

## 1. MEDIOS DE DETECCIÓN

### CONCEPTO Y CLASES.

Son sistemas integrados por un conjunto de elementos técnicos que tienen por objeto advertir la presencia de ciertas sustancias o la composición de los objetos o cuerpos que son sometidos a su examen.

Como en la mayoría de los sistemas técnicos de seguridad su finalidad puede ser doble: la primera, fundamental es avisar de la existencia de un determinado componente, elemento, u objeto, que entrañe o pueda entrañar un riesgo, pero también, como por ejemplo, en los arcos detectores de metales, su sola presencia sirve para disuadir al presunto intruso, por suponer un obstáculo, imposible o difícil de superar, en su camino hacia el delito.

Su clasificación puede hacerse en atención a distintos puntos de vista; y así puedan ser automáticas o manuales, fijos o móviles; adosados a otros más complejos o aislados, etc., pero su división más importante es la que se refiere a su finalidad específica.

Desde esta perspectiva su clasificación es la siguiente:

- Detectores de metales.
- Detectores de explosivos.
- Detectores de elementos radiactivos.
- Detectores de gases.
- Rayos X, etc.

### RADIOSCOPIA:

En el camino a seguir para tener cierta seguridad del contenido de un objeto, el último escalón lo representa el examen de dicho cuerpo a través de "Rayos X".

La utilidad en materia de seguridad de este sistema es importante.

Dado que los "Rayos X" permiten visualizar el interior de un cuerpo opaco, cuando nos hallemos ante un objeto sospechoso, su examen a través de dicho aparato nos permitirá concretar su contenido y determinar su naturaleza.

Viene a representar, por tanto, el último eslabón en la cadena de exámenes de un objeto sospechoso a través de instrumentos o sistemas específicos.

Si bien la eficacia de este sistema es superior a los anteriores expuestos, también su complejidad es mayor y precisa contar con personal especializado y experimentado en su manejo.

No siempre es fácil hacer una interpretación correcta de la imagen visualizada, ya que además de precisar conocimientos específicos sobre el funcionamiento del aparato, son necesarios también los elementos que pueden integrar un artefacto explosivo, puesto que pueden aparecer camuflados o disimulados, e incluso ocultos en contenedores especiales. Por ello la presencia en la radiografía de un objeto opaco puede hacer suponer al operador la existencia de un objeto, cuanto menos sospechoso.

Por otra parte ciertos objetos domésticos o de uso personal, como radiocasetes, calculadoras u aparatos electrónicos, pueden originar interferencias.

### CONSIDERACIONES SOBRE SU UTILIZACIÓN Y MANEJO.

Como se ha podido observar a través de lo expuesto, los sistemas contemplados son valiosísimos auxiliares en materia de seguridad, sin embargo no pueden utilizarse de forma indiscriminada e indistinta y exigen una preparación específica del personal encargado de su manejo.

Por todo ello sería aconsejable que los operarios recibieran previamente unas instrucciones y demostraciones prácticas de los técnicos de las casas que comercializan dichos productos, a fin de

familiarizarlos en su uso, independientemente de las instrucciones escritas o folletos que acompañan a estos.

Como en cualquier otro aspecto relacionado con la seguridad deben efectuarse reuniones del personal especializado en estos aparatos y realizar prácticas periódicas a fin de actualizar sus conocimientos y adquirir destreza en su manejo.

No debe olvidarse, que en un alto porcentaje el éxito en el uso de estos aparatos depende de la preparación, destreza y práctica que de los mismos posean los usuarios.

Y, por supuesto, su mantenimiento y conservación debe ser objeto de cuidados especiales, ya que algunos de ellos presentan ciertas complejidades, y los resultados finales están subordinados a su buen funcionamiento y pueden condicionar la propia seguridad.

## **INTRODUCCIÓN:**

Hoy en día nos hemos acostumbrado a sufrir controles de seguridad, tanto en nuestras propias personas como en los objetos que portamos. Aceptamos pacientemente pasar a través de un arco detector de metales, nos sometemos a la curiosidad de un aparato que husmea alrededor de nuestro cuerpo, manejado por un agente al que casi ni le dedicamos una mirada, o exponemos sin rubor nuestro equipaje a la indiscreción de un túnel de rayos X.

Son inspecciones, rutinarias en la mayoría de los casos, que aceptamos con naturalidad para poder acceder a tal ministerio o al avión que nos conducirá a donde queremos ir.

Sin embargo, nuevos actos del terrorismo organizado, como el triste episodio del secuestro, en los últimos días de 1999, del Airbus A-300 de Indian Airlines, nos hacen dudar de la efectividad de dichas medidas.

Sin entrar en el cómo pudieron los secuestradores acceder al avión portando armas y granadas, nadie puede negar que las medidas de seguridad aeroportuaria, aparte de ser de obligado cumplimiento por las leyes nacionales e internacionales, son absolutamente necesarias.

La normativa de la International Air Transport Association (IATA), en materia de seguridad aeroportuaria, contempla los aspectos relacionados con el uso del escáner y de los arcos detectores de metales, estableciendo los requisitos mínimos de seguridad en aeropuertos internacionales. Así mismo, prevé la creación en los aeropuertos de los estados miembros de zonas estériles de acceso restringido.

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) considera la inspección de viajeros y equipajes parte esencial de las medidas de protección.

La presencia de los filtros de inspección por rayos X en nuestros aeropuertos, provocada por el aumento en los últimos años de la delincuencia internacional, se ha convertido en algo habitual que consideramos normal, concienciados tal vez de la necesidad de conseguir los mayores índices de seguridad a bordo de los aviones.

## **LA FORMACIÓN DE LOS OPERADORES DE RAYOS X**

Pero también es cierto que de nada sirven los modernos equipos sin un profesional competente y bien adiestrado que los maneje; la eficacia de la detección por rayos X requiere un personal especialmente instruido y muy experimentado en su uso.

El anexo 17 del Convenio de Aviación Civil Internacional impone a los estados miembros la obligación de desarrollar las actividades de instrucción precisas para reforzar la eficacia de sus programas de prevención y protección, y les recomienda asegurar una adecuada formación teórica y práctica para las personas encargadas de los controles de seguridad.

La verdadera eficacia de la inspección y la rentabilidad de los equipos se obtienen cuando los operadores han sido sometidos a un riguroso plan de formación y adiestramiento, que completará la experiencia posterior durante el desarrollo de su actividad.

La formación de los operadores de equipos de rayos X debe comprender tres aspectos claramente diferenciados: el legal, el técnico y el operativo.

- **Legal:** Que abarca el conocimiento de la normativa legal, nacional e internacional, por las que se deben regir sus actividades de inspección y control. En caso de que el operador pertenezca a una compañía de Seguridad Privada -cada vez más frecuente - se debe prestar una especial atención a las funciones de los vigilantes de seguridad en los filtros de inspección.
- **Técnico:** Requiere el aprendizaje de los equipos de rayos X, los principios de su funcionamiento, las técnicas de manejo y precauciones de utilización y la interpretación de imágenes.
- **Operativo:** Proporciona el conocimiento de las armas y artefactos explosivos más comunes, y sus componentes; los productos del narcotráfico, los métodos empleados por los terroristas para ocultar artefactos en los equipajes, los procedimientos para una inspección metódica de equipajes y los criterios más importantes para la toma de decisiones.

Finalmente, esta formación debe completarse con el conocimiento de las características del lugar donde el operador desarrolla su labor, de sus disposiciones de régimen interno y de su entorno; sin olvidar las más elementales normas de educación y cortesía que deben presidir los trabajos ante el público.

En el mundo, todos los grupos terroristas tienen similar estrategia para intentar conseguir sus objetivos; empiezan por acciones netamente propagandistas, para continuar simultaneando estas con otras de carácter violento, y concretamente con asesinatos puntuales; posteriormente, pasan a una fase, en que el tipo de acciones anteriores las simultanean con la realización de atentados empleando explosivos.

Es en esta fase donde los terroristas pueden recurrir a realizar acciones contra la sociedad, mediante atentados perpetrados hacia un determinado grupo de personas públicas.

Para evitar en la medida de lo posible que los terroristas alcancen su objetivo, es esencial contar con una serie de herramientas de trabajo capaces de detectar un artefacto explosivo y reconocer cualquier tipo de arma que se intente introducir en un edificio público o privado para cometer actos ilícitos.

En los últimos tiempos, han ocurrido diversos incidentes que han afectado a la seguridad de personas y edificios, algunos de ellos con trágicos resultados, motivo este por el cual la figura del Operador de Rayos X es de vital importancia para mantener este apartado de la seguridad.

## **2. TÉCNICO:**

### **2.1 DESCUBRIMIENTO DE LOS RAYOS X:**

El primer premio Nóbel en física fue otorgado en 1901. Lo recibió el físico alemán Wilhelm Konrad Röntgen, que estaba interesado por los fenómenos luminosos asociados a los rayos catódicos.

El día 8 de Noviembre de 1895 experimentando con los rayos catódicos para observarlos mejor situó el correspondiente tubo de Thomson dentro de una cápsula de cartón color negro y dejó la habitación del laboratorio a oscuras.

Cuando conectó el aparato se sorprendió al ver que, a cierta distancia, una hoja de papel recubierta de platino cianuro de bario, que utilizaba en sus experimentos, resplandecía.

Al desconectar el tubo Thomson, se apagaba el resplandor y cuando lo conectaba volvía a brillar la hoja de papel con platino cianuro de bario.

Dejo el aparato funcionando y cogiendo la hoja fluorescente se situó en una habitación al lado del laboratorio y con la puerta cerrada comprobó sorprendido que la hoja brillaba.

Evidentemente cuando el tubo de Thomson funcionaba se producía una radiación capaz de atravesar el cartón que rodeaba al tubo y además la puerta. Como desconocía que tipo de radiación producía tal fenómeno las llamó: RAYOS X.

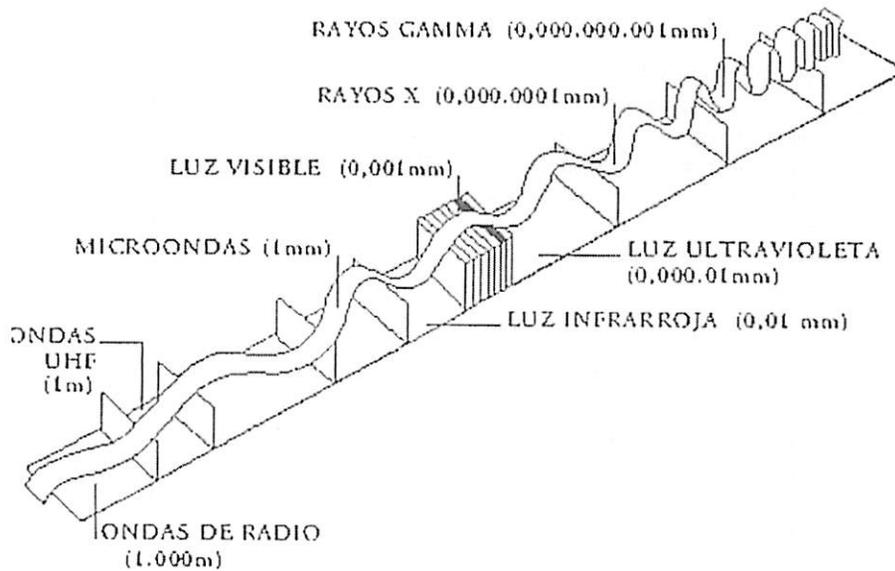
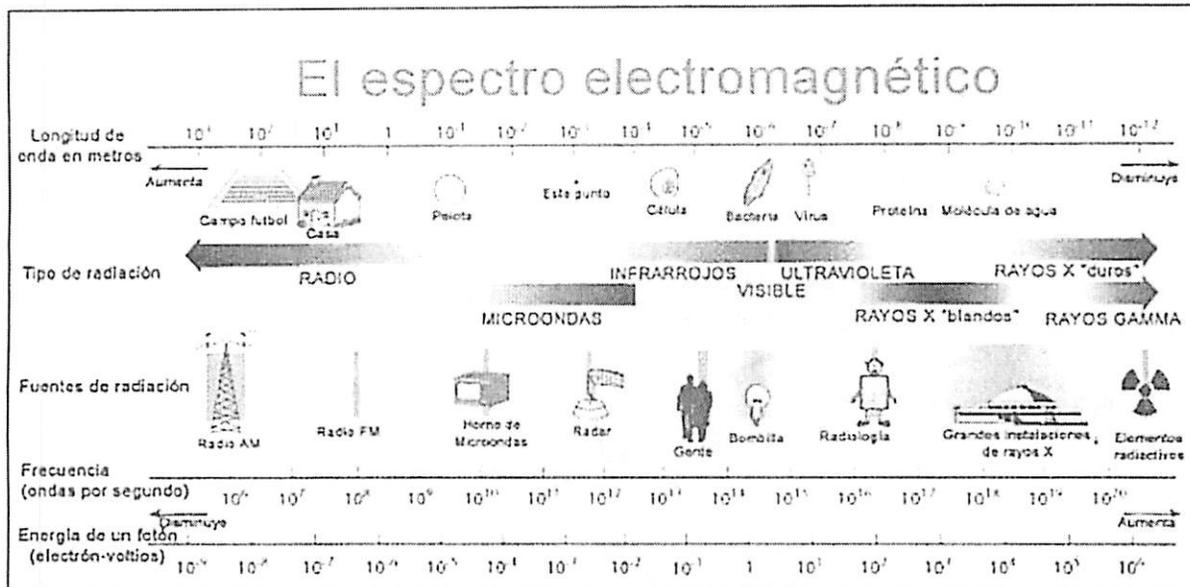
Continuó realizando pruebas para conocer mejor los efectos que producían los desconocidos rayos X, consiguiendo el día 22 de diciembre de 1895 la imagen radiográfica de la mano de su esposa sobre una placa fotográfica.

### **2.2 NATURALEZA DE LOS RAYOS X**

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda va desde unos 10 nm hasta 0,001 nm (1 nm o nanómetro equivale a  $10^{-9}$  m). Cuanto menor es la longitud de onda de los rayos X, mayores son su energía y poder de penetración.

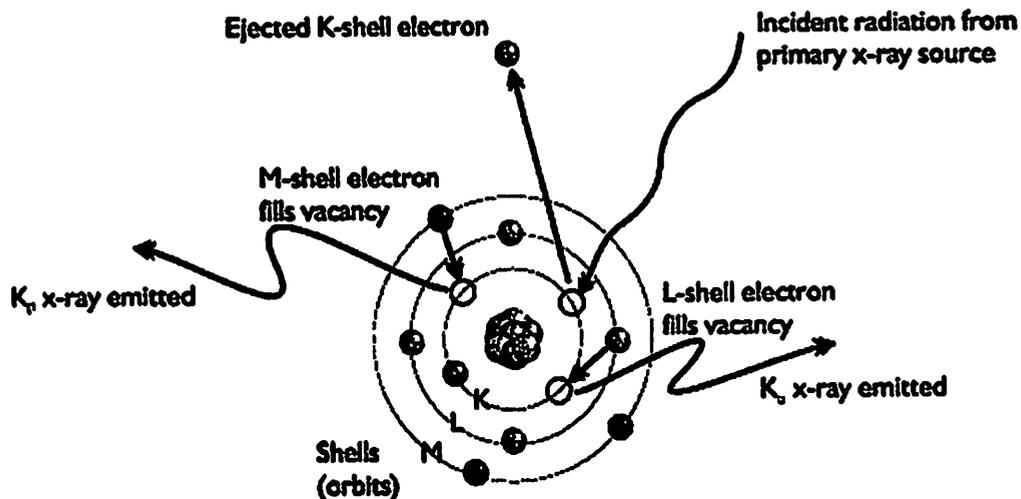
Son de la misma naturaleza que las ondas de radio, las ondas de microondas, los rayos infrarrojos, la luz visible, los rayos ultravioleta y los rayos gamma. La diferencia fundamental con los rayos gamma es su origen: los rayos gamma son radiaciones de origen nuclear que se producen por la desexcitación de un nucleón de un nivel excitado a otro de menor energía y en la desintegración de isótopos radiactivos, mientras que los rayos X surgen de fenómenos extranucleares, a nivel de la órbita electrónica, fundamentalmente producidos por desaceleración de electrones.

La energía de los rayos X en general se encuentra entre la radiación ultravioleta y los rayos gamma producidos naturalmente.



Los rayos de mayor longitud de onda, cercanos a la banda ultravioleta del espectro electromagnético, se conocen como rayos X blandos; los de menor longitud de onda, que están más próximos a la zona de rayos gamma o incluso se solapan con ésta, se denominan rayos X duros. Los rayos X formados por una mezcla de muchas longitudes de onda diferentes se conocen como rayos X 'blancos', para diferenciarlos de los rayos X monocromáticos, que tienen una única longitud de onda. Tanto la luz visible como los rayos X se producen a raíz de las transiciones de los electrones atómicos de una órbita a otra. La luz visible corresponde a transiciones de electrones externos y los rayos X a transiciones de electrones internos. En el caso de la radiación de frenado o *bremssstrahlung* (ver más adelante), los rayos X se producen por el frenado o deflexión de electrones libres que atraviesan un campo eléctrico intenso. Los rayos gamma, cuyos efectos son similares a los de los rayos X, se producen por transiciones de energía en el interior de núcleos excitados.

Los rayos X se producen siempre que se bombardea un objeto material con electrones de alta velocidad. Gran parte de la energía de los electrones se pierde en forma de calor; el resto produce rayos X al provocar cambios en los átomos del blanco como resultado del impacto. Los rayos X emitidos no pueden tener una energía mayor que la energía cinética de los electrones que los producen. La radiación emitida no es monocromática, sino que se compone de una amplia gama de longitudes de onda, con un marcado límite inferior que corresponde a la energía máxima de los electrones empleados para el bombardeo. Este espectro continuo se denomina a veces con el término alemán *bremssstrahlung*, que significa 'radiación de frenado', y es independiente de la naturaleza del blanco.



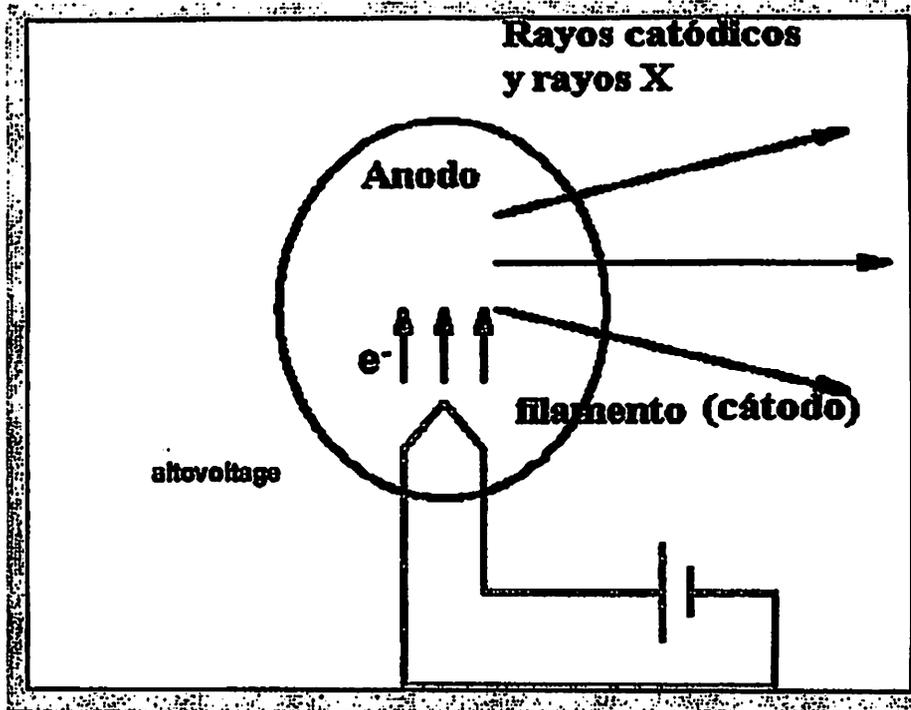
Si se analizan los rayos X emitidos con un espectrómetro de rayos X, se encuentran ciertas líneas definidas superpuestas sobre el espectro continuo; estas líneas, conocidas como rayos X característicos, corresponden a longitudes de onda que dependen exclusivamente de la estructura de los átomos del blanco. En otras palabras, un electrón de alta velocidad que choca contra el blanco puede hacer dos cosas: inducir la emisión de rayos X de cualquier energía menor que su energía cinética o provocar la emisión de rayos X de energías determinadas, que dependen de la naturaleza de los átomos del blanco.

### 2.3 PRODUCCIÓN DE RAYOS X

Los rayos x son producto de la desaceleración rápida de electrones muy energéticos (del orden 1000eV) al chocar con un blanco metálico. Según la mecánica clásica, una carga acelerada emite radiación electromagnética, de este modo, el choque produce un espectro continuo de rayos x (a partir de cierta longitud de onda mínima). Sin embargo experimentalmente, además de este espectro continuo, se encuentran líneas características para cada material. Estos espectros se denominan continuos y característicos respectivamente.

La producción de rayos x se da en un tubo de rayos x que puede variar dependiendo de la fuente de electrones y puede ser de dos clases: tubos con filamento o tubos con gas.

El tubo con filamento es un tubo de vidrio al vacío en el cual se encuentran dos electrodos en sus extremos. El cátodo es un filamento caliente de tungsteno y el ánodo es un bloque de cobre en el cual está inmerso el blanco. El ánodo es refrigerado continuamente mediante la circulación de agua, pues la energía de los electrones al ser golpeados con el blanco, es transformada en energía térmica en un gran porcentaje. Los electrones generados en el cátodo son enfocados hacia un punto en el blanco (que por lo general posee una inclinación de 45°) y producto de la colisión los rayos x son generados. Finalmente el tubo de rayos x posee una ventana la cual es transparente a este tipo de radiación elaborada en berilio, aluminio o mica.



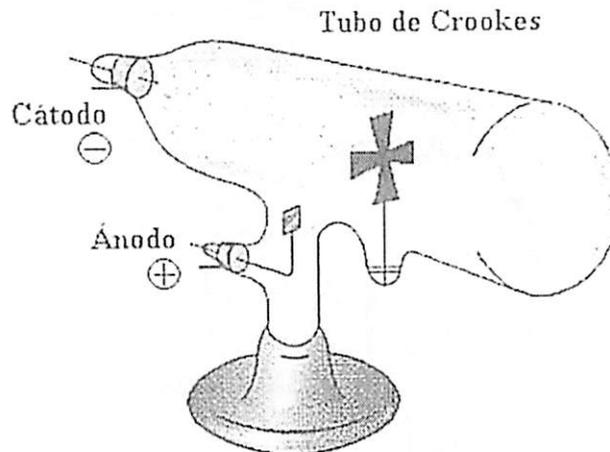
El tubo con gas se encuentra a una presión de aproximadamente 0.01 mmHg y es controlada mediante una válvula; posee un cátodo de aluminio cóncavo, el cual permite enfocar los electrones, y un ánodo. Las partículas ionizadas de nitrógeno y oxígeno, presentes en el tubo, son atraídas hacia el cátodo y ánodo. Los iones positivos son atraídos hacia el cátodo e inyectan electrones a este. Posteriormente los electrones son acelerados hacia el ánodo (que contiene al blanco) a altas energías para luego producir rayos x. El mecanismo de refrigeración y la ventana son los mismos que se encuentran en el tubo con filamento.

Los sistemas de detección más usuales son las películas Fotográficas y los dispositivos de ionización.

La emulsión de las películas fotográficas varía dependiendo de la longitud de onda a la cual se quiera exponer. La sensibilidad de la película es determinada por el coeficiente de absorción másico y es restringida a un rango de líneas espectrales. La desventaja que presentan estas películas es, por su naturaleza granizada, la imposibilidad de un análisis detallado pues no permite una resolución grande.

Los dispositivos de ionización miden la cantidad de ionización de un gas producto de la interacción con rayos x. En una cámara de ionización, los iones negativos son atraídos hacia el ánodo y los iones positivos hacia el cátodo, generando corriente en un circuito externo. La relación entre la cantidad de corriente producida y la intensidad de la radiación son proporcionales, así que se puede realizar una estimación de la cantidad de fotones de rayos x por unidad de tiempo. Los contadores que utilizan este principio son el contador Geiger, el contador Proporcional y el contador de destellos. La diferencia entre ellos es la amplificación de la señal y la sensibilidad del detector.

El primer tubo de rayos X fue el tubo de Crookes, llamado así en honor a su inventor, el químico y físico británico William Crookes; se trata de una ampolla de vidrio bajo vacío parcial con dos electrodos. Cuando una corriente eléctrica pasa por un tubo de Crookes, el gas residual que contiene se ioniza, y los iones positivos golpean el cátodo y expulsan electrones del mismo. Estos electrones, que forman un haz de rayos catódicos, bombardean las paredes de vidrio del tubo y producen rayos X. Estos tubos sólo generan rayos X blandos, de baja energía.



Un primer perfeccionamiento del tubo de rayos X fue la introducción de un cátodo curvo para concentrar el haz de electrones sobre un blanco de metal pesado, llamado anticátodo o ánodo. Este tipo de tubos genera rayos más duros, con menor longitud de onda y mayor energía que los del tubo de Crookes original; sin embargo, su funcionamiento es errático porque la producción de rayos X depende de la presión del gas en el tubo.

La siguiente gran mejora la llevó a cabo en 1913 el físico estadounidense William David Coolidge. El tubo de Coolidge tiene un vacío muy alto y contiene un filamento calentado y un blanco. Esencialmente, es un tubo de vacío termoiónico en el que el cátodo emite electrones al ser calentado por una corriente auxiliar, y no al ser golpeado por iones, como ocurría en los anteriores tipos de tubos. Los electrones emitidos por el cátodo calentado se aceleran mediante la aplicación de una alta tensión entre los dos electrodos del tubo. Al aumentar la tensión disminuye la longitud de onda mínima de la radiación.

La mayoría de los tubos de rayos X que se emplean en la actualidad son tubos de Coolidge modificados. Los tubos más grandes y potentes tienen anticátodos refrigerados por agua para impedir que se fundan por el bombardeo de electrones. El tubo antichoque, muy utilizado, es una modificación del tubo de Coolidge, con un mejor aislamiento de la carcasa (mediante aceite) y cables de alimentación conectados a tierra. Los aparatos como el betatrón se emplean para producir rayos X muy duros, de longitud de onda menor que la de los rayos gamma emitidos por elementos naturalmente radiactivos.

#### Rayos X con nanotubos de carbon

Un equipo de científicos de la Universidad de North Carolina y Xintek ha inventado un nuevo aparato para hacer radiografías basado en nanotubos de carbón. El nuevo sistema emite un rayo de rayos x compuesto de múltiples rayos más pequeños mientras que se queda parado. Así, el aparato puede crear imágenes de objetos desde numerosos ángulos distintos sin ningún tipo de movimiento mecánico lo que representa una gran ventaja ya que supone un aumento en la velocidad de imagen, una reducción en el tamaño del aparato, y menos costes de mantenimiento.

Según los científicos, este nuevo avance en la aplicación de nanotecnología a aparatos de rayos x podría llevar al desarrollo de sistemas de imágenes de rayos X más pequeños y más rápidos para las máquinas de rayos X en aeropuertos y para los que se utilizan para lograr imágenes tomográficas en medicina, como por ejemplo las tomografías computarizadas.

Los científicos creen que esto supone un gran avance, ya que si los resultados siguen siendo positivos, con el uso de nanotubos de carbón se podrán fabricar escáners con una mayor capacidad cuya fabricación costará menos y que gastarán menos energía.

Este equipo demostró hace cinco años que se podría utilizar nanotubos de carbón como fuente de rayos X y recibió su primer patente en 2000. Antes de estos resultados, el diseño convencional de tubos de rayos X no había cambiado durante más de un siglo.

La tecnología de rayos X con nanotubos permite que el aparato pueda funcionar a temperatura ambiental sin requerir los 1.000 grados Celsius que son necesarios para que funcionen las fuentes convencionales. Otra ventaja sobre las máquinas tradicionales es que se puede utilizar esta tecnología para cámaras de rayos X de alta velocidad para captar imágenes claras de objetos que se mueven a gran velocidad.

## 2.4 PROPIEDADES DE LOS RAYOS X

Los rayos X afectan a una emulsión fotográfica del mismo modo que lo hace la luz. La absorción de rayos X por una sustancia depende de su densidad y masa atómica. Cuanto menor sea la masa atómica del material, más transparente será a los rayos X de una longitud de onda determinada.

Cuando se irradia el cuerpo humano con rayos X, los huesos —compuestos de elementos con mayor masa atómica que los tejidos circundantes— absorben la radiación con más eficacia, por lo que producen sombras más oscuras sobre una placa fotográfica. En la actualidad se utiliza radiación de neutrones para algunos tipos de radiografía, y los resultados son casi los inversos.

Los objetos que producen sombras oscuras en una imagen de rayos X aparecen casi siempre claros en una radiografía de neutrones.

## 2.5 FLUORESCENCIA

La fluorescencia es la propiedad de una sustancia para emitir luz cuando es expuesta a radiaciones del tipo ultravioleta, rayos catódicos o rayos X. Las radiaciones absorbidas (invisibles al ojo humano), son transformadas en luz visible, o sea, de una longitud de onda mayor a la incidente.

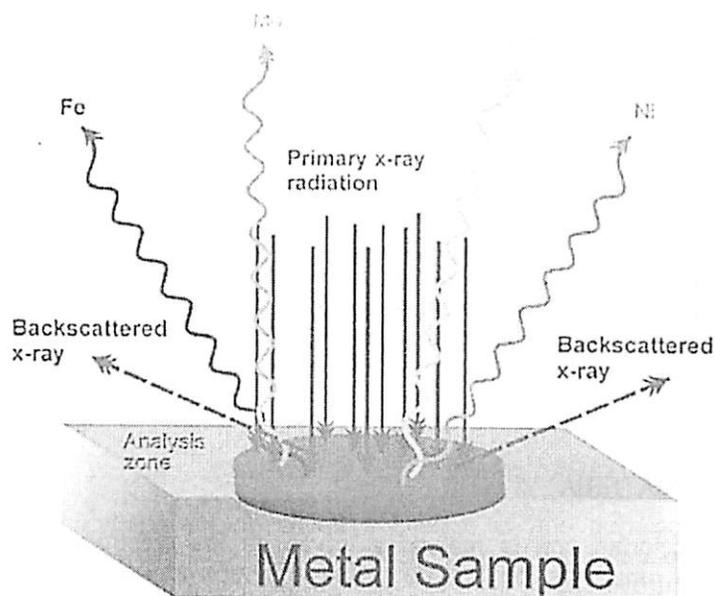
En el proceso, una molécula absorbe un fotón de alta energía, el cual es emitido como un fotón de baja energía (mayor longitud de onda). La diferencia de energía entre la absorción y la emisión, es disipada como calor (vibraciones moleculares). Todo el proceso es muy corto (millonésimas de segundo) y este tiempo es la principal diferencia con otro conocido fenómeno luminoso, la fosforescencia.

Las sustancias que producen este tipo de radiación se denominan fluoritas, mientras que el fenómeno en sí mismo, se debe a la presencia de materia orgánica o de iones de tierras raras.

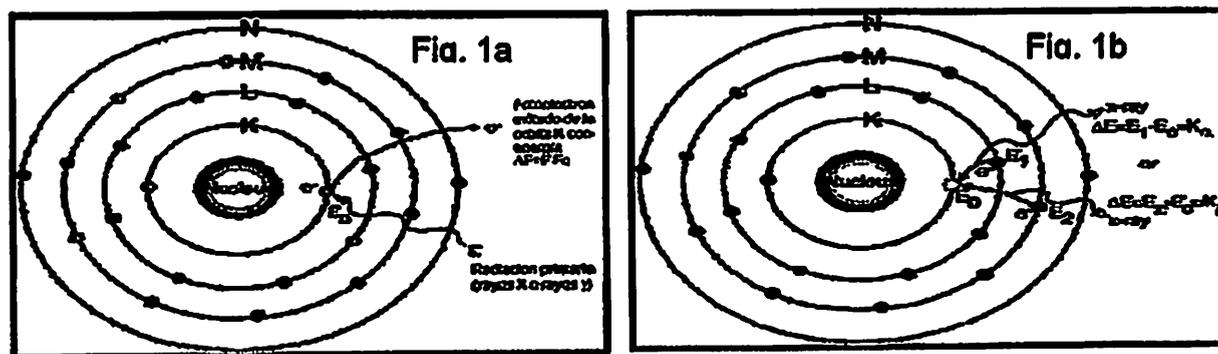
Los rayos X también producen fluorescencia en determinados materiales, como el platinocianuro de bario o el sulfuro de cinc. Si se sustituye la película fotográfica por uno de estos materiales fluorescentes, puede observarse directamente la estructura interna de objetos opacos. Esta técnica se conoce como fluoroscopia.

### Fluorescencia de rayos X por energía dispersiva

La fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDXRF) es una técnica de muestreo versátil, rápida y no destructiva relativamente nueva, que reconoce un gran número de elementos químicos (no compuestos químicos) y presenta los resultados en tiempo real, permitiendo decidir la necesidad de muestreo adicional ante resultados analíticos no concluyentes. Logra alcanzar unos límites de detección de hasta 0.002% (20 ppm).



La técnica EDXRF utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X que se genera al excitar una muestra con una fuente emisora de rayos X. La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. Entonces, los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones: la llamada radiación X fluorescente o secundaria. Esta radiación de fluorescencia es característica para cada elemento químico. Por lo tanto, es posible identificar un elemento dentro del espectro de la muestra si se conoce la longitud de onda. La concentración de cada elemento se detecta midiendo la intensidad de la energía asociada a cada transición de electrones. Es decir, la salida de un análisis EDXRF es un espectro que muestra la intensidad de radiación en función de la energía.



Esquema de foto efecto en el átomo de titanio. (a) Generación de hueco en la órbita K del átomo; (b) Emisión de fotones por el átomo en la capa K $\alpha$  y K $\beta$

Esta característica de los Rayos X puede recogerse mediante receptores o diodos fotoeléctricos y procesarse mediante un adecuado programa informático que interpreta la longitud de onda recibida y la convierte nuevamente en colores visibles al ojo humano, igualmente también interpreta la cantidad de energía recibida durante la exploración, cuantificando así la muestra.

Como ya hemos estudiado que cada elemento químico posee una longitud de onda específica, que corresponde a un color y tonalidad determinados, se podrá, de esta manera identificar la muestra que se está explorando.

## 2.6 IONIZACIÓN

La ionización es el proceso químico o físico mediante el cual se producen iones, estos son átomos o moléculas cargadas eléctricamente debido al exceso o falta de electrones respecto a un átomo o molécula neutra. A la especie química con más electrones que el átomo o molécula neutra se le llama anión, y posee una carga neta negativa, y a la que tiene menos electrones catión, teniendo una carga neta positiva.

Otra característica importante de los rayos X es su poder de ionización, que depende de su longitud de onda. La capacidad de ionización de los rayos X monocromáticos es directamente proporcional a su energía. Esta propiedad proporciona un método para medir la energía de los rayos X. Cuando se hacen pasar rayos X por una cámara de ionización se produce una corriente eléctrica proporcional a la energía del haz incidente. Además de la cámara de ionización, otros aparatos más sensibles como el contador Geiger o el contador de centelleo también miden la energía de los rayos X a partir de la ionización que provocan. Por otra parte, la capacidad ionizante de los rayos X hace que su trayectoria pueda visualizarse en una cámara de niebla o de burbujas.

## 2.7 INTERACCIÓN CON LA MATERIA

Los rayos X interactúan con la materia a través de los electrones que la forman. Un haz *monocromático* (es decir, de una sola longitud de onda) sufre una atenuación de carácter exponencial, proporcional al espesor que atraviesa.

La atenuación procede de varios factores:

- a) el cuerpo se calienta
- b) se produce *radiación fluorescente* de longitud de onda distinta y acompañada de fotoelectrones, ambos característicos del material (esto da lugar a las espectroscopias de foto-electrones).
- c) rayos X dispersados de igual o ligeramente superior longitudes de onda, más los correspondientes electrones dispersados.

De todos los efectos, el fundamental es la fluorescencia, en la que la absorción aumenta con la longitud de onda incidente, pero presenta discontinuidades (*dispersión anómala*) para aquellas energías que corresponden a transiciones electrónicas entre los niveles del material (esto da lugar a las espectroscopias EXAFS).

Cuando los rayos x interactúan con la materia, estos pueden ser en parte absorbidos y en parte transmitidos. Esta característica es aprovechada en medicina al realizar radiografías.

Los rayos X pasan a través de las estructuras del cuerpo hasta unas placas especialmente tratadas (parecidas a una película fotográfica) o medios digitales y se hace una foto tipo "negativo" (cuanto más sólida es la estructura, más blanca aparece en la placa).

Cuando el cuerpo se somete a los rayos X, diferentes partes del cuerpo permiten que pasen cantidades variables de rayos X a través de ellas. Los tejidos blandos del cuerpo (como la sangre, la piel, la grasa y el músculo) permiten que la mayoría de los rayos X los atraviesen y aparecen en gris oscuro en la placa o medios digitales. Un hueso o tumor, que es más denso que los tejidos blandos, permite que pasen menos rayos X a través de él y aparece en color blanco en la placa. En una fractura de un hueso, el haz de rayos X pasa a través de la zona rota y aparece como una línea negra en el hueso blanco.

## 2.8 EQUIPOS DE RAYOS X:

La función del aparato de rayos x consiste en proporcionar una intensidad suficiente y controlada del flujo de electrones para producir un haz de rayos x con la cantidad y calidad deseadas.

Los aparatos de rayos x para la inspección de objetos se presentan en diferentes tamaños y formas, según el espectro de la energía que disipe y la diversidad de la exploración a realizar.

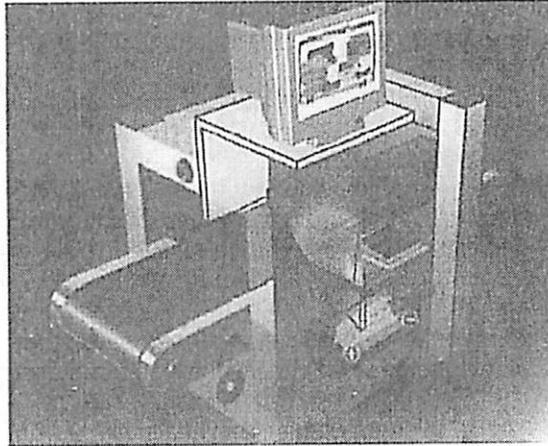
Existen dos equipos básicos para trabajar en condiciones de grafía o escopia. Se habla de grafía cuando el procedimiento utilizado da lugar a la obtención de una imagen estática, mientras que en escopia la imagen es dinámica.

En condiciones de grafía, dichos aparatos suelen trabajar a tensiones máximas de operación, o tensión de pico, entre 25 y 150 kVp (kilovots de tensión de pico), y a corrientes en el tubo de 25 a 1200 mA con unos tiempos de exploración muy cortos, del orden de décimas de segundos.

En condiciones de escopia las tensiones son algo inferiores, hasta 105 kVp, la corriente en el tubo puede oscilar entre 0,1 y 4 mA, y los tiempos de radiación pueden ser muy variables en función del tipo de exploración.

Cualquier equipo de rayos x, independientemente de su diseño, consta de tres partes principales que son:

- Tubo de rayos x.
- Consola de control.
- Generador de alta tensión.



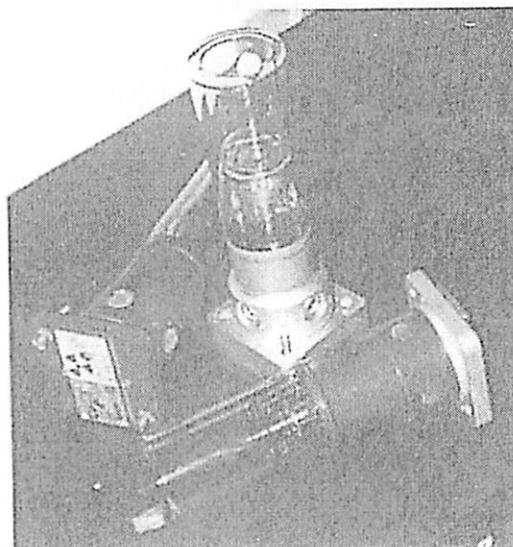
### 2.8.1. TUBO DE RAYOS X:

La producción de rayos x se da en un tubo de rayos x que puede variar dependiendo de la fuente de electrones y puede ser de dos clases: tubos con filamento o tubos con gas.

El tubo está contenido dentro de una estructura de protección que lo hace inaccesible. Constando de dos partes principales, que son el cátodo y el ánodo. Tanto el uno como el otro son electrodos y cualquier tubo con dos electrodos recibe el nombre de diodo. Un tubo de rayos x es un tipo especial de diodo.

El tubo con filamento es un tubo de vidrio al vacío en el cual se encuentran dos electrodos en sus extremos. El cátodo es un filamento caliente de tungsteno y el ánodo es un bloque de cobre en el cual está inmerso el blanco. El ánodo es refrigerado continuamente mediante la circulación de agua, pues la energía de los electrones al ser golpeados con el blanco, es transformada en energía térmica en un gran porcentaje. Los electrones generados en el cátodo son enfocados hacia un punto en el blanco (que por lo general posee una inclinación de  $45^\circ$ ) y producto de la colisión los rayos x son generados. Finalmente el tubo de rayos x posee una ventana la cual es transparente a este tipo de radiación elaborada en berilio, aluminio o mica.

El tubo con gas se encuentra a una presión de aproximadamente 0.01 mmHg y es controlada mediante una válvula; posee un cátodo de aluminio cóncavo, el cual permite enfocar los electrones y un ánodo. Las partículas ionizadas de nitrógeno y oxígeno, presentes en el tubo, son atraídas hacia el cátodo y ánodo. Los iones positivos son atraídos hacia el cátodo e inyectan electrones a este. Posteriormente los electrones son acelerados hacia el ánodo (que contiene al blanco) a altas energías para luego producir rayos x. El mecanismo de refrigeración y la ventana son los mismos que se encuentran en el tubo con filamento.



Tubos convencionales de rayos X que se utilizan en los laboratorios de Cristalografía

El tubo de vidrio al vacío está rodeado por un blindaje metálico que contiene plomo y hace la función de barrera primaria para absorber rayos X que no estén orientados hacia la ventana de salida.

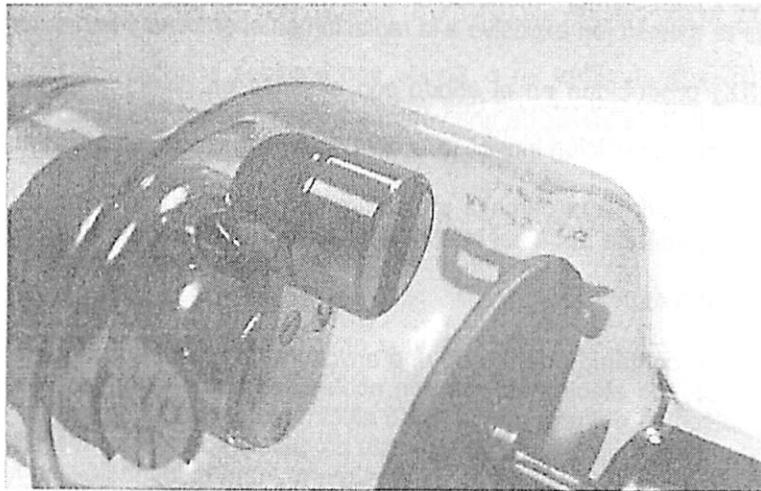
Dicho blindaje tiene una ventana de material radio transparente, justamente debajo del ánodo, que posibilita la salida de los rayos X útiles a través de una ventana.

Entre el blindaje metálico y el tubo de vidrio hay un aceite muy refinado que cumple tres misiones: servir de aislador eléctrico, conducir el calor y hacer las veces de filtro (con un valor equivalente a 0.5 mm de Aluminio) contra los rayos X blandos. La presencia del aceite impide que el tubo de rayos X produzca descargas eléctricas.

Durante la generación de rayos X se producen enormes cantidades de calor, que se disipan desde las conexiones del ánodo, (fuera del tubo de vidrio) hacia el blindaje metálico, y finalmente hacia el aire.

Hay huecos para filtros adicionales en el mismo blindaje, donde hoy en día en los tubos modernos se instala un colimador.

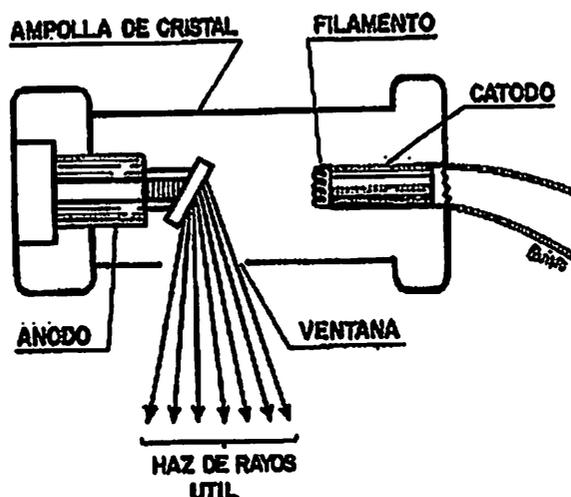
Un colimador es un tubo que hace de obstáculo, oponiéndose a la salida y dejando pasar sólo rayos útiles, es decir aquellos que son paralelos. Encauza los rayos hacia delante, o lo que es lo mismo, los dirige en dirección paralela y hace que no sean divergentes.



Colimador, es la pieza metálica (níquel) cuya rendija enfoca los electrones al ánodo.

Los elementos principales de un tubo de rayos x son los siguientes:

- Coraza protectora.
- Ampolla de cristal.
- Cátodo.
- Ánodo.



### 2.8.1.1 CORAZA PROTECTORA:

El tubo de rayos x está siempre montado en el interior de una carcasa protectora forrada de plomo y diseñada para controlar la exposición excesiva a la radiación en el entorno y la descarga eléctrica.

Los rayos x (RX) producidos en el ánodo son emitidos en diversos sentidos, pero sólo interesa aprovechar el haz que se emite a través de una ventana y que se denomina haz útil. El resto son absorbidos por la carcasa, evitando una exposición innecesaria del personal que este en las inmediaciones.

La radiación que atraviesa la carcasa protectora se denomina radiación de fuga. La radiación de fuga de una carcasa bien diseñada debe ser inferior a las dictadas por las normas de seguridad.

### 2.8.1.2 AMPOLLA DE CRISTAL:

El tubo de RX está contenido dentro de una envoltura de cristal en la que se practica el vacío. De existir gas dentro del tubo, los electrones que son acelerados hacia el ánodo, que constituye el blanco, chocarían contra las moléculas del gas produciendo electrones secundarios, que a su vez también serían acelerados hacia dicho electrodo. Es evidente que esta producción de electrones secundarios no puede ser controlada y su presencia implica un aumento en el número y una disminución en la energía media de los electrones que inciden sobre el ánodo. Todo esto tiene como última consecuencia variaciones en la corriente del tubo y en la energía de los RX producidos. La función del vacío en un tubo es permitir que el número y velocidad de los electrones acelerados pueda controlarse independientemente.

Habitualmente esta ampolla es de material pyrex para que pueda resistir la elevada temperatura que se genera en la producción de los RX. Un avance reciente incorpora metal en vez de vidrio como parte de la envoltura o para toda ella, lo que permite mantener un potencial eléctrico constante entre los electrones de la corriente del tubo y la envoltura, alargando la vida.

La ventana del tubo es un segmento de la envoltura de cristal de unos 5 cm<sup>2</sup> y contiene una sección fina de cristal a través de la que se permite el haz útil de RX.

### 2.8.1.3 CATODO:

Es el electrodo negativo de un tubo de RX y consta de dos partes principales: filamento y copa focalizadora.

El filamento es un alambre de tungsteno arrollado en una espiral de unos 2 mm de diámetro y de 1 a 2 cm de longitud. Cuando la corriente eléctrica pasa por el filamento, éste se calienta y emite electrones, denominándose este fenómeno emisión termiónica.

Los filamentos suelen construirse de tungsteno toriado, ya que el tungsteno proporciona una emisión termiónica mayor que otros metales. Su punto de fusión es de 3410° C, y por tanto es difícil que se fusione o volatilice como consecuencia del calentamiento. La adicción de un 1 a 2% de torio al hilo se incrementa la eficacia de la emisión y prolonga la vida del tubo.

La copa focalizadora es la cavidad metálica donde el filamento está alojado, se encuentra cargada negativamente con el fin de compensar la repulsión mutua de los electrones y de evitar la dispersión del haz de electrones, provocando su concentración.

#### 2.8.1.4 CORRIENTE DEL FILAMENTO:

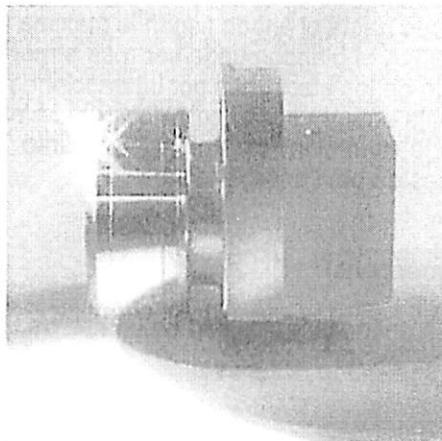
Cuando se conecta la máquina de RX, empieza a circular por el Filamento una corriente de baja intensidad que calienta al cátodo, y empieza a prepararlo para la emisión termoiónica necesaria para la producción de RX. Mientras la corriente sea de baja intensidad no habrá circulación de ningún electrón por el tubo, por no haberse alcanzado la temperatura suficiente para realizar la emisión.

Una vez que la corriente del filamento sea lo bastante elevada como para permitir la citada emisión, un aumento de dicha corriente dará lugar a un gran aumento de la corriente del tubo. La radiación existente entre la intensidad de la corriente en el filamento y en el tubo dependen del voltaje. La corriente del tubo de RX se ajusta controlando la corriente del filamento.

#### 2.8.1.5 ÁNODO:

Es el electrodo positivo del tubo de RX. Existen dos tipos de ánodos: estacionarios y rotatorios. El estacionario se utiliza en aparatos fijos y portátiles que no requieran una excesiva potencia, y el rotatorio donde se necesite una gran potencia; es decir una alta intensidad en un tiempo muy breve.

Cuando los electrones chocan contra el ánodo, más del 99% de su energía cinética se convierte en calor, que debe ser eliminado rápidamente antes de que pueda fundirlo. Por su buena conductividad el material más utilizado es el cobre.



Ánodo rotatorio de cobre pulido

#### 2.8.1.6 BLANCO:

Es el área del ánodo donde inciden los electrones procedentes del cátodo para dar lugar a la emisión de RX. En los ánodos fijos, el blanco es una zona de tungsteno incrustada en el ánodo de cobre, en los giratorios el disco entero es el blanco.

#### 2.8.1.7 MANCHA FOCAL

La mancha focal es el área del blanco desde la cual son emitidos los RX, y por tanto constituyen la fuente de radiación.

#### 2.8.2 CONSOLA DE CONTROL

La consola de control es donde se encuentra el teclado que permite manipular al usuario todas las variables posibles, que ofrece la máquina para obtener una mejor visualización del objeto a analizar. Los equipos fijos actuales tienen la gran ventaja de no tener que estar ajustando los parámetros de tensión, corriente y corte de exposición, puesto que el propio aparato la realiza automáticamente.

De lo dicho anteriormente se exceptúan ciertos equipos portátiles que para su manejo es necesario controlar la tensión y la corriente del tubo, así como el tiempo de exposición para obtener una imagen de buena calidad.

### 2.8.3 GENERADOR DE ALTA TENSION

Es el responsable de convertir la baja tensión suministrada por la compañía eléctrica en alta tensión con la forma de la onda apropiada. Contiene tres partes principales: transformador elevador de alta tensión, transformador de filamento y rectificadores.

Hay que tener en cuenta que aunque los transformadores operan con corriente alterna. Los tubos de RX funcionan en régimen de corriente continua. Dado que el flujo de electrones debe producirse en la dirección cátodo-ánodo, se hace necesario rectificar la tensión una vez elevada en el transformador de alta tensión.

### 2.9 ESPECTRO DE RAYOS X

La forma general del espectro de RX continuo es la misma para todos los aparatos de RX. La energía máxima que puede tener un rayo X es numéricamente igual a la tensión de pico de operación expresada en kV, de ahí la denominación kVp (pico o máximo). La mayoría de fotones se emiten con energía que puede considerarse aproximadamente igual a la tercera parte de la energía fotónica máxima.

Existen cuatro factores que influyen en la forma de un espectro de emisión de RX, siendo los siguientes:

1. Según el tipo de rectificación y de circuito de alta tensión tenemos que no todos los electrones acelerados desde el cátodo hasta el ánodo tienen la máxima energía cinética.
2. Según el tipo de tubo de RX el blanco puede ser más o menos grueso provocando en mayor o menor medida un frenado de los electrones por interacciones múltiples.
3. Si son emitidos RX de baja energía son absorbidos por el blanco.
4. Casi siempre se añade filtración externa al conjunto del tubo de RX para eliminar selectivamente los fotones de baja energía.

### 2.10 INTENSIDAD DE RX (mR: miliroengens)

En la aplicación de los RX se define la intensidad de un haz de RX como el producto del número de fotones generado en el haz por la energía de cada fotón.

### 2.11 CALIDAD DE RX

Si se aumenta la energía máxima del haz de RX, también se incrementa su penetración. La penetración se refiere a la capacidad del haz para introducirse en la materia, los haces de alta energía penetran mucho más que los de baja energía. La capacidad de penetración de un haz de RX se denomina calidad de RX.

### 2.12 SISTEMA RECEPTOR DE IMAGEN

El objetivo principal de los aparatos y técnicas radiológicas es transferir información desde el haz de RX hasta el complejo ojo-cerebro. Al sistema de imagen le llegan los RX que atraviesan el objeto sin interaccionar y las que han sido dispersadas por el objeto. El medio que transforma el haz de rayos X en imagen visible se denomina receptor de imagen.

### 2.13 LOS SISTEMAS DE INSPECCION POR RAYOS X

Desde su creación los aparatos de RX han tenido su principal y único empleo en labores médicas, y aunque se había experimentado una utilidad en tareas de seguridad no surge con fuerza esta idea hasta los años setenta, después de la aparición del fenómeno terrorista, que se aprovecha de las débiles medidas de seguridad en el control de paquetes y maletas en los aeropuertos para conseguir introducir artefactos

explosivos y armas en el interior de aviones comerciales. En ocasiones la tripulación y el pasaje sufrían las consecuencias de un secuestro o lo que era peor una explosión en el aire del propio aparato. Todos estos actos violentos creaban una publicidad a la organización terrorista responsable. Siendo tarea imposible por la pérdida de tiempo que acarrea en el tráfico aéreo, el poder comprobar las continuas llamadas de amenazas de bomba en los distintos vuelos.

Por tanto los primeros equipos de RX se empiezan a montar en aeropuertos ante la necesidad de controlar el interior de todas las maletas y paquetes que vallan a embarcarse en aviones comerciales.

Ante el positivo resultado habido en el empleo de equipos de inspección en los aeropuertos, con el tiempo se ha ido trasladando la idea a otros estamentos y empresas necesitadas de un elemento en el control de maletas o paquetes susceptibles de poseer elementos peligrosos.

Fruto de la constante demanda de aparatos de inspección por parte de aeropuertos, correos, ministerios, etc., ha animado a los fabricantes a un continuo avance tecnológico con la premisa de mejorar los equipos y adecuarlos a las necesidades específicas de los clientes.

A lo largo de todo este tiempo se puede hablar de que las empresas fabricantes de los equipos de inspección por RX para la comprobación de maletas y paquetes han creado máquinas más avanzadas y precisas, siendo posible hoy diferenciar claramente su desarrollo hablando de cinco diferentes generaciones.

## 2.14 EQUIPOS DE LA PRIMERA GENERACION

Los equipos de la primera generación se caracterizan por el empleo de una pantalla fluoroscópica para transformar la emisión de RX en una imagen visible para el ojo humano.

En un principio los RX se descubrieron por su capacidad de producir fluorescencia, lo que dio, paso en un principio, a un mayor empleo de esta técnica para la inspección de objetos. Posteriormente, con el refinamiento de la técnica, su uso fue limitándose al área médica, concretamente en el estudio de imágenes dinámicas propias de líquidos internos del cuerpo de un paciente.

Constan de las partes principales de un equipo de RX que como hemos visto son: el tubo o generador de rayos x, el generador de alta tensión, y la consola de control de la máquina.

En un compartimiento que posee el equipo que, protege de la radiación se deposita el objeto a revisar. Mediante un pulsador se acciona el generador de rayos X, produciendo un haz de RX que sensibilizan una pantalla fluoroscópica. La imagen creada puede verse a través de un visor de cristal después de haber rebotado en un espejo instalado para tal efecto.

La fluoroscopia convencional presenta las siguientes limitaciones:

1. Calidad pobre de la imagen.
2. Escasa intensidad de luz para la visión diurna.
3. Elevada dosis recibida por el explorador.

## 2.15 EQUIPOS DE LA SEGUNDA GENERACION

En su día representa un gran avance en los sistemas de inspección de objetos, puesto que se suprimía los defectos más importantes de los equipos de la primera generación y tenía múltiples ventajas como son:

- Un menor tiempo de emisión de RX sobre el objeto a inspeccionar.
- La imagen captada puede mantenerse en la pantalla el tiempo preciso sin necesidad que el generador de RX este emitiendo constantemente.
- El operador visiona las imágenes grabadas en un monitor.
- El empleo de la cinta transportadora facilita que el operador preste mayor atención al contenido de los objetos que a la propia manipulación de los mismos.

La exploración se realiza depositando el objeto en una cinta transportadora, que se encarga de trasladarlo dentro del túnel de inspección, donde una emisión de rayos X en forma de flash, no de flujo constante como era habitual en los equipos de primera generación, es captada por un intensificador de imagen que lleva acoplado a la salida un sistema óptico la imagen es grabada en una memoria de la placa, y de hay se extrae durante el tiempo que se necesite para proceder a visionarla en un monitor de televisión.

Esta segunda generación de equipos de RX se debió principalmente a la evolución tecnológica de la fluoroscopia convencional, que llega en la década de los cincuenta con el desarrollo del intensificador de imagen.

Actualmente las técnicas de escopia se realizan con intensificador de imagen y en España el uso de un fluoroscopio clásico es muy restringido.

El tubo intensificador de imagen se encuentra en el interior de una envoltura de vidrio que, además de proporcionar resistencia estructural, mantiene el vacío en su interior. Al instalarlo se manto dentro de un armazón metálico para protegerlo y evitar su rotura.

Los elementos principales son:

1. Elemento de entrada y foto cátodo.
2. Lentes electrostáticas.
3. Ánodo.
4. Elemento fluorescente de salida.

## 2.16 EQUIPOS DE LA TERCERA GENERACION

En esta función de los equipos de la tercera generación se emplea el principio de "scanning", que consiste en que el generador de rayos X emita un haz plano y sumamente delgado cuando el objeto se encuentra localizado en la zona central del túnel. El haz plano de energía de rayos X explora de forma laminar cada sección del bulto siendo recogida la información por una línea de diodos detectores que traducen, la mayor o menor absorción de rayos x por el objeto, en señales eléctricas. La información línea a línea de los detectores es tratada electrónicamente, memorizada y agrupada en la pantalla de un monitor de televisión.

La generación de la imagen de rayos X se realiza según el método de exploración línea a línea, es decir, el objeto a comprobar se hace pasar por una línea de detectores mediante una cinta transportadora.

La línea transportadora está compuesta por fotodiodos individuales, dispuestos en línea. Esta hilera de detectores está compuesta por el escintilador que convierte la radiación en luz visible y por un fotodiodo semiconductor, que a su vez convierte la luz del escintilador en una señal eléctrica.

Debido a la especial estructuración del escintilador, se consigue un rendimiento muy bueno en la conversión de las radiaciones en luz. La radiación es prácticamente absorbida en el escintilador por lo que los fotodiodos quedan protegidos de los rayos X.

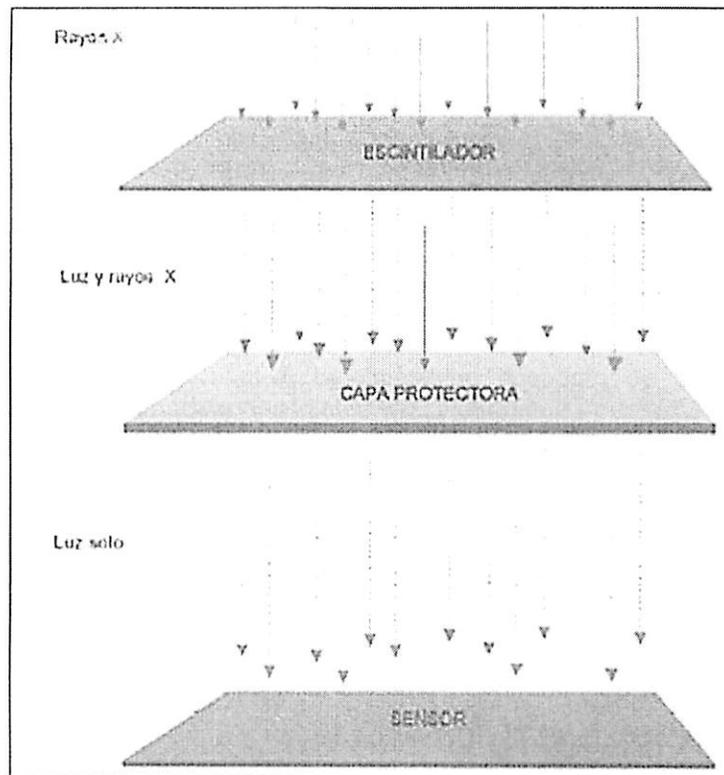


Fig. 1. Estructura de un captador de radiología digital directa.

Las tensiones de salida de los elementos detectores son medidas en secuencias rápidas, convertidas en señales digitales y grabadas en forma de columna en una memoria de imagen digital.

La memoria digital es leída línea a línea ininterrumpidamente y después de la conversión analógica digital genera sobre el monitor de vídeo una imagen.

El proceso de lectura de la memoria se gobierna de forma que mediante cambios de direccionamiento, después de cada semicuarto se origine un paso de imagen en dirección horizontal correspondiente al movimiento del bulto.

Las zonas de sombra que se tiene en aquellos bultos que ocupan totalmente la zona de penetración del equipo, se han podido eliminar completamente gracias a una nueva disposición del generador y de la línea de detectores. El generador ya no radia de plano sobre el objeto si no que lo hace de forma diagonal, de esta manera la línea de detectores cubre la penetración de la radiación por dos lados. Las distorsiones geométricas debidas a la línea en ángulo se corrigen electrónicamente.

Estos equipos de tercera generación constan de unos circuitos de fotocélulas, con sus emisores y detectores de infrarrojos, se utilizan para detectar un objeto que entre en el campo de radiación en ambas direcciones. Disponiendo todos los equipos de dos fotocélulas.

Las fotocélulas están instaladas a cada lado de la cinta transportadora, estas detectarán objetos aproximándose a la ranura de radiación en ambos sentidos y proporciona una señal de que el objeto se encuentra presente.

Se debe prestar atención a los objetos situados en la cinta transportadora que tengan menos de unas 2,5 a 1 centímetros de altura, dependiendo del equipo suministrado, puede que no accione el haz de fotocélulas por lo que no habrá señal de equipo presente, no habrá emisión de rayos X y por consiguiente no tendremos imagen alguna en el monitor de televisión.

En estos casos se deben colocar los objetos en un contenedor a caja de plástico para que alcance la altura mínima aconsejada por el fabricante del equipo.

En algunos casos, los objetos que reflejan mucha luz, tipo aluminio, acero inoxidable, etc., pueden disparar las fotocélulas. Cuando sea posible, colocar tales elementos en contenedores o cajas de plástico que impidan el fenómeno aludido.

## 2.17 EQUIPOS DE LA CUARTA GENERACION

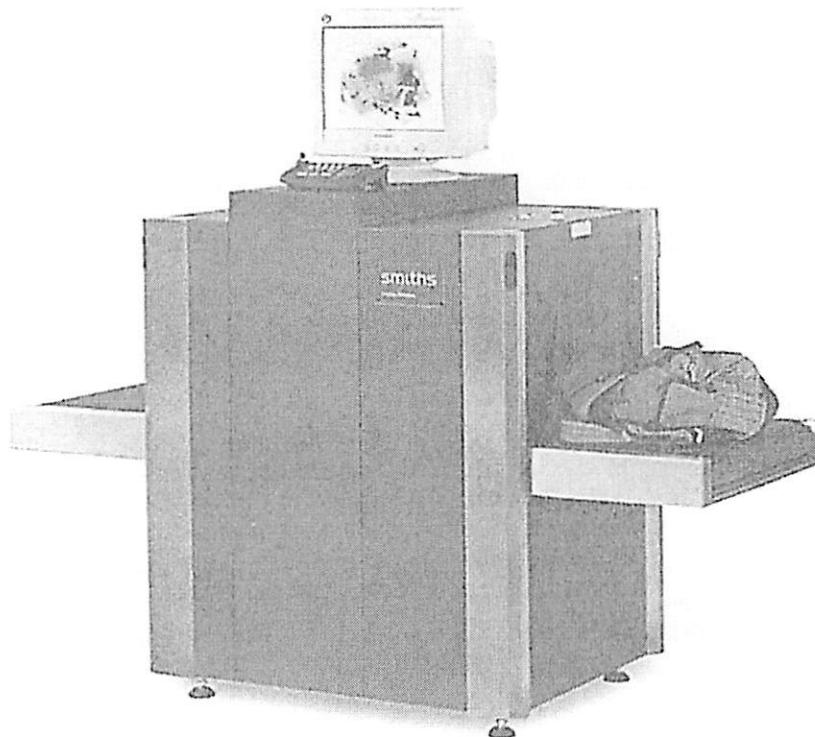
Podemos decir que esta cuarta generación surge con los sistemas que haciendo uso de la técnica digital, permite elegir la representación de la imagen en una gama de grises y en el caso del empleo del color, los tonos de los colores, que facilita considerablemente la identificación de las objetos sometidos a la inspección radiológica.

Cuando un objeto se reconoce empleando el método scanning, la imagen radioscópica es memorizada digitalmente, de forma que resulta posible la observación de la misma, aún cuando el objeto ya no se encuentre en el túnel del equipo. Ahora bien, la fuente de rayos X es la misma para inspeccionar todos los objetos, tanto si se trata de plásticos, papeles, metales como el hierro o el cobre, etc.

Aunque se haya elegido una fuente de rayos X la más apropiada posible para la finalidad que se persigue, si se presenta en la pantalla del monitor de televisión, el número de grises representados entre el blanco y el negro es de unos 16, debido a la propia limitación de la pantalla e incluso del propio ojo humano. Por otra parte, la memoria electrónica digital del equipo es capaz de memorizar las imágenes hasta con 256 grados de grises diferentes.

## 2.18 EQUIPOS DE LA QUINTA GENERACION

En la actualidad los equipos que tienen mejor aceptación son los llamados de la quinta generación. Tienen las posibilidades de la imagen en pseudo color, blanco y negro y el sistema multienergético de diferenciación de materias orgánicas e inorgánicas, además cuentan con funciones basadas en el procesamiento digital de la imagen, permitiendo diferenciar aún más las materias orgánicas, que frecuentemente los fabricantes la representan en color naranja, siendo posible elegir el peso atómico del elemento que se desea detectar en el monitor (función X-PLORE), de forma que los comentados ingredientes o materiales que coincidan con el peso atómico seleccionado se colorearán en color rojo.



Los equipos también disponen de la función de aviso de alta densidad (HIGH DENSITY ALERT). Mediante esta opción se advierte al operador en la pantalla del monitor, de los objetos con alta absorción de rayos X. Lo que ocurre al detectarse un material de un espesor mínimo dentro de un paquete, es que la cinta transportadora se detiene automáticamente quedando enmarcada en color rojo la zona densa de la imagen y se produce una señal acústica. Mediante las diferentes opciones del menú del supervisor puede programarse el umbral a partir del cual se producirá en pertinente aviso.

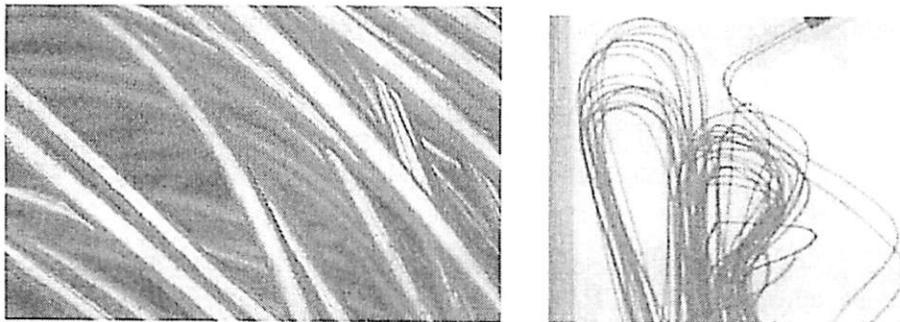
Si el aparato dispone de la opción DIGIREG, permite grabar digitalmente en el disco duro de la unidad central del ordenador personal, incorporado en el equipo y sin pérdida de calidad gráfica, de forma que posteriormente pueda visualizarse, para tratar la imagen si se quiere cotejar en futuras inspecciones o con fines de entrenamiento del personal responsable de la localización de materiales sospechosos.

Del mismo modo existe la posibilidad de que la imagen pueda ser integrada en un sistema centralizado de gestión y seguridad, de forma que la señal de alarma producida durante la inspección, sea transmitida a una centralita empleando una salida digital del dispositivo.

Asimismo dispone de la función HI-TOP que consiste en insertar de forma aleatoria y automática la visualización en pantalla de objetos sospechosos creados electrónicamente por el propio equipo, obligando al operador a su identificación, de forma que se consigue mantenerlo alerta, ya que quedan guardadas las estadísticas de aciertos y fallos.

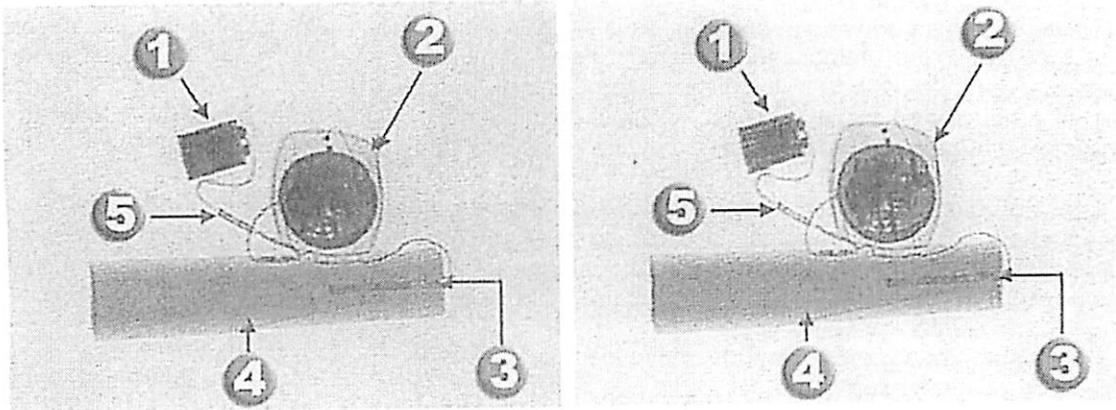
También los sistemas de esta quinta generación disponen de la función ZOOM con un mayor número de aumentos: x2, x4, x8 y hasta por x16. Para conseguir este efecto se ha dividido la pantalla en nueve sectores con los contornos superpuestos para evitar que líneas o zonas determinadas queden fuera de la ampliación. Las zonas a ampliar se eligen mediante las teclas de la consola de control, que están en correspondencia con las zonas de la pantalla del monitor.

Con la función de SUPER-REALCE cautivada se consigue una notable penetración en chapas de acero de hasta 25 milímetros de espesor. También realza los detalles finos, como pueden ser hilos metálicos.



Mediante el sistema de pseudo color HI-CAT se colorean los objetos inspeccionados de forma artificial en función de la capacidad que tengan para absorber los rayos X, obteniéndose que se destaquen los materiales extremadamente densos. Accediendo al menú principal del usuario punto 2 se puede seleccionar entre una paleta de nueve colores.

El sistema de pseudo color permite jugar al operador para apreciar diferencias entre objetos de similares densidades eligiendo la opción 2 de la paleta de colores o diferenciar mejor los de extremadamente alta densidad o baja densidad, escogiendo la opción 3 de la paleta de colores. Con la función de NEGATIVO (NEG) se consiguen unas imágenes, radiográficas que ofrecen invertidos los claros y oscuros, o los colores complementarios, de aquello que reproducen. Esta opción es útil para identificar finos cables y variados pequeños detalles.



Por medio de la función especial SOLO ORGANICOS (02) (ORGANIC ONLY-02), se opta por una imagen que intensifica la representación de los objetos orgánicos, es decir, de material ligero. La imagen en color HI-MAT muestra, por tanto, sólo materias coloreadas de color naranja. Los objetos no orgánicos, es decir, objetos de un material denso, que en una imagen normal se verían coloreados en verde a azul, aparecen sólo en blanco y negro de manera que nos es especialmente provechoso para la identificación de materias explosivas y drogas.

Empleando la función especial de ORGANICOS RETIRADOS (OS) (ORGANIC STRIPPING-OS) se intensifica la representación de los objetos no orgánicos, que poseen una densidad alta. Esto se representa en los colores verde y azul. Los objetos orgánicos sólo aparecen en blanco y negro. De forma que puede ser sumamente útil para visualizar armas.

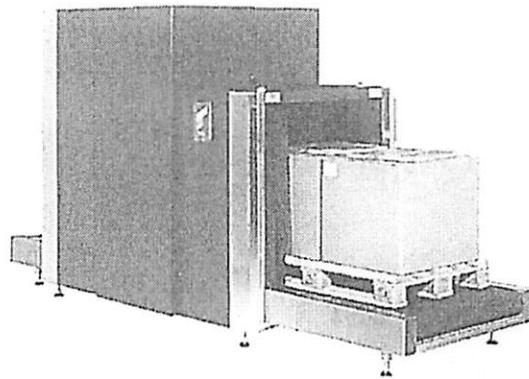
Por medio de la función especial SOLO ORGANICOS VARIABLE (VARI/02) es una combinación de las funciones SOLO ORGANICOS (02) y VARI-MAT. Consiguiéndose representar solamente los objetos orgánicos en color naranja, que se encuentren seleccionados dentro del margen parcial de absorción elegido con VARI-MAT. Si está seleccionada una banda de absorción media hasta elevada, sólo aparecerán en pantalla objetos orgánicos de absorción elevada. Como el material orgánico es relativamente ligero, simplemente se verán los objetos de mayor espesor.

Empleando la función especial ORGANICOS RETIRADOS VARIABLE (VARI/OS) que es una combinación de las funciones ORGANICOS RETIRADOS (OS) y VARI-MAT. La representación se concentra simultáneamente en materiales no orgánicos, más densos, según la banda de absorción seleccionada con VARI-MAT.

A cualquier forma de representación se puede aplicar una variación continua de contraste. Se actúe con el pseudo color que proporciona la función VARI-CAT o en la imagen multienergética dada por la función VARI-MAT. Esto ayuda a que el operador seleccione la imagen más acorde a su capacidad de reconocimiento de objetos.

La cinta transportadora tiene una velocidad de 0,2 m/s a 0,24 m/s con una frecuencia de la red de corriente alterna entre 50 y 60 Hz. Pudiéndose controlar la dirección de la cinta transportadora, así como la detención de la misma en cualquier momento, pulsando la tecla STOP y REV respectivamente.

La capacidad de carga máxima de la cinta es de 100 kg. en un reparto uniforme de la carga por toda la superficie de la cinta transportadora.



El modo de inspección cuando los objetos entran en el túnel puede hacerse en una dirección o en dos direcciones, siendo aconsejable realizarlo siempre sólo en una dirección y optar por las dos direcciones si existen problemas de espacio en el área de trabajo.

El monitor de color es de alta resolución y baja radiación compatible VGA, SVGA y VESA, no siendo necesario un segundo monitor, dado que la conmutación de la imagen en blanco y negro se realiza en el mismo monitor ahorrando espacio y permitiendo que el operador se concentre en una sola pantalla. Esto se consigue mediante la tecla BW de la consola de control, mientras está pulsada cambia a blanca/negro y cuando deja de estar pulsada retorna la imagen en color.

La PARADA DE EMERGENCIA se obtiene con varios pulsadores tipo STOP que se encuentran integrados en el equipo y en el teclado de control.

Los equipos tienen dos niveles de acceso el propio del operador y el del supervisor del sistema. El operador debe identificarse al comienzo de la sesión mediante un código de identificación propio, tras lo cual tiene a su disposición las funciones de interpretación disponibles. En la línea superior de la pantalla se muestra el código de identificación. Sin embargo, el acceso a determinados menús solo es posible para el supervisor, responsable del equipo, que debe introducir un código especial y que puede activar o desactivar determinadas funciones, acceder a las estadísticas del operador, etc.

En la línea superior de la pantalla se muestra el contador que informa sobre el número de objetos inspeccionados. Sirve fundamentalmente para fines estadísticos y puede reponerse a cero si es necesario. También aparecen la fecha y horas, así como las funciones de evaluación de imágenes activadas.

El equipo posee un sistema de autodiagnóstico que detecta los fallos en el generador, fotodiodos y otros componentes como circuitos de seguridad de la alimentación y control del generador que garantiza que en caso de desviación de los valores de funcionamiento establecidas por el fabricante, como corriente de caldeo o alta tensión, por ejemplo, el generador se desconecte de inmediato. Así mismo, se controlan determinados valores de los fotodiodos que solo deben ser manipulados por el servicio técnico.

Cuando se enciende el equipo, se ejecuta de forma automática un programa de autotest, que verifica el correcto funcionamiento de los componentes.

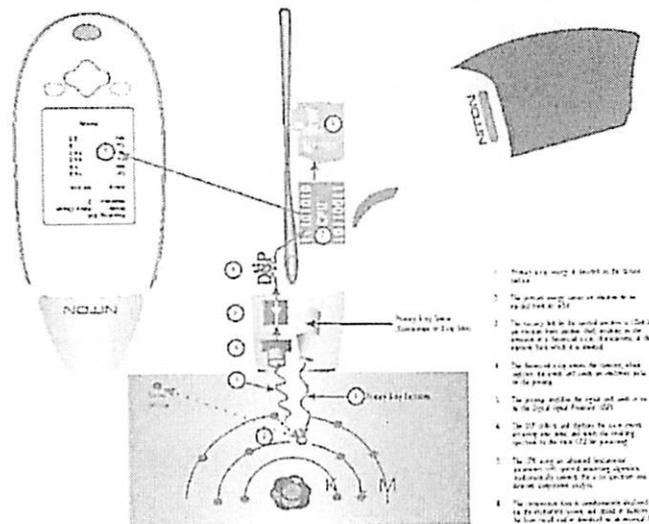
Cuando se avería el generador de rayos X se producen varias señales de alarma: aparecen en pantalla un mensaje en letras rojas advirtiendo de la existencia de un error, se apaga una de los leds del teclado, no se iluminan las señales de radiación tanto del teclado como del equipo y en el monitor no se visualizan los objetos.

El generador de rayos X es de construcción compacta, cerrado herméticamente, con posición ajustable para optimizar el enfoque, blindaje interno extremadamente cuidado, admitiendo ajustar o verificar el equipo sin las cubiertas y con una tensión de alimentación de solo 360 V aproximadamente a 23 KHz.

La refrigeración del generador se realiza mediante el propia aceite que contiene no siendo preciso un circuito externo de refrigeración.

La tensión anódica del generador es de 140 Kv. producida por el propio Equipo.  
 El procesamiento de la imagen se realiza con 16 bits. De esta forma, los niveles de gris almacenables por la memoria son 4096, siendo la memoria digital de 17,5 Mbytes.  
 Los equipos son completamente seguros para las películas. Es decir, ni siquiera el material sensible 1600 ASA sufre daños al pasar la inspección radiológica. Además tampoco afecta a los alimentos, soportes magnéticos ni semiconductores tipo EPROM.

## 2.19 EQUIPOS PORTÁTILES



Escáner manual de fluorescencia de rayos x por energía dispersiva

## 2.20 SECUENCIA EN LA INSPECCION DE PAQUETES

Cuando se deposite el paquete o saca de correos en la cinta transportadora, colóquelo con la superficie más grande y más plana mirando hacia abajo.

Cuando el objeto es introducido dentro del túnel o cámara de inspección, alcanzando las barreras fotoeléctricas se activa automáticamente el generador de rayos X y la señal de radiación se enciende en la consola de control, una vez escaneado completamente el objeto es visionando la imagen en la pantalla de monitor.

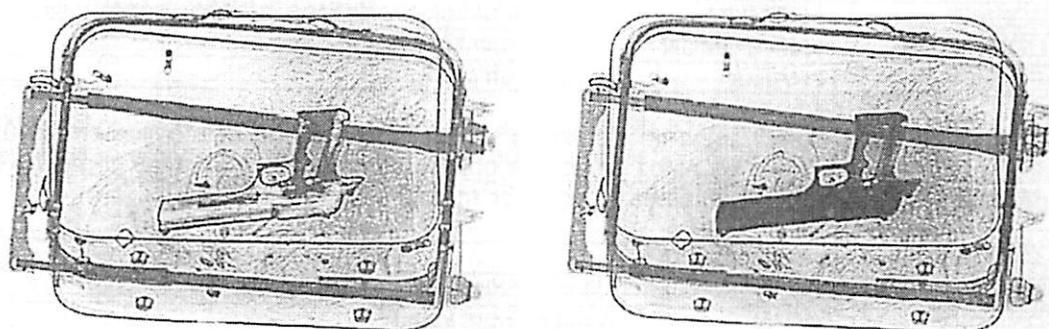
Si ya estuviese algún objeto dentro del túnel de inspección, en el momento de ponerse en marcha la cinta transportadora, podría retroceder de forma automática un corto tramo en el momento inicial.

La imagen del siguiente objeto desplaza a la anterior. Por ello el tiempo que dispone el operador es limitado, por tanto si se necesita más tiempo para visionar la imagen lo más recomendable es detener la cinta transportadora.

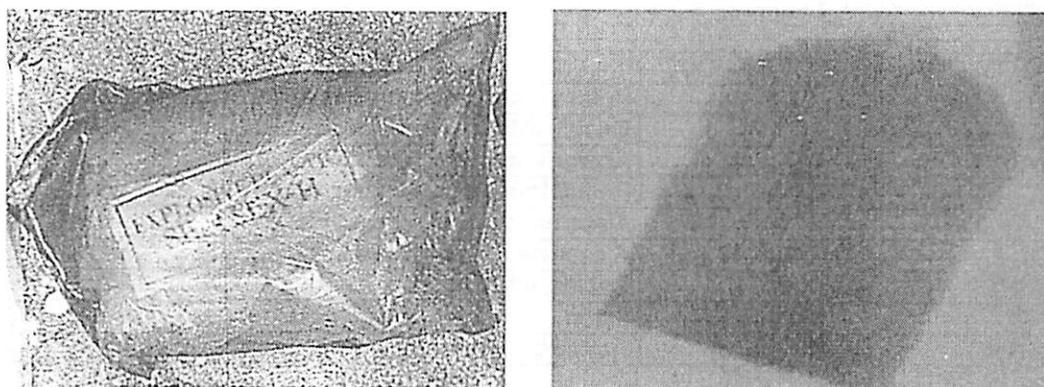
También se debe tener presente que cuando se detiene la cinta, sin que la inspección del objeto haya finalizado, al reiniciarse la marcha de la cinta, esta retrocederá una corta distancia, asegurando de esta manera que no se pierda la información.

### 2.20.1 PROCEDIMIENTO DE ACTUACION

Las armas metálicas tales como las armas de fuego y las armas blancas son relativamente fáciles de detectar utilizando los sistemas de rayos X en blanco y negro convencionales, porque son bastantes densas para los rayos X y normalmente tienen formas muy características, y por lo tanto presentan, una imagen clara con mucho contraste en la pantalla del monitor.



Sin embargo los dispositivos explosivos e incendiarios son más difíciles de identificar. Los materiales explosivos generalmente son orgánicos (incluidos los explosivos plásticos) y al ser menos densos que los metales, no presentan una imagen con tanto contraste en la pantalla del monitor. Además, al ser fácilmente moldeables muchos de estos materiales explosivos, se les pueda dar cualquier forma y consecuentemente no tienen forzosamente unas formas características reconocibles.



El sistema color hace que los explosivos sean más identificables mediante la asignación de colores distintos a los materiales orgánicos y a los materiales inorgánicos, eliminando por lo tanto las dificultades para distinguir los materiales orgánicos densos (explosivos) de los materiales.

Los objetos hechos de METAL normalmente presentan en la pantalla del monitor una imagen con una forma bien definida y contrastada.

Los materiales "orgánicos" se distinguen de los materiales "inorgánicos" por el tono gris (o color) si el equipo dispone de este sistema.

## 2.2.0.2 RECONOCIMIENTO DE MATERIALES

2.2.0.2.1 COLOR NARANJA: Compuestos de elementos ligeros con un N° atómico inferior a 10, se incluyen en este grupo todas las materias orgánicas como muchos explosivos, así como los plásticos como el acrílico, el papel, los tejidos, productos alimenticios, madera, agua, etc.

Nº ATOMICO	ABUNDANCIA	DONDE SE LOCALIZA
1- HIDRÓGENO	COMUN	Agua, petróleo, plásticos, madera, papel
2- HELIO	RARO	Solo en gas.
3- LITIO	RARO	Solo combinado con otros.
4- BERILIO	RARO	Metal
6- CARBONO	COMUN	Agua, petróleo, plásticos, madera, papel
7- NITRÓGENO	COMUN	Agua, petróleo, plásticos, madera, papel, aire
8- OXIGENO	COMUN	Agua, petróleo, plásticos, madera, papel, aire
9- FLUOR	NO COMUN	Solo combinado con otros
10- NEON	RARO	Solo en gas

2.2.0.2.2 COLOR VERDE: Compuestos de elementos semipesados con un n° atómico entre 10 a 18, por ejemplo el aluminio y se incluyen en estos grupos los objetos compuestos por varias capas de elementos ligeros y pesados. Por ese motivo hablamos de un grupo mixto.

Nº ATOMICO	ABUNDANCIA	DONDE SE LOCALIZA
11- SODIO	COMUN	Nitrato sódico, sosa cáustica, sal
12- MAGNESIO	COMUN	Agua de mar, leche
13- ALUMINIO	COMUN	Aleaciones de aluminio
14- SILICIO	COMUN	Arena, tierra, cristal
15- FÓSFORO	COMUN	Cerillas
16- AZUFRE	COMUN	Elementos de la pólvora negra
17- CLORO	COMUN	Blanqueante desinfectante
18- ARGON	NO COMUN	Lámpara de fluorescencia

2.2.0.2.3 COLOR AZUL: Comprende los materiales compuestos principalmente por los elementos mas pesados, con un n° atómico superior a 18.

Nº ATOMICO	ABUNDANCIA	DONDE SE LOCALIZA
19- POTASIO	COMUN	Potasa cáustica, cianuro potásico, clorato potásico
20- CALCIO	COMUN	Cristal, vidrio
22- TITANIO	NO COMUN	Aceros especiales, armas
24- CROMO	NO COMUN	Recubrimiento protector metales
26- HIERRO	COMUN	Aleaciones de hierro y acero
28- NIQUEL	NO COMUN	Aleaciones y recubrimientos
29- COBRE	COMUN	Cables, latón
30- CINC	COMUN	Latón
50- ESTAÑO	COMUN	Hojalata, aleaciones

Cuando existen diferentes materiales superpuestos predomina el color de aquel componente que proporciona una mayor absorción a los rayos X.

Esto significa que las partes metálicas de espesor moderado no afectan al reconocimiento de plásticos. Si esta activada la función de intermitencia automática para materiales con alta absorción, la imagen que muestra sustancias con una absorción elevada inicia una intermitencia.

La capacidad que posea el operador del equipo de inspección para identificar diferentes objetos va íntimamente ligada al uso y reconocimiento de los sistemas de observación de los elementos que poseen el aparato de rayos X.

Por ejemplo seguidamente tenemos algunos de los artículos comunes con los que el usuario puede encontrarse.

OBJETO	COLOR	B/N
Pila de 9v monoblock	Azul	Negro
Baterías Ni-Cd móvil	Azul	Negro
Pila R-20 / R-14 / R-6 / R-03	Azul-verde	Gris-oscuro
Batería Ni-Mh móvil	Azul	Negro
Cable de cobre diámetro 0,5 mm	Azul	Negro
Cartucho 38 especial	Azul-verde	Gris-negro
Cartucho 12	Azul-verde-naranja	Gris-negro
Pistola de juguete	Naranja	Gris-claro
Revolver 38	Azul-verde-naranja	Gris-negro
Navaja	Azul	Gris-oscuro
Tubo de aluminio	Verde	Gris-oscuro
Tubo de plástico	Naranja	Gris-claro
Tubo de hierro	Azul	Gris-negro
Tubo de cobre	Azul	Gris-negro
Tubo de plomo	Azul-negro	Gris-negro
Tubo cerámico	Azul	Gris-negro
Herramientas acero	Azul-verde	Gris-negro
Juguetes en material plástico	Naranja	Gris-claro
Cinta de video	Naranja	Gris-claro-negro
Libro	Naranja	Gris-claro
Caja de cartón con folios	Naranja	Gris-claro
Bengala de señalización marítima	Azul-verde	Gris-negro
Cuerpo pinza madera para la ropa	Naranja	Gris-claro
Muelle pinza	Azul	Gris-negro
Cuerpo final de carrera	Naranja	Gris-claro
Contactos final de carrera	Azul	Gris-negro
Plastilina	Naranja	Gris-claro
Botella de vino	Naranja-oscuro	Gris-negro
Botella de plástico de agua	Naranja	Gris-claro
Bola de vidrio	verde	Gris-oscuro
Pelota de tenis	Azul	Gris-oscuro
Papel de aluminio	Naranja	Gris-claro

## 2.21 OBLIGACIONES DEL OPERADOR

El operador deberá estudiar cada imagen el tiempo suficiente como para determinar si hay algún área con una forma que pueda "ser" un arma, o un objeto o elemento sospechoso.

Si no hay áreas sospechosas, se puede dejar pasar el artículo.

Si hay sombras o áreas de color que se puedan identificar con seguridad, se clasificará como "posible amenaza", y se deberá informar al supervisor.

No trabaje jamás con prisas. La seguridad que se alcance depende fundamentalmente del profesional que maneja el equipo.

Todos sabemos que un aparato, cualquiera que sea su tipo, puede ser de última generación, pero si el personal que ha de operar con el mismo, no tiene la formación adecuada o no ha sido mentalizado correctamente, el aparato carece de utilidad.

### 2.21.1 MANTENIMIENTO

Lea todas las instrucciones, para garantizar un funcionamiento seguro antes de poner en marcha el equipo. Agua y humedad. El equipo no debe estar situado cerca de fugas de agua. Es un equipo electrónico.

**Calor.** El equipo no debe estar situado cerca de ninguna fuente de calor como radiadores, calefactores ni ningún otro dispositivo generador de calor ya que si la temperatura de almacenamiento es de entre 20° C y +60° C la temperatura de funcionamiento entre 0° C y +40° C.

**Ventilación.** Colocar el equipo en un lugar que asegure una ventilación adecuada.

**Protección del cable de alimentación.** Colocar el cable de alimentación de tal modo que no pueda ser pisado ni cortado por equipos que se encuentren en las proximidades.

El usuario no debe tratar de realizar trabajos de mantenimiento que no correspondan a las que se especifican en el manual de operación y que pueden ser llevadas a cabo por personal no cualificado. Cualquier otro tipo de trabajos de mantenimiento deben ser realizados por personal de mantenimiento cualificado.

Algunos de los trabajos que se pueden realizar normalmente son:

1. Inspección visual exterior
2. Inspección visualmente el sistema, comprobando que los paneles exteriores y las puertas están correctamente ajustados.
3. Las cabezas de los tornillos están a nivel o ligeramente por debajo de la superficie del panel.
4. Las cortinas del túnel llegan justo hasta el nivel de cinta o ligeramente por encima.
5. El túnel de inspección debe reconocerse.
6. El interior del túnel debe estar limpio.
7. El interior del túnel debe estar libre de cualquier objeto que pueda impedir el funcionamiento o puedan dañar algún componente.
8. Comprobar que la cubierta de plomo ha sido pintada, para evitar la corrosión.
9. Verificar que están colocadas las etiquetas del equipo
10. Comprobar que están colocadas las etiquetas de advertencia de PRECAUCION NO TOCAR Y NO INSERTAR NINGUNA PARTE DEL CUERPO EN EL TUNEL DE INSPECCION. Pueden venir en inglés (Do no insert). Deben estar colocadas a cada lado de bloqueo del panel.
11. Debe verificarse así mismo, que los componentes internos están sujetos correctamente. Que los componentes de ajuste del colimador están sujetos.
12. Verificar los controles e indicadores de la cinta transportadora.
13. Comprobar que la luz del indicador ON del panel de control se ilumina.
14. Verificar que el sistema pasa el autotest.
15. Comprobar que la cinta se mueve hacia delante y hacia atrás.
16. Verificar que al apretar al botón de STOP la cinta se para.
17. Verificar que el led del sensor de paquetes y el indicador "X-Ray ON" se encienden
18. Bloquear un par de leds de los sensores de paquetes en el extremo de la entrada del túnel con cinta, y presionando el mando correspondiente de marcha, en el panel de control verificar que el indicador "X Ray ON." Se enciende.
19. Verificar la pantalla del monitor.
20. Con el sistema en marcha, colocar un paquete de prueba en la entrada de la cinta conteniendo objetos orgánicos e inorgánicos, representativos de los tipos de envoltorio que se van a inspeccionar normalmente.
21. Evaluar la imagen del monitor para ver que las imágenes son claras, que las imágenes no vibran, que las imágenes no tiemblan
22. Las imágenes no tienen rayas o líneas
23. Se debe verificar así mismo, que las sustancias orgánicas y las sustancias inorgánicas aparecen en los colores que se han descrito en capítulos anteriores.
24. Verificar que el zoom funciona correctamente, presionando secuencialmente las teclas.
25. Comprobar el bloqueo de seguridad de puertas y paneles, abriendo un panel o puerta mientras el equipo está en marcha, comprobando que la cinta se para y que el indicador "X-Ray ON" se apaga.

### **3. PROTECCIÓN RADIOLÓGICA**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

La protección radiológica (PR) es una disciplina científica que tiene como finalidad la protección de los individuos y sus descendientes contra los riesgos que se derivan de la utilización de fuentes radiactivas naturales y artificiales.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) se encarga de elaborar las recomendaciones obtenidas a partir de los conocimientos adquiridos de la experimentación animal y de diversas exposiciones humanas. Actualmente existen, en la mayoría de los países, legislaciones y normas estrictas de PR que tienen un elevado grado de homogeneidad por basarse de forma generalizada en las recomendaciones de la ICRP.

Se distinguen dos tipos de actividades que suponen la exposición de los individuos a las radiaciones ionizantes: prácticas, o actividades humanas que aumentan la exposición global a la radiación; e intervenciones, o actividades que pueden reducir la exposición global al incidir sobre sus causas.

La exposición humana se divide en tres tipos:

- Exposición ocupacional, es decir, la recibida en el lugar de trabajo y principalmente como consecuencia de éste.
- Exposición médica, principalmente la exposición de las personas en el marco de procesos diagnósticos o de tratamiento.
- Exposición del público, que abarca todas las demás exposiciones.

La distinción entre las dos actividades, los tres tipos de exposiciones y la posibilidad de que se produzcan o no, dan lugar a distintas posibilidades y procedimientos de control.

Los tres principios básicos de la PR para las prácticas son:

- Justificación.
- Optimización.
- Limitación de la dosis individual.

Los principios de la PR para las intervenciones son los siguientes:

- El beneficio debe ser superior al daño, es decir la reducción del detrimento debe ser suficiente para justificar el daño y los costes de intervención incluidos los costes sociales.
- La forma, alcance y duración de la intervención debe optimizarse de manera que se maximice el beneficio de la reducción del detrimento por irradiación menos el detrimento asociado a la intervención.

Los límites de dosis no son aplicables al caso de la intervención. Los dos principios anteriores pueden dar lugar a niveles de intervención, que orienten sobre la idoneidad de la intervención. Siempre existirá un nivel de dosis proyectada por encima del cual la intervención estará justificada debido a los efectos deterministas graves.

La PR está regulada en el Real Decreto 783/2001 por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes (RPSRI), que aplica la Directiva 96/29/EURATOM relativa a la protección sanitaria de la población y los trabajadores contra los peligros que resultan de las radiaciones ionizantes, que a su vez sigue las recomendaciones de la publicación n.º 60 de la ICRP (ICRP, 1991).

Los límites de dosis establecidos en el RPSRI, serán los siguientes:

	Trabajadores expuestos (TE)	Miembros del público (MP)
Dosis efectiva	100 mSv / 5 años oficiales	1 mSv / año oficial
Dosis equivalente en: Cristalino Piel Manos, pies, antebrazos, tobillos	150 mSv / año oficial 500 mSv / año oficial 500 mSv / año oficial	15 mSv / año oficial 50 mSv / año oficial ---

Además de los límites indicados en la tabla, la dosis efectiva para los TE no debe superar los 50 mSv/año oficial. Para los MP y en circunstancias especiales, el CSN podría autorizar un valor de dosis efectiva más elevado en un único año oficial, siempre que el promedio durante cinco años oficiales consecutivos no sobrepase 1 mSv/año oficial.

Estos límites se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición ocupacional externa durante el período especificado y de la dosis comprometida en 50 años (hasta 70 años para los niños) por incorporaciones durante ese mismo período. En su cómputo no se incluirá la dosis debida al fondo natural ni la exposición debida a exámenes y tratamientos médicos.

La mujer embarazada está sometida a un límite especial para la protección del feto.

Según la Ley 15/1980, de 22 de abril de creación del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), éste es el único órgano español competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.

### 3.2 UNIDADES:

Magnitudes	Unidades Antiguas	Unidades Vigentes
Exposición	Rongenio	C/Kg
Dosis Absorbida	RAD	Gray (Gy)
Dosis Equivalente	REM	Sievert (Sv)

El Rongenio se sigue utilizando y el C/Kg a caldo en desuso.

El Gy es 100 veces mayor que el RAD.

El Sv es 100 veces mayor que el REM.

La Exposición o Dosis es la radiación en una instalación o en el ambiente.

Dosis Absorbida es la dosis dada a un paciente, órgano, tumor etc.

Dosis Equivalente es la radiación que recibe el personal expuesto y público en general.

Tasa es la relación de la dosis con la unidad de tiempo (s) R/s, la tasa de dosis absorbida es el Gy/s y la tasa de dosis equivalente Sv/s.

La radio protección se basa en tres pilares fundamentales:

- Tiempo: a menor tiempo de exposición menor dosis recibida.
- Blindaje: a mayor blindaje menor dosis recibida.
- Distancia: a mayor distancia del foco emisor de la radiación menor dosis recibida.

¿Por qué un límite de dosis?

Porque debemos prevenir la aparición de efectos no estocásticos y limitar la incidencia de los efectos estocásticos. ( $H < 1$  mSv/semana).