

ANTROPOLOGÍA RADIOLÓGICA

- Radiología antropológica y Forense.
- Criterios de Protección Radiológica.
- Digitalización indirecta de la Radiología antropológica

Autor: Josep Alfred Piera i Pelliçer

RADIOLOGÍA ANTROPOLÓGICA Y FORENSE

Cuando nos referimos a la radiología, siempre la solemos asociar al Radiodiagnóstico médico y verdaderamente tienen en común el principio físico de generar los rayos X; pero dista mucho el radiodiagnóstico de la radiología antropológica, es más, ésta es más parecida a la radiología industrial, donde se precisa de grandes detalles radiológicos y desprecio de dosis a los objetos a estudio radiológico. También en la radiología antropológica los restos a radiografiar los podremos considerar -desde el punto de vista de radioprotección- como objetos, ya que no precisan la aplicación del criterio de dosis a pacientes y si son de gran utilidad aplicar criterios de alta calidad radiológica.

No queremos con ello decir que despreciamos los criterios de protección radiológica para el operador ni para el público en general; pero en los estudios antropológicos la única precaución a tener en cuenta es mantener una distancia prudencial que nos garantice que la posible dosis para el operador y público en general sea la equivalente al fondo radiológico ambiental. En cuanto a los lindes de la sala radiológica, son despreciables porque o bien nos encontramos en pleno campo o bien podemos instalar la sala radiológica donde más nos convenga, sin criterios de protección radiológica a pacientes y en la mayoría de los casos -como veremos mas adelante- deberemos aplicar altas dosis de irradiación, con el mínimo kilovoltaje, produciendo así un marcado efecto fotoeléctrico y apenas efecto Compton, con lo cual el riesgo de exposición a la radiación dispersa será el mínimo.

Quedarán fuera de estos criterios de radioprotección cuando se trate de radiografiar objetos de alta densidad, como puedan ser por ejemplo las vértebras de los cetáceos o la sala radiológica se encuentre dentro de un recinto, como pueda ser la Facultad.

Hasta la fecha en los proyectos de investigación, en lo concerniente a los estudios radiológicos, ha sido algo un tanto secundón donde cualquier técnico podía en un determinado momento radiografiar. No conocemos ninguna Facultad de Antropología con instalación de rayos X propio y expertos en este campo. Es pues, la radiología antropológica una parcela ignorada donde cualquiera radiografía aportando poco; pero, como no hay nada, siempre es algo. No ven más allá que objetos de destacada densidad, con respecto a las densidades base de referencia, en otras ocasiones se superponen densidades sin el adecuado contraste, todo ello fruto de un desconocimiento de las proyecciones, de la velocidad de las películas, de los sistemas de reve-

lado, de las constantes físicas apropiadas, etc.

Consideramos que estos estudios deben ser realizados por expertos en este tipo de radiología, porque caso contrario solamente aportarán los datos muy destacables, pasando inadvertidos la inmensa mayoría de objetos de baja densidad.

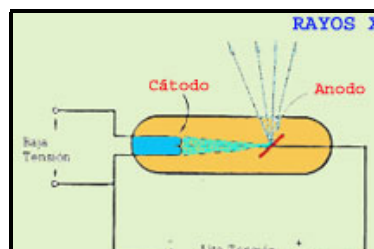
Estamos seguros que correremos el riesgo de exponer apartados para algunos ya sobradamente conocidos, incluso elementales, en radiología general; sin embargo, precisamos detallar al máximo cada eslabón de la cadena de imagen; porque si falla uno sólo, podremos afirmar, con rotundidad, que el resultado final no se ajustará a la veracidad del estudio.

Propiedades fundamentales de los rayos X:

- Se propagan en línea recta.
- No son reflejados ni refractados.
- Los campos eléctricos no ejercen ninguna acción sobre ellos.
- Su gran poder de penetración en la materia.
- Ionizan el aire.

Así pues los rayos X no son visibles, sino que adquieren esta propiedad al interaccionar con determinadas sustancias que al ser excitadas éstas emiten una luz, cuyas características espectrales estará acorde al tipo de sustancia y a la intensidad de los rayos X. Por eso, Röntgen vio proyectado el esqueleto de su mano sobre la pantalla, porque las distintas densidades que forman los tejidos de la mano alteran la intensidad del haz de rayos X sobre la pantalla de cianuro de platino y bario, o en nuestro caso sobre la placa radiográfica.

Física de los rayos X



Los rayos X son fotones, cuyas energías se distribuyen a lo largo de un espectro continuo; se obtienen haciendo incidir un haz de electrones con suficiente energía sobre un metal (wolframio, tungsteno o molibdeno), dando como resultado una radiación de frenado, también denominada bremsstrahlung.

Esto se obtiene en el interior de un tubo de cristal, que constará esencialmente de dos electrodos, situados en su interior, sometido a un alto vacío. La presencia de aire, implicaría colisiones de los elec-

trones con las moléculas de aire, dispersiones, pérdidas de energía y además, el deterioro y destrucción del filamento por oxidación

Componentes del tubo de rayos X:

- 1º Cátodo o filamento
- 2º Potencial acelerador del haz de e-.
- 3º Ánodo.

Los electrodos serán uno negativo y el otro positivo. El negativo o cátodo constará de un filamento que al ser calentado, por medio de un circuito de baja tensión, a elevadas temperaturas, emitirá electrones y por medio de otro circuito de alta tensión efectuarán, una diferencia de potencial, los electrones efectuarán un recorrido hacia el electrodo positivo o ánodo, incidiendo bruscamente en él, produciéndose así los rayos X .

Se han ido adaptando el diseño de los tubos y de los equipos a las características de uso. Cuando Röntgen descubrió los rayos X utilizó el cristal del tubo como ánodo. Con posterioridad se han utilizado distintos tipos de material anódico acorde a las características de los rayos X que se deseaban obtener. Los materiales anódicos más utilizados han sido el Tungsteno, Wolframio y Molibdeno.

La forma y diseño del tubo, van a estar acordes a la finalidad o uso. No es lo mismo el diseño de un tubo de rayos X para el diagnóstico industrial que el utilizado para diagnóstico médico y dentro del aparato médico no es igual el diseño para mamógrafo, que para un dental o para un angiógrafo.

En el generador del equipo de rayos X, podemos seleccionar tres parámetros:

TENSION, determina la energía de los e- y por tanto, la de los rayos X; nos aporta el poder de penetración de los rayos X.

INTENSIDAD, I de la corriente (mA) que vendrá determinada por la tensión aplicada al filamento, pues esta influirá en la temperatura que alcance y el número de e- liberados.

TIEMPO t, de disparo. Es el tiempo que dura el disparo, pudiendo oscilar, desde minutos aplicado a la radiología industrial, hasta milésimas de segundos que duran las exposiciones en radiología médica

PRODUCTO I.t (mAs) nos va a determinar la exposición a la que se somete la película, es decir, el grado de ennegrecimiento global de la radiografía, o sea, a la dosis de irradiación que recibe la película para su óptimo ennegrecimiento.



El ennegrecimiento de la película lo formará el producto de los parámetros tiempo y mA. El espesor del objeto a radiografiar irá proporcional a la energía de penetración de los fotones o sea a la diferencia de potencial que la producirá el kilovoltaje. No utilizaremos el mismo kilovoltaje para radiografiar la mandíbula de un cetáceo que la de un roedor.

Al variar la intensidad de corriente, es decir, los miliamperios mA, lo que varía es la cantidad de electrones emitidos, por el filamento que van a ser acelerados a lo largo del tubo de Rayos X, por la diferencia de potencial (kV). El número de fotones producidos aumentará proporcionalmente con la intensidad de la corriente.

Resultaría fácilmente comprender el kilovoltaje y el miliamperaje si lo comparamos con un río. El caudal sería el miliamperaje y la pendiente el kilovoltaje. Así un río puede tener gran caudal y poca pendiente, o viceversa, o ambas a la vez.

Si se trata de obtener una placa radiográfica, el tiempo afecta en la misma medida que la intensidad de corriente, pues la cantidad de electrones enviados al ánodo es también proporcional al tiempo. El producto de la intensidad de corriente en miliamperios (mA) por el tiempo de exposición en segundos (s) proporcionan la magnitud miliamperios-segundo (mAs).

Este parámetro de los miliamperios segundo es la principal diferencia para distinguir la Radiología antropológica o forense con el Radiodiagnóstico. El objetivo en ambos casos es que llegue suficiente radiación a la película para que se produzca el ennegrecimiento base y el resto de densidades queden contrastadas en escalones de tonos de grises.

Un ejemplo válido para comprender el fenómeno de ennegrecimiento de la película sería comparándola con el volumen de agua que se precisa para llenar un determinado vaso. Así pues, dependerá del caudal del grifo y del tiempo de llenado. Si



aumentamos el caudal en escasos segundos se llenará el vaso. Si dejamos el grifo a goteo puede tardar hasta horas. El resultado final será el volumen

de agua que alberga el vaso, sin tener en cuenta el tiempo transcurrido, ni el caudal del agua.

La diferencia será si el vaso se puede dejar en reposo hasta ser llenado o si por el contrario no se dispone de tiempo, según la circunstancia abriremos el caudal del grifo, sin variar en ningún momento el resultado final que será el volumen del líquido total en el vaso. En la radiología antropológica y forense podemos someter la pieza a radiografiar a tiempos de exposición muy prolongados, ello es totalmente impensable en radiodiagnóstico médico porque los pacientes se mueven por diversas circunstancias, unas por que se mueven de forma voluntaria y otra porque el movimiento es inconsciente, con lo cual el denominador común será una radiografía con movilidad cinética. Dentro de éste las diferencias de exposición en radiodiagnóstico no son igual los estudios óseos, los neurológicos, los pediátricos, los digestivos, los circulatorios, etc. Es por ello indispensable poder disponer, en determinados casos, de generadores potentes que con alto miliamperaje, con sigan en milésimas de segundo el producto mAs, o sea, la dosis requerida.

Si el ejemplo del vaso de agua lo trasladamos a la radiación X, para ennegreces una determinada película se precisara una dosis de radiación de 500 mAs, podría ser, bien 10 segundos a 50 mA; bien 5 segundos a 100 mA; 20 segundos a 25 mA, etc. Lo que difiere en la técnica de uso es el objeto a radiografiar, el producto final será el mismo.

Así los equipos médicos que tratan con seres humanos tienen que ser, necesariamente equipos dotados de generadores que puedan incrementar su intensidad de alimentación de corriente al tubo con el consiguiente aumento del mA; para disminuir el factor tiempo habrá que aumentar, proporcionalmente, el factor intensidad o mA.

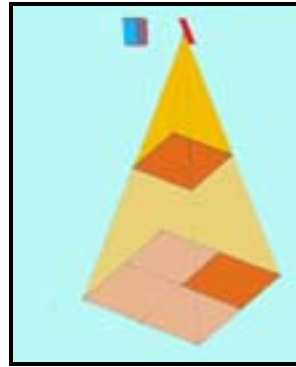
La tensión del tubo, básicamente, aumenta la penetración del haz y disminuye su contraste, aumenta también, la intensidad de exposición.

El aumento de potencia, para un kilovoltaje pico significa aumentar la intensidad de corriente en el tubo, que se traduce en un aumento de exposición y por supuesto, el aumento de tiempo de exposición aumenta la dosis de exposición.

Intensidad de radiación y su relación con la exposición.

La intensidad de radiación es el foco de fotones por unidad de tiempo (fotones por cm.³ y segundo), este flujo está directamente relacionado (de forma proporcional) con la intensidad de exposición (R/h = R).

Influencia de la distancia foco-objeto y objeto-placa.



En Radiodiagnóstico es conveniente aumentar al máximo la distancia foco-piel, para conseguir que gran parte de la radiación blanda del haz sea atenuada en el aire, al igual que aumentando la distancia objeto-placa se atenúa la radiación de la difusa y se mejora la nitidez de la imagen, por contra intervienen fenómenos de magnificación de imagen. En Radiología antropológica y forense, en cambio, si el tubo lo acercamos al objeto, con menos kilovoltaje podremos obtener los mismos resultados que en Radiodiagnóstico.

Cuando el medio atravesado por las radiaciones X es el aire, se propagan siguiendo la ley del inverso del cuadrado de la distancia. A cuatro metros de un haz la intensidad de una exposición es 16 veces más pequeñas que a 1 metros, y a 0.5 metros, es cuatro veces mayor que a 1 metro.

Así con equipos de bajo kilovoltaje, al aproximar el tubo al objeto obtendremos una penetración proporcional a la distancia obligatoria o recomendada en radiodiagnóstico. En la imagen adjunta podemos ver, de forma esquematizada, que la distancia a 1 metro sería $1^2 = 1$ y a 2 metros sería $2^2 = 4$. O sea, que a doble distancia el campo será una superficie al cuadrado; pero, también la intensidad será inversamente el cuadrado. Así pues, a doble distancia la radiación se reparte en una superficie cuatro veces mayor; pero la intensidad de la radiación será cuatro veces menor.

Si nosotros conocemos la dosis necesaria para ennegrecer una radiografía a una distancia determinada, podemos calcular para otra distancia diferente con la ayuda de la fórmula siguiente:

$$\text{mAs (ND)} = \text{mAs (AD)} \left(\frac{\text{ND}}{\text{AD}} \right)^2$$

ND = Nueva distancia AD = Antigua distancia

Indicaremos como ejemplo una determinada dosis 1 metro de distancia foco-objeto, si acertamos esta distancia 15 cm, obtendremos una intensidad de un 32% mayor. Es necesario tener en cuenta esta ley física porque frente a objetos a radiografiar cuya densidad supere la potencia del equipo de rayos X, sabremos que acortando la distancia tubo-objeto, obtendremos los mismos resultados que si el equipo fuese de mayor potencia.

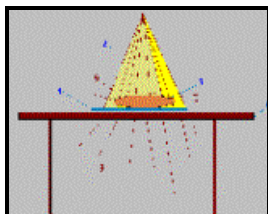
Es más, aconsejaríamos que siempre se tuviera la mínima distancia que razonablemente fuese posible, ya que con menor sacrificio del generador y del tubo obtendremos los mismos resultados y disminuirémos efecto anódico o talón que se producirá sobre la imagen radiológica.

Para comprender adecuadamente el ennegrecimiento de la película deberemos pensar que si a ésta la sometemos a radiación directa y sin obstáculo alguno entre el tubo de rayos X y la película, al revelarla estaría totalmente negra. Si por el contrario colocáramos una plancha de plomo, de ajustado espesor acorde al kilovoltaje utilizado, entre el tubo de rayos X y la película, al revelarla ésta estaría totalmente blanca.

Si entre el tubo de rayos X y la película se coloca una cuchara metálica y otra de madera, en la película después de revelada, el ennegrecimiento de ésta sería inversamente proporcional a la densidad del objeto. Quedando la figura de la cuchara metálica en blanco, mientras que la figura de la cuchara de madera quedaría con tonalidad gris y el resto de la radiografía, al haber absorbido la radiación total del haz de rayos X, quedaría en negro.

Técnica

En la imagen adjunta vemos en primer lugar que el haz no es homogéneo y se produce el efecto anódico o de tacón, así cuando más cerca esté el objeto del foco menos parte de la radiografía quedará interesada por este efecto. También si tenemos la radiografía sobre una mesa cuyo material sea de baja densidad evitaremos la retrodispersión que producirá una base velo a la película, empobreciendo la imagen radiológica, o sea, una pérdida de contrastes.



El haz de radiación X que, procede del ánodo del tubo es el que incide sobre el objeto a radiografiar, y a esta radiación se la denomina radiación directa y al incidir sobre el objeto, produce otra radiación mucho más atenuada que se la denomina radiación dispersa y es dispersada en todas direcciones.

Al atravesar el haz de radiación X la materia la intensidad de la radiación disminuye. Esta reducción de intensidad se conoce con el nombre de atenuación y sigue una ley exponencial. El grado de atenuación depende del tipo de radiación incidente y del material sobre el cual incide. Sirva de ejemplo el descrito en párrafos anteriores sobre las cucharas colocadas entre el haz de radiación X y la placa

radiográfica.

En radiodiagnóstico médico se utilizan generadores potentes, no sólo por el mA, sino también por la diferencia de potencial, o sea el kV, porque de todos es sabido que la radiación X perjudica al ser humano y por ello la distancia entre el paciente y el tubo de rayos X tiene que ser lo mayor posible (según el tipo de técnica) para evitar el aumento de dosis piel en el paciente, al someter los fotones a filtración en su recorrido.

Nuestra técnica se basará en aportar elevado mAs y escaso kV. Podríamos decir que sería lo más parecido, dentro del radiodiagnóstico a la mamografía. Nos interesa obtener imágenes de escasa densidad y dentro de este rango de densidades aún poder distinguirlas con la mejor precisión posible, impresionando la placa radiográfica con el máximo detalle obtenido, podremos visualizar mejor la imagen e incluso partiremos de mejor calidad al trasladarla al sistema digital.

El equipo deberá estar colocado de forma que tengamos la seguridad que el tubo de rayos X, en el momento del disparo está perpendicular al plano horizontal del chasis. En algunos casos, puede que interese, efectuar radiografías con determinada inclinación, para realizar un estudio espacial con distintas coordenadas; pero para ello, será siempre acorde la inclinación que deseemos según la imagen a obtener. Nunca se producirá una inclinación por mala técnica; sino que, siempre deberá ser perpendicular al plano horizontal, salvo casos puntuales que la técnica radiológica así lo precise.

Deberemos colocar el tubo de rayos X lo más próximo posible al objeto. Cuando decimos lo más próximo nos referimos lo suficiente como para que abarque el haz de radiación el objeto a radiografiar. Esta distancia no es adoptada de forma arbitraria, sino todo lo contrario.

Decíamos al inicio que debemos ser conocedores de la física de producción de los rayos X y es entonces cuando adaptaremos ésta a nuestras necesidades. La proximidad en radiodiagnóstico está totalmente desaconsejada por la dosis piel que aporta al paciente y que tan negativa es para éstos. En nuestra técnica es totalmente al revés, no nos aporta ninguna desventaja, sino todo lo contrario una serie de ventajas

A mayor proximidad más radiación llega a la película radiográfica, con lo cual se entiende que por la ley del inverso del cuadrado de la distancia una determinada dosis la podremos obtener, al acercar el tubo de rayos X a la placa radiográfica, con mucha menos intensidad y potencia, con mucho menos kV y menos mA, la dosis total a la radiogra-

fía será lo mismo que si trabajamos a elevadas potencias; pero manteniendo la distancia óptima que se aconseja en radiodiagnóstico médico. Con lo cual al trabajar con poca potencia tendremos, a su vez las siguientes **ventajas**:

- menos sacrificio del generador de rayos X.
- menos desgaste del tubo de rayos X.
- menos marcado el efecto anódico o de tacón, con lo cual la homogeneidad del haz será óptima.

Normalmente, nosotros hemos trabajado en un equipo de rayos X, de los utilizados para radiodiagnóstico médico en décadas pretéritas, porque hoy en día la normativa actual impide que estos equipos sean utilizados para uso humano, por la cantidad de dosis piel que aportan a los pacientes. Son también equipos de ánodo fijo, con lo cual su resistencia a fuertes cargas de trabajo es mucho menor que los equipos de ánodo giratorio.

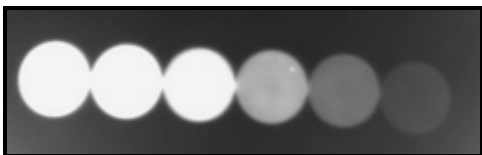
Por ello, la proximidad tubo-película radiográfica hará que los equipos estos tengan una duración mucho mayor que si seguimos los criterios de protección radiológica aplicados en radiodiagnóstico médico.

Película radiográfica

Consta de una emulsión sensible a los rayos X y a la luz, que cuando ésta es revelada se ennegrece. Este ennegrecimiento será proporcional a la dosis de radiación recibida por la película.

La emulsión de las radiografías puede ser por una o por ambas caras, adheridas a un soporte plástico, que se adhieren a éste por medio de un tratamiento químico especial.

Los alógenos de plata son los elementos sensibles a los rayos X y a la luz, contenidos en la emulsión



fotográfica. Los rayos X alteran los cristales de bromuro de plata y para poder ser observada dicha alteración es preciso someter a la película al proceso de revelado-fijado. En donde se transformarán los cristales irradiados en plata metálica finalmente dividida de color negro. Los cristales no irradiados no sufren modificaciones, por ello se quedan de color blanco.

Por tanto a tenor de la irradiación recibida por la película podrá ser la conversión en negro o en blanco o proporcionalmente, según la irradiación

recibida se formarán un abanico de grises que irán de más oscuros a más claros, formándose los escalones densitométricos de la película, que serán un total de 21 escalones medibles, cuando la riqueza de grises sea muy óptima. Normalmente se podrán obtener alrededor de 12, resulta difícil conseguir los 21 escalones. A menor número de escalones densitométricos peor calidad radiológica se habrá obtenido.

Deberemos tener en cuenta que también las películas y las pantallas reforzadoras son fieles contribuyentes, en el radiodiagnóstico, para que el enfermo se exponga lo mínimo a las radiaciones ionizantes. Es por ello, que las películas radiográficas son poco sensibles a la radiación, en cambio si lo son a la luz; por ello, las pantallas reforzadoras emitirán luz al ser expuestas a la radiación; en cambio mermará la calidad radiológica.

Al observar una radiografía intraoral y una ortopantomografía -ambas pertenecientes a la radiología dental- observaremos mejor linealidad en las radiografías intraorales que en las ortopantomografías, debido a que estas últimas se obtiene la imagen por la colaboración luminosa que ofrecen las cartulinas de refuerzo.

Así, en Radiología antropológica y forense, como no importa la dosis a pacientes utilizaremos siempre que podamos la máxima calidad y procurar pantallas reforzadoras lentas o sin pantallas. Debemos saber que la radiación aporta -aproximadamente- 25% para impresionar plaga el resto lo aporta la luz de la pantalla. Por ello es tan importante en radiodiagnóstico y tan poco en Antropología.

Pantallas reforzadoras

Son láminas de plástico donde se extiende una capa de sales fluorescentes disipadas en una resina. La misión de estas pantallas es convertir la radiación X en luz visible, que será proporcional ésta a la intensidad de la radiación. La conversión podrá ser en azul o en verde, según la sensibilidad de la pantalla. En radiodiagnóstico es importante la sensibilidad de las pantallas, así como la velocidad de las películas con el fin de disminuir las dosis paciente. En la Radiología antropológica al no existir estos problemas, utilizaremos los chasis más lentos posibles y las radiografías de mayor densidad, en nuestro caso casi siempre hemos optado por los chasis y las películas utilizadas en estudios mamográficos, ya que es la parte del Radiodiagnóstico más parecida a nuestras técnicas, en ambos casos, precisamos al máximo de detalles.

Las zonas más claras corresponderán a estructu-

ras o volúmenes que han absorbido más radiación que las zonas oscuras. Podemos decir, que las zonas claras corresponden a sombras que dejan las estructuras más absorbentes de radiación.

Estas sombras o zonas claras se producen, cuando los fotones no han llegado a la película por haber sido absorbidos por el objeto radiografiado.

Cuidados de las películas y pantallas reforzadoras.

Las películas en el momento de cargarlas en los chasis deberán estar protegidas de la luz, nunca deberá ser tocadas con los dedos y además no se expondrán innecesariamente al haz disperso de radiación y nunca al disperso.

Si la película es expuesta al haz de radiación, no se impresionarán por la radiación dispersa; pero sí les podrá producir una base velo.

El control de las pantallas reforzadoras debe realizarse con la periodicidad acorde a su uso o en el caso de que haya indicios de degradación en la calidad de la imagen o aparición de artefactos en posiciones fijas. En este control debe observarse un posible deterioro de la linealidad en la imagen radiológica. La limpieza de pantallas de refuerzo es de suma importancia, siguiendo las instrucciones y utilizando los productos suministrados por sus fabricantes.

Se limpiarán con una gasa empapada por el producto que nos indique su fabricante y se procurarán mantener en las óptimas condiciones para que sean capaces de mantenerse en buen estado y que puedan cumplir su función, o sea, convertir la radiación en luz, azul o verde, según su sensibilidad.

Una cartulina de refuerzo sucia, por ejemplo de revelado, nos daría una mala conversión, no porque la mancha de revelado sea radiopaca, sino porque en esa zona donde se encuentre la mancha las sales químicas de la cartulina de refuerzo no producirán la conversión de luz adecuada y por tanto la radiografía se manifestará en un algo que no se ajustará con la precisión necesaria a la imagen radiológica real. También se producirá este deterioro cuando se tenga el hábito de tocar con los dedos las cartulinas de refuerzo.

Cuando por guardarse las pantallas en lugares húmedos o por mojarse las pantallas su superficie no sea totalmente plana, no se podrán mantener el contacto perfecto entre la cartulina y la película, con lo cual en los puntos o zonas, en la imagen radiológica se producirá una borrosidad.

Condiciones del cuarto de revelado.

El cuarto oscuro es, por definición, una habitación en la que la iluminación debe ser escasa es un laboratorio en el que las películas pueden alterarse por radiación, luz, calor, presión, humedad, vapores químicos, electricidad estática o manipulación inadecuada. Debe estar bien ventilado, limpio, seguro y cómodo para desarrollar un trabajo adecuado en condiciones de escasa iluminación.

A bajas intensidades de luz las radiografías no se velarán, sin embargo se producirá una base velo que deteriorará los contrastes.

Las condiciones de revelado afectan considerablemente a los parámetros de velo, velocidad y contraste. Un exceso de la temperatura del revelador provoca en aumento de velo y velocidad, y una variación de contraste, de forma positiva o negativa dependiendo de que el valor de la temperatura se acerque o aleje de su valor óptimo.

Conviene conocer la temperatura en la sala de revelado, de la misma forma que es de sumo interés el conocer la temperatura existente en los líquidos de revelado. Siempre que se trate de los revelados manuales. Nosotros siempre preferimos los revelados manuales, porque podemos trabajar con este parámetro de tiempo y temperatura de líquidos para obtener la calidad deseada.

La temperatura idónea de los líquidos de revelado es 20°C. Entre la temperatura de revelado y la de fijado no debe haber una diferencia superior a 2 grados. La temperatura ideal es la ambiental del cuarto de revelado, no es conveniente el calentar los líquidos; sin embargo, si lo es conocer su temperatura. La temperatura ambiental debe mantenerse en torno a los 20°C. Temperaturas por encima de 24°C producen un deterioro de la emulsión con aumento de velo. Hay que considerar, además, que la temperatura de los líquidos es inversamente proporcional al tiempo de contacto de la película con éstos.

Es conveniente conocer la humedad relativa, dentro del cuarto de revelado, para evitar deterioro en el almacenaje de las radiografías. La humedad relativa en el cuarto oscuro debe mantenerse en todo momento entre el 40 y 60 %. Si la humedad es demasiado baja puede instalarse un humidificador y si excede los límites, un acondicionador de aire.

Una humedad por encima de los límites se manifestará en un deterioro de la película con aumento de velo.

Por debajo del 40% se favorece la aparición de electricidad estática, que aparece en materiales no

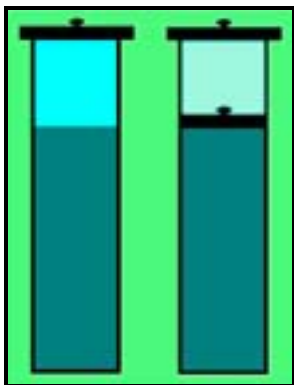
conductores como el plástico (base de película, fibras sintéticas) y se incrementa hasta que alcanza un potencial que le permita una rápida descarga en forma de chispa.

Especial atención debe prestarse en épocas invernales en las que puede pasarse, de una humedad a un ambiente totalmente seco, por causa del encendido de las calefacciones.

Se requieren medios de ventilación especiales en los cuartos oscuros, puesto que un control deficiente de la ventilación tiene efectos perjudiciales sobre el personal y sobre los materiales radiográficos.

El aire entrante de la ventilación debe ser filtrado para eliminar partículas de polvo y la circulación del aire debe ser suficiente para cambiar el aire del cuarto oscuro, unas 12 veces por hora, evitando acumulación de vapores emanados de los líquidos de revelado.

Esto merece especial importancia en el revelado de la radiografía donde interese visualizar pequeños detalles, por resultar en este tipo de estudios fácilmente confundible el efecto de una mota de polvo con el de una microopacidad. Teniendo en cuenta que la mota de polvo no es radiopaca; pero si opaca, con lo cual en ese punto la conversión de luz de la pantalla de refuerzo no se producirá, no impresionando, en ese punto, la película radiográfica y dando un punto blanco, enmascarando una posible microopacidad radiológica.



Resultan convenientes en los revelados manuales disponer de flotadores para evitar que se formen cámaras de aire en la superficie de los líquidos. El contacto de éstos con el aire produce una oxidación, una descomposición y un grave deterioro en el revelado de las radiografía. Los flotadores pueden ser de cualquier material cuya densidad sea inferior a la de los líquidos. La contaminación del revelador da lugar a un aumento en velo y velocidad con una considerable disminución en el contraste

En la figura adjunta podemos observar como en el tanque de líquidos de la izquierda se forma una cámara de aire que oxidará y deteriorará los líquidos. Vemos en el de la derecha que al colocarse un flotador el aire no estará en contacto con los líquidos.

Técnica de revelado.

Esta técnica comprende desde cargar el chasis con la película, el revelado, fijado y secado.

Para revelar la película deberemos utilizar un cuarto oscuro o un revelador manual de sobremesa protegido con plástico rojo inactínico.

Si utilizamos un cuarto oscuro, es evidente que, no deberá haber ninguna fuga de luz entre las puertas o ventanas y un filtro inactínico que coloquemos no a menos de 1.5 metros de donde carguemos los chasis, y una luz que no deberá superar los 20 vatios.

Sin embargo, aquí deberemos tener unos cuidados especiales en verificar la concentración de los líquidos en dilución con el agua así como la temperatura.

Si el estudio a realizar fuera de una seriada de radiografías, es imprescindible que se mantengan las constantes de temperatura de los líquidos, concentración, así como de kV, mA, tiempo de exposición y distancia foco película radiográfica.

Es más, aconsejamos protocolizar las características, para que siempre sean iguales. Porque si resulta imprescindible este protocolo en cuanto a estudios radiológicos seriados; también es de utilidad para tener la certeza que los cambios de densidad se deben en sí a cambios reales no a cambios que pueden producirse porque cualquier eslabón de la cadena de imagen haya sido alterado.

La película radiográfica tras ser impresionada por la exposición a los rayos X debe someterse al proceso de revelado y fijado. El tiempo de contacto de la película radiográfica con los líquidos de revelado tendrá que ver con la temperatura de éstos, siendo el tiempo de contacto inversamente proporcional a la temperatura de los líquidos.

Debemos basar el revelado y fijado de la película radiográfica con que los líquidos estén a 20°C de temperatura y el tiempo de permanencia que estará inmersa la película en los líquidos será de 3 minutos en revelado y 6 minutos en fijado.

La técnica deberá procederse de la siguiente manera.

- Bajo ningún concepto los dedos del operador deberán tocar la película radiográfica.
- Extraída la película del chasis se introducirá durante 3 minutos en el recipiente de revelado.
- Pasados los 3 minutos se pasará a otro recipien-

te con agua. Que deberá estar a la misma temperatura que los líquidos de revelado.

- Una vez la película lavada se pasará al fijador donde deberá permanecer inmersa durante 6 minutos y posteriormente lavada

Posibles deficiencias.

- Si la inmersión en el revelado es de menos de 3 minutos, podrá la película disminuir su capacidad sensitométrica, con el consiguiente deterioro de la imagen radiológica obtenida.

- Si la película radiológica después de extraída del revelado no se somete al proceso de lavado, podrán los restos de revelado que se encuentran adheridos a la película radiográfica, pasar al fijador y contaminar éste, con lo cual existirá un deterioro de fijado para las siguientes películas que se sometan a este proceso.

- Si las películas radiográficas no están inmersas en el fijador el tiempo indicado, no quedará fijada la imagen adecuadamente y con el paso del tiempo se perderá, además de restar riqueza densitométrica a la imagen radiológica impresionada en la película.

- Además de todo lo indicado, una vez extraída la película radiográfica del fijador debe someterse de nuevo a proceso de lavado, de lo contrario podrán quedar restos de revelado sobre la radiografía, que como es un líquido color ocre claro, donde queden restos de gotas secas tendrá un contraste diferente del resto de la imagen deteriorando la distinción.

Negatoscopios

Cuando la radiografía se coloca sobre una superficie de luminancia uniforme B_0 (negatoscopio) las diferencias de ennegrecimiento se traducen en una imagen luminosa que corresponde a los diversos valores B de la luminancia del negatoscopio visto a través de las distintas densidades ópticas de la película.

El grado de ennegrecimiento se expresa por la densidad óptica:

$$D = \log \frac{B_0}{B}$$

Si por ejemplo la película reduce 1/10 la luz emitida por el negatoscopio, se tiene B/B_0 y $D=1$. Las densidades ópticas que permiten el examen visual correcto se sitúan entre $D = 0.3$ ($B/B_0 = 0.5$) y $D = 2$ ($B/B_0 = 1/100$); por debajo de ellas, la película es excesivamente clara y por encima demasiado negra.

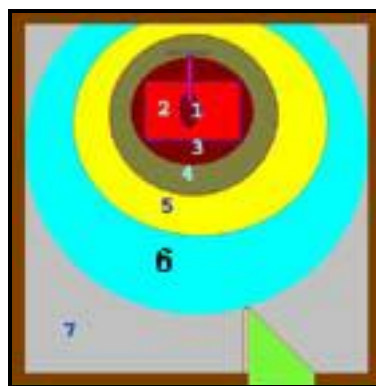
La iluminación ambiental debe ser del orden de 100 lux para obtener una acomodación y visión óptima de los negatoscopios sin deslumbramiento o reflexiones, cuando se trate de estudiar la imagen radiológica de forma directa.

Es conveniente, sino necesario, que los Negatoscopios tengan una luz uniforme de 5000 lux en toda la superficie uniforme del Negatoscopio; pero que, además éste se encuentre ubicado en un recinto cuya luz ambiental no supere los 100 lux. Si no se dispone de luxómetro para poder medir estos parámetros bastará tener en cuenta que la luz del negatoscopio es uniforme y con suficiente intensidad para que podamos distinguir distintos tonos de grises en la radiografía, que esté limpio en toda su superficie y que la luz ambiental de la sala esté en penumbra, con el fin de ofrecer el máximo contraste entre la luz del negatoscopio y la ambiental.

CRITERIOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN RADIOLOGÍA ANTROPOLÓGICA

Colocación del operador.

La colocación del operador no aportará un incremento o disminución de la calidad radiográfica, sin embargo, es de obligado cumplimiento, siguiendo los criterios internacionales de protección radiológica, el indicar la colocación del operador.



Como quiera que los parámetros a utilizar en el haz de radiación serán de una potencia no superior a 50 kV la radiación dispersa que esto producirá no tendrá

un alcance en el aire superior a los 2 metros y cualquier tabique será más que suficiente para proteger al operador y conseguir así que la tasa de dosis en el puesto del operador sea la equivalente al fondo radiológico ambiental.

En la figura podemos observar, de forma esquemática, como va decreciendo el posible riesgo de exposición como aumenta el número. Los círculos muestran como al acercarse al tubo el riesgo aumenta. Por ello, lo ideal es disparar lo más aleja-

do posible y a ser posible tras el cerramiento. Para optimizar la protección radiológica, procurando obtener una dosis equivalente al fondo radiológico ambiental, se deberán seguir los criterios publicados en el Real Decreto 1891/1991, B.O.E. 2 de enero de 1.992, donde se publican las tablas de espesor de materiales y distancias aconsejables acordes al tiempo de utilización de los equipos de radiodiagnóstico médico, distancia, carga de trabajo, potencia y permanencias de las personas posiblemente expuestas a las radiaciones ionizantes y del público en general.

Las exposiciones individuales dependen de cuatro factores básicos en relación al foco emisor de Rx:

- El tiempo de exposición a las radiaciones.
- La distancia al foco emisor de Rx.
- Dirección del haz con respecto al individuo.
- El blindaje interpuesto entre el foco y el individuo.

Así, cuando se tienen hábitos de trabajo con criterios claros de radioprotección se reducen, considerablemente, las dosis de exposición. Siendo el medio más efectivo de protegerse de las radiaciones es hacer un uso racional de la distancia del foco emisor, tener presente la proporcionalidad directa del tiempo de exposición, la geometría del haz, **no exponerse nunca al haz directo.**

La radiación tiene un recorrido muy corto, incluso en el aire y, el número de fotones que alcanza una superficie determinada disminuye proporcionalmente al inverso del cuadrado de la distancia del foco emisor.

Un tercer medio de protección consiste en colocar un escudo (barrera, blindaje) entre la radiación y la zona a proteger. Esta barrera, para poder ser eficaz deberá ser del material y espesor adecuados siempre en acorde a la carga de trabajo a soportar.

Un ejemplo muy entendible podría ser: si una vela la aproximaremos a nuestro dedo, será evidente que:

1º.- el quemazón que produzca será proporcional a la llama de la vela. De la misma manera que la posible



irradiación por los equipos de Rx, serán proporcionales a la potencia de estos. No se precisa la misma precaución en un equipo de Rx de escaso kilovoltaje, como otro de elevado kV.

2º.- que la posible quemadura será proporcional al tiempo de contacto de nuestro dedo con la vela, a menor tiempo la posible quemadura será leve, e incluso no habrá quemadura, con un tiempo prolongado la quemadura será mayor. Es importante el tiempo de



permanencia frente a un equipo de Rx en funcionamiento, evidentemente, a menor tiempo, menor riesgo. En sentido directamente proporcional.

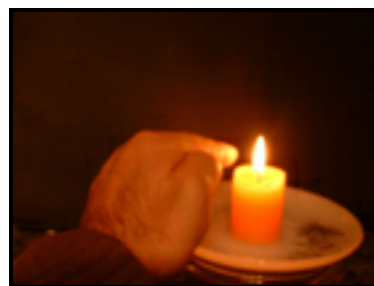
3º.- el posible daño que nos produzca la vela será inversamente proporcional a la distancia, si el dedo se coloca próximo a la vela con menor tiempo la quemadura será mayor y si se coloca más separado puede que nuestro dedo ni tan siquiera note el calor. En Radiología es



sumamente importante tener siempre presente la ley de inverso del cuadrado de la distancia. Se deberá recordar que la distancia es uno de los mejores blindajes.

Existen técnicas donde la protección de barreras resulta compleja y en ocasiones insuficiente, por ello, el concepto de mantener, en el momento del disparo, la debida distancia es de suma importancia.

En las fotografías adjuntas podemos ver dos fuegos de distinta magnitud. Ambos son fuegos pero no dan el mismo calor, y si siguiéramos en el ejemplo podríamos comparar un incendio forestal con el fuego de una vela. La magnitud del fuego es importante con el grado de posible gravedad. Igual



son los rayos X. Según el tipo tendrán unos u otros peligros.

Muy a tener en cuenta son equipos de Rx portátiles cuando, la mejor medida de protección será la distancia, para ello será necesario disponer de un cable con suficiente longitud para permanecer a un mínimo de 2 metros, en el momento del disparo.

4º.- si el dedo se coloca perpendicular a la llama de la vela con menor tiempo la quemadura será mayor y si se coloca al lado el daño será inferior. En Radiodiagnóstico es imprescindible tener siempre presente la dirección del haz directo, ya que su carga de W será entre 1.000 y 3.000 veces mayor que la carga de W del haz disperso. Así pues, a mayor distancia del haz de Rx, en exposiciones sobre el haz directo podrán resultar mucho más perjudiciales, que a menores distancias sobre la radiación dispersa.

Afortunadamente en este tipo de técnicas radiológicas no debe, bajo ningún concepto, correrse ningún tipo de riesgo si se tienen mínimas precauciones, siguiendo los prudentes criterios técnicos que hemos expuesto y que son de fácil aplicación. Terminaremos diciendo que en Radiología Antropológica es más útil la longitud del cable prolongador de disparo, del equipo de rayos X, que cualquier delantal, guante, protector de tiroides o gafas plomadas. Ojalá la protección Radiológica en Radiodiagnóstico fuese tan sencilla.

DIGITALIZACIÓN INDIRECTA EN RADIOLOGÍA ANTROPOLÓGICA Y FORENSE

Radiología digital indirecta.

Es el obtener una imagen digitalizada a partir de una imagen analógica. Este proceso puede ser efectuado mediante un procedimiento artesanal o por sofisticada metodología.

La radiografía analógica permite una calidad inigualada por la digitalización; por el contrario, no permite todas las modificaciones imagenológicas que nos permite la digitalización.

También cabe resaltar que la calidad que obtengamos en la digitalización será acorde con la calidad que partamos de la base analógica, de la cámara que utilicemos de la tarjeta convertidora analógico-digital, de la impresora, etc..

Esta digitalización permitirá la detección automática de opacidades, y la discersión en el despistaje de masas.

Técnica de digitalización indirecta.

Consiste en digitalizar la radiografía mediante una cámara CCD y obtener unos valores correspondientes a la intensidad de los niveles de grises de un punto determinado. Esto puede ser efectuado por una cámara CCD cuya matriz y sistema óptico definirán a la vez el campo y la resolución. Por estas técnicas, la digitalización no permite una resolución mayor de 100 micrómetros, aproximadamente y, todavía más, esa resolución se tendrá sobre una pequeña parte de la radiografía.

El uso de los sistemas digitales no se ha generalizado hasta ahora en radiología debido fundamentalmente a que existen circunstancias, tales como la alta resolución espacial requerida para capturar del fino detalle de determinadas estructuras presentes en la imagen radiológica convencional y la alta tecnología necesaria para que los algoritmos de procesado precisen de menos tiempo computacional, que hacen que los sistemas resulten, en el momento actual, extremadamente caros.

Una de las principales ventajas de la utilización de sistemas radiográficos digitales consiste en la posibilidad de manipular la imagen mediante la aplicación de determinados algoritmos de procesado, contribuyendo por tanto, de una manera positiva al diagnóstico. Así, se utilizan técnicas de Procesado Digital de Imagen (PDI), tales como "pseudocolor", ecualización del histograma, transformaciones no lineales en la escala de grises y filtros espaciales, para incrementar la habilidad del observador en apreciar información que puede no ser obvia debido al estrecho rango dinámico de información resultante de la imagen radiológica.

La técnica de PDI original, consistente en la combinación automática de diversos filtros espaciales y cuyo resultado final es la producción de un realce de bordes similar al producido analógicamente con la técnica xerorradiográfica.

El efecto de la aplicación del filtrado espacial para el realce de bordes muestra un problema común a muchas radiografías, que es el estrecho rango dinámico inherente a la propia técnica radiográfica. Detalles como el borde y textura del nódulo, la arquitectura general, han sido realzados, siendo la mejora claramente atribuible a la manipulación de la imagen.

Se hace necesario entonces aplicar una transformación de intensidades digitales que lleve el rango de valores de salida del filtro al rango dinámico del sistema de visualización utilizado (0?255). La imagen resultante de la combinación anterior, tras la realización de una transformación no lineal de los niveles de gris.