y las limitaciones del instrumento
- La calibración del instrumento de acuerdo con un campo de radiación de tipo, energía e intensidad similares al campo de radiación a medir

i. Instrumentos usados para la detección de rayos X

Es importante distinguir entre detectar y medir los rayos X. Los usuarios de los equipos muchas veces usan un detector para detectar la presencia de rayos X, por ej. para verificar si el aparato esté apagado antes de entrar en la zona. La medición de rayos X normalmente es la tarea de un técnico de servicio autorizado, o del Funcionario de la seguridad radiológica.

La medición de las dosis de radiación y las inspecciones de buen funcionamiento requieren un instrumento que lea roentgen (R/hr, mR/hr, rem/hr, mrem/hr) más bien que cantidad por minuto (cpm) o desintegraciones por minuto (dpm). Las cámaras de iones miden la energía depositada y son buenos instrumentos para medir los niveles de las dosis de radiación de rayos X.

Los instrumentos tales como los contadores Geiger–Mueller (GM) son útiles para detectar radiación, a causa de su gran sensibilidad. Sin embargo, ya que tanto los fotones de alta como los de baja energía descargan el contador, los contadores GM no cuantifican bien las dosis. Un contador GM de ventanita fina es el instrumento preferido para detectar los rayos X. Sin embargo, no es el instrumento preferido para medir la dosis de radiación X.

ii. El uso de los instrumentos

Siempre antes de usar un instrumento para realizar una inspección radiológica, se debe prenderlo y dejar que se caliente por unos 10 ó 15 minutos. Después del precalentamiento del instrumento, siempre se deben realizar los siguientes chequeos antes de la inspección, para asegurar que el instrumento esté dando una indicación confiable del campo o de los campos a medir:

- controlar la pila
- controlar la calibración
- control físico
- control de respuesta

MEDIDAS DE PROTECCIÓN

A. OBJETIVOS

i. Objeto de la módulo

Al completar esta unidad, los participantes comprenderán las medidas de protección que restringen o controlan el acceso a las áreas de rayos X y pueden describir el propósito y el uso correcto de los aparatos de monitoreo de personal o de los avisos y etiquetas de aviso; además tendrán un conocimiento básico de los controles de operación y de los elementos de seguridad del gabinete de rayos X de Heimann Systems.

ii. Los objetivos

Después de debido repaso en clase, los participantes se encontrarán capacitados para:

1. Describir el aparato que se usa para medir las dosis de radiación y su uso correcto
2. Ubicar y expresar los específicos anuncios radiológicos
3. Describir la función de los interlock de seguridad
4. Explicar las prácticas específicas de blindaje

B. LOS APARATOS PARA MONITOREAR EL PERSONAL

Dosímetros para el cuerpo entero

Generalmente, los operadores de los aparatos de rayos X llevan puesto un dosímetro, como por ej. los dosímetros termoluminescentes (TLD). Estos dosímetros miden con gran precisión dosis de radiación tan bajas como 1 mrem y son usados para determinar la dosis de funcionamiento. Sin embargo, deben ser enviados a un procesador para ser leídos. Por eso, puede ser que el individuo expuesto no se dé cuenta de que está expuesto hasta que se reciben los resultados.

Hay varias precauciones que son importantes en el uso de los dosímetros. Se debe llevar puesto el dosímetro en un lugar donde grabará una dosis representativa del tronco del cuerpo. La práctica común es llevar el dosímetro entre el cuello y la cintura, pero en situaciones específicas, como por ej. campos de radiación no uniforme, pueden aplicar consideraciones especiales

C. CONTROLES RADIOLÓGICOS

Para controlar la exposición a la radiación, y también para mantener la exposición ALARA (es decir: lo más bajo que se puede razonablemente lograr), el acceso a la zona restringida debe ser controlado por una combinación de controles administrativos y operativos.

i. Controles administrativos

- Programa escrito de protección contra la radiación, con las maneras de su implementación
- Sistema y procedimientos de acceso controlado, y entrenamiento de empleados y visitantes
- Poner carteles para avisar a los empleados
- Normas fijas para los procedimientos de operación y el mantenimiento del equipo de rayos X

ii. Ejemplos de controles operativos incluyen:

- Interlocks
- Blindaje
- Cubiertas extendidas en las cintas transportadoras
- Luces y etiquetas de advertencia radiológicas
- Avisos de advertencia
- Control de la llave

D. INTERLOCKS

Las puertas y las portillas de acceso de los aparatos de rayos X vienen con interlocks a prueba de fallas, de modo que la producción de rayos X no es posible cuando estas estén abiertas. Un interlock a prueba de fallas es diseñado de tal manera que cualquier falla que puede razonablemente anticiparse, resultará en una condición en la cual el personal queda a salvo de la exposición a la radiación.

Elementos de los interlock incluyen:

- el Ensamblado Collimator, ubicado al interior del gabinete
- paneles de acceso a la cinta transportadora
- persianas laterales a la izquierda y a la derecha
- la caja detectora ubicada al interior del panel

Los interlock de seguridad son usados para asegurar que se corte de forma absolutamente inmediata la generación de rayos X si alguno de los interlock fuera interrumpido.

NUNCA se debe ni intentar desactivar ó anular estos aparatos interlock.

Han sido instalados para la seguridad de USTED y para evitar la exposición de USTED al barrido primario durante la generación de los rayos X.

E. BLINDAJE

La unidad de rayos X en gabinete de Heimann Systems utiliza acero y láminas de plomo y cortinas de plomo en su diseño y en la fabricación de cada unidad. Este blindaje se usa para asegurar que los niveles de radiación en las superficies externas sean los más bajos que se pueden lograr, y que estén debajo de la norma federal de $<0,5 \text{ mR/hr}$ a 5 cms.

F. APARATOS DE ALARMA

Los operadores deben darse cuenta del estatus del tubo de los rayos X. Indicadores que alertan de la producción de rayos X incluyen:

- Estas luces de advertencia o indicadores se activan automáticamente cuando hay corriente disponible para la producción de rayos X.

G. AVISOS RADIOLÓGICOS

- i. Requisitos generales para los avisos
 - Los avisos deben incluir el símbolo estándar de radiación, de color magenta o negro en un fondo amarillo
 - Los avisos deben ser exhibidos de forma clara y conspicua, para avisar el personal de la presencia de radiación. Los avisos pueden incluir también instrucciones para la protección radiológica
 - Barreras físicas como por ej. una sog, cinta, cadena o materiales similares, usados para designar áreas radiológicas deben ser de color amarillas y magentas.
 - Los avisos en las puertas deben ser tales que los avisos estén visibles cuando las puertas estén abiertas y cerradas

ELEMENTOS Y CONTROLES DEL GABINETE DE RAYOS X**A. OBJETIVOS****i. Objetivo de la módulo**

Al complementar esta módulo, los participantes entenderán las categorías de los aparatos productores de rayos X y los riesgos asociados con cada uno.

ii. Objetivos

Después de su debido repaso en clase, los participantes se encontrarán capacitados para:

1. Entender los elementos y controles principales
2. Entender el principio básico de operación

B. TEORÍA DE LA OPERACIÓN

El sistema de inspección con rayos X en gabinete de Heimann fue diseñado para inspeccionar si no haya contaminación extraña o defectos de producto en alimentos y productos fabricados. Nótese que Heimann Systems también fabrica unidades para la inspección de equipaje en gabinete con rayos X, con más de 20.000 unidades vendidas en todo el mundo. La operación de las unidades de seguridad y las de inspección de comidas es parecida, sin embargo aquí hablamos solamente de las unidades para la inspección de comidas.

La ilustración aquí arriba muestra el plan general de una típica máquina de rayos X para la inspección de productos en línea. Se produce un voltaje alto de una manera controlada y se lo aplica al tubo de rayos X. Esto causa que se produce un barrido de rayos X, el cual luego es “colimado” (enfocado) para formar un barrido en abanico que proyecta hacia abajo y a través de cualquier producto que pasa por la cinta transportadora. El barrido de rayo X pasa a través del producto y afecta a una línea de diodos detectores. Una línea típica de diodos es de unos 700 detectores individuales, armados uno tras otro en lo que se llama “disposición linear” Luego, esta disposición linear es escaneada en secuencia y produce una imagen en rastro, muy parecida a como una máquina fax escanea una hoja de papel, solo que en este caso se lo hace con rayos X. La imagen producida así, está basada en la densidad transversal que se llama imágenes en “escala de grises”. Cuanto más baja la densidad del producto bajo inspección, más clara será la imagen en la escala de grises. La imagen más oscura representa productos de densidades más elevadas.

Luego la imagen bidimensional de la escala de grises que se produce en base de los datos obtenidos por los diodos es enviada en forma secuencial a la computadora, donde es convertida en la imagen tridimensional que se ve en la computadora.

LAS RESPONSABILIDADES DE LOS OPERADORES

A. OBJETIVOS

i. Objetivo de la módulo

Al completar esta unidad, los participantes comprenderán quién es responsable por implementar los sistemas y procedimientos de seguridad radiológica, y cuáles son sus responsabilidades específicas.

ii. Objetivos

Después de su debido repaso en clase, los participantes se encontrarán capacitados para:

1. Comprender el papel y la responsabilidad del Funcionario de la Seguridad de la Radiación
2. Comprender el papel y las responsabilidades del operador de la radiación

B. LAS RESPONSABILIDADES DE LOS TRABAJADORES**i. El Funcionario de la seguridad de la radiación**

El Funcionario de la seguridad de la Radiación es el individuo que en última instancia tiene la responsabilidad para la operación segura del sistema de rayos X. Ella o él tiene la responsabilidad para el desarrollo, la implementación y la supervisión del programa escrito de la protección radiológica de la compañía, y para el cumplimiento con el Certificado de Registración de la máquina de rayos X y con las regulaciones federales y estatales aplicables a las normas de protección radiológica.

El Funcionario de la seguridad de la radiación de ninguna manera puede garantizar que cada uno de los operadores esté implementando correctamente los sistemas y los procedimientos de protección radiológica en una base continua.

A través de la capacitación adecuada de los operadores, cada operador y operadora de radiación responsable por la operación de un sistema de rayos X puede y debe cumplir con sus obligaciones en cuanto a seguir las reglas de seguridad radiológica regulatorias y las de la compañía. A continuación se encuentra un listado de las responsabilidades que tienen ustedes como trabajadores de radiación y operadores de un sistema de rayos X.