

## Por qué es importante realizar pruebas de aseguramiento de calidad para equipos de rayos X



Cada año, miles de millones de estudios de diagnóstico por rayos X se llevan a cabo en todo el mundo, ayudando a los médicos a hacer diagnósticos correctos y salvar vidas.

Sin embargo, se sabe que existe un mayor riesgo de cáncer entre las personas que han estado expuestas a altas dosis de radiación. Cuando se trata de bajar niveles, no es fácil encontrar una relación directa entre la dosis añadida y el aumento del riesgo de cáncer, pero los científicos dicen que no pueden excluir un potencial aumento incluso para exposiciones bajas. Muchos tipos de cáncer también se desarrollan lentamente, por lo que puede ser difícil establecer la causa raíz.

Sin duda, los estudios de rayos X son fantásticas herramientas de diagnóstico, pero uno siempre debe esforzarse por trabajar con dosis bajas razonablemente alcanzables (ALARA) ya que no hay un nivel seguro de radiación.

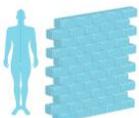
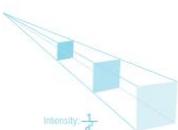


### Principios ALARA

Tiempo: Relación lineal entre tiempo y dosis. Menor tiempo, menor dosis

Distancia: Se aplica la Ley del Cuadrado Inverso,  $1/d^2$ . Mayor distancia, menor dosis.

Blindaje: Dispositivos pasivos que pueden reducir drásticamente la exposición a la radiación.



## Pruebas de aseguramiento de la calidad par equipos de rayos X

En muchos procedimientos, se utilizan rayos X para obtener un diagnóstico. Es importante asegurar un óptimo rendimiento del equipo de rayos X, no solo para lograr una buena calidad de imagen, sino también para reducir la radiación innecesaria a pacientes y personal.

Para hacer esto, los equipos de rayos X deben ser monitoreados regularmente a través de estrictos programas de control de calidad. Estos podrían ser lineamientos locales, normas nacionales o internacionales reconocidas, o recomendaciones del fabricante. Algunos ejemplos son AAPM (EE. UU.), IEC 60601-2-43 para IEC 60601-2-65, 61223-2 (prueba de constancia) y 61223-3 (pruebas de aceptación).

Se realizan pruebas de control de calidad (QA) para comprobar rendimiento del equipo en condiciones rutinarias clínicas, siguiendo los protocolos establecidos para instalaciones, equipos y procedimientos.

Sin embargo, en muchos países, un número significativo de sistemas de rayos X, utilizados en los departamentos de radiodiagnóstico, no forman parte de un programa de control de calidad.

Esto podría deberse a la falta de orientación/ normativas, y/o profesionales formados en pruebas de aseguramiento de calidad.

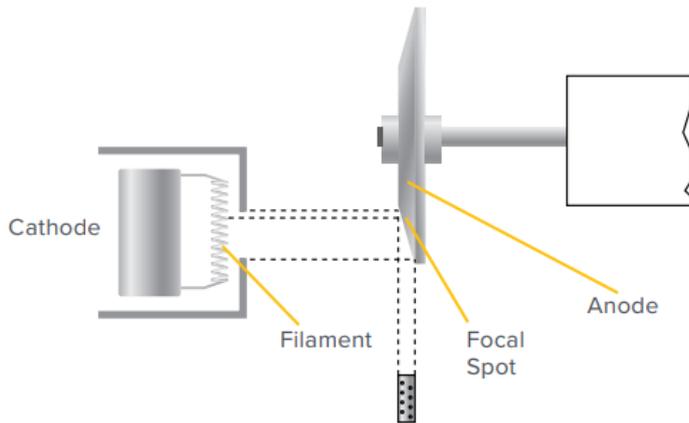
Además de la seguridad del paciente y del personal, las pruebas de control de calidad se utilizan para:

- Mantenimiento predictivo, para evitar fallas en el equipo y servicios no planificados
- Reproducibilidad entre imágenes/exposiciones
- Evitar procedimientos repetidos debido a mal funcionamiento del equipo
- Prolongación de la vida útil del equipo, cuando es correctamente mantenido

## Funcionalidad del tubo de rayos X y salud del equipo

Las pruebas de control de calidad se realizan primero para establecer referencias de medición y posteriormente sirven para descubrir posibles fallos de funcionamiento o desgaste y problemas en el equipo de rayos X que pueden aparecer con el tiempo.

Hay varios problemas que pueden ocurrir en el equipo de rayos X que las pruebas regulares de aseguramiento de calidad puedan detectarse en una etapa temprana. Antes de irnos a detalles, describamos cómo funciona el tubo de rayos X.



Los rayos X se producen en un contenedor de vidrio o metal al vacío. La razón por la que tiene vacío dentro es que los electrones no pueden ser acelerados en el aire.

El tubo de rayos X tiene dos partes cruciales, el ánodo y el cátodo. El cátodo tiene uno o dos alambres metálicos, llamados filamentos, generalmente hechos de tungsteno para soportar el calor. Cuando un filamento es calentado por corriente eléctrica, se liberan electrones como una nube a su alrededor. La diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo hace que estos electrones se aceleren hacia el ánodo. Cuando los electrones golpean el ánodo, transfieren su energía a fotones de rayos X, que son emitidos a través de una abertura en el tubo.

En radiografía, el ánodo a menudo también está hecho de material de tungsteno para soportar altas temperaturas, causado por los electrones que lo golpean.

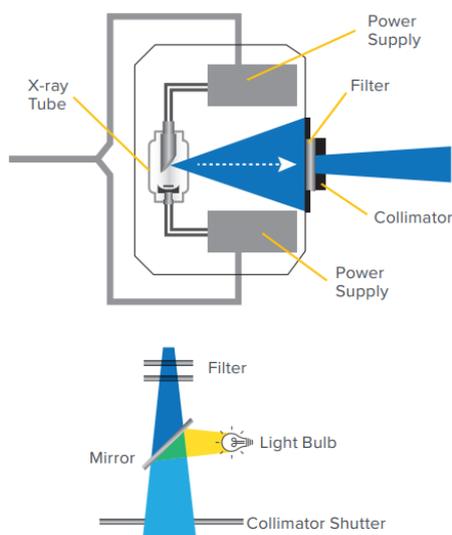


El ángulo del ánodo difiere entre los diversos equipos de rayos X. Este ángulo afecta al:

- Espectro de energía, ya que los fotones viajarán diferentes distancias en todo el material del ánodo. El espectro de energía afecta la calidad del haz producido de rayos X.
- Tamaño del punto focal y, por ende, la resolución. A punto focal más pequeño aumenta la resolución, mientras que un punto focal más grande conduce a una mejor disipación del calor.

Un equipo de rayos X necesita un dispositivo de restricción de haz, para minimizar la dosis de rayos X y mejorar calidad de la imagen. El dispositivo de restricción de haz limita el tamaño del haz de rayos X al tamaño correcto para el procedimiento de diagnóstico y reduce la dispersión de radiación.

El dispositivo más utilizado se llama colimador. El colimador primario está ubicado en la apertura del tubo de rayos X. El colimador secundario se coloca dentro de un alojamiento de colimador y tiene dos conjuntos de persianas de plomo que se pueden ajustar para hacer el campo de rayos X más pequeño o más grande. También hay una lámpara que ilumina el campo de rayos X, para mostrar su tamaño y centro. La bombilla debe montarse de manera que el campo de rayos X y el campo de luz coincidan entre sí. El campo de luz de la carcasa del colimador representa el área a ser irradiada por el haz de rayos X.



## Adelgazamiento del filamento del cátodo

Cada vez que se producen rayos X, el filamento se calienta debido a la corriente que circula por su interior. Este calor puede conducir a la evaporación, lo que significa que los átomos desaparecen del filamento. La cantidad es extremadamente pequeña, pero con el tiempo influirá en el espesor del filamento. Si el grosor cambia con el tiempo, la corriente que fluye dentro cambia debido a que la resistencia también ha cambiado. Los equipos modernos se ajustan automáticamente para ello, cambiando el voltaje sobre el cátodo, pero con el tiempo, el filamento eventualmente se puede llegar a romper.

## Oscurecimiento del tubo

Otro fenómeno que puede ocurrir con el tiempo se oscurece o ennegrece el tubo. Como los átomos se vaporizan en el filamento, también los átomos de ánodo. Estos átomos serán depositados en el interior del tubo de rayos X, haciendo que el vidrio se ennegrezca. Esto afectará la calidad del haz de rayos X ya que actúa como escudo de radiación.



## Desgaste del ánodo

El ánodo también sufrirá desgaste y rotura no sólo causado por la vaporización. La imagen de abajo muestra un ánodo muy usado. Calentamiento repetido y enfriamiento tornaron rugosa su superficie. Este ánodo también ha sido expuesto cuando no está girando, lo que ha resultado en una mancha de tungsteno derretido. El intenso calentamiento de esta pequeña área ha causado una pequeña grieta. Si el ánodo comienza a girar nuevamente, esta grieta puede propagarse en una fractura completa del disco. Como resultado de la superficie rugosa, habrá un cambio en el espectro de salida de la radiación.



## Desalineado del campo de luz y campo de rayos X

Otro factor a considerar es la lámpara del colimador y la alineación del campo de rayos X. Una razón para la desalineación puede ser si el equipo ha sido manipulado bruscamente haciendo que la lámpara interior se mueva. Si está desalineado, el operador puede tomar una toma que no contenga completamente el área de interés, lo que significa se debe tomar otra toma que toma tiempo y aumenta la dosis del paciente. También hay la probabilidad que el operador realice una toma de área demasiado grande, lo que también conduce a una dosis innecesariamente alta.

## Tamaño y forma del punto focal distorsionado

A medida que la forma del filamento cambia con el tiempo, junto con el desgaste del ánodo, el punto focal también llega a ser afectado. En general, se utiliza un punto focal pequeño cuando la resolución espacial es

importante. Un foco grande spot inducirá más fotones por tiempo, lo que significa es posible un tiempo de exposición más corto. Un punto focal más grande es menos sensible al calor ya que éste se propaga sobre un área más grande. Pueden realizarse mediciones del tamaño del punto focal para ver si coincide con el tamaño dado por el fabricante.

## Fuga del tubo de rayos X

El tubo debería estar completamente cerrado, excepto por la apertura del haz, para evitar fugas. Defectos de diseño o manejo brusco podrían ser la razón por la cual el tubo no esté completamente cerrado.

## Mediciones para la seguridad del paciente

### Mediciones de mA

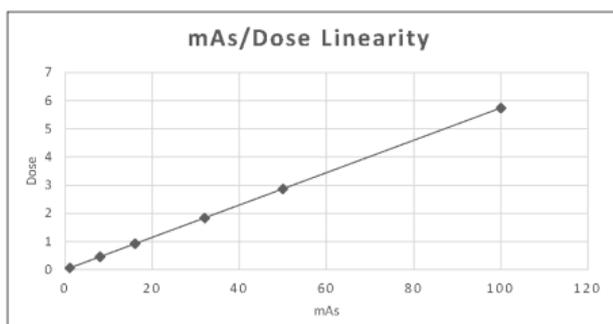
La medición de miliamperios (mA) es el valor de corriente eléctrica que fluye por el filamento del cátodo. Dado que la corriente controla el número de electrones que golpean el ánodo por segundo, es directamente proporcional a la cantidad de rayos X producidos. Miliamperios por segundo (mAs) es el valor de corriente en mA multiplicado por el tiempo de exposición en segundos. El valor mAs determina el número total de fotones emitidos durante una exposición de rayos X.

Existen principalmente dos formas de medir mAs. Se podría medir de forma invasiva conectando un amperímetro al circuito interno del equipo de rayos X. Haciendo esto, se medirá una corriente correspondiente a la misma corriente que pasa por el filamento.

La segunda forma es no invasiva, midiendo el campo eléctrico alrededor de los cables de alta tensión de alimentación del generador.

También hay una tercera forma de obtener una indicación del cambio del valor mAs, y es midiendo la dosis de la salida del equipo de rayos X. Aunque más parámetros están en juego, la dosis está directamente relacionada con el valor mAs.

Si el valor mAs está cambiando con el tiempo, la calidad de la imagen de rayos X tomada también cambiará. Es más probable que exista algún problema en los circuitos internos del equipo de rayos X. El adelgazamiento del filamento ocasiona que el valor mAs cambie con el tiempo, pero esto generalmente es controlado por el propio equipo de rayos X. Otro problema puede ser una falla en la red eléctrica.

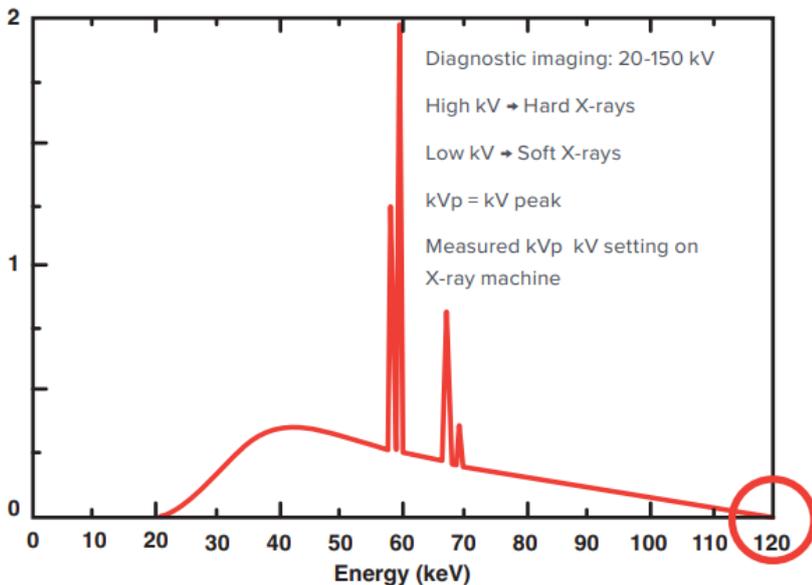


## Mediciones de kVp

Kilovoltaje (kV) es un parámetro que afecta la calidad de la imagen. Es el valor de la energía potencial del tubo y la energía de electrones acelerados hacia el objetivo del ánodo. En imagenología, el valor kV suele oscilar entre 20 y 150 kV, dependiendo de la modalidad de rayos X y el procedimiento de diagnóstico.

Un ajuste alto de kV en el equipo de rayos X significa radiación de alta frecuencia/longitud de onda corta, se genera alta energía y fuerte penetración. La radiación con estas cualidades se conoce como rayos X duros. Por el contrario, un ajuste de kV bajo permite generar radiación con baja frecuencia/longitud de onda, baja energía y menor penetración. La radiación con estas cualidades se conoce como rayos X blandos.

Una forma de medir el valor de kV, es medir la energía del fotón. El espectro de fotones contiene energías entre 0 y el valor máximo de kV del equipo. Si el equipo está configurado para 120 kV, un número de fotones debería tener energía dentro de este rango. Observando los fotones de mayor energía en el espectro, el valor llamado kVp (kV pico) puede ser obtenido.

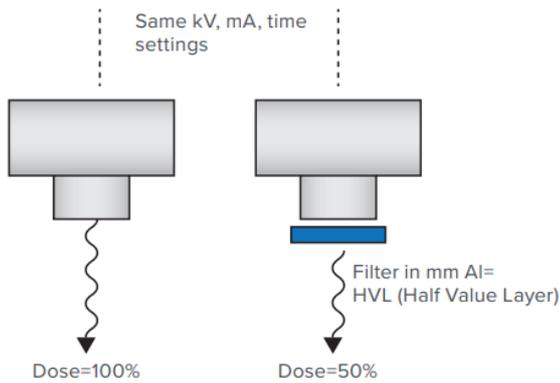


## Mediciones HVL

Half Value Layer (HVL) o capa de valor medio, es un parámetro más abstracto que define la energía de salida del equipo.

Una forma de controlar el espectro de fotones es mediante el uso de filtros. Al agregar filtros, se cambiará la relación entre fotones de alta y baja energía. La relación óptima depende de la modalidad y de qué parte del paciente se está tomando la imagen.

HVL se define por la cantidad de aluminio que se necesita para disminuir la dosis en 50%.



Mayor blindaje afectará el HVL. Un HVL bajo significa una mayor proporción de fotones de baja energía en comparación con un alto HVL. Y un cambio en HVL significa un cambio en la calidad del haz, que afecta la calidad de la imagen de rayos X.

Hay principalmente dos formas de medir HVL. La forma manual es medir primero la dosis, luego añadir filtros hasta que la dosis medida sea el 50% de la dosis original. Esto es difícil de hacer, y la incertidumbre es alta. Tras la introducción de los sensores de estado sólido en lugar de cámaras de iones, es posible obtener suficiente información del haz de rayos X para calcular el valor de HVL a partir de una sola exposición.

Todos los defectos de hardware discutidos anteriormente afectarán el valor de HVL. La vaporización de filamentos y ánodos se añadirá a la filtración. La rugosidad de la superficie del ánodo también puede cambiar el valor de HVL.

## Mediciones de dosis

La medición de la dosis es una combinación de kV y mA juntos con HVL, y contiene información para el receptor de imagen. Si tiene un valor alto de mA, por lo tanto muchos fotones, se obtendrá una dosis alta. Un valor alto de kV, representa una dosis alta.

Si la información al receptor de imágenes es perfecta, se puede producir una imagen de alta calidad mientras el paciente ha recibido la dosis mínima.

Si la información es mala, dará lugar a una mala calidad de imagen, la necesidad de tomar más y nuevas imágenes, o incluso diagnósticos erróneos.

Como la dosis es el producto de todos los demás parámetros, cualquier defecto de hardware del equipo de rayos X lo más probable es que afecte a la dosis. Combinando cambios en la dosis, kV, mAs y HVL, se pueden obtener ciertas conclusiones sobre el estado del equipo.

### Otras medidas

Hay muchos tipos de medidas de control de calidad que pueden hacerse. Exactamente qué pruebas se requieren difiere de un país a otro. Incluso si los países tienen establecidas las mismas pruebas, puede haber

diferentes procedimientos y criterios de aceptación. Por lo tanto es de suma importancia estar al tanto de los reglamentos. Estos son algunos ejemplos adicionales de pruebas:

#### Linealidad/reproducibilidad, consistencia/constancia

La reproducibilidad significa que la salida debe ser la misma en varias exposiciones con los mismos ajustes. El mismo ajuste de kV debe probarse a diferentes configuraciones de mA para garantizar la consistencia.

#### Luminancia e Iluminancia

Las pruebas de luminancia no involucran el equipo de radiografía. Estas pruebas se realizan en pantallas o monitores que muestran la imagen de rayos X. Si la pantalla es demasiado oscura en ciertas áreas, existe el riesgo de un error interpretación de la imagen. También es preferible si una imagen se ve igual en diferentes pantallas. En radiodiagnóstico es importante medir la luminancia de las pantallas de computadoras y cajas de luz para asegurarse de que sean lo suficientemente brillantes con buen contraste para que todos los detalles de la imagen de rayos X puedan ser desplegados. Las pruebas de iluminancia también se pueden realizar en la bombilla del colimador.

#### Filtración total (TF)

Los técnicos del servicio de rayos X están interesados en saber el TF para el equipo de rayos X, porque el filtrado de fotones de baja energía es importante para minimizar la dosis.

#### Tamaño del punto focal

La verificación inicial del tamaño se puede hacer usando una cámara de orificio.

#### Precisión y reproducibilidad del temporizador

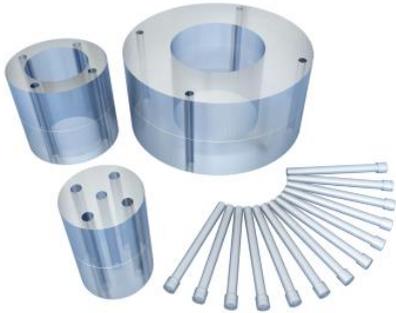
Esto se prueba comparando el valor de tiempo establecido en el equipo con la longitud medida de exposición. Se permite una cierta desviación, pero un temporizador que funcione bien es importante porque afecta la dosis.

#### Resolución de imagen

La resolución de la imagen de rayos X se puede probar usando patrones de prueba.

#### CTDI – Índice de dosis de CT

CTDI (índice de dosis de tomografía computarizada) es una medida de la dosis de una sola rotación de aro. El CTDI se utiliza para estimar la dosis total a un paciente durante un procedimiento de tomografía computarizada. Las medidas se realizan con una cámara de ionización en forma de lápiz, junto con un fantoma simulando un paciente.



### AGD – Dosis glandular promedio

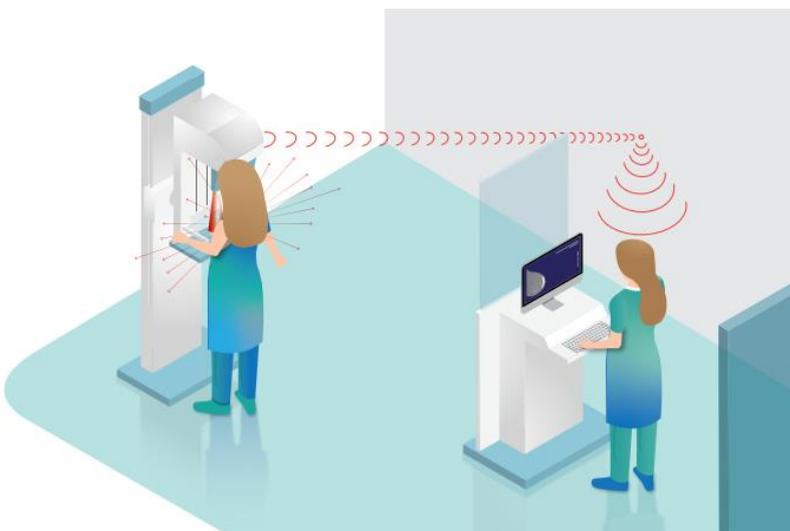
AGD es una estimación del promedio absorbido de dosis a los tejidos mamarios glandulares durante la mamografía.

## Seguridad del personal en radiografía convencional

En la mayoría de las aplicaciones, el personal médico no está cerca de la fuente cuando se toma una imagen. Ellos normalmente salen de la habitación o van detrás de un escudo.

El paciente siempre recibe la dosis más alta durante un procedimiento, pero el personal, por otro lado, está expuesto a pequeñas cantidades de radiación todos los días, y la dosis acumulada a lo largo de los años puede ser bastante alta. Es entonces muy importante controlar el ambiente también desde la perspectiva del personal.

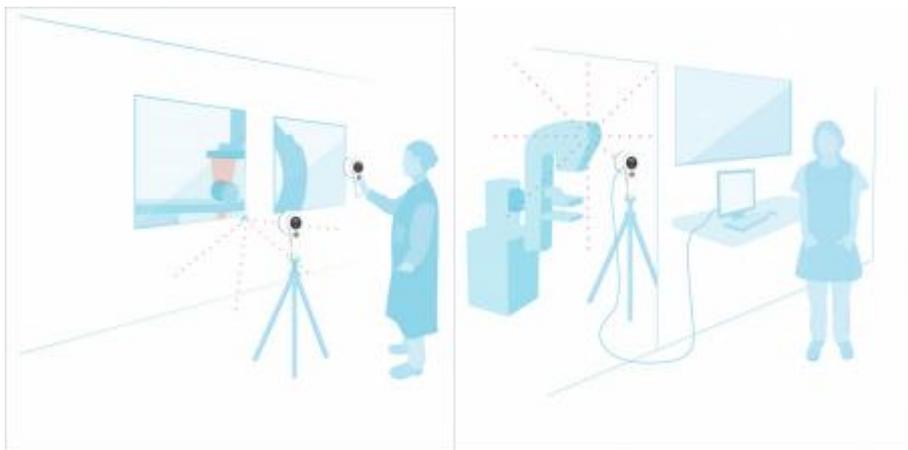
Cuando ocurre una exposición, habrá radiación dispersa por toda la habitación. Si el operador está detrás de un escudo, aún sigue siendo importante medir la eficiencia del escudo. También la geometría de la habitación puede dar un punto concentrado de radiación dispersa. Si hay una fuga en el tubo, un haz de alta energía sin filtrar se propaga en la habitación y crea aún más dispersión, tal vez también detrás del escudo. En algunos países, los niveles de fugas están regulados por ley para no exceder una cierta cantidad de Gray (Gy) o Sievert (Sv) por hora.



Si el personal médico, u otras personas, están en habitaciones contiguas o pasillos, es importante tener paredes blindadas. De lo contrario, pueden recibir dosis innecesarias. Una forma común de proteger una pared es tener placas de plomo por dentro. Si el blindaje de plomo está dañado o si las placas se han ensamblado mal dentro de la pared, la radiación podría pasar al exterior.

Por lo tanto, uno siempre debe hacer mediciones de fugas en la pared antes de la puesta en servicio y puesta en marcha de la sala de rayos X.

Los medidores de radiación ambiental dispersa se pueden usar para medir radiación y para detectar fugas.



## Seguridad del personal en fluoroscopia



La fluoroscopia es un tipo especial de rayos X donde el personal está expuesto a altas dosis.

La fluoroscopia se utiliza principalmente durante las cirugías. El cirujano puede insertar instrumentos en vaso sanguíneo importante, guiándolo, por ejemplo, hasta el corazón. Para ser capaz de hacer esto, el cirujano debe saber dónde está el instrumento.

Al tener una exposición pulsada con una alta frecuencia, uno puede seguir lo que sucede dentro del cuerpo en tiempo real.

Dado que la exposición dura mucho tiempo durante la cirugía, las energías de los fotones deben ser mucho más bajas en comparación con la radiografía regular.

Si el equipo administra demasiada dosis en comparación con lo requerido, la dosis acumulada aumentada al personal a lo largo de los años puede ser muy significativa. Si algo está mal con el equipo, por supuesto podría también ser un peligro para el paciente. No solamente aumenta el riesgo de enfermedades a largo plazo, por ejemplo el cáncer, pero también puede ocasionar daños a corto plazo como quemaduras y muerte de tejido.

Las fugas en tuberías y paredes en este tipo de habitaciones son también importantes. Especialmente debido a que el tiempo de exposición es largo en comparación con otras modalidades.

## Resumen

Las pruebas de control de calidad están impulsadas principalmente por regulaciones para garantizar la seguridad del paciente y del personal. Un resultado consistente de un equipo de rayos X es muy importante para asegurar una buena calidad de imagen permitiendo diagnósticos correctos con una dosis de radiación mínima. La salida debe coincidir con la configuración del equipo.



Las pruebas periódicas de control de calidad son críticas para descubrir posibles fallas en el equipo de rayos X, ellas ayudan a:

- Aumentar la eficiencia al evitar servicios no planificados, tiempo de inactividad y exposiciones repetidas
- Ahorrar dinero debido a una mayor vida útil, y mejora de la planificación del mantenimiento: sin costosos tiempos de entrega rápidos de repuestos

El mal funcionamiento también puede conducir a un aumento de las dosis tanto a los pacientes como al personal. Evitar las dosis innecesarias siempre debe ser la máxima prioridad cuando se trabaja en acuerdo con ALARA.

Se pueden realizar diferentes tipos de mediciones de control de calidad para garantizar la seguridad del paciente, por ejemplo kVp, mAs, HVL y dosis.

Se irradia una dosis innecesaria al paciente cuando:

- Hay demasiados fotones de baja energía presentes que se absorben en el cuerpo
- La imagen tomada no incluye la totalidad área de interés y se necesitan más exposiciones
- La imagen tomada incluye más que solo la zona de interés
- Si la calidad de imagen es mala y se deben realizar más exposiciones



El personal se puede proteger minimizando las fugas del tubo/pared y la radiación dispersa a través de blindaje. Además, cuando se utiliza la fluoroscopia, es muy importante controlar el tiempo y la energía de los fotones para evitar dosis acumuladas excesivas de corto y largo plazo.

Unfors RaySafe se centra en soluciones para la sala de rayos X, que ayudan a proteger a los pacientes de la radiación innecesaria, ayudar al personal a reducir su exposición a la radiación y simplificar la medición en los equipos de rayos X.



3-3433818



Av. Beni, C/ Mururé, 2055.  
Santa Cruz, Bolivia.