



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN**

**“MANTENIMIENTO GENERAL A SALA DE RAYOS X  
(UNIVERSAL APX 525 - 625)”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA**  
PRESENTA:

**MORALES RAMÍREZ SAMUEL  
SANDOVAL GÓMEZ MARCO ANTONIO**

**Asesor: Ing. Benito Barranco Castellanos**



San Juan de Aragón, Estado de México, Enero de 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

<b>Índice</b>	<b>I</b>
<b>Introducción</b>	<b>V</b>
<b>Capítulo 1 Antecedentes de los rayos X</b>	<b>1</b>
1.1 Estructura de la materia	1
1.2 Concepto de radiación	7
1.2.1 Modos de decaimiento radiactivo	8
1.2.2 Radiación electromagnética	9
1.2.3 Generación y propiedades de los rayos	11
1.2.4 Procesos de interacción de WS rayos x con la materia	14
1.2.5 Los rayos X se comportan como si fuesen partículas.	15
1.2.6 Ley del inverso del cuadrado	19
1..2.7 Teoría del cuántum: fotones de rayos X	23
1.3 Mecanismos de interacción de la radiación electromagnética con la materia	26
1.4 Exposición y rapidez de exposición	30
1.4.1 Dosis absorbida y rapidez de dosis absorbida	32
1.4.2 Dosis equivalente y rapidez de dosis equivalente	33
1.4.3 Conversión de unidades sistema internacional (si) y tradicionales	35
1.4.4 Radiación de fondo natural	38
1.5 La célula y sus funciones	38
1.5.1 Interacción de la radiación FB con la célula	41
1.5.2 Factores influyentes en los efectos biológicos	46
1.5.3 Clasificación de los efectos biológicos	47
1.5.4 Bajas dosis y epidemiología	49
1.5.5 Sistema de limitación de dosis	50
1.5.6 Factores básicos de protección radiológica	51
1.6 Descripción genérica de partes y componentes de un sistema de rayos X	57
1.6.1 Tubo de rayos X	58
1.6.2 Coraza	60
1.6.3 Colimador	61
1.6.4 Rejilla antidifusora	63
1.7 Capa hemirreductora y decirreductora	64
<b>Capítulo 2 Pre instalación e instalación, Calibración y ajuste (mA, KV, mAs)</b>	<b>68</b>
2.1 Pre-Instalación	69
2.1.1 Identificación de línea de entrada	70
2.1.2 Instalaciones trifásicas	71
2.1.3 208 VAC Trifásico (Únicamente 30 kW)	73
2.2 Instalación	76
2.2.1 Conexiones de Potencia para el Transformador de Alta Tensión al Módulo de Potencia Trasero.	78
2.2.2 Conexiones del Estator	79
2.2.3 Conexiones desde el Transformador de Acoplamiento de Línea al Módulo de Potencia	81
2.3 Puesta en Marcha	82
2.3.1 Identificación de componentes	83
2.3.2 Guía de ajustes de los potenciómetros	90
2.3.3 Pruebas de inicialización del generador y configuración de la instalación	91
2.3.4 Programación del menú estándar de la configuración del sistema	95
2.4 Procedimiento de Calibración del Equipo de rayos X UNIVERSAL APX	98
2.4.1 Exposición de la prueba inicial	100
2.4.2 Configuración del Dynalyzer / osciloscopio	103
2.4.3 Ajuste inicial de los potenciómetros de precalentamiento	104
2.4.4 Inspecciones opcionales adicionales	110

<b>Capítulo 3 Diagnóstico de falla, solución y mantenimiento preventivo</b>	<b>113</b>
3.1 Diagnósticos	114
3.1.1 Temas de Solución de Problemas para el Generador APX 525/625	114
3.1.2 No enciende la luz ready (listo para disparar)	115
3.1.3 La luz ready está activa, pero no ocurre exposición	117
3.1.4 Fallas de kV	118
3.1.5 Categoría I – Falla Consistente de kV	119
3.1.6 Categoría II – Falla Intermitente de kV	123
3.2 Rutina general de mantenimiento preventivo	130
 <b>Conclusiones</b>	 <b>132</b>
 <b>Anexo</b>	 <b>136</b>
Modelo de Cotización S.A. de C.V	
 <b>Glosario</b>	 <b>141</b>
 <b>Bibliografía</b>	 <b>151</b>
 <b>Lista de figuras</b>	
Figura 1.1 Capas electrónicas de un átomo	2
Figura 1.2 Espectro Electromagnético	10
Figura 1.3 Representación de una onda electromagnética	11
Figura 1.4 Energía cinética de los electrones	14
Figura 1.5 Los Objetos absorben la luz en tres grados	18
Figura 1.6 La ley del inverso del cuadrado de la distancia	20
Figura 1.7 Un fotón de rayos X	24
Figura 1.8 Efecto fotoeléctrico.	27
Figura 1.9 Efecto Compton	28
Figura 1.10 Proceso de producción de pares	29
Figura 1.11 Importancia relativa de cada uno de los efectos	30
Figura 1.12 Nomograma	37
Figura 1.13 La célula: unidad básica de los organismos vivos	40
Figura 1.14 Efectos directos e indirectos ocasionados por la radiación en las células	44
Figura 1.15 Factores básicos de protección radiológica	53
Figura 1.16 Plano de una sala de examen de rayos X para fines generales.	58
Figura 1.17 Partes principales de un tubo de rayos X	59
Figura 1.18 Efecto de los colimadores sobre el haz de radiación de rayos X.	62
Figura 1.19 Coincidencia del campo de radiación.	63
Figura 1.20 La radiación directa encuentra a las láminas de canto y tiene mayor probabilidad de pasar a través de la rejilla antidifusora	64
Figura 1.21 La filtración se utiliza para eliminar selectivamente los rayos X de baja Energía del haz útil. Una filtración ideal eliminaría todos rayos X de baja energía.	64
Figura 1.22 Arreglo experimental para determinar la CHR	66
 Figura 2.1 Identificación de líneas de entrada	 70
Figura 2.2 Autoformador de acoplamiento de línea trifásica para aplicaciones de 30 kW	71
Figura 2.3 Esquemático - #636-0510P1	72

Figura 2.4 Diagrama de interconexión	73
Figura 2.5 Bobinas del transformador	74
Figura 2.6 Alambre a tierra	74
Figura 2.7 Modulo de Potencia	75
1. Figura 2.8 Contactos	77
Figura 2.9 Conmutador de capacitores	78
Figura 2.10 Parte trasera del módulo de potencia	78
Figura 2.11 Conexiones del estator	79
Figura 2.12 Bucky de pared	80
Figura 2.13 Parte trasera del módulo de potencia	81
Figura 2.14 Ensamble de la parte inferior del chasis	83
Figura 2.15 Modulo de potencia	84
Figura 2.16 Panel frontal del modulo de potencia	84
Figura 2.17 Tarjeta de relevadores	85
Figura 2.18 Tarjeta controladora de relevadores	86
Figura 2.19 Regulador de mas	87
Figura 2.20 Tarjeta de datos	88
Figura 2.21 Tarjeta Ma/ Rotor	89
Figura 2.22 Forma de onda adecuada obtenida con el Dynalyzer	104
Figura 2.23 Forma Correcta de onda de mA	105
Figura 2.24 Ajuste de precalentamiento demasiado elevado	105
Figura 2.25 Ajuste de precalentamiento demasiado bajo	106
Figura 2.26 Forma de onda del kV	108
Figura 2.27 Forma de onda típica el kV	110
Figura 3.1 Balance Adecuado de kV – Ánodo al Cátodo	120
Figura 3.2 Ejemplo de Formas de Ondas de Precalentamiento	124
Figura 3.3 Forma de Onda Típica Sin carga	128

### Lista de tablas

Tabla 1.1 Parte amplia de gama de rayos X utilizados en medicina, investigación e industria	26
Tabla 1.2 Factores de Calidad	34
Tabla 1.3 Dosis media anual estimadas en Estados Unidos	38
Tabla 1.4 Dosis Umbral aguda para efectos deterministas	49
Tabla 1.5 Exposición local aguda	49
Tabla 1.6 Datos Experimentales para la determinación de la CHR y la CDR	67
Tabla 2.1 Tamaño mínimo de cobre	69
Tabla 2.2 Voltajes trifásicos para las Derivaciones	72
Tabla 2.3 Índice de cables	76
Tabla 2.4 Conexiones para la Pared de Recepción de Imágenes	80
Tabla 2.5 Conexiones del Receptor de Imágenes	81
Tabla 2.6 Guía de ajustes, KV REG124-0110G	90
Tabla 2.7 Guía de ajustes mA/Rotor 124-0095G	90
Tabla 2.8 Relevadores	94
Tabla 2.9 Ajuste del generador	101
Tabla 2.10 Configuración del Dynalyzer	103
Tabla 2.11 Calibración mA	103
Tabla 2.12 Escala vertical	103
Tabla 2.13 Potenciómetros de precalentamiento	105
Tabla 2.14 Ajuste del generador	106
Tabla 2.15 Calibración de mAs	106
Tabla 2.16 Calibración exposición extensa	107

Tabla 2.17 Ajuste del generador	107
Tabla 2.18 Ajuste del Osciloscopio	108
Tabla 2.19 Escala Vertical del Osciloscopio	109
Tabla 2.20 Ajuste del generador	109
Tabla 2.21 Repetición del ejercicio	109
Tabla 2.22 Ajuste del Osciloscopio	111
Tabla 2.23 Ajuste del generador	111
Tabla 3.1 Fallas o síntomas	129



## Objetivo

"Describir el mantenimiento general a sala de rayos x con tecnología universal **APX 525- 625**, para instalaciones donde se utilizan equipos de rayos x en el diagnóstico médico, así como analizar los conocimientos básicos necesarios contra la exposición a la radiación, de tal manera que las dosis que se reciban y los riesgos debido a estas exposiciones sean los más bajos que razonablemente puedan alcanzarse".

## Introducción

El desarrollo tecnológico ha dado lugar a la aparición de una gran cantidad de equipos electromédicos que se aplican al paciente para efectuar terapia, monitorización o diagnóstico. Esto permite mejores tratamientos, pero también implica para el paciente, un aumento del riesgo de accidente por descarga eléctrica, ya que las corrientes eléctricas, aunque sean de pequeña magnitud, pueden tener consecuencias fatales para el paciente. Si a esto unimos la evidente necesidad de asegurar al máximo la continuidad del suministro eléctrico dependiendo de unas máquinas que le controlan o mantienen, resulta que las instalaciones y los equipos eléctricos de un hospital deben cumplir estrictas exigencias técnicas. Por lo tanto, el problema que se plantea es el de garantizar la seguridad de las instalaciones eléctricas en aquellas áreas de uso médico que lo precisen y con el objeto de: " limitar las corrientes de fuga, desde el punto de vista de la conectividad entre el paciente y el instrumento" evitar interrupciones de suministro innecesarias, es decir, garantizar la continuidad del suministro eléctrico, desde el punto de vista de la dependencia del paciente frente al instrumento y de su estado de conciencia.

Nos centraremos en la sala de rayos x analizando todo el instrumental y los riesgos eléctricos que presentan.

La instalación, el servicio y la reparación del equipo de rayos X deben estar solo a cargo de técnicos o de ingenieros de servicio especialmente capacitados y experimentados. Ahora bien, ciertas reparaciones mecánicas y eléctricas de menor importancia, como la sustitución de fusibles o bombillas pueden ser realizadas por el personal de mantenimiento del hospital, siempre y cuando sigan las recomendaciones del proveedor.

Cuando se traslada el equipo es indispensable contar con operarios experimentados en instalaciones radiológicas. La instalación incorrecta puede ser muy peligrosa y además sus costes de reparación muy caros. Teniendo en cuenta

que el proveedor será el responsable de las actividades de servicio principales, solo deben almacenarse en el hospital las piezas que puede reemplazar el personal del hospital, en general son solo fusibles.

Consideraciones a tener en cuenta por el operario:

- No efectuar actividades de servicio del equipo a menos que esté desconectado el suministro de electricidad de la red.
- No abrir el panel de control del generador para tratar de efectuar reparaciones.
- No utilizar nunca un fusible de distinta graduación o tipo del recomendado por el fabricante.

La preparación para su examen radiográfico varía dependiendo del tipo de examen que haya solicitado su médico. Los siguientes son algunos aspectos de la preparación que pueden variar dependiendo de la parte del cuerpo que se va a examinar:

- Se le pedirá que descubra el área del cuerpo que se va a examinar. Se le proporcionará una bata en caso de que sea necesario.
- Se le puede pedir que se quite cualquier elemento metálico, tales como joyas, anteojos y ropa con cierre o broches de metal. De lo contrario, el metal de estos elementos puede aparecer en las radiografías y las puede oscurecer.
- Recibirá un delantal de plomo para proteger las partes del cuerpo a las que no se le tomarán radiografías.
- Es posible que antes de algunos tipos de exámenes radiográficos tenga que beber un líquido llamado medio de contraste. También le pueden inyectar dicho líquido. Estos materiales ayudan a generar una imagen más clara de la parte del cuerpo que se está examinando. *Antes de su examen, se debe informar al tecnólogo en radiografías si tiene antecedentes de alergias al medio de contraste.*

Este trabajo de tesis está constituido por los siguientes puntos.

**Capítulo 1.** Se describen los principios básicos de los procesos de interacción de los rayos X con la materia, sus efectos biológicos y la normativa de la protección radiológica.

**Capítulo 2** Este capítulo lo conforma, la descripción del tecnología universal **APX 525- 625**, la pre instalación, instalación, calibración y ajuste.

**Capítulo 3.** Se describe el diagnostico de falla, solución y mantenimiento preventivo.

En el **anexo** se hace la solicitud de cotización para adquisición de una Sala de RX Modelo APX 525 - 625, en donde se encuentra la descripción del alcance que cumpliría con las actividades necesarias para llevar a buen fin el proyecto.

En el documento anexo se describen las etapas que contempla nuestra participación, así como los supuestos que tomaremos en cuenta para determinar tiempos y compromisos.

## Capítulo 1

### Antecedentes de los rayos X

Actualmente se sabe que toda la materia conocida en la naturaleza está formada por átomos. Para los fines de Protección Radiológica, será suficiente considerar que los átomos están formados por partículas subatómicas. Hasta la fecha, se ha descubierto un gran número de estas partículas, sin embargo, sólo cinco de ellas son de mayor importancia: electrón, protón, neutrón, positrón, fotón. El neutrino y el antineutrino tienen una importancia secundaria.

Los átomos son partículas eléctricamente neutras que poseen un núcleo donde está concentrada la mayor parte de la masa. El núcleo está constituido por protones y neutrones (excepto el del hidrógeno-1 que sólo contiene un protón sin neutrones); la carga eléctrica del núcleo es positiva y se debe únicamente a los protones ya que la carga eléctrica neta de los neutrones es cero. La carga negativa necesaria para lograr que el átomo sea neutro es proporcionada por los electrones, cuya masa es mucho menor que la del protón, pero con carga eléctrica de la misma magnitud y signo opuesto. El átomo, por lo tanto, consiste de un número determinado de protones y del mismo número de electrones. Cuando hay una diferencia entre ellos, es decir, si el número de electrones es mayor o menor que el de protones, al conjunto se le denomina ion negativo o ion positivo respectivamente.

#### 1.1 Estructura de la materia

Los electrones se encuentran girando en la región del espacio que rodea al núcleo, aunque su movimiento no es tan relativamente simple como el de los planetas alrededor del Sol. En los modelos más simplificados se supone que los electrones hacen las veces de los planetas y el núcleo corresponde al Sol, pero actualmente se sabe que esto no se apega a la realidad. No obstante, bajo ese modelo se logra tener una visión de conjunto que sirva para agrupar a los electrones en capas, donde cada una de ellas tiene un nivel de energía definido y un número máximo, también definido, de electrones que puede contener. Estas

capas u orbitales se designan con una letra, de la K a la Q, como se muestra en la Figura 1.1, cada capa representa un nivel de energía diferente. Se requiere cierta cantidad de energía para separar a un electrón de la capa en que se encuentra, siendo mayor esta cantidad para las capas internas que para las externas, es decir, los electrones de la capa K están más ligados al núcleo que los de la capa L y éstos, a su vez, están más ligados y son más difíciles de separar que los de la capa M y así sucesivamente. Por supuesto, no todos los átomos poseen capas de la K a la Q, eso depende del número de electrones que contenga. Este, a su vez, depende de un conjunto determinado de números llamados cuánticos, aunque no se profundizará en su descripción.

Los electrones se encuentran colocados en su posición en estados de energía característicos de cada elemento. Esto significa que para separar un electrón de un átomo de un nivel u orbital determinado se requiere siempre la misma cantidad de energía y así para cualquier átomo del mismo elemento.

Los electrones se mantienen unidos al núcleo por medio de fuerzas de atracción electromagnética entre los electrones y los protones.

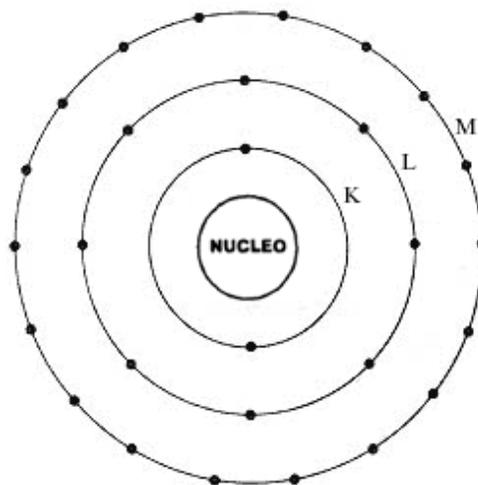


Figura 1.1 - Capas electrónicas de un átomo

Las variadas formas que presenta la materia, se deben únicamente a que los átomos que la constituyen son diferentes. Tomemos como ejemplo al agua y al

aire: el agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno mientras que el aire es una mezcla de átomos de oxígeno y nitrógeno y otros en menor cantidad. Pero aún más, existen variedades dentro un mismo tipo de átomos, ya que por ejemplo, para el hidrógeno se conocen tres variantes: el Protio (Hidrógeno-1), el Deuterio(Hidrógeno<sup>-2</sup>) y el Tritio (Hidrógeno<sup>-3</sup>). Cuando una molécula de agua contiene deuterio se denomina agua pesada y algunas de sus propiedades son diferentes a las del agua común llamada agua ligera.

Por lo tanto, todas las propiedades características de la materia se deben a las diferentes combinaciones de partículas que la componen. Las moléculas se forman simplemente cuando dos o más átomos se unen compartiendo electrones.

- **Ionización** Los átomos que se encuentran en su estado de mínima energía y máxima estabilidad se encuentran en estado base. Este estado es permanente a menos que el átomo sea afectado por alguna perturbación. En el estado base, los electrones se encuentran en los niveles correspondientes de mínima energía. Uno o más electrones pueden ser llevados a un estado de mayor energía transfiriéndoles la cantidad de energía necesaria para ello e inclusive, si esta cantidad es mayor, el o los electrones pueden lograr abandonar el átomo en el que están ligados quedando como partículas libres. Este proceso se llama ionización ya que se forma un par de iones, siendo el electrón el negativo y el átomo con déficit de electrones el ion positivo.

La cantidad de energía necesaria para ionizar al átomo depende del nivel de energía en el que se encuentra el electrón que se separa del núcleo. Obviamente, el electrón menos ligado requiere una menor cantidad de energía. A esta cantidad mínima se le conoce como potencial de ionización y depende también del elemento en cuestión. Por ejemplo, el potencial de ionización del hidrógeno es de 1.6 eV y del uranio es 4 eV. El electrón-volt (eV) es una unidad de energía que se definirá posteriormente. Para ionizar átomos por medio de la separación de otros electrones más ligados se requieren mayores cantidades de energía.

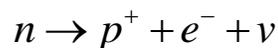
- **Estructura del núcleo,** De física elemental se sabe que cuando dos partículas con carga eléctrica del mismo signo interactúan, se ejerce entre ellas una fuerza de repulsión. En el núcleo de un átomo se tienen los protones que son partículas con carga positiva (excepto en el caso del Hidrógeno<sup>-1</sup> que tiene sólo un protón) y sin embargo, los protones no se separan debido a esa fuerza de repulsión de origen eléctrico. Las fuerzas de atracción gravitacional son tan pequeñas que pueden ser despreciadas. Existe una clase de fuerza que mantiene unido al núcleo, llamada fuerza nuclear. Los protones y los neutrones (nucleones en general) poseen una propiedad que se puede llamar carga nuclear, de tal manera que alrededor de ellos se crea un campo de fuerza que atrae a otros nucleones. El neutrón presenta esta propiedad a pesar de que su carga eléctrica neta es cero, lo cual indica que la naturaleza de las fuerzas eléctricas y nucleares es diferente. Las fuerzas nucleares son de mayor intensidad que las eléctricas pero son de corto alcance (aproximadamente de 2 a  $3 \times 10^{-15}$ ). Esto hace que los nucleones solamente interactúen con los que se encuentren próximos a él en el mismo núcleo y no con los de otros núcleos. A medida que se incrementa el número de protones de los núcleos de los átomos se incrementa también y en mayor proporción el número de neutrones, precisamente para contrarrestar las fuerzas de repulsión. En lo que respecta a las posiciones de los nucleones, éstos no se encuentran distribuidos al azar. En forma parecida al caso de los electrones, las partículas constituyentes del núcleo se encuentran en niveles discretos de energía, aunque éstos dependen del modelo de núcleo que se adopte. No es necesario profundizar en la descripción de los modelos nucleares, toda vez que nuestro interés se centra en la Protección Radiológica. Un núcleo se encuentra en estado base cuando está en su estado de mínima energía y si es estable y no es afectado por ninguna perturbación externa se mantendrá en ese estado permanentemente. Si un agente

externo le suministra energía, el núcleo pasa a un estado de mayor energía o estado excitado.

Para eliminar tal exceso de energía y regresar a su estado base puede emitir un tipo de radiación electromagnética llamada fotón gamma, el cual es de gran importancia en Protección Radiológica.

Partículas subatómicas de mayor importancia

- **Electrón.** Partícula que posee carga eléctrica negativa  $e^- = -1.6 \times 10^{-19}$  Coulombs y una masa en reposo  $m_e = 9.10956 \times 10^{-28}$  gramos. Las partículas beta negativa ( $\beta^-$ ) emitidas por algunos materiales radiactivos son realmente electrones en movimiento.
- **Protón.** Partícula con carga eléctrica de la misma magnitud que la del electrón pero positiva,  $p^+ = 1.6 \times 10^{-19}$  C. Su masa es aproximadamente 1838 veces mayor que la del electrón,  $m_p = 1.67261 \times 10^{-24}$  g.
- **Neutrón.** Partícula con carga eléctrica neta igual a cero y masa ligeramente superior a la del protón,  $m_n = 1.67492 \times 10^{-24}$  g. No es una partícula estable si se encuentra aislada ya que se convierte en un protón, un electrón y un antineutrino, de acuerdo con la siguiente reacción de desintegración:



El neutrón es una partícula estable cuando se encuentra incorporado a algún núcleo, pero en algunos casos, a pesar de ello, se desintegra como se ha mencionado.

Los protones y los neutrones forman el núcleo de los átomos (excepto en el cual ambos son denominados como nucleones).

- **Fotón.** En ocasiones se menciona que el fotón no debe ser considerado como partícula. Se considera como tal bajo el punto de vista de la dualidad onda-partícula, siendo ésta un área en la que no es necesario profundizar. El fotón es un tipo de radiación electromagnética similar a las ondas de radio y la luz visible, diferenciándose de ellas únicamente por su mayor energía. Su carga eléctrica y su masa en reposo son iguales a cero. Se desplaza en el vacío a la velocidad de la luz,  $C = 2.9979 \times 10^8$  m/s.

En este caso nos interesan dos fotones de diferente energía, el rayo X y el rayo o fotón gamma ( $\gamma$ ).

El rayo X tiene menor energía que el ( $\gamma$ ) y ambos se originan y se utilizan de manera diferente.

- **Masa y energía.** Una cantidad de masa puede ser convertida en su equivalente en energía de acuerdo con la conocida ecuación.

$$E = mc^2 \quad (1.1)$$

Donde E es la energía total contenida en un sistema de masa m y C es la velocidad de la luz en el vacío ( $c = 2.999792 \times 10^8 \text{ m/s}$ ).

Tomando una unidad de masa atómica, la convertimos en su equivalente en energía como sigue:

$$m = 1 \text{ uma} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$E = (1.66 \times 10^{-27} \text{ kg})(2.9979 \times 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$E = 1.49 \times 10^{-10} \text{ Kg} (\text{m/s})^2 = 1.492 \times 10^{-10} \text{ J}$$

Donde:

$$1 \text{ Joule (J)} = 1 \text{ kg (m/s)}^2$$

En Protección Radiológica se utiliza una unidad de energía más adecuada llamada electrón-volt (eV) definida como la energía cinética que adquiere un electrón, inicialmente en reposo, al ser acelerado por una diferencia de potencial de 1 Volt. De acuerdo con esta definición se tiene lo siguiente

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Se utilizan también sus múltiplos **kiloelectrón-volt (keV)** y **megaelectrón-volt (MeV)**

$$1 \text{ keV} = 10^3 \text{ eV}$$

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

Empleando el MeV, la equivalencia entre masa y energía es

$$1 \text{ uma} = 931.5 \text{ MeV}^1$$

## 1.2 Concepto de radiación

La radiación se puede definir como la emisión y propagación de energía a través del espacio o de un medio material, en forma de ondas o de partículas.

La radiación para su estudio se clasifica en: corpuscular (o de partículas) y electromagnética. Ambos tipos de radiación transportan energía. Como ejemplos de estos tipos de radiación tenemos a la radiación alfa, radiación beta, neutrones y radiación electromagnética como la luz visible, las ondas de radio, la radiación gamma y los rayos X.

Existen dos fuentes de radiación: natural y artificial. La radiación natural está representada por la radiación cósmica, fuentes terrestres ( $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{238}\text{U}$ , etc.) y el cuerpo humano ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$ ). La radiación artificial es toda aquella que el hombre durante su desarrollo ha llegado a producir: televisión, radio, microondas, radar, equipos de rayos X, ensayos nucleares, reactores nucleares, etc.

La radiación ionizante es toda aquella radiación capaz de producir iones, directa o indirectamente, debido a su interacción con la materia.

Existen varios mecanismos de emisión de radiación, entre ellos se encuentra el decaimiento radiactivo que consiste en que el núcleo inestable de un átomo emite partículas y/o fotones (radiación) para alcanzar su estabilidad (no en todas las ocasiones al decaer un núcleo radiactivo llega a ser un núcleo estable sino que pueden ser necesarios varios pasos de decaimiento para poder llegar a su estabilidad, como por ejemplo en el caso del  $^{238}\text{U}$ ).

---

<sup>1</sup> Factores para el cálculo del equivalente de dosis. Norma Oficial Mexicana NOM-001-NUCL-1994.

En palabras sencillas se puede afirmar que para que exista estabilidad en un núcleo, se debe tener un equilibrio energético que depende de los niveles de energía en los que se encuentran las partículas que lo constituyen, o sea, bajo ciertas condiciones estructurales. Cuando no existe este equilibrio el núcleo es inestable y tiende a lograr en forma espontánea su estabilidad por medio de algún mecanismo. Generalmente se emite algún tipo de radiación durante el proceso y se dice que el núcleo es radiactivo. La radiactividad se refiere a los procesos de desintegración espontánea de los núcleos en forma gradual o transiciones de energía hasta alcanzar el estado estable. En esto consiste el fenómeno del decaimiento radiactivo.

### 1.2.1 Modos de decaimiento radiactivo

Cuando un núcleo sufre un decaimiento radiactivo tiende a alcanzar su estabilidad. En ocasiones el núcleo hijo es estable pero en otras sigue siendo radiactivo y decae a su vez, en forma sucesiva hasta que uno de los núcleos producidos es estable.

Existen varios mecanismos mediante los cuales un núcleo tiende a la estabilidad, llamados modos de decaimiento. En algunos casos uno o más de tales procesos pueden ocurrir uno después de otro y en otros casos existe la posibilidad de que un núcleo decaiga en alguna de dos o más formas, de tal manera que existen procesos alternos de decaimiento que conducen a un estado energético menor.

Los modos de decaimiento de mayor interés en Protección Radiológica son los siguientes:

- a. Decaimiento alfa ( $\alpha$ )
- b. Decaimiento beta negativa ( $\beta^-$ )
- c. Decaimiento beta positiva ( $\beta^+$ )
- d. Captura electrónica (CE)
- e. Decaimiento gamma ( $\gamma$ )
- f. Conversión interna (CI)

- g. transición isomérica (TI)
- h. Emisión de neutrones

Otro mecanismo de producción de radiación, que para nuestro caso es la más importante, es la llamada **radiación de frenado** (bremsstrahlung). Este mecanismo consiste en la producción de radiación X al interactuar con la nube electrónica de un material los electrones acelerados. Los electrones llevan energía cinética y al acercarse a las proximidades del material van a sentir una fuerza de repulsión electrostática, por lo que esa energía cinética que poseen se transformará en otro tipo de energía, que en este caso es electromagnética (Aproximado ~ 1-2 %) Y el resto calorífica (98-99%). Este mecanismo es el que se utiliza para producir los rayos X en los equipos para diagnóstico, como se verá a detalle más adelante.

### 1.2.2 Radiación electromagnética

Un tipo de radiación muy importante, principalmente desde el punto de vista de la Protección Radiológica, es la radiación electromagnética. Esta radiación no posee masa en reposo pero si posee una cantidad de energía.

La radiación electromagnética a que nos referimos son los rayos X. cuya naturaleza es similar a otras radiaciones electromagnéticas como la luz visible, la radiación gamma ( $\gamma$ ), las ondas de radio, etc., pero su longitud de onda es mucho menor; en la Figura 1.2 se observa el espectro electromagnético con las regiones de longitudes de onda y frecuencias de varias radiaciones, donde podemos encontrar las correspondientes a los rayos X. Es necesario mencionar que dos propiedades fundamentales de las radiaciones electromagnéticas son su velocidad y su longitud de onda; se sabe experimentalmente que la velocidad de todas las radiaciones electromagnéticas es la misma:  $2.999792 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  en el vacío, es decir, la velocidad de la luz. Dado que la radiación electromagnética consiste de ondas en movimiento que tiene una serie de crestas (**Figura 1.3**), la distancia

entre dos crestas sucesivas se llama longitud de onda representada por la letra  $\lambda$ . El número de ondas que pasa por un punto determinado por segundo se llama frecuencia representada por  $\nu$ ; la relación que existe entre  $\lambda$  y  $\nu$  es la siguiente:

$$\lambda = \frac{C}{\nu} \quad (1.2)$$

Donde:

$\lambda$ = longitud de onda en m

$\nu$ = frecuencia en  $s^{-1}$  o Hz (1 Hertz Hz =  $1 s^{-1}$ )

$C$  = velocidad de la luz en el vacío

La energía que acarrea la onda electromagnética es directamente proporcional a la frecuencia y está dada por la ecuación:

$$E = h\nu \quad (1.3)$$

Donde:

$E$  = energía de la onda en eV

$\nu$  = frecuencia en  $s^{-1}$  o Hz

$h$  = constante de Planck =  $4.13571 \times 10^{-15}$  eVs

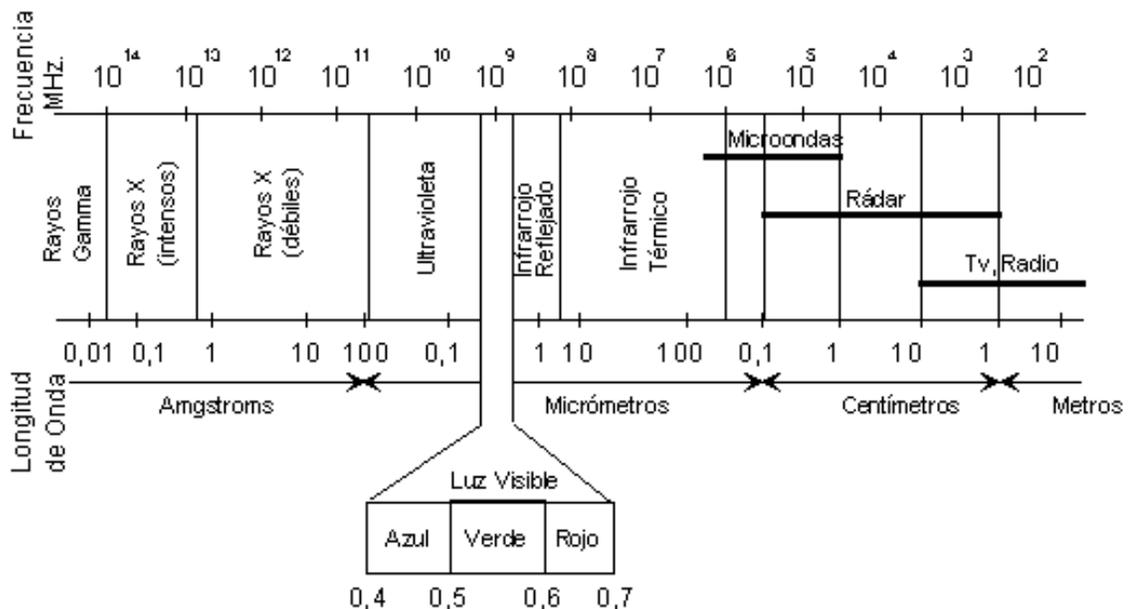
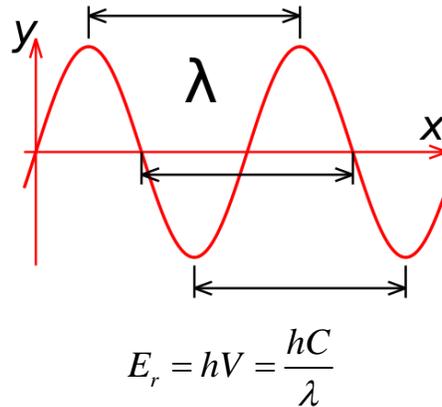


Figura 1.2.- Espectro electromagnético



$E_r$  = Energía del fotón Gama

$h$  = Constante de Planck

$V$  = Frecuencia de onda

$\lambda$  = Longitud de onda

$C$  = Velocidad de de la luz

Figura 1.3 - Representación de una onda electromagnética

Cuando un núcleo es inestable tiende a alcanzar su estado estable mediante la emisión de una radiación gamma. Estos rayos  $\gamma$  son similares a los rayos X y su diferencia se debe a su origen; los rayos gamma se originan en el núcleo del átomo mientras que los rayos X se producen en la capa electrónica del átomo. La radiación electromagnética se conoce generalmente como fotones y se consideran como paquetes de energía emitidos por un núcleo radiactivo al decaer o al ser producido en un equipo de rayos X o acelerador de partículas.

### 1.2.3 Generación y propiedades de los rayos x

La función fundamental del aparato de rayos X consiste en acelerar los electrones desde un cátodo hasta un ánodo. Las tres partes principales de una máquina de rayos X, es decir, la consola de control, la sección de alta tensión y el tubo de rayos X, están diseñadas para proporcionar un gran número de electrones enfocados en una mancha pequeña del ánodo, de tal forma que cuando los electrones llegan al ánodo han adquirido gran energía cinética.

La energía cinética es la energía del movimiento. Los objetos estáticos no tienen energía cinética; los objetos en movimiento tienen una energía cinética proporcional a su masa y al cuadrado de su velocidad. Por ejemplo, un automóvil de 1000 kg tiene cuatro veces la energía cinética de una motocicleta de 250 kg, contando con que ambos se desplacen a la misma velocidad. Sin embargo, si la motocicleta aumenta su velocidad al doble tendrá la misma energía cinética que el automóvil. La ecuación utilizada para calcular la energía cinética es:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1.4)$$

Donde m es masa en kg, v la velocidad en m/s y E, la energía cinética en Joules (J). La velocidad es más importante que la masa para determinar la magnitud de la energía cinética de un proyectil. En un tubo de rayos X, el proyectil es el electrón. Cuando aumenta su energía cinética, se elevan la intensidad y la energía (y como consecuencia, su capacidad de penetración) de los rayos X creados.

El moderno aparato de rayos X es un instrumento notable. Envía al blanco un enorme número de electrones con una energía cinética controlada con exactitud. A 100 mA, por ejemplo,  $6 \times 10^{17}$  electrones viajan desde el cátodo hasta el ánodo del tubo de rayos X cada segundo. En una máquina de rayos X que opera a 70 kVp, cada electrón llega al blanco con una energía cinética máxima de 70 keV ( $1.12 \times 10^{-14} J$ ).

Si se introduce esa energía en la ecuación (1.4) y se despeja la velocidad de los electrones, tendremos:

$$1.12 \times 10^{-14} J = \frac{1}{2} (9.1 \times 10^{-31} Kg) v^2$$

$$v^2 = \frac{(2)(1.12 \times 10^{-14} J)}{(9.1 \times 10^{-31} Kg)} = 0.25 \times 10^{17} m^2/s^2$$

$$v = 1.6 \times 10^8 m/s$$

Ejemplo: ¿A qué fracción de la velocidad de la luz viajan los electrones de 70 keV?

Respuesta:

$$\frac{v}{c} = \frac{1.6 \times 10^8 \frac{m}{s}}{2.9979 \times 10^8 \frac{m}{s}} = 2.9979 \times 10^{-8}$$

Esos cálculos no son exactamente correctos, sirven sólo para ilustrar el tema y demostrar el uso de la ecuación (1.4). De acuerdo con la teoría de la relatividad, la masa del electrón aumenta cuando se aproxima a la velocidad de la luz, por lo que el valor real de  $v/c$  es 0.47.

La distancia entre el filamento y la diana del blanco es de solo 1 a 3 cm. No es difícil imaginar la intensidad de la fuerza aceleradora necesaria para elevar la velocidad de los electrones desde cero hasta casi la mitad de la velocidad de la luz en tan corta distancia.

Los electrones que viajan desde el cátodo hasta el ánodo constituyen la corriente del tubo de rayos X y se les denomina electrones proyectil. Cuando esos electrones proyectil chocan contra los átomos del metal pesado del blanco, interactúan con ellos y transfieren su energía cinética al blanco. Esas interacciones se producen dentro de una profundidad de penetración muy pequeña en el blanco. Conforme se produce esta interacción, los electrones proyectil disminuyen de velocidad y quedan casi en reposo, momento en el que pueden ser conducidos a través del ánodo hacia los circuitos electrónicos asociados.

Los electrones proyectil interactúan con los electrones orbitales o los núcleos de los átomos del blanco. Las interacciones dan lugar a la transformación de la energía cinética en energía térmica (calor) y en energía electromagnética (rayos X).

Casi toda la energía cinética de los electrones proyectil se convierte en calor. En la Figura 1.4 se ilustra esquemáticamente cómo sucede eso. Los electrones proyectil interactúan con los electrones de la capa externa de los átomos del blanco, pero no les transfieren energía suficiente para ionizarlos. Los electrones de la capa externa pasan simplemente a un nivel de energía más alto (son excitados), volviendo inmediatamente a su estado de energía normal con emisión de radiación infrarroja. La excitación y la recuperación constantes de los electrones de la capa externa son responsables del calor generado en el ánodo de los tubos de rayos X.

### 1.2.4 Procesos de interacción de WS rayos x con la materia

Tres regiones del espectro electromagnético tienen una importancia especial en tecnología radiológica. Es obvio que la región de los rayos X es fundamental para obtener radiografías de alta calidad. También es importante la región de luz visible, ya que las condiciones de visualización de una imagen radiográfica o fluoroscópica son críticas para el diagnóstico. Más recientemente, con la introducción de la imagen de resonancia magnética (IRM), ha aumentado la importancia de la región de radiofrecuencia en radiología.

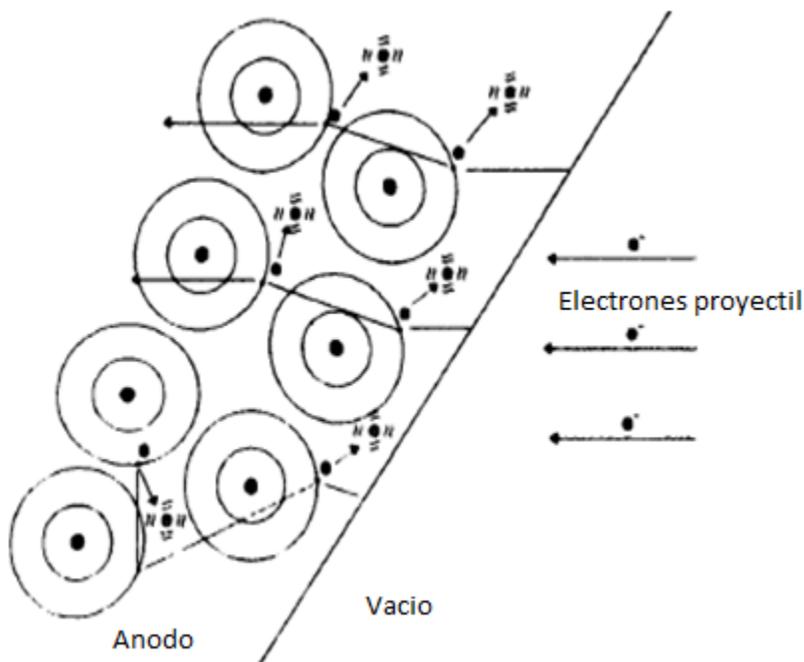


Figura 1.4.- La mayor parte de la energía cinética de los electrones proyectil se transforma en calor por la interacción con electrones de la capa externa de los átomos blanco. Esas interacciones producen fundamentalmente excitaciones en vez de ionizaciones.

El fotón de la radiación X y el fotón de la luz visible son en esencia iguales, a excepción de que el primero tiene una frecuencia y energía mucho mayor y por tanto una longitud de onda más corta. Esas diferencias dan lugar a variaciones en la forma en que esos fotones interactúan con la materia. Los fotones de luz visible tienden a exhibir más la naturaleza de una onda que la de una partícula. Sucede lo opuesto con los fotones de rayos X, que se comportan más como partículas que como ondas, un fenómeno al que se conoce como dualidad onda-partícula de la radiación.

Otra forma de considerar la interacción de la radiación electromagnética con la materia está en función de la longitud de onda. Los fotones interactúan con la materia más fácilmente cuando la materia tiene aproximadamente el mismo tamaño que la longitud de onda del fotón. En consecuencia, los fotones de las ondas de radio, cuyas longitudes de onda se miden en metros, interactúan con barras de metal o alambres a los que se les denomina antenas. Las microondas, cuyas longitudes de onda se miden en centímetros, interactúan más fácilmente con objetos del mismo tamaño, como salchichas, hamburguesas o tostadas. La longitud de onda de la luz visible se mide en micrómetros y esa forma de radiación interactúa con las células vivas, como los bastones y los conos oculares. La luz ultravioleta interactúa con las moléculas, en tanto que los rayos X lo hacen con átomos y partículas subatómicas. Todas las radiaciones con longitud de onda mayor que la de los rayos X interactúan sobre todo como un fenómeno ondulatorio.

### **1.2.5 Los rayos X se comportan como si fuesen partículas.**

Modelo de onda: la luz visible

Una de las características específicas de los animales es el sentido de la vista. Es interesante el hecho de que nosotros hayamos desarrollado órganos que sólo detectan una porción muy estrecha de la enorme extensión del espectro electromagnético. Esa porción estrecha se conoce como luz visible. El espectro de la luz visible se extiende desde la radiación violeta de longitud de onda corta, a

través del verde y del amarillo, hasta la radiación roja de longitud de onda larga. A ambos lados del espectro de la luz visible, existen radiaciones similares, la ultravioleta y la infrarroja, que no pueden ser detectadas por el ojo humano, pero que se pueden detectar con otros medios, por ejemplo una emulsión fotográfica.

La luz visible interacciona con la materia de una forma muy distinta a la de los rayos X. Cuando un fotón de luz choca con un objeto, hace vibrar sus moléculas. Los electrones orbitales de algunos átomos de determinadas moléculas son excitados hasta un nivel de energía mayor que el normal. Esa energía se vuelve a irradiar inmediatamente como otro fotón de luz. Las estructuras atómica y molecular del objeto determinan las longitudes de onda de la luz irradiada.

Una hoja de árbol aparece verde bajo la luz solar debido a que todos los fotones de la luz visible son absorbidos por la hoja y sólo vuelven a ser emitidos aquellos con longitudes de onda en la región del verde. Igualmente, un balón puede parecer rojo si absorbe todos los fotones visibles y vuelve a irradiar sólo los de la longitud de onda correspondiente a ese color.

Muchos fenómenos familiares de la luz, como la reflexión, la absorción y la transmisión, son más fáciles de explicar si se utiliza el modelo de onda de la radiación electromagnética. Cuando se lanza una piedra a un estanque tranquilo, las ondas se irradian desde el centro de la alteración creada como ondas en miniatura. Esa situación es similar a la naturaleza ondulatoria de la luz visible. La diferencia en las olas del agua muestra que cuando la alteración inicial está causada por un objeto grande es mucho mayor que la que existe entre las originadas por uno pequeño. La diferencia en la longitud de onda de esas olas de agua es proporcional a la energía introducida en el sistema. En el caso de la luz sucede lo contrario: cuanto más corta sea la longitud de onda del fotón, mayor será su energía.

Si la analogía de la piedra en el estanque se extiende a una sucesión continua y armoniosa de piedras caídas en un océano tranquilo, las olas en la orilla del océano parecerán rectas en vez de circulares. Las ondas de luz se comportan como si fuesen rectas en vez de circulares, debido a que la distancia relativa a la fuente es grande. La forma como la luz se refleja o es transmitida a través de una superficie, es una consecuencia de un movimiento ondulatorio recto.

Cuando las olas del océano chocan contra un malecón vertical, las olas reflejadas rebotan desde el malecón con el mismo ángulo de las incidentes. Cuando se quita el malecón y se sustituye por una playa, las olas simplemente se aplastan en la playa, pierden su energía y son absorbidas. Cuando existe una situación intermedia, en la que el malecón ha sido sustituido por una línea de pilotes, la energía de las ondas es absorbida en parte y esa absorción parcial se denomina atenuación.

La luz visible puede interactuar de forma similar con la materia. La reflexión desde la superficie de un espejo es algo común. También es fácil identificar ejemplos de transmisión, absorción y atenuación. Cuando las ondas de luz son absorbidas, la energía depositada en el objeto absorbente reaparece en forma de calor. Una carretera de asfalto negro refleja muy poca luz visible, pero absorbe una considerable cantidad de energía. La superficie de la carretera se puede calentar bastante por esa causa.

Una ligera modificación puede cambiar la forma o la extensión con la que algunos materiales transmiten o absorben la luz. La Figura 1.5(A), muestra tres formas de interacción entre luz y material absorbente: transparencia, translucencia y opacidad.

La ventana de cristal es transparente; permite la transmisión de la luz casi sin alteraciones. Es posible ver a través de ella, ya que la superficie de cristal es lisa y la estructura molecular ajustada y ordenada. Las ondas de luz incidentes causan

vibraciones moleculares y electrónicas dentro del cristal. Esas vibraciones son transmitidas a través del cristal y se irradian otra vez casi sin cambios.

Cuando la superficie del cristal se frota con papel de lija, la luz sigue siendo transmitida a través del cristal, pero muy alterada y con intensidad reducida. En lugar de verse con claridad, sólo se aprecian siluetas. Se dice que tal cristal es translúcido. Cuando el cristal se pinta de negro, las características del pigmento de la pintura no permiten el paso de la luz. Cualquier luz incidente será absorbida totalmente por la pintura. Ese cristal es opaco a la luz visible.

Los términos radioluciente y radioopaco se emplean habitualmente en el diagnóstico radiológico para describir el aspecto visual de las estructuras anatómicas. Las estructuras que absorben los rayos X se llaman radioopacas y las que los atenúan en un grado relativamente menor se conocen como radiolucientes. Según muestra la Figura 1.5 (B), el hueso es radioopaco, mientras que los tejidos blandos son radiolucientes<sup>2</sup>.

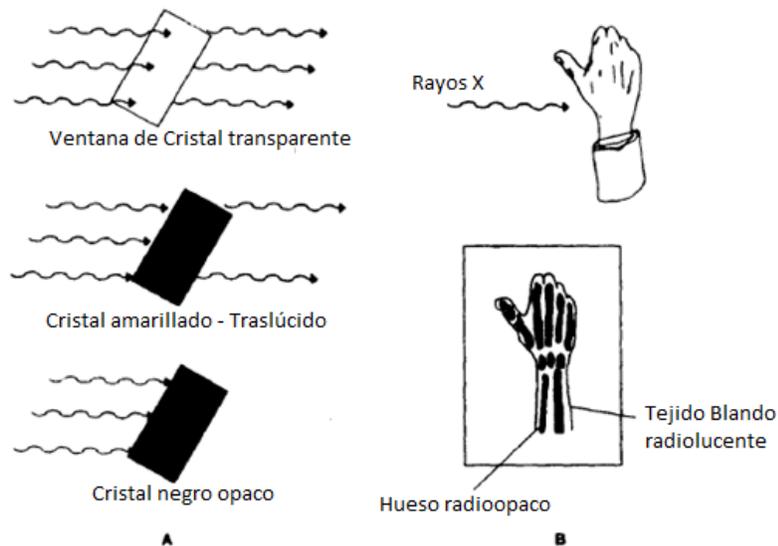


Figura 1.5.- Estructura radiopaco y radiolucientes

<sup>2</sup> Los objetos absorben la luz en tres grados: nada (transmisión), en parte (atenuación) y totalmente (absorción). (A), los objetos asociados con esos tres grados de absorción se conocen como transparentes, translúcidos y opacos, respectivamente. (B), las estructuras que absorben los rayos X se describen como radiolucientes o radioopacas, dependiendo del grado relativo de transmisión o absorción de los rayos X, respectivamente. [http://www.proz.com/kudoz/english\\_to\\_spanish/medical/423215-radiolucency.html](http://www.proz.com/kudoz/english_to_spanish/medical/423215-radiolucency.html) pág. recuperada, Junio/1/ 2012

### 1.2.6 Ley del inverso del cuadrado

Otra propiedad de la luz visible es la forma en que disminuye su intensidad con la distancia desde el origen. Cuando la luz es emitida por una fuente como el Sol o una bombilla, la intensidad disminuye rápidamente con la distancia desde el origen. Los rayos X muestran exactamente la misma propiedad. En la Figura 1.6 se muestra que, conforme se aleja un libro del origen de la luz, la iluminación ( $E$ ) del mismo es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el objeto y la fuente. En matemáticas eso se conoce como ley del inverso del cuadrado y se expresa así:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad (1.5)$$

Donde  $E_1$  es la iluminación a la distancia  $d_1$  desde la fuente y  $E_2$  es la iluminación a la distancia  $d_2$  desde la fuente.

La razón para que la iluminación disminuya rápidamente al aumentar la distancia es que la luz total emitida se distribuye sobre un área cada vez mayor. El equivalente de ese fenómeno en la analogía de las olas de agua consiste en que, al aumentar la distancia desde el punto de disturbio, las olas pierden intensidad, aunque mantengan una longitud de onda fija.

Si la fuente de radiación no es un punto, sino una línea, por ejemplo un tubo de luz fluorescente, o un plano, como una fuente del tipo lápiz (como las de un irradiador gamma), la ley del inverso del cuadrado no se cumple en distancias próximas a la fuente. A mayores distancias desde el origen, sí se puede aplicar esa ley.

Como norma, la ley del inverso del cuadrado se aplica para distancias que superen en diez veces la mayor dimensión de la fuente.

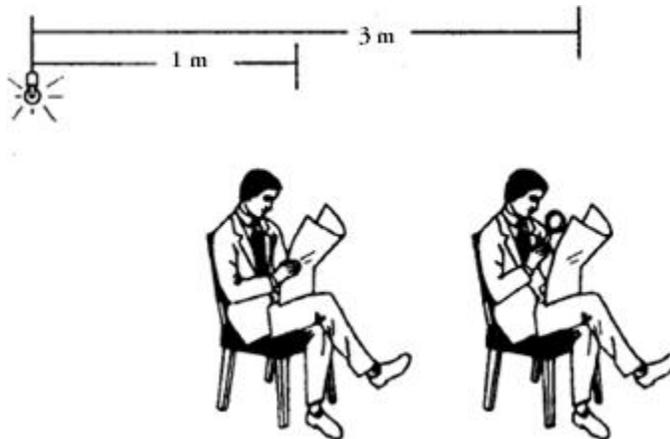


Figura 1.6.- La ley del inverso del cuadrado de la distancia describe la relación entre la intensidad de radiación y la distancia desde la fuente de radiación.

Para aplicar la ley del inverso del cuadrado, es necesario conocer cuatro parámetros. La situación usual es una iluminación conocida a una distancia fija desde el origen y una iluminación desconocida a mayor distancia.

Esa relación entre intensidad de la radiación y distancia desde el origen también se aplica a la intensidad de los rayos X<sup>3</sup>

<sup>3</sup> **Dosis máxima permitida de radiación**, Medida de la dosis absorbida y del daño biológico:

#### **Unidades antiguas**

- **RAD** Dosis de radiación absorbida. Unidad de dosis absorbida de radiación ionizante, que equivale a la energía de 100 ergios por gramo de materia irradiada. Esta unidad ya no está en uso. Ha sido reemplazada como unidad científica estándar por el gray. La diferencia entre el rad y el gray es un factor de proporcionalidad: 100 rads equivalen a un gray.
- **Rem**. Roentgen Equivalent Man. La cantidad de radiación ionizante requerida para producir el mismo efecto biológico que un rad de rayos X de alta penetración. Esta unidad ya no se usa. Ha sido reemplazada por el Sievert. 100 rems equivalen a un sievert.
- **Roentgen**. Cantidad de radiación X o gamma (radiación electromagnética) que produce  $1/3 \times 10^{-9}$  Coulombs de carga eléctrica en un centímetro cúbico de aire seco en condiciones estándar. Aunque el roentgen describe una propiedad diferente de la energía absorbida por unidad de masa, el efecto de un roentgen en aire seco es aproximadamente igual a un rad. Esta unidad ya no se usa. Ha sido reemplazada por el rad y posteriormente por el gray.

#### **Unidades actuales**

- **Gray**. Unidad de dosis absorbida de radiación ionizante del Sistema Internacional, equivalente a una absorción de un julio por kilogramo. El gray es la unidad correcta que se debe usar cuando se desea medir la energía absorbida por unidad de masa.
- **Sievert** Unidad de dosis equivalente de radiación del Sistema Internacional, igual a un julio por kilogramo. Cantidad de radiación ionizante requerida para producir el mismo efecto biológico que un rad de rayos X de alta penetración, equivalente a gray para los rayos X. Mide la dosis de radiación equivalente. Un sievert equivale a un sievert multiplicado por el factor relativo de efectividad biológica, Q, y un factor que tiene en cuenta la distribución de la energía de radiación, N. El Sievert es la unidad correcta que se debe usar cuando se desea medir el peligro biológico de la radiación. <http://www.lennotech.es/efectos-salud-radiacion.htm>, pág. recuperada 27/Agosto/2012

1. La exposición con un tubo de rayos X que funciona a 70 kVp y 200 mA· s es de 375 mR<sup>4</sup> (96.8 μC/kg) a 90 cm. ¿Cuál será la exposición a 180 cm?

Respuesta:

$$\frac{x_1}{x_2} = \left[ \frac{d_2}{d_1} \right]^2$$

$$x_1 = x_2 \left[ \frac{d_2}{d_1} \right]^2$$

$$x_1 = (375mR) \left( \frac{90cm}{180cm} \right)^2$$

$$x_1 = (375mR) \left( \frac{1}{2} \right)^2$$

$$x_1 = (375mR) \left( \frac{1}{4} \right)$$

$$x_1 = 93.75mR$$

Este ejemplo ilustra que cuando se dobla la distancia desde el origen, la intensidad de la radiación disminuye a la cuarta parte, y a la inversa, cuando la distancia disminuye a la mitad, la intensidad aumenta por un factor de cuatro.

2. Para una determinada técnica, la intensidad de rayos X a 100 cm desde el tubo es de 435 mR (112.2 μC/kg). ¿Cuál será la intensidad en el borde de la consola de control, a una distancia de 3 m, si el cabezal del tubo está apuntando hacia la consola? (Como es natural, eso no debe suceder nunca).

Respuesta:

<sup>4</sup>miliRem Una milésima parte de un rem, la unidad de medida de dosis equivalente. <http://icctreconocimientodesaberes1.blogspot.mx/2010/10/dosis-maxima-permitida-de-radiacion.html> pág. recuperada 27/Agosto/2012

$$\frac{x_1}{x_2} = \left[ \frac{d_2}{d_1} \right]^2$$

$$x_1 = x_2 \left[ \frac{d_2}{d_1} \right]^2$$

$$x_1 = (435mR) \left( \frac{100cm}{3m} \right)^2$$

$$x_1 = (435mR) \left( \frac{1}{3} \right)^2$$

$$x_1 = (435mR) \left( \frac{1}{9} \right)$$

$$x_1 = 48.33mR$$

Con frecuencia es necesario determinar la distancia desde la fuente a la cual la radiación tiene una determinada intensidad. Ese tipo de problema es común al diseñar las instalaciones radiológicas.

3. Se va a montar una unidad torácica móvil temporalmente en un área exterior. La técnica utilizada dará exposición de 22 mR (5.7  $\mu\text{C}/\text{kg}$ ) a 180 cm. Se quiere acordonar el área detrás del soporte torácico en la que la intensidad de la exposición sea superior a 1 mR (0,3  $\mu\text{C}/\text{kg}$ ).

¿A qué distancia del tubo de rayos X se situará esa área?

Respuesta:

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

$$d_2^2 = d_1^2 \left[ \frac{x_1}{x_2} \right]$$

$$d_2 = \left[ d_1^2 \left[ \frac{x_1}{x_2} \right] \right]^{1/2}$$

$$d_2 = \left[ 180^2 \text{ cm}^2 \left[ \frac{22}{1} \right] \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$d_2 = (180^2 \text{ cm}^2)^{\frac{1}{2}} (22)^{\frac{1}{2}}$$

$$d_2 = 180 * 4.7 \text{ cm}$$

$$d_2 = 846 \text{ cm} = 8.46 \text{ m}$$

### 1.2.7 Teoría del cuántum: fotones de rayos X

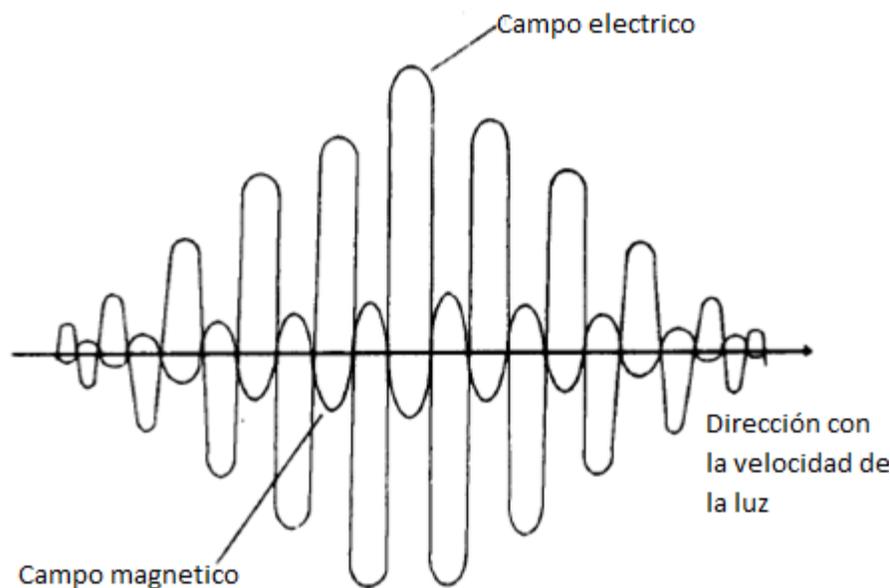
A diferencia de otras porciones del espectro electromagnético, los rayos X se suelen identificar por su energía, medida en electrón voltios. La energía de los fotones de rayos X varía desde aproximadamente 1 keV hasta 50 MeV o más. La longitud de onda correspondiente a ese rango de radiación X es de aproximadamente  $10^{-9}$  a  $10^{-12}$  m. La frecuencia de esos fotones varía desde aproximadamente  $10^{18}$  hasta  $10^{21}$  Hz. La Tabla 1.1 de la pg. 26 describe los diferentes tipos de fotones de rayos X producidos y el uso que se hace de cada uno de ellos. A nosotros nos interesa sobre todo el rango diagnóstico de la radiación X, aunque lo que se afirma para ese rango también es aplicable a otros tipos de radiación X.

La máxima energía posible de los rayos X sólo está limitada por el tamaño del aparato de rayos X disponible. Las máquinas de rayos Grenz son bastante pequeñas, mientras que algunas unidades de megavoltaje requieren un espacio equivalente a varias habitaciones.

Se puede considerar que un fotón de rayos X contiene un campo eléctrico y un campo magnético, que varían de forma sinusoidal en ángulo recto el uno con el otro. El fotón de rayos X es un haz discreto de energía, por lo que su comienzo y su final muestran amplitud disminuida (Figura 1.7). La longitud de onda de un fotón de rayos X se mide como la de cualquiera otra radiación electromagnética: la distancia desde cualquier posición de una onda sinusoidal hasta la misma posición

de la onda siguiente. La frecuencia de un fotón de rayos X se calcula como la de cualquier fotón electromagnético, con la ecuación 1.3 de la pag. 10.

Los fotones de rayos X son creados a la velocidad de la luz y sólo pueden existir a velocidad (C) o desaparecer totalmente, lo que es uno de los puntos esenciales de la teoría del cuántum de Planck<sup>5</sup>. Otra consecuencia más importante de esa teoría es la relación entre energía y frecuencia: la energía del fotón es directamente proporcional a su frecuencia. La constante de proporcionalidad, conocida como constante de Planck y simbolizada por h, tiene un valor numérico de  $4.13571 \cdot 10^{15}$  eV s. Desde el punto de vista matemático, la relación entre energía y frecuencia se expresa como ya se vio con la ecuación 1.3 de la pg. 10.



**Figura 1.7.- Un fotón de rayos X se puede concebir como dos ondas sinusoidales perpendiculares que viajan en línea recta a la velocidad de la luz. Una de las ondas sinusoidales representa un campo eléctrico y la otra un campo magnético.**

<sup>5</sup> **Max Karl Ernest Ludwig Planck** (Kiel, Alemania, 23 de abril de 1858 – Gotinga, Alemania, 4 de octubre de 1947) fue un físico alemán considerado como el fundador de la teoría cuántica y galardonado con el Premio Nobel de Física en 1918.

Ejemplos:

1) ¿Cuál es la frecuencia de un fotón de rayos X de 90 keV?

Respuesta:

$$E = h\nu$$

$$\nu = \frac{E}{h}$$

$$\nu = \frac{90 * 10^3 eV}{4.13571 * 10^{-15} eV * S}$$

$$\nu = 2.18 * 10^{19} Hz$$

2) ¿Cuál es la energía contenida en un fotón de radiación de una estación de radio, que tiene una frecuencia de emisión de 960 kHz?

Respuesta:

$$E = h\nu$$

$$E = (4.13571 * 10^{-15} eV * S^{-1})$$

$$E = 3.97 * 10^{-9} eV$$

Una extensión de la ecuación de Planck es la relación entre energía y longitud de onda del fotón; esa relación es útil para calcular las longitudes de onda equivalentes de los rayos X y de otros tipos de radiación. Según las ecuaciones  $E = h\nu$  y  $\nu = C/\lambda$ ; por tanto,  $E = h C/\lambda$ , en otras palabras, la energía del fotón es inversamente proporcional a su longitud de onda.

En esa relación, la constante de proporcionalidad es una combinación de dos constantes, la constante de Planck y la velocidad de la luz. Debe quedar claro que cuanto más larga sea la longitud de onda de la radiación, más baja será la energía de cada fotón.

3) ¿Cuál es la energía de un fotón de luz verde con una longitud de onda de 575 nm?

Respuesta:

$$E = \frac{hC}{\lambda}$$

$$E = \frac{(4.1357 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s})(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{(575 \cdot 10^{-9} \text{ m})}$$

$$E = \frac{1.24 \cdot 10^{-6} \text{ eV} \cdot \text{m}}{5.5 \cdot 10^{-7} \text{ m}}$$

$$E = 2.16 \text{ eV}$$

Tabla 1.1 Parte amplia de gama de rayos X utilizados en medicina, investigación e industria.

Tipo de Rayos X	Energía Aproximada	Aplicación
Difracción	Menos de 10 kVp	Investigación: análisis estructural y molecular
Rayos Grenz	10-20 kVp	Medicina: Dermatológica
Superficial	50-100 kVp	Medicina: terapia de tejidos superficiales
Diagnostico	30-150 kVp	Medicina: visualización de estructuras anatómicas y tejidos
Ortovoltaje	200-300 kVp	Medicina: terapia de tejidos profundos
Supervoltaje	300-1000 kVp	Medicina: terapia de tejidos profundos
Megavoltaje	Más de 1 MV	Industria: comprobación de la integridad de metales soldados

Estas modalidades de radio terapia han dejado de usarse .

### 1.3 Mecanismos de interacción de la radiación electromagnética con la materia

Aunque existe un gran número de efectos de interacción de la radiación electromagnética con la materia, solo tres de ellos son de importancia en el campo de la Protección Radiológica. Estos son: efecto fotoeléctrico, efecto Compton y la Producción de pares.

- **Efecto fotoeléctrico.** En el efecto fotoeléctrico, un fotón y o un fotón X interacciona con un electrón de algún átomo del material absorbedor. El fotón desaparece por completo y el electrón afectado es expulsado a alta velocidad debido a que recibe toda la energía del fotón. Generalmente el

efecto fotoeléctrico se debe a la interacción de la radiación electromagnética con los electrones de las capas internas del átomo, como la K o la L. **Ver la Figura 8.** Si la energía del fotón incidente es  $h\nu$  y  $B_e$  es la energía requerida para extraer al electrón del átomo, entonces la energía cinética del electrón expulsado, llamado fotoelectrón será:

$$E_f = h\nu - B \quad (1.6)$$

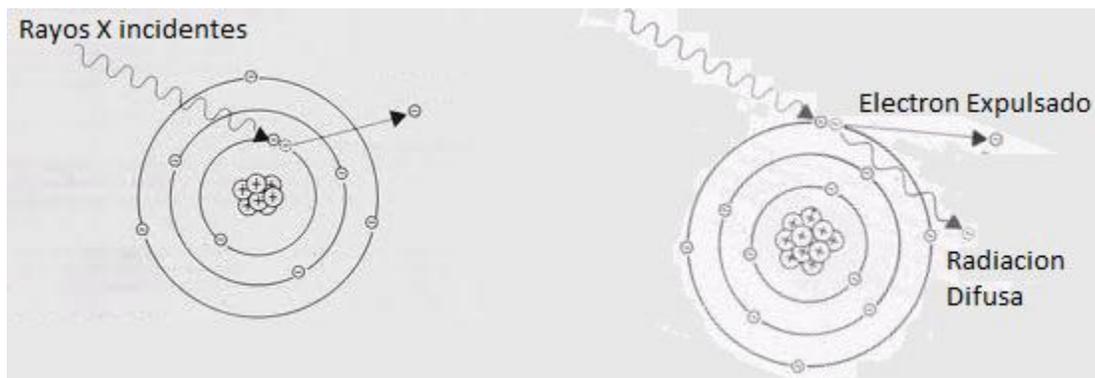


Figura 1.8.- Efecto fotoeléctrico.

Después de la salida del fotoelectrón, queda vacío momentáneamente su lugar y de inmediato se produce un reacomodo de electrones en el átomo, el cual consiste en lo siguiente: si el fotoelectrón salió de la capa K, uno de la L pasa a la K emitiendo un rayo X cuya energía es igual a la diferencia de energía entre los niveles de las capas K y L. Enseguida, un electrón de la capa M pasa a la L y se emite otro rayo X con energía equivalente a la diferencia de energía entre las capas M y L y así sucesivamente terminando el reacomodo finalmente hasta el último nivel energético.

Claro que se ha supuesto en este caso que hay capas L, M, etc.

En este efecto, por lo tanto, hay ionización ya que se produce un par de partículas cargadas. El fotoelectrón se comporta después como cualquier otra partícula ( $\beta$ ).

El efecto fotoeléctrico sucede preferentemente con fotones de baja energía y materiales absorbedores con alto número de masa.

- **Efecto Compton.** En este caso el fotón interactúa con un electrón orbital externo del átomo cediéndole sólo parte de su energía y saliendo desviado con respecto a su trayectoria original.

Mientras mayor es el ángulo de desviación, mayor es la cantidad de energía transferida al electrón. Esta va desde casi cero hasta una gran fracción de la energía original del fotón.

Si se desprecia la energía de enlace del electrón por ser de una capa externa en comparación con la del fotón, la ecuación para calcular la energía del fotón atenuado después de la interacción es:

$$h\nu = h\nu_1 - E \quad (1.7)$$

Donde:

$E$  = energía cinética del electrón expulsado

$h\nu_1$  = energía del fotón incidente

$h\nu_2$  = energía del fotón atenuado

Frecuentemente, el efecto Compton es el mecanismo de interacción predominante en el rango de energía típico de las emisiones por decaimiento de los radionúclidos. Ver Figura 1.9.

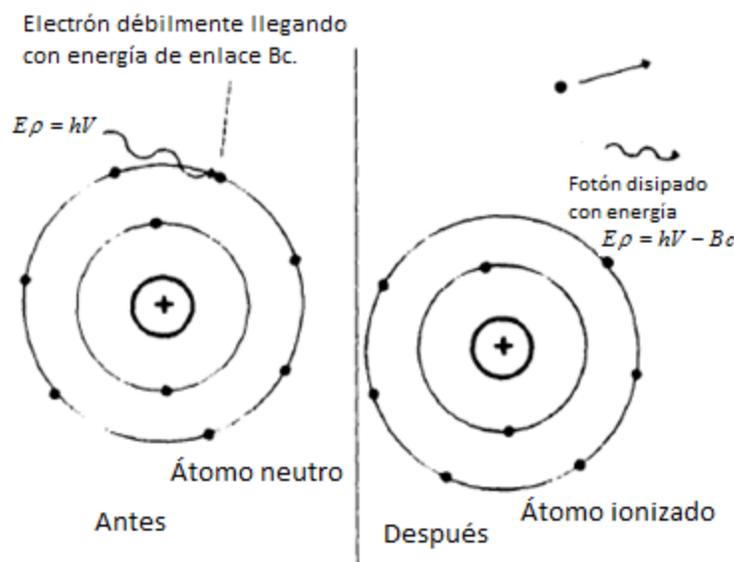


Figura 1.9.- Efecto Compton

- **Producción de pares** En este proceso, toda la energía del fotón es utilizada para generar dos partículas, un electrón y un positrón, cada una con su cantidad de energía cinética respectiva.

Si la energía del fotón excede al doble de la energía equivalente a la masa del electrón (1.022MeV en total), el proceso de producción de pares es energéticamente posible y por lo tanto se presenta sólo cuando los fotones son de alta energía.

El proceso de producción de pares requiere verificarse en las proximidades de un núcleo. Se requiere la presencia de un campo electromagnético de la intensidad suficiente como el que existe en los alrededores de núcleos con número atómico grande. Ver Figura 1.10.

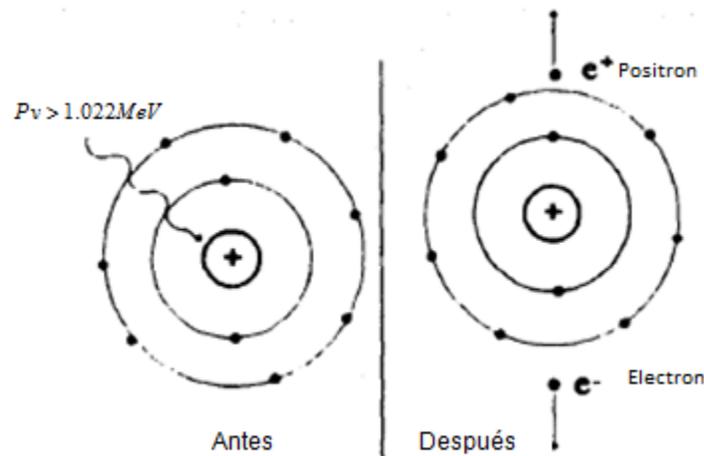


Figura 1.10.- Proceso de producción de pares

La importancia relativa de los tres procesos descritos se puede ver gráficamente por medio de la Figura 1.11, para diferentes materiales absorbentes y energías de fotones incidentes. La línea de la izquierda representa la energía a la cual el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton son igualmente probables en función del número atómico  $Z$  del absorbente. La línea de la derecha representa la energía a la cual la dispersión Compton y la producción de pares tienen la misma probabilidad. Las tres áreas en las que se divide la gráfica muestran el predominio de cada mecanismo de interacción.

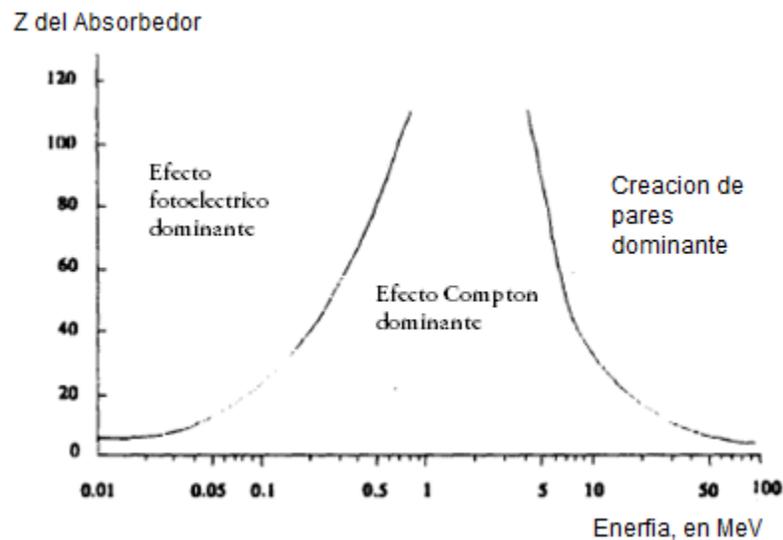


Figura 1.11.- Importancia relativa de cada uno de los efectos.

Cuando un material radiactivo o dispositivo emiten partículas o fotones, libera energía. Esta energía es poseída por las partículas o fotones emitidos, los cuales la transfieren al medio circundante, con el que interactúan. La ionización de un gas sirve para determinar los niveles de radiación. Con base en este fenómeno se han definido varias magnitudes y unidades que son ampliamente usadas en protección radiológica y cada una tiene sus fines específicos. A continuación se definen los tipos de magnitudes mencionados.

#### 1.4 Exposición y rapidez de exposición

La Exposición es la cantidad de carga que la radiación electromagnética produce en una unidad de masa de aire y su unidad especial es el Roentgen, denotado por R.

El **Roentgen** se define como la cantidad de radiación gamma que en  $1 \text{ cm}^3$  de aire seco en condiciones normales de presión y temperatura (Roentgen. Cantidad de radiación X o gamma (radiación electromagnética) que produce  $1/3 \times 10^9$  Coulombs de carga eléctrica en un centímetro cúbico de aire seco en condiciones estándar. Aunque el roentgen describe una propiedad diferente de la energía absorbida por unidad de masa, el efecto de un roentgen en aire seco es aproximadamente igual a un rad. Esta unidad ya no se usa. Ha sido reemplazada

por el rad y posteriormente por el gray.) produce una unidad electrostática de carga; en estas condiciones, la radiación electromagnética deposita  $5.432 \cdot 10^{13}$  eV en cada gramo de aire. La exposición, X es:

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (1.8)$$

Donde:

**dQ** - valor absoluto de la carga total de los iones de un signo producido en el aire cuando todos los electrones liberados por fotones se frenan completamente en aire.

**dm** - masa de aire

La unidad del Sistema Internacional de Unidades para la exposición, X, es el Coulomb/kilogramo, y entonces el Roentgen equivale a:

$$1R = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ C / kg} \quad (1.9)$$

La Rapidez o Tasa de Exposición se entiende como la rapidez con la que la radiación electromagnética produce cargas eléctricas en el aire y se representa matemáticamente de la siguiente manera:

$$X = \frac{dX}{dt} \quad (1.10)$$

Las unidades de la rapidez de exposición serán:

C/kg-s	Sistema Internacional
R/s, mR/h, R/min, etc.	Unidades especiales

### 1.4.1 Dosis absorbida y rapidez de dosis absorbida

La dosis absorbida,  $D$ , es la cantidad de energía que absorbe un material al ser expuesto a la radiación. Matemáticamente:

$$D = \frac{dD}{dT} \quad (1.11)$$

Donde:

**$dE$**  - Es la energía promedio depositada por la radiación ionizante en una porción de materia.

**$dm$**  - porción de masa

La unidad especial (o tradicional) para la dosis absorbida es el rad, definida como la cantidad de cualquier radiación que deposita 100 erg de energía en un gramo de cualquier material:

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg} / \text{ gramo}$$

Para el caso de que la energía de la radiación electromagnética esté entre 0.2 y 3 MeV y que el material absorbente sea tejido humano, se tiene la equivalencia siguiente:

$$D = 0.94x(1R = 0.94 \text{ rad})$$

Para el caso de que el material absorbente sea aire, la equivalencia es de

$$D = 0.87x(1R = 0.87 \text{ rad})$$

Actualmente ya se está empleando la unidad del Sistema Internacional de Unidades llamada "Gray" cuyo símbolo es (Gy) y que equivale a 100 rad.

La Rapidez o Tasa de Dosis Absorbida es la rapidez con que la radiación de cualquier tipo deposita su energía en cualquier material expuesto a ella, es decir:

$$D = \frac{dD}{dt} \quad (1.12)$$

Las unidades de la rapidez de dosis absorbida serán:

Gray/s                      Sistema Internacional  
rad/s, mrad/h, etc.      Unidades especiales

#### 1.4.2 Dosis equivalente y rapidez de dosis equivalente

En protección radiológica es necesario contar con una relación numérica bien definida entre la dosis absorbida y el efecto biológico que produce. La dosis absorbida es insuficiente para predecir la severidad o la probabilidad del efecto bajo condiciones no especificadas; por ello se ha introducido otra cantidad que interrelaciona la dosis absorbida con los efectos más importantes. Esta cantidad se denomina Dosis Equivalente, H, y se define como:

$$H = D(FC)N$$

Donde:

D es la dosis absorbida, N es el producto de todos los demás factores modificadores (rapidez de dosis, fraccionamiento de la misma, etc.) y por el momento la ICRP<sup>6</sup> le ha asignado el valor de 1 y FC es el factor de calidad que se explicará a continuación.

Si la Dosis Equivalente nos sirve para estimar el daño biológico, debe tomarse en cuenta el hecho de que cuando la radiación interactúa con las células del cuerpo, produce ionización en los átomos que la constituyen y a mayor ionización habrá daño biológico. Las partículas alfa producen una gran ionización comparada con la provocada por partículas beta y rayos gamma.

---

<sup>6</sup> Cada país cuenta con un organismo encargado de hacer cumplir la reglamentación existente en el área de seguridad radiológica, leyes que generalmente se han inspirado en las recomendaciones del ICRP. En México, es la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas la que cumple esta misión. En la actualidad (2000) se especifica para los trabajadores de la radiación un límite anual de equivalente de dosis para la irradiación del cuerpo entero igual a 5 rems. Este valor es unas 25 veces superior al valor de la radiación natural recibida en igual periodo. Debido a que el número de personas que trabajan con radiación es una fracción pequeña de la población, el efecto que su mayor exposición puede tener dentro de la totalidad de la población es sumamente reducido. Datos estadísticos recientes basados en la medición de los dosímetros personales muestran que, en promedio, un trabajador de la radiación recibe alrededor de 1 rem anual <http://www.icrp.org/> pág.1 recuperada Septiembre/3/2012.

Por ejemplo, en el cuerpo humano expuesto a 1 rad de radiación alfa se provoca tanto daño como 20 rad de radiación gamma. Con base en hechos experimentales se ha podido cuantificar en un factor llamado "Factor de Calidad" que representa el daño que cualquier tipo de radiación causa con relación al daño causado por la radiación gamma. Los valores reportados por la ICRU-40, Comisión Internacional sobre el Unidades y Medidas Radiológicas, factor de calidad en protección radiológica. (International Commission on Radiation Units and Measurements. 1986. The quality factor in radiation protection. Washington, D. C. ICRU. 32p. (ICRU-40)) Los reportes de ICRU brindan orientación respecto a la prescripción, los registros y los informes están en la Tabla 1.2

**Tabla 1.2 Factores de calidad.**

Fotones (X y $\gamma$ )	1
Electrones con energías superiores a 30 keV	1
Radiación beta del tritio	2
Neutrones	25
Protones o iones pesados	25
Partículas Alfa	25

La unidad especial de Dosis Equivalente en el Sistema Internacional es el rem, definido como:

$$1 \text{ rem} = (1\text{rad})(FC = 1) \quad (1.14)$$

Esto es:

$$H = D(FC) \quad (1.15)$$

Actualmente se está empleando la unidad del Sistema Internacional de Unidades llamada Sievert, cuyo símbolo es Sv, y que es equivalente a 100 rem.

La Rapidez de Dosis Equivalente, es la rapidez con que la radiación deposita energía en el tejido humano dañándolo; sus unidades especiales son el rem/s o sus equivalentes como rem/h, mrem/min, mrem/hr, y en el Sistema Internacional es el Sv/s.

### 1.4.3 Conversión de unidades sistema internacional (si) y tradicionales

1. Un equipo de rayos X da una rapidez (o tasa) de exposición de 225 mR/h en la posición ocupada por un POE (Personal Ocupacionalmente Expuesto, Persona que en el ejercicio y con motivo de su ocupación está expuesta a la radiación ionizante. Quedan excluidos los trabajadores que ocasionalmente en el curso de su trabajo puedan estar expuestos a este tipo de radiación). Si dicha persona permanece en esa posición durante 36 min, ¿cuál será la exposición ocupacional total que recibirá, en mR y  $\mu\text{C}/\text{kg}$ ?

- a) Cuál será la dosis absorbida por ese POE, en mrad y mGy?

$$X = xt = 225\text{mR} / \text{h} * 36 \text{ min} / 60 = 135\text{mR} \quad (1.15)$$

$$x = (135\text{mR} * 2.58 \times 10^{-4} \text{ C} / \text{kg}) / (1 \times 10^3 \text{ mR}) = 348 \mu\text{C} / \text{kg}$$

- b) Como ya se vio en la sección 1.5.2, para el caso en el que el material absorbente de la radiación sea tejido humano, la equivalencia entre X y D es la siguiente:  $D = 0.94 X$ , por lo tanto:

$$D = 0.94(135\text{mR}) = 127 \text{ mrad}$$

$$D = 127 \text{ mrad} * 1 \frac{\text{mGy}}{100 \text{ mrad}} = 1.27\text{mGy}$$

2. Un fluoroscopio administra 1.2 R/min en la parte superior de la camilla de un paciente por cada mA de operación (1.2 R/min-rmA). ¿Cuál será la dosis absorbida por el paciente durante un enema opaco realizado a 1.8 mA y que requiere de 2.5 min de tiempo de fluoroscopia?

$$D_{\text{paciente}} = 1.2 \frac{\text{R}}{\text{min} - \text{mA}} * 1.8\text{mA} * 2.5 \text{ min} * 0.94 = 5.4 * 0.94 \text{ rad}$$

$$D_{\text{paciente}} = 5.076 \text{ rad} * 1 \frac{\text{mGy}}{100 \text{ rad}} = 50.76 \text{ mGY}$$

3. Se ha demostrado que los siguientes factores técnicos producen radiografías laterales de cráneo de buena calidad en un equipo de rayos X con filtración total de 3 mm de aluminio.
- a) Obtenga la exposición (intensidad de rayos X) a 100 cm DFI (Distancia que existe en el Foco y el centro de la superficie de entrada del receptor de Imagen) para cada uno de los siguientes pares de valores:
- i) 64 kVp, 70 mA·s
  - ii) 70 kVp, 40 mA·s
  - iii) 78 kVp, 27 mA·s

- b) Convierta el valor obtenido en mR a  $\mu\text{C}/\text{kg}$ .

Para resolver este problema utilizaremos la Figura 1.12, que es un nomograma válido únicamente para equipos monofásicos con rectificación en onda completa; entrando por el eje de las abscisas con el valor de 3 mm de Al (filtración total) se traza una línea vertical hasta interceptar la línea de la correspondiente tensión de pico; desde este punto se trazar una línea paralela al eje de las abscisas para obtener el valor de la exposición por cada mA·s, proporcionado por esa máquina.

Este valor se multiplica por el número de mA·s en cada caso y ése será el valor de la exposición.

Los valores obtenidos son:

- i) 2.8 mR/mA·s, multiplicando este valor por 70 mA·s:  $X = 196 \text{ mR}$
  - ii) 3.7 mR/mA·s, multiplicando por 40 mA·s:  $X = 148 \text{ mR}$
  - iii) 4.7 mR/mA·s, multiplicando por 27 mA·s:  $X = 127 \text{ mR}$
- c) Para convertir mR a  $\mu\text{C}/\text{kg}$  es necesario multiplicar por un factor de equivalencia. Como ya dijimos anteriormente,  $1\text{R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C} / \text{kg}$ ,  
 $1 \text{ R} = 1000 \text{ mR}$  y  $1\text{C} = 1 \times 10^6 \mu\text{C}$ , combinando todas estas equivalencias obtenemos un factor de equivalencia de:

1mR = 0.258  $\mu\text{C}/\text{kg}$ . Por lo tanto, la exposición obtenida en cada uno de los casos será:

$$i)x = 196mR \left[ \frac{0.258 \frac{\mu\text{C}}{\text{kg}}}{1mR} \right] = 50.57 \frac{\mu\text{C}}{\text{kg}}$$

$$ii)x = 148mR \left[ \frac{0.258 \frac{\mu\text{C}}{\text{kg}}}{1mR} \right] = 38.18 \frac{\mu\text{C}}{\text{kg}}$$

$$iii)x = 127mR \left[ \frac{0.258 \frac{\mu\text{C}}{\text{kg}}}{1mR} \right] = 32.77 \frac{\mu\text{C}}{\text{kg}}$$

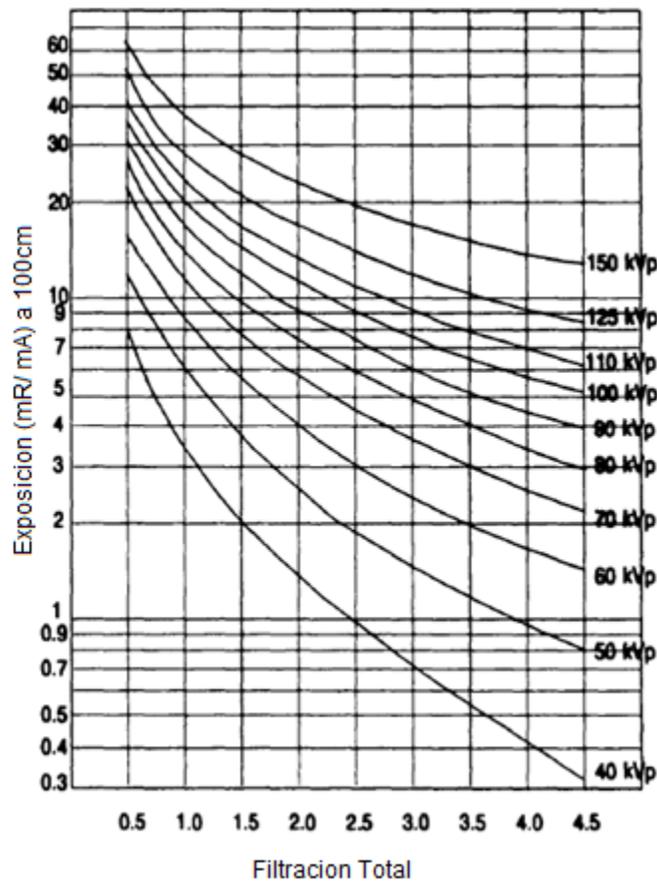


Figura 1.12.- Nomograma para estimar la exposición proporcionada por un haz de rayos X en función de la tensión de pico del equipo.

### 1.4.4 Radiación de fondo natural

El ser humano ha estado expuesto a las radiaciones ionizantes desde su origen ya que ésta forma parte de su ambiente natural: radiación cósmica, radiación debida a fuentes terrestres ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , etc.) y a pequeñas cantidades de material radiactivo en el cuerpo humano ( $^{14}\text{C}$  y  $^{40}\text{K}$ ). La dosis debida a la radiación natural se distribuye de manera más o menos uniforme.

Aparte de estas fuentes naturales que contribuyen a la "radiación de fondo" existen una gran cantidad de fuentes artificiales de radiación. Los Rayos X empleados en medicina son la principal fuente de radiación ionizante creada por el hombre con aproximadamente 54 mrad (0.54 mGy).

Tabla 1.3 Dosis media anual estimadas en Estados Unidos procedente de fuentes naturales y creadas por el hombre

Fuente de radiación	Dosis anual	
	Mrad	mGy
<b>Naturales</b>		
Radionúclidos internos ( $^{40}\text{K}$ , $^{14}\text{C}$ )	40	0.40
Radionúclidos terrestres ( $^{226}\text{Ra}$ , $^{238}\text{U}$ , $^{222}\text{Rn}$ , $^{14}\text{C}$ , etc)	29	0.29
Rayos cósmicos	29	0.29
<b>Subtotal</b>	98	0.98
Radón (dosis solo en pulmón)	197	1.97

<b>Creadas por el Hombre</b>		
		0.40
Radiología diagnóstica	40	0.14
Medicina Nuclear	14	0.10
Productos de Consumo	10	0.01
Otras	1	
		0.65
<b>Subtotal</b>	65	
<b>Total</b>	360	3.6

### 1.5 La célula y sus funciones

A efectos prácticos, se considera la célula como la unidad funcional más pequeña capaz de existir de forma independiente.

Los niveles de organización simples pueden estar formados por una sola célula, pero los niveles más complejos están formados, en general, por muchos tipos de células distintas entre sí por su tamaño, forma y función.

En los niveles de organización multicelulares de este tipo, las células que cumplen una misma función, pueden estar agrupadas formando un tejido, como la sangre o el hueso. Algunos tejidos pueden funcionar independientemente con un solo tipo de células, pero en la mayoría de los casos, se reúnen diversos tejidos para formar una unidad llamada órgano, que tiene una función específica, como el corazón, los pulmones o el estómago. Los órganos cuyas funciones están interrelacionadas se agrupan formando sistemas y aparatos, como el linfático, el respiratorio o el digestivo.

Aunque existen profundas diferencias entre los distintos tipos de células que constituyen un organismo multicelular, hay algunas características básicas morfológicas y funcionales que son comunes a todas las células.

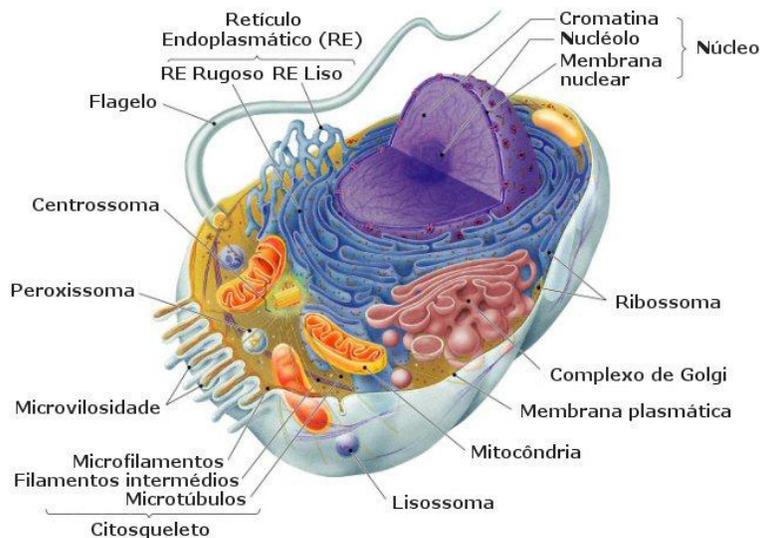
La célula de los mamíferos se compone de tres partes fundamentales: la membrana, el núcleo y el citoplasma (ver Figura 1.13 de la pág. Sig.). El núcleo separado físicamente del citoplasma por la membrana nuclear, supervisa y coordina las actividades citoplásmicas.

El material responsable de dirigir estas actividades, el material genético, está contenido en los cromosomas. Un cromosoma contiene muchos genes compuestos según una sucesión lineal determinada. Cada gen tiene que realizar una función específica para el mantenimiento de la célula y el desarrollo del individuo.

Los genes a su vez están formados por una macromolécula llamada ácido desoxirribonucleico (ADN).

El núcleo es la parte vital para la reproducción celular, por contener el código genético, el cual se encuentra dentro de los cromosomas y cada cromosoma, a su vez, está formada por genes, los cuales determinan las características hereditarias de las células.

La membrana lleva a cabo varias funciones que son de vital importancia, entre ellas: la alimentación, recepción de estímulos del medio externo, contención del citoplasma y el núcleo, mantener en condiciones óptimas el intercambio de sustancias nutritivas y, a su vez, eliminar las toxinas e impurezas producto de las funciones celulares.



**Figura 1.13.- La célula: unidad básica de los organismos vivos.**

El citoplasma es el lugar de la célula donde se realizan todas las funciones metabólicas, incluyendo el anabolismo (síntesis) y el catabolismo (degradación) de los compuestos orgánicos para suministrar la energía necesaria para la vida. El citoplasma contiene aproximadamente un 70% de agua y en el citoplasma es posible distinguir una serie de orgánulos (estructuras limitadas por membranas) que dividen al mismo en compartimientos. De no ser así, la célula no podrá funcionar de la forma tan organizada como lo hace. Entre ellos destaquemos:

1. Las mitocondrias, que digieren las macromoléculas para obtener energía destinada a alimentar la célula.
2. Los lisosomas, capaces de degradar las proteínas, ADN, algunos carbohidratos y organelos desgastados.
3. El retículo endoplásmico liso y rugoso (ver Figura 1.13), implicado en la síntesis de proteínas.

Algunas enzimas catalíticas están contenidas en los lisosomas, y si son liberadas de golpe pueden producir la muerte de la célula por digestión (lisis). En condiciones normales, estas enzimas están confinadas dentro del saco del lisosoma, pero existen muchos agentes capaces de alterar dramáticamente la permeabilidad de la membrana lisosómica con la consiguiente liberación enzimática. De hecho, cuando aún no se conocía muy bien el efecto de las radiaciones ionizantes sobre la célula, ésta fue una de las teorías iniciales para explicar el mecanismo por el cual la radiación mataba la célula.

### 1.5.1 Interacción de la radiación FB con la célula

Para entender los efectos causados por la radiación ionizante es necesario que se expliquen dos palabras, que enlazadas representan la esencia de lo que llamaremos "efectos biológicos", dichas palabras son:

- **Causa y efecto.** La causa, por definición, es el principio o la razón de algo y el efecto es el resultado de una acción, por lo tanto, referidos estos significados a la seguridad radiológica representan lo siguiente:
- La causa: es la exposición a la radiación ionizante.
- El efecto: es el daño biológico que dicha radiación ionizante causa en los seres vivos.

Por lo tanto, de acuerdo con lo explicado en el tema de interacción de la radiación con la materia, tendremos:

*Causa - ionización de la materia*

*Efecto - cambios químicos en la materia*

Cuando estudiamos los cambios que suceden en el material biológico después de una interacción con las radiaciones ionizantes, es importante tener presentes las siguientes generalizaciones:

- 1a** La interacción de la radiación con las células es una función de probabilidad, una cuestión de azar, es decir, pueden o no interaccionar y, si se produce la interacción, pueden o no producirse daños.
- 2a** El depósito inicial de energía ocurre muy rápidamente, en un período de aproximadamente 10-17 segundos.
- 3a** La interacción de la radiación con una célula no es selectiva: la energía procedente de la radiación ionizante se deposita de forma aleatoria en la célula; la radiación no elige ninguna zona de la célula.
- 4a** Los cambios visibles producidos en las células, tejidos y órganos, como resultado de una interacción con radiaciones ionizantes no son específicos, es decir, no se pueden distinguir de los daños producidos por otras causas.
- 5a** Los cambios biológicos que resultan de las radiaciones se producen sólo cuando ha transcurrido un determinado período de tiempo (período de latencia), que depende de la dosis inicial y que puede variar desde unos minutos hasta semanas o incluso años.

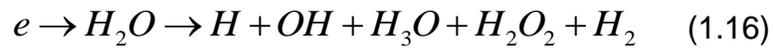
Cuando las células absorben radiaciones ionizantes tienen lugar procesos de ionización y de excitación, formándose moléculas estables o inestables o bien radicales libres, con lo cual se producen nuevas reacciones químicas con las moléculas contiguas. Estos procesos de ionización o excitación pueden producirse en las macromoléculas biológicas (p. ej.: el ADN), o bien, en el medio en que están suspendidos los orgánulos celulares (p. ej.: el agua, HOH).

La acción de la radiación sobre la célula se puede clasificar en directa o indirecta, según el lugar en el que se produzcan esas interacciones.

La acción directa ocurre cuando una partícula ionizante, o una radiación en general, interacciona y es absorbida por una macromolécula biológica como el ADN, el ARN, las proteínas estructurales y enzimáticas o cualquier otra

macromolécula de la célula, que se traduce en cambios de su estructura o de su función. Así pues el daño se produce por la absorción directa de energía y por la subsecuente ionización de una macromolécula biológica de la célula.

Comparada con la acción directa, la acción indirecta implica la absorción de radiación ionizante por el medio en el cual están suspendidas las moléculas. El medio de la acción indirecta es fundamentalmente el agua, dando lugar a la formación de iones y de radicales libres. Las reacciones que produce la radiación en la molécula de agua son las siguientes:



De estos productos, los más reactivos son los oxidantes radical hidroxilo (OH·) y el peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y el reductor radical hidrógeno (H·), estas especies transitorias reaccionan con cualquier constituyente orgánico en solución, lo cual puede producir en la célula su muerte, mutación o mantenerla en estado latente.

Los efectos de los radicales libres en la célula se multiplican por su capacidad para iniciar reacciones químicas y, por lo tanto, para producir lesiones en lugares distintos de la célula.

Aunque en la interacción de la radiación con el agua ocurren muchas otras reacciones y se forman otros muchos productos, se cree que los radicales libres son un factor fundamental en la producción de lesiones celulares (un radical libre se caracteriza porque contiene un solo electrón orbital no aparejado que le hace fuertemente reactivo, debido a la tendencia del electrón a no emparejarse con otro electrón).

En resumen, la acción directa produce daños por la ionización de una macromolécula biológica y la acción indirecta produce daños a través de reacciones químicas iniciadas por la ionización del agua. Por tanto, la definición de

acción directa o indirecta, depende solamente del lugar donde se produzca la ionización y la absorción de energía en la célula.

Debido a que en la célula hay mayor cantidad de agua que de ningún otro componente estructural, la probabilidad de que la radiación produzca daños por acción indirecta, es mucho mayor que la probabilidad de que se produzca por acción directa. Además la acción indirecta ocurre fundamentalmente, pero no exclusivamente por la actuación de los radicales libres que resultan de la ionización del agua. La ionización de otros constituyentes celulares, especialmente las grasas, también pueden dar como resultado la formación de radicales libres.

La Figura 1.14 indica gráficamente los mecanismos de acción directa y acción indirecta.

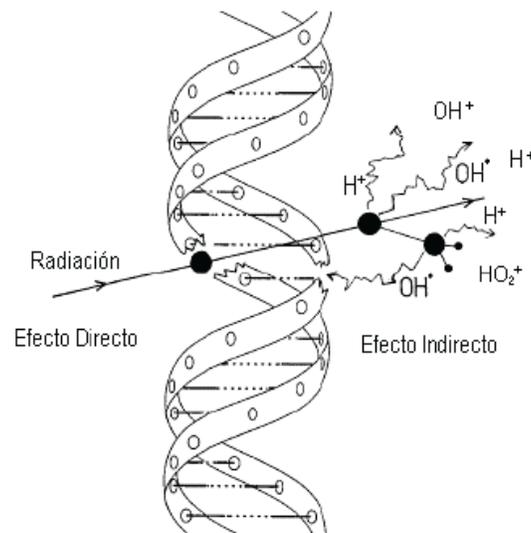


Figura 1.14.- Efectos directos e indirectos ocasionados por la radiación en las células

Los electrones producidos en la interacción de la radiación ionizante con los átomos que forman el cuerpo llevan cierta cantidad de energía cinética. Estos electrones pueden llegar a interactuar con la célula en tres grandes regiones: a nivel del núcleo, del citoplasma o de la membrana citoplásmica.

- a) **A nivel de la membrana.** Cuando la interacción es a nivel de la membrana, se pueden producir alteraciones osmóticas, lo que hace que la célula pueda recibir mayor cantidad de fluidos del exterior o bien, que el citoplasma se salga de la célula al medio exterior. En ambas situaciones, la célula puede sobrevivir pero sus funciones de duplicación pueden fallar.
- b) **A nivel citoplasma.** En virtud de que el citoplasma se compone aproximadamente de un 70% de agua, podemos llegar a entender la interacción de la radiación ionizante con ella si conocemos el efecto en la molécula de agua (radiólisis).
- c) **A nivel núcleo** Los cromosomas tienen en su interior el ácido desoxirribonucleico (ADN), el cual tiene la capacidad de auto duplicarse. Si el proceso de duplicación del ADN es normal, pueden ocurrir cambios o alteraciones ocasionales en los cromosomas, pero a una frecuencia sumamente baja.

Cuando existe algún cambio en la secuencia de la estructura química se produce lo que se llama una mutación y a los agentes físicos o químicos que la producen se les llama mutágenos. Estas mutaciones pueden presentarse desde un simple cambio en la secuencia de los elementos del ADN hasta cambios a nivel cromosómico, ya sea por cambio de su estructura o por alteración en su número.

Las mutaciones pueden ocurrir de dos maneras: una natural o espontánea (frecuencia muy baja) y la otra es inducida por mutágenos como las radiaciones ionizantes o compuestos químicos.

Las células también son capaces de reparar los daños producidos por los mutágenos químicos o físicos, mediante sistemas celulares de reparación, los cuales pueden disminuir el efecto mutagénico de la radiación.

### 1.5.2 Factores influyentes en los efectos biológicos

Existen diversas causas por las cuales los efectos producidos por la radiación ionizante pueden ser más o menos severos, los cuales se agrupan en tres clases: físicos, fisiológicos y ambientales.

- a) Físicos. Dependen de las características de la radiación incidente, entre estos se tienen: la dosis total, distribución de dosis en el tejido, tipo de radiación, dosis por exposición, rapidez de dosis, intervalo entre las irradiaciones.
- b) Fisiológicos, Estos dependen del individuo irradiado: edad, constitución genética, sexo, metabolismo, nivel de respuesta a la tensión nerviosa, etc.
- c) Ambientales. El que se ha identificado a la fecha es la presión ambiental de oxígeno.

#### Radiosensibilidad

Dos científicos franceses, Bergonié y Tribondeau, observaron en 1906 que la radiosensibilidad era una función del estado metabólico del tejido irradiado. Esto se conoce como la Ley de Bergonié y Tribondeau y ha sido comprobada en muchas ocasiones. Esencialmente, esta ley afirma que la radiosensibilidad del tejido vivo varía del modo siguiente:

1. Las células tronco son radiosensibles. Mientras más madura es una célula, más resiste la radiación.
2. Mientras más jóvenes son los tejidos y los órganos, más radiosensibles son.
3. Cuando el nivel de actividad metabólica es elevado, la radiosensibilidad también lo es.
4. La radiosensibilidad aumenta al incrementar la rapidez de proliferación celular y la rapidez de crecimiento de los tejidos.

Esta ley tiene mucha importancia ya que ha encontrado aplicación en la radioterapia y en la radiología diagnóstica nos sirve para recordar que el feto es considerablemente más sensible a la radiación que el niño o el adulto maduro.

Los tejidos más radiosensibles son dañados en forma inmediata por la radiación, mientras que los más radioresistentes presentan respuestas a largo plazo, ocasionando los efectos tardíos o diferidos de la radiación. Los efectos inmediatos están asociados con la muerte de gran número de células y los tardíos a mecanismos modificados que originan procesos degenerativos.

Los tejidos radiosensibles son aquellos que son afectados con mucha facilidad por la radiación, por ejemplo: las células reproductivas germinales (ovario y testículos), el tejido hematopoyético (médula ósea, el bazo) y las células del epitelio del tracto gastrointestinal.

Los tejidos radioresistentes son aquellos que soportan dosis altas sin verse afectados seriamente, ejemplos de este tipo de células son las óseas, del pulmón, riñón, cartílago, músculo y tejido nervioso.

La radiosensibilidad de las células en orden decreciente es el siguiente: eritoblastos, ovogonias, espermatogonias, linfocitos, células digestivas intestinales, células epiteliales, hepáticas, renales, nerviosas, alveolares, musculares y osteocitos. Puede concluirse que el aparato circulatorio es el más afectado en caso de irradiación a cuerpo total, seguido del digestivo, posteriormente se afectaría el sistema nervioso, luego el pulmonar y finalmente el músculo.

### **1.5.3 Clasificación de los efectos biológicos**

Los efectos ocasionados por la radiación ionizante se pueden clasificar de dos maneras: en función del tipo de células que se encuentran en los organismos: efectos somáticos y hereditarios o genéticos. Actualmente los efectos biológicos se clasifican de acuerdo a su probabilidad de incidencia: efectos deterministas (anteriormente llamados no estocásticos) y efectos estocásticos.

De acuerdo con el tipo de células afectadas:

- a) Somáticos.** Son los que se manifiestan en el individuo que ha recibido la radiación y como su nombre lo indica, se deben al daño recibido en las células somáticas. Este tipo de efecto queda limitado solamente al individuo que recibió la radiación. Ejemplos de este tipo de efecto son: disminución de células en la médula ósea, cataratas, vómito, diarrea, quemaduras e inducción de cáncer, entre otros.
- b) Genéticos.** Son el resultado del daño recibido en las células gaméticas y sus efectos se presentarán en la descendencia de las células irradiadas. Un ejemplo serían los procesos mutagénicos en el ADN, los cuales serían heredados a sus descendientes.

De acuerdo con la probabilidad de incidencia:

- c) Deterministas.** Se deben a la muerte de un gran número de células y se presentan a partir de una dosis umbral (dosis mínima) y la severidad del efecto se incrementa al aumentar la dosis recibida. Ejemplos de este efecto son: caída de cabello, esterilidad, anemia, síndrome de radiación, etc.
- d) Estocásticos.** Se deben a la modificación o alteración de colonias de células que se reproducen progresivamente y eventualmente ocasionan procesos degenerativos y neoplásicos. No tienen dosis de umbral a partir de la cual se presenten pero al incrementar la dosis recibida se incrementa la probabilidad de que el efecto se presente. Ejemplos de este tipo de efecto son: inducción de cáncer, acortamiento de la vida y enfermedades hereditarias como malformaciones congénitas.

En la Tabla 1.4 de la pág. siguiente se presentan las dosis umbral aguda para algunos efectos determinísticos cuando la irradiación es a cuerpo total.

En caso de que la irradiación no sea a cuerpo total sino localizada en una parte del mismo, el daño depende de la magnitud del área y los órganos irradiados, ejemplos de algunos de estos efectos, cuando la dosis se recibe en una sola exposición se presentan en la Tabla 1.5 de la siguiente página.

Los síntomas del síndrome de radiación son: náuseas, vómitos, agotamiento, disminución de glóbulos blancos, período de recuperación aparente, vómito y diarrea con sangre y plaquetas, anemia y finalmente, intoxicación general.

**Tabla 1.4.- Dosis Umbral aguda para efectos deterministas**

Dosis Absorbida (rads)	Efecto
>10	Rupturas cromosómicas difíciles de detectar en células sanguíneas, interferencia en la organogénesis de embriones.
>25	Cambios sanguíneos moderados
>50	Probable retención momentánea de la espermatogénesis
>100	Probable síndrome de radiación
>200	Síndrome de radiación
>400	50% de probabilidad de muerte
>600	100% de probabilidad de muerte

**Tabla 1.5.- Exposición local aguda**

Parte irradiada	Dosis absorbida (rads)	Efecto
Gonadas	50	Esterilidad temporal
Gonadas	800	Esterilidad definitiva
Cuero cabelludo	500	Caída temporal del cabello
Cuero cabelludo	2500	Caída definitiva del cabello

#### 1.5.4 Bajas dosis y epidemiología

El ser humano, a lo largo de su permanencia en el planeta, ha estado siempre expuesto a la radiación, aunque a dosis sumamente bajas, debidas a las fuentes naturales de radiación.

Los cambios visibles producidos en las células, tejidos y órganos, como resultado de una interacción con radiaciones ionizantes no son específicos, es decir, no se pueden distinguir de los daños producidos por otros agentes físicos o químicos, por lo que es necesario estudiar el efecto producido por las radiaciones ionizantes en función de la dosis recibida. La relación dosis-respuesta es una relación matemática o gráfica entre el nivel de dosis de radiación y la magnitud de la respuesta observada.

Las relaciones dosis de radiación-respuesta han tenido dos aplicaciones importantes en radiología. En primer lugar, esas relaciones determinadas

experimentalmente se emplean para diseñar protocolos de tratamiento destinados a pacientes con enfermedad maligna. En segundo lugar, los estudios radiobiológicos han proporcionado información sobre los efectos de la irradiación a dosis bajas. Esos estudios y las relaciones dosis-respuesta obtenidas proporcionan la base para el control de la radiación.

El Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations (BEIR), de la Academia Nacional de Ciencias de los E.U.A. completó en 1980 un estudio exhaustivo de los datos científicos sobre efectos de las dosis bajas de radiación con LET baja (Linear Energy Transfer) y en 1990 revisó sus datos sobre los cálculos de riesgo de radiación. Por tanto, sus hallazgos son directamente aplicables a radiología diagnóstica.

El personal que se encarga de la protección radiológica debe tener en mente que los Límites de dosis establecidos en la normatividad vigente es la máxima dosis de radiación que según los conocimientos actuales es de esperar que no produzca efectos significativos. Con dosis de radiación menores no deben darse respuestas somáticas ni genéticas. A dosis al nivel de los límites de dosis, el riesgo no es cero, pero sí muy pequeño, inferior al que se asocia con otras ocupaciones y razonable si se tienen en cuenta los beneficios obtenidos.

#### **1.5.5 Sistema de limitación de dosis**

Como ya se vio en el tema de efectos biológicos ocasionados por la radiación ionizante, es necesario establecer una serie de medidas para evitar que el P.O.E. reciba dosis de radiación que le pudieran ocasionar daños. Existen en el mundo varios organismos encargados de estudiar y proponer medidas de protección para evitar dichos daños, algunos de ellos son: National Commission on Radiation Protection (NCRP), International Commission on Radiation Protection (ICRP), y en México se tiene un organismo regulador en materia de protección radiológica que se llama Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias que en noviembre de 1988 publicó en el Diario Oficial de la Federación el Reglamento General de Seguridad Radiológica en el que se indican las reglas que se tienen

que seguir en el manejo, posesión, transporte, uso, etc. de material radiactivo y equipos que produzcan radiación ionizante, así como los límites de dosis para P.O.E. y público en general (utilizados en la industria) y la Dirección General de Salud Ambiental, dependiente de la Secretaría de Salud, que en 1996 publicó una serie de proyectos de norma oficial mexicana (NORMA Oficial Mexicana **NOM-158-SSA1-1996, Salud ambiental. Especificaciones técnicas para equipos de diagnóstico médico con rayos X.**) donde se establecen las reglas en materia de protección y seguridad radiológica para los equipos de rayos X para diagnóstico médico. En la normativa vigente (**NORMA Oficial Mexicana Publicada el Viernes 15 de septiembre de 2006 en el diario oficial de la federación, NOM-229-SSA1-2002, Salud ambiental. Requisitos técnicos para las instalaciones, responsabilidades sanitarias, especificaciones técnicas para los equipos y protección radiológica en establecimientos de diagnóstico médico con rayos X.**) Se establece que "las dosis recibidas a consecuencia de la exposición a fuentes de radiación ionizante y de prácticas que entrañan la irradiación con radiación ionizante o incorporación de material radiactivo se sujetarán a un sistema de limitación de dosis".

El Sistema de Limitación de Dosis se fundamenta en tres criterios:

- I. Justificación, que indica que no se aprobará ninguna práctica a menos que su aplicación produzca un beneficio neto positivo.
- II. Optimización, que dice que el diseño, planificación, uso y aplicación subsiguiente de las fuentes y prácticas, deberán realizarse de manera que aseguren que las exposiciones mantengan tan bajas como razonablemente pueda lograrse, teniendo en cuenta factores sociales y económicos.
- III. Establecimiento de límites para dosis equivalente. Este sistema de limitación de dosis tiene como objetivo evitar los efectos determinísticos y limitar la ocurrencia de los estocásticos a un nivel aceptable.

#### **1.5.6 Factores básicos de protección radiológica**

Los factores básicos que deben utilizarse para protegerse de la radiación son: Tiempo, Distancia y Blindaje (ver **Figura 1.15 de la página 53**). Sin embargo, las

medidas de protección se inician desde la planeación de los trabajos a desarrollar con las fuentes radiactivas, es decir, desde su elección y diseño, diseño adecuado de las áreas de trabajo, de los materiales de las superficies (mesas, pisos, paredes, etc.), el uso de equipo de protección adecuado (ropa, monitores, dosímetros, etc.), así como un entrenamiento previo y apropiado para el personal, a fin de optimizar la metodología de trabajo para exponerse el menor tiempo y a la mayor distancia posible de la fuente radiactiva, todo esto combinado puede prevenir en gran medida la contaminación radiactiva.

Debido a la gran penetración de la radiación electromagnética (rayos X y  $\gamma$ ) es necesario utilizar los tres factores básicos de protección contra la radiación, ya que puede atravesar grandes espesores de material de blindaje y viajar grandes distancias en el aire.

Durante el trabajo normal con material radiactivo o expuesto a radiación ionizante, el P.O.E. no deberá recibir una dosis equivalente mayor al límite establecido en la reglamentación vigente que es de 5 rem/año (50 mSv/año). Si se considera que se trabajan 40 h/semana y durante 50 semanas/año, se puede decir que en promedio el P.O.E. no deberá rebasar el valor de 2.5 mrem/h. Debido a que los monitores GM están calibrados en unidades de rapidez de exposición, es conveniente expresar estos valores en las unidades correspondientes. Si se considera que numéricamente 1 Roentgen  $\approx$  1 rad (en tejido) y que para radiación gamma el factor de calidad  $Q = 1$ , se puede decir sin cometer un error muy grave que los P.O.E. deberán trabajar de tal manera que la rapidez de exposición a la que estén sometidos no sea mayor de 2.5 mR/h. La rapidez de exposición varía en forma inversamente proporcional con la distancia y directamente con el espesor de blindaje existentes entre la fuente de radiación y el punto de interés. Para el caso de fuentes puntuales se puede utilizar la expresión conocida como ley del inverso del cuadrado de la distancia.

$$X_1 d_1^2 = X_2 d_2^2 \quad (1.17)$$

Lo cual significa que podemos calcular la rapidez de exposición en un punto P<sub>2</sub> si se conoce la rapidez de exposición en un punto P<sub>1</sub>. El blindaje es un material que se utiliza para reducir la cantidad de radiación existente en un área de trabajo. Cuando se intercala entre la fuente de radiación y el punto de interés un material de espesor x que absorba radiaciones, la rapidez de exposición en dicho punto se verá reducida en forma exponencial, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$X = X_0 e^{-\mu x} \quad (1.18)$$

La expresión anterior es válida para el caso de fuente puntual colimada y espesor de blindaje pequeño. Para poder calcular el espesor de blindaje en el caso de equipos de rayos X, se utilizan otro tipo de factores como son la carga de trabajo, el factor de transmisión y gráficas de factor de transmisión contra espesor de blindaje en función del voltaje de operación del equipo.

En el capítulo 2 se presentará la metodología para el cálculo de blindajes para equipos de rayos X.

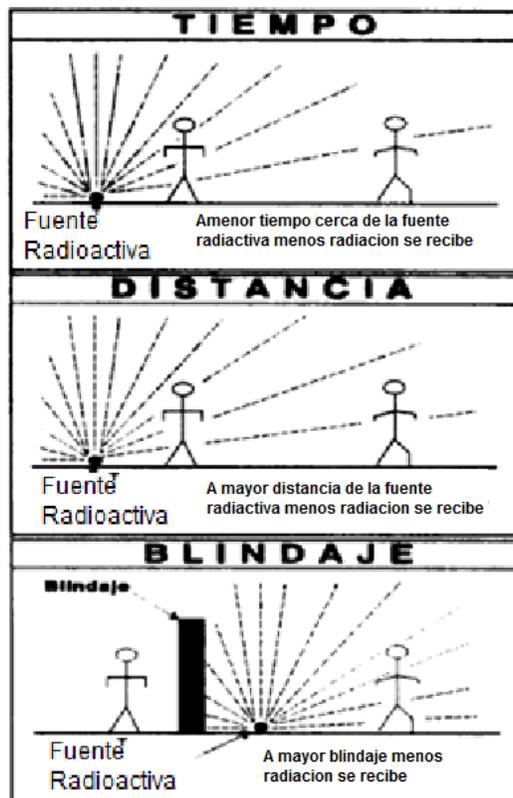


Figura 1.15.- Factores básicos de protección radiológica

A continuación veremos unos ejemplos de aplicación de los factores básicos de protección radiológica:

1. Un equipo de rayos X tiene una intensidad de salida de 2.8 mR/mAs (0.7224  $\mu\text{C}/\text{kgmA s}$ ) cuando funciona a 70 kVp y una DFI de 100 cm. ¿Cuál será la exposición a la radiación, en unidades del S.I., a 3.5 m desde el blanco?

**Respuesta:**

Si consideramos que el blanco (ánodo) del equipo de rayos X es una fuente puntual, podremos utilizar la Ley del inverso al cuadrado de la distancia:

$X_1 d_1^2 = X_2 d_2^2$  por lo tanto, si despejamos y sustituimos valores nos quedara:

$$X_2 = \frac{X_1 r_1^2}{r_2^2} = 2.8 \frac{\text{mR}}{\text{mA} * \text{s}} \left[ \frac{100\text{cm}}{350\text{cm}} \right]^2 = 0.21 \frac{\text{mR}}{\text{mA} * \text{s}} \quad (1.19)$$

Recordemos que las unidades de exposición del S.I. son C/kg, por lo tanto, sustituyendo:

$$X_2 = 0.21 \frac{\text{mR}}{\text{mA} * \text{s}} * 2.58 \times 10^{-4} \text{ C / kg} / 1 \times 10^3 \text{ mR} = 0.059 \mu\text{C} / \text{kg} - \text{mA} * \text{s}$$

$$X_2 = 0.50 \mu\text{C} / \text{kg} - \text{mA} * \text{s}$$

2. Un tubo de rayos X que se utiliza solamente para radiografía de tórax y nunca supera los 125 kVp se dirige hacia una pared que contiene una lámina de plomo de 1.9 mm. ¿Qué espesor adicional de blindaje de plomo será necesario si se duplicara la carga de trabajo (W) de esa unidad y la rapidez de exposición del otro lado de la barrera primaria debe permanecer constante?

**Respuesta:**

Como se aumenta al doble la carga de trabajo, la exposición se aumentará al doble, por lo que es necesario agregar una capa hemirreductora a la pared. CHR de plomo para 125 kVp equivale a 0.28 mm.

3. Una instalación de rayos X para diagnóstico está diseñada para radiografía de tórax a 125 kVp. La intensidad de salida es de  $1.5\mu\text{C}/\text{kg}\cdot\text{mA}\cdot\text{s}$  a 100 cm de DFI. La distancia hasta la oficina de la secretaria, situada al otro lado de la pared a la que apunta el haz útil (barrera primaria), es de 2.5 m. La pared contiene 1.12 mm de plomo y se anticipa que se tendrán 300 mA·s/día. Si se desea limitar la exposición de la secretaria a 2 mR/día, ¿cuánto tiempo puede permanecer en su oficina?

**Respuesta:**

Lo cual quiere decir que la secretaria solamente puede permanecer en su lugar durante ese tiempo.

$$\text{Salida de rayos X a } 100\text{cm} = 1.5\mu\text{C} / \text{kg} - \text{mA} * \text{s} * 300\text{mA} * \text{s} = 450\mu\text{C} / \text{kg}$$

$$= 450\mu\text{C} / \text{kg} * 1\text{C} / 1 \times 10^6 \mu\text{C} * 1\text{R} / 2.58 \times 10^{-4} \text{C} / \text{kg}$$

$$\text{Salida diaria a } 1\text{m} = 1.744\text{R} = 1744\text{mR}$$

$$\text{Salida diaria a } 2\text{m} = 1744\text{mR} * (100 / 250)^2 = 279\text{mR}$$

$$\text{Salida diaria despues de } 1.12\text{mm de plomo (4CHR)} = 17.44\text{mR}$$

$$\text{Tiempo permitido de estancia} = 2\text{mR} / 17.44\text{mR} / \text{dia} = 0.1147 \text{ dia} = 0.92 \text{ horas}$$

$$\text{Tiempo permitido de estancia} = 55 \text{ min}$$

4. Siguiendo con el problema anterior, ¿cuál será el blindaje de plomo necesario para que la secretaria pueda permanecer durante 8 horas al día en su lugar de trabajo?

**Respuesta:**

Para conocer esto debemos calcular cual debe de ser la salida diaria después del espesor de plomo:

$$\text{Salida diaria despues del blindaje de plomo} = \text{Límite diario/tiempo de permanencia} = 2 \text{ mR} / 8 \text{ h}$$

Salida diaria después del blindaje de plomo =  $2 \text{ mR}/0.3333 \text{ día} = 6 \text{ mR/día}$   
 Esto significa que se debe aumentar el espesor de plomo para reducir de  $17.44 \text{ mR/día}$  hasta  $6 \text{ mR/día}$ :

Si se aumenta 1 CHR se reduciría a la mitad, es decir:  $17.44 \text{ mR/día}/2 = 8.72 \text{ mR/día}$

Si se aumenta otra CHR se volvería a reducir a la mitad:  $8.72 \text{ mR/día}/2 = 4.36 \text{ mR/día}$

Por lo tanto, es necesario aumentar 2 CHR ( $0.28 \text{ mm} \times 2 = 0.56 \text{ mm}$ ) de plomo para que la secretaria pueda permanecer en su lugar durante las 8 horas de trabajo en el día.

5. A 60 cm de una camilla fluoroscópica (suponer 90 cm desde una fuente puntual), la rapidez de exposición es de  $45 \text{ mR/h}$ .

- a) ¿Cuál será la rapidez de exposición a 180 cm de la fuente? ;
- b) ¿Cuál será la dosis absorbida por un POE que permaneció a 30 cm de la camilla (60 cm de la fuente) durante una semana (un total de 150 min con el haz activado)?.

**Respuesta:**

- a) Para resolver este problema utilizaremos la Ley del inverso del cuadrado de la distancia:

$$X_2 = X_1 \left[ \frac{d_1^2}{d_2^2} \right] = 45 \frac{\text{mR}}{\text{h}} \left[ \frac{90^2}{180^2} \right] = 11.25 \frac{\text{mR}}{\text{h}}$$

- b) En este caso también utilizaremos la Ley del inverso:

$$X_2 = X_1 \left[ \frac{d_1}{d_2} \right]^2 = 45 \frac{\text{mR}}{\text{h}} \left[ \frac{90}{60} \right]^2 = 101.25 \frac{\text{mR}}{\text{h}}$$

Recordemos que para calcular la exposición basta con multiplicar la rapidez de exposición por el tiempo que el POE estuvo expuesto a la radiación:

$$X = X_t = 101.25 \frac{\text{mR}}{\text{h}} \left[ \frac{150 \text{ min}}{60 \text{ min/1h}} \right] = 253.125 \text{ mR}$$

Para obtener la dosis absorbida por el POE bastará con recordar que:  $1 R \approx 1 \text{ rad}$  ( $1 \text{ mR} = 0.94 \text{ mrad}$ ), por lo que tendremos:

$$D = 0.94x = 0.94(253.125\text{mR}) = 238\text{mrad}$$

6. ¿Qué dosis absorbida recibirá un POE cuando se exponga durante 10 min a una distancia de 4 m de una fuente que tiene una intensidad de 100 mrad/h a 1 m, teniendo en cuenta que utiliza un mandil protector plomado equivalente a 2 CHR.

**Respuesta:**

Para solucionar este problema utilizaremos la ley del inverso del cuadrado de la distancia:

$$D_2 = D_1 \left[ \frac{d_1^2}{d_2^2} \right] = D_1 \left[ \frac{d_1}{d_2} \right]^2 = 100 \frac{\text{mrad}}{\text{h}} \left( \frac{1}{4} \right)^2 = 6.25 \frac{\text{mrad}}{\text{h}}$$

Para calcular la dosis absorbida durante los 10 minutos que estuvo frente a la fuente:

$$D = Dt = 6.25 \frac{\text{mrad}}{\text{h}} \left( \frac{10 \text{ min}}{60 \text{ min}/1\text{h}} \right) = 1.04\text{mrad}$$

El problema dice que se utiliza un mandil equivalente a 2 CHR, por lo que la dosis absorbida por el POE será:

$$D = 1.04\text{mrad} / 2 = 0.52\text{mrad} / 2 = 0.26$$

$$D = 0.26\text{mrad}$$

### 1.6 Descripción genérica de partes y componentes de un sistema de rayos X

Cuando los electrones en movimiento rápido interactúan con un objeto metálico, se producen rayos X. La energía cinética del electrón se transforma en energía electromagnética y la función del equipo 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.

Cualquier equipo de rayos X, independientemente de su diseño, consta de las siguientes partes principales: tubo de rayos X, consola de control y generador de alto voltaje, así como de otras partes como son: coraza, colimador, mesa, rejilla antidifusora, chasis, consola y procesador de revelado. En algunos tipos de equipos de rayos X, como son los equipos para odontología y en los portátiles, los tres componentes principales están alojados en una carcasa compacta. Sin embargo, la mayoría tienen el cabezal del tubo de rayos X en un recinto y la consola de control en una habitación contigua y existe una barrera protectora (blindaje) que separa ambas salas.

El blindaje debe de tener una ventana para observar al paciente durante el examen. En la **Figura 1.16** se presenta el plano de una sala de examen radiológico convencional.

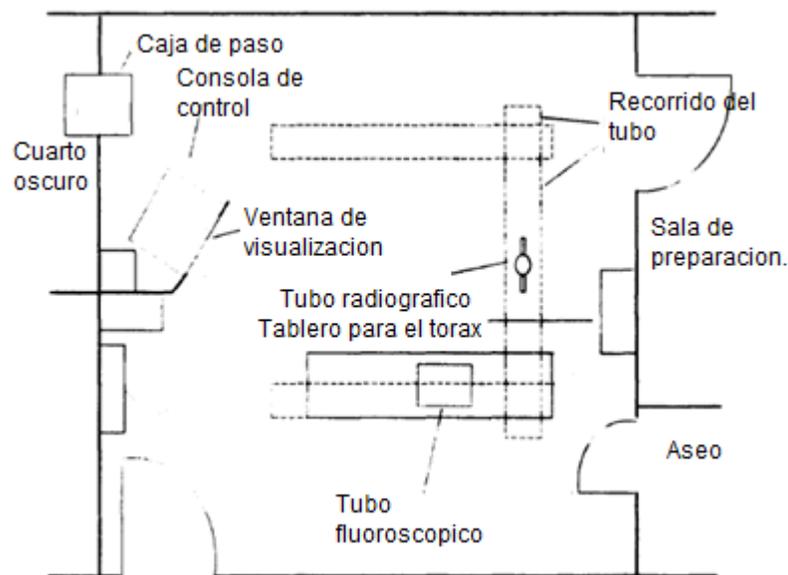


Figura 1.16.- Plano de una sala de examen de rayos X para fines generales

### 1.6.1 Tubo de rayos X

Está contenido en una coraza protectora y, por lo tanto, es inaccesible. La Figura 1.17 de la siguiente pág. es un esquema de un tubo de rayos X con ánodo rotatorio. Tiene dos partes principales, que son: el cátodo y el ánodo. El tubo de

rayos X es un tubo electrónico al vacío como los que contenían las televisiones o radios de bulbos; los componentes del tubo se encuentran dentro de una envoltura de vidrio Pyrex para que pueda soportar el tremendo calor generado. Su tamaño es de aproximadamente 20-35 cm de longitud y 15 cm de diámetro. La ventana del tubo de vidrio es un segmento del tubo que mide aproximadamente 5 cm<sup>2</sup> a través de la cual se emite el haz útil de rayos X lo cual permite una máxima emisión de rayos X con una mínima absorción por la envoltura de cristal.

El cátodo es el electrodo negativo del tubo y tiene dos partes principales: el filamento y la copa de enfoque. El filamento emite electrones al ser calentado (emisión termiónica) y generalmente se fabrica de tungsteno toriado, lo cual proporciona una emisión termiónica mayor que las de otros metales y prolonga la vida del tubo.

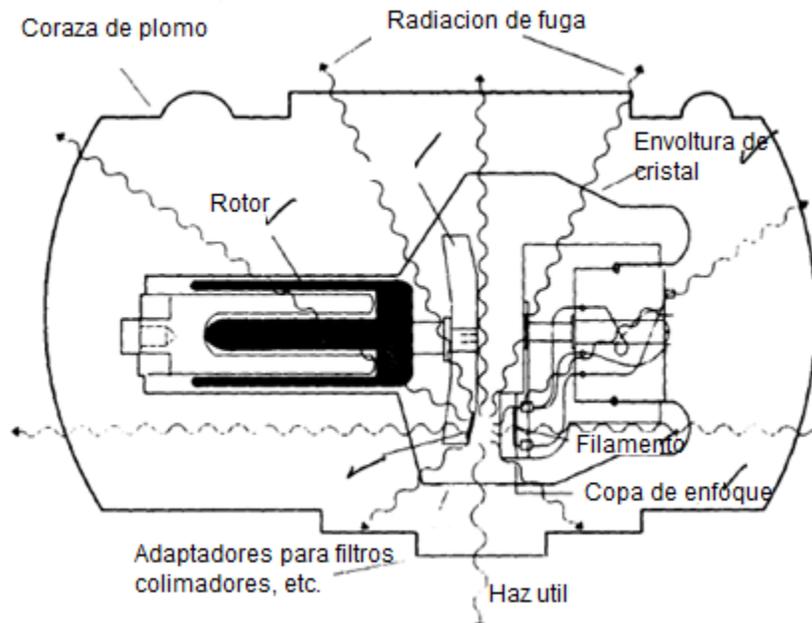


Figura 1.17.- Partes principales de un tubo de rayos X con ánodo rotatorio y coraza protectora.

El ánodo es el electrodo positivo del tubo. Existen dos tipos de ánodos: fijos y rotatorios. Los ánodos fijos se utilizan en equipos para odontología, algunos portátiles y unidades que no requieren intensidades ni potencia altas en el tubo. Los ánodos rotatorios se utilizan en equipos capaces de producir haces de rayos X

de alta intensidad en un tiempo breve, como los equipos de rayos X para fines generales. Al chocar los electrones con el ánodo, más del 99% de su energía cinética se convierte en calor por lo que la adecuada disipación del mismo es el principal problema de ingeniería en la construcción de los tubos de rayos X. El área del ánodo donde chocan los electrones procedentes del cátodo se denomina "blanco" y está fabricado de una aleación de tungsteno con renio.

### 1.6.2 Coraza

El tubo de rayos X siempre se encuentra montado en una coraza o carcasa protectora forrada de plomo y diseñada para controlar dos peligros serios que afectaron a los radiólogos de los primeros tiempos: la exposición excesiva a la radiación y la descarga eléctrica. Cuando se producen los rayos X, son emitidos en forma isotrópica, es decir, con la misma intensidad en todas direcciones. Los que son de utilidad son los que son emitidos a través de la ventana, conocidos como haz útil. Los restantes que escapan a través de la coraza protectora son la radiación de fuga; no contribuyen en nada a la información diagnóstica y sí producen una exposición innecesaria del paciente y del POE.

Una coraza adecuadamente diseñada reduce el nivel de radiación de fuga a menos de 100 mR/h a 1 metro ( $2.58 \mu\text{C}/\text{kg}\cdot\text{h}$ ) cuando se utiliza bajo condiciones de operación máximas. La coraza además incorpora un contacto de alta tensión especialmente diseñado para resistir las descargas eléctricas accidentales.

La coraza protectora también proporciona soporte mecánico al tubo de rayos X y lo protege contra posibles daños producidos por una manipulación descuidada. Algunas corazas contienen aceite que actúa como aislante eléctrico y como amortiguador térmico.

- **Consola de control.**-La consola de control es la parte del equipo que le permite al técnico radiólogo comprobar la corriente y la tensión del tubo de rayos X, de manera que el haz útil tenga la intensidad y capacidad de penetración apropiadas para obtener una radiografía de buena calidad. La

consola suele permitir además controlar el tiempo de exposición. Todos los circuitos eléctricos que conectan los medidores y controles localizados en la consola de control están a baja tensión, de manera que la posibilidad de recibir descargas peligrosas se reduce considerablemente.

- **Generador de alto voltaje** El generador de alto voltaje de un equipo de rayos X es el encargado de convertir el voltaje (tensión) que suministra la Comisión Federal de Electricidad o la Compañía de Luz y Fuerza en un voltaje elevado y con la forma de onda adecuada. El generador de alto voltaje contiene dos parte principales: transformador elevador de alto voltaje y rectificadores; estos componentes están sumergidos en aceite aislante eléctrico.

Aunque los transformadores operan con corriente alterna, los tubos de rayos X deben recibir corriente directa (continua) ya que los electrones deben ser acelerados cuando viajan desde el cátodo hasta el ánodo. Dado que el flujo de electrones sólo debe de hacerse en ésa dirección, será necesario rectificar la tensión secundaria del transformador (el alto voltaje). La rectificación es el proceso de convertir la tensión alterna en tensión continua y por lo tanto la corriente alterna en corriente directa.

### 1.6.3 Colimador

Si el haz de rayos X está más abierto de lo necesario, cubriendo un campo exploratorio mayor del que hace falta, se producen los siguientes efectos perjudiciales: el haz tiene mayor cantidad de fotones, se irradia un volumen mayor con radiación directa y se produce una mayor cantidad de fotones dispersos, lo cual se traduce en lo siguiente (ver Figura 1.18 de la página 62):

- **Fotones A:** Efectos sobre el paciente: mayor volumen irradiado, mayor número de fotones totales y mayor energía recibida. Más radiación dispersa y, por lo tanto, mayor dosis dentro y fuera del campo exploratorio.
- **Fotones B:** Mayor cantidad de radiación dispersa en el ambiente, la cual afecta al personal de la instalación.

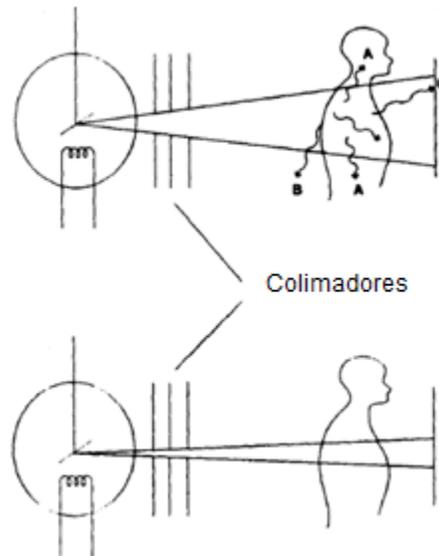


Figura 1.18.- Efecto de los colimadores sobre el haz de radiación de rayos X.

- **Fotones C:** Efectos negativos sobre la imagen. La radiación secundaria representada por C en la figura se superpone al haz directo y a sus "sombras" radiológicas, haciendo perder contraste entre las zonas claras y oscuras. Una posible repetición del disparo, debida a que la radiografía tenga escaso contraste, significa también mayor dosis.

Si el borde del campo está próximo a órganos críticos (por ejemplo, genitales), cualquier aumento innecesario del mismo hace que éstos se aproximen al borde o incluso, "entren" en penumbra o en haz directo (véase la Figura 1.18).

Para protegerse de todo ello se prescribe que existan dispositivos para abrir y cerrar el campo de radiación (diafragmas, colimadores, etc.) al tamaño necesario; que no sea necesario irradiar para conocer el tamaño de campo abarcado por el haz de radiación, lo que exige que éste se pueda conocer de antemano proyectando una luz y que el campo iluminado coincida con el de rayos X (**Figura 1.19 de la página 63**).

### 1.6.4 Rejilla antidifusora

Como ya se vio en la Figura 1.18 pág. 62, la radiación dispersa que alcanza la película hace disminuir el contraste (incluso aunque el campo sea el correcto, existe radiación dispersa). Para corregir el problema existen varios métodos, de los cuales el más utilizado es el de la rejilla antidifusora (inventada por G. Bucky, por lo cual a veces se le designa por su nombre). La rejilla o Bucky consiste en unas láminas absorbentes de la radiación (de plomo o tungsteno, ver Figura 1.20 pág. 64) entre las cuales hay un material menos absorbente (aluminio, material orgánico o fibra de carbono).

Las láminas van generalmente orientadas de manera que la radiación dispersa queda absorbida en buena parte y no alcanza a llegar a la película fotográfica.

La rejilla antidifusora o Bucky se coloca entre el paciente y el sistema de imagen.

La rejilla exige aumentar la dosis al paciente y el aumento de la dosis dependerá del espesor de las láminas, de su altura, de su separación y del material que se intercale entre ellas. El empleo de rejillas para mejorar el contraste supone un aumento de dosis en un factor aproximado de 2.5 - 3.5.

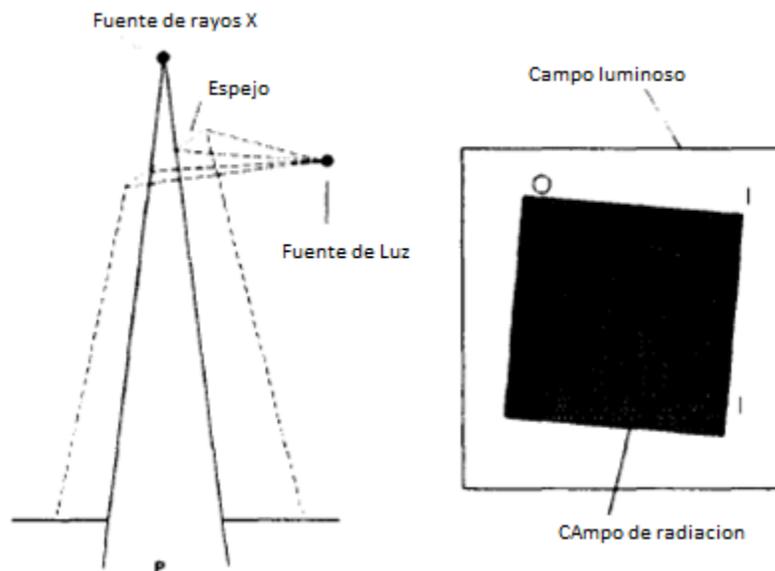


Figura 1.19.- Coincidencia del campo de radiación.

### 1.7 Capa hemirreductora y decirreductora

Los equipos de rayos X tienen filtros metálicos, por lo general de aluminio o cobre (Al o Cu), de 1 a 3 mm de espesor colocados en el haz útil. El objetivo de colocar esos filtros es el de reducir la cantidad de rayos X de baja energía que llegan al paciente. Los rayos X de baja energía no contribuyen en nada a la calidad diagnóstica, ya que son absorbidos por el tejido superficial y no alcanzan a llegar a la película, sirviendo únicamente para dar al paciente una dosis de radiación innecesaria. Cuando se coloca un filtro en el haz útil de rayos X, se reduce la dosis al paciente gracias a que el haz útil contiene menos rayos X de baja energía. Ver el espectro de energías de rayos X utilizando filtros en la Figura 1.21.

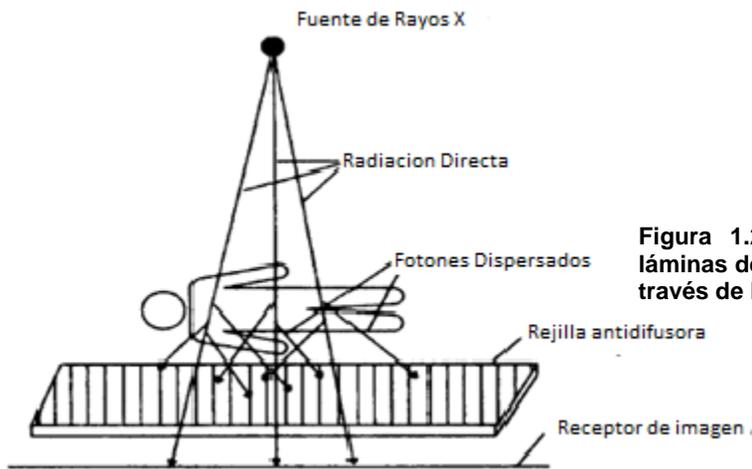
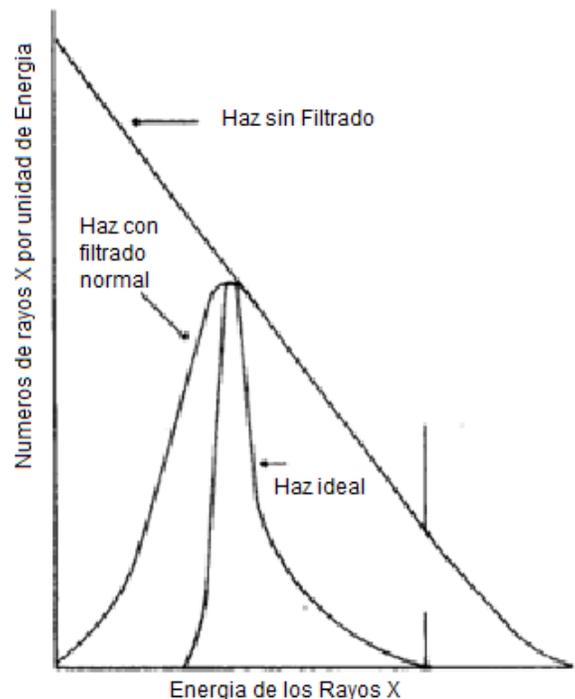


Figura 1.20.- La radiación directa encuentra a las láminas de canto y tiene mayor probabilidad de pasar a través de la rejilla antidifusora.

Figura 1.21.- La filtración se utiliza para eliminar selectivamente los rayos X de baja energía del haz útil. Una filtración ideal eliminaría todos rayos X de baja energía.



Si se aumenta la energía del haz de rayos X, también se incrementa su penetración en la materia. La penetración se refiere a la capacidad del haz de rayos X para introducirse en la materia; los haces de rayos X de alta energía son capaces de penetrar mucho más que los de baja energía.

A la capacidad de penetración de un haz de rayos X se le denomina calidad de rayos X. Un haz de rayos X de gran penetración (alta energía) se le llama haz de alta calidad o duro, los de baja penetración (baja energía) se llaman haces de baja calidad o blandos.

En radiología, la calidad de los rayos X se caracteriza numéricamente mediante la capa hemirreductora o filtro hemirreductor. La capa hemirreductora (CHR) de un haz de rayos X es el espesor de material de blindaje necesario para reducir la intensidad del haz de radiación a la mitad de su valor original.

La CHR es por lo tanto una característica del haz de rayos X. Un haz de rayos X de los utilizados normalmente en radiología tiene una CHR de entre 3 y 5 mm de Aluminio o entre 4 y 8 cm de tejido blando. Matemáticamente se puede calcular con la siguiente expresión:

$$CHR = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (1.20)$$

Donde:  $\mu$  es el coeficiente de atenuación lineal de energía, en  $cm^{-1}$ .

La capa decirreductora (CDR) de un haz de rayos X es el espesor de blindaje necesario para reducir la intensidad del haz de radiación a la décima parte de su valor original. Matemáticamente se puede calcular con la expresión análoga a la anterior:

$$CDR = \frac{\ln 10}{\mu} \quad (1.21)$$

Para fines prácticos se puede considerar que la equivalencia entre la CHR y la CDR es la siguiente:

$1\text{CDR} = 3.3\text{CHR}$ .

Para la obtención experimental de la CHR y la CDR se utiliza un sistema como el que se aprecia en la Figura 1.22, que está compuesto por tres partes principales: el tubo de rayos X, un detector de radiación y un filtro de espesor variable, por lo general de aluminio.

Una primera medida de la radiación se realiza sin ningún tipo de filtro. A continuación, se hacen medidas sucesivas con secciones de filtro cada vez más gruesos.

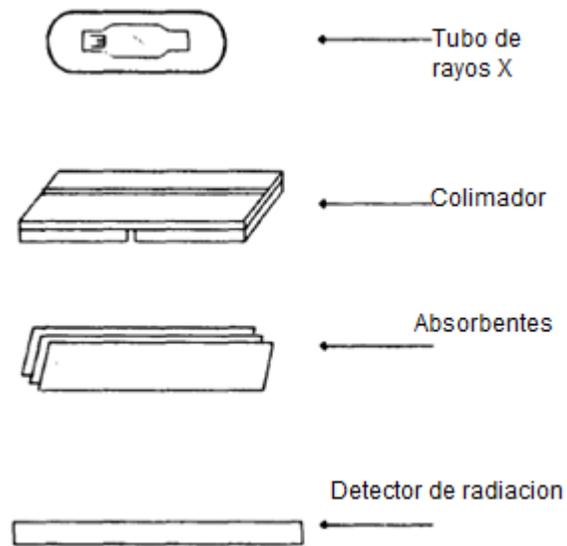


Figura 1.22.- Arreglo experimental para determinar la CHR.

A continuación se da un ejemplo para la determinación experimental de la CHR y la CDR: un tubo radiográfico que opera a 70 kVp, el detector colocado a 100 cm y un filtro de aluminio de 0.5 mm colocado a medio camino entre ambos se obtienen los datos que se muestran en la tabla.

Estimar la CHR y la CDR por simple observación de los datos; después, dibujar el gráfico y comprobar si su estimación fue suficientemente exacta.

Tabla 1.6. Datos Experimentales para la determinación de la CHR y la CDR.

Espesor del filtro (mm de Aluminio)	Cantidad de Rayos X (mR)	Gráfica con los resultados experimentales.
0	94	
0.5	79	
1	67	
1.5	57	
2	49	
2.5	42	
3	38	
4	25.4	
5	18.3	
6	13.2	
7	9.5	
8	6.9	

- a) CHR: La mitad de 94 mR es 47 mR y por lo tanto la CHR deberá estar entre 2 y 2.5 mm de aluminio. Al dibujar la gráfica se obtiene un valor de aproximadamente 2.1 mm de Al.
- b) CDR: La décima parte de 94 mR es 9.4 mR y por lo tanto la CDR deberá estar entre 7 y 8 mm de aluminio. Al dibujar la gráfica se obtiene un valor de aproximadamente 7.05 mm de Al. En la tabla 1.6 se observa la gráfica de los valores mencionados anteriormente.

La CHR es el mejor método para especificar la calidad de los rayos X, debido sobre todo a que las relaciones entre los cambios de penetración y los cambios de tensión y filtrado no son directas. Diferentes combinaciones de filtración añadida y de tensión pueden proporcionar la misma CHR. Por ejemplo, las mediciones pueden demostrar que un equipo en específico tiene la misma CHR cuando trabaja a 90 kVp con 2mm de Al que cuando opera a 70 kVp con 5 mm de Al. En este caso, la penetración del haz permanece constante, así como la CHR. Sería erróneo especificar la calidad del haz sólo por la tensión o la filtración<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Domínguez Anaya Carlos Enrique, Curso de protección y seguridad radiológica en le diagnostico medico con rayos X, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. pp. 1-52

## Capítulo 2

### Pre instalación e instalación, Calibración y ajuste (mA, KV, mAs)

El radiodiagnóstico, consiste en la exploración de las estructuras anatómicas internas con ayuda de la imagen proporcionada por un haz de rayos X. Este tiene la capacidad de atravesar al sujeto. Las estructuras densas, como los huesos, bloquean la mayor parte de estos fotones y se ven de color blanco. El metal y los medios de contraste también se verán de color blanco. Las estructuras que contienen aire se mostrarán negras y los músculos, la grasa y los líquidos como sombras de color gris.

La base fundamental para la aplicación de los rayos X es la propiedad que poseen de atenuación exponencial. El grado de penetración de estos fotones en un determinado medio, depende de la naturaleza del medio y la energía de los fotones. Al atravesar un material pueden ser absorbidos o dispersados de su trayectoria. Esto resulta una disminución en la intensidad general.

Los procesos de absorción o dispersión son debidos a interacciones entre los átomos del medio y los fotones X. Las interacciones más importantes las constituyen los efectos:

- fotoeléctrico (interacción de un fotón incidente con un electrón interno de un átomo),
- Compton (interacción de un fotón incidente con un electrón periférico) y materialización (un fotón de energía elevada interacciona con el campo eléctrico existente en las proximidades del núcleo).

Todas las instalaciones eléctricas que son de carácter preliminar en el ámbito del posicionamiento del equipo en el sitio preparado para el equipo serán realizados por los contratistas eléctricos bajo licencia. Además, la alimentación eléctrica a la Unidad de Distribución de Energía deberá realizarse mediante contratistas

eléctricos bajo licencia. Otro tipo de conexiones entre piezas de equipo eléctrico, las calibraciones, y las pruebas deberán ser realizadas por personal calificado.

### 2.1 Pre-Instalación

Planeación de Pre-Instalación, Requerimientos de cableado:

- El desempeño del generador se dañará si se conectan circuitos adicionales a la misma línea los circuitos adicionales se conectan a la misma línea. No hay ningún accesorio con potencia adicional dentro del generador. Si se conectan los accesorios adicionales como colimador, columnas o mesa a este generador, se dañarían los circuitos.
- Los cables de aluminio no son aceptables para el cableado. Todo el cableado DEBE ser de cobre.

Tabla 2.1 Tamaño mínimo de cobre

Voltaje en la línea de entrada	Fuente de energía dedicada	Tamaño Mínimo del cable de cobre					Tierra	Desconexión al generador (15' max.)	Interruptor mínimo, Fusible, o rango de corte	Corriente momentánea máxima *
		Distancia en pies desde el punto de distribución hasta el panel de desconexión								
		50'	100'	200'						
208VAC 1 fase	50 kVA	#0	#000	300mcm		#6	#1	200 A.	366 A.	
240VAC 1 fase	50 kVA	#1	#0	#000		#6	#1	150 A.	293 A.	
277VAC 1 fase	50 kVA	#2	#1	#0		#6	#1	150 A.	270 A.	
208VAC 3 fase	50 kVA	#4	#0	#00		#6	#2	100 A.	150 A.	
240VAC 3 fase	50 kVA	#4	#0	#00		#6	#4	75 A.	135 A.	
380VAC 3 fase	50 kVA	#6	#2	#0		#6	#6	75 A.	98 A.	
480VAC 3 fase	50 kVA	#6	#4	#0		#6	#6	50 A.	82 A.	

La corriente momentánea máxima medida con la siguiente técnica: 60 kV, Potencia completa, 10 mAs

El tamaño mínimo listado anteriormente ha sido seleccionado para la máxima resistencia permitida para una corriente de carga máxima momentánea. Para seguir el Código Nacional de Especificaciones Eléctricas, usted debe seleccionar un tipo de cable que tenga un rango de amperaje de al menos 50% de la corriente pico demandada por el generador. El rango también se aplica para la selección de fusibles y circuitos de corte.

### 2.1.1 Identificación de línea de entrada

Una evaluación inicial de la línea de entrada durante el estudio del sitio antes de la venta, antes de hacer un pedido de compra para el generador de rayos X de Universal/Del Medical Imaging, En ese momento, la configuración física del generador (i.e. Monofase o trifásica en la línea de entrada) ha sido realizada.

- El personal que realice la instalación debe asegurarse que la configuración es la adecuada y que las partes correctas han sido recibidas.

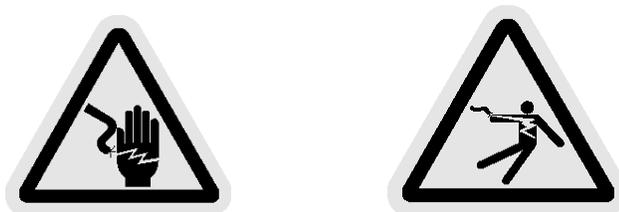


Fig. 2.1 Identificación de líneas de entrada

Estas instrucciones están diseñadas para ser usadas únicamente por personal calificado para instalación.

Nunca trabaje con circuitos energizados durante esta instalación a menos que se especifique lo contrario.

Toda instalación eléctrica hasta las terminales de entrada del módulo de potencia del APX 525/625 serán suministradas por el cliente.

Toda la instalación eléctrica debe de seguir las normas eléctricas establecidas. Alambres de aluminio son inaceptables en la instalación eléctrica.

- El voltaje mínimo medido en las terminales de entrada del módulo de potencia no debe ser debajo de los 224 VAC durante cualquier exposición.
- Se debe de tener un cable #6 AWG por separado para la tierra. Se deben de seguir los estándares establecidos por el Código Nacional de Especificaciones Eléctricas.

### 2.1.2 Instalaciones trifásicas

Todos los generadores de 30 kW, versión trifásica del generador APX-525 pueden operar con los siguientes voltajes de línea de entrada:

208, 230, 240, 380, o 480 VAC, trifásica, con una tierra de seguridad y sin neutral.



Figura 2.2 Autoformador de acoplamiento de línea trifásica para aplicaciones de 30 kW.

El transformador de acople de línea no proporciona ningún aislamiento entre la línea de entrada y sus salidas. Todos los voltajes de salida tendrán la misma relación con respecto a tierra así como los voltajes principales de entrada. Utilice la precaución adecuada cuando este trabajando con cualquier voltaje principal activo. Siempre asegúrese de que la alimentación haya sido apagada, desconecte

el interruptor antes de intentar hacer cualquier conexión al transformador de acoplamiento de línea o el módulo de alimentación del generador.

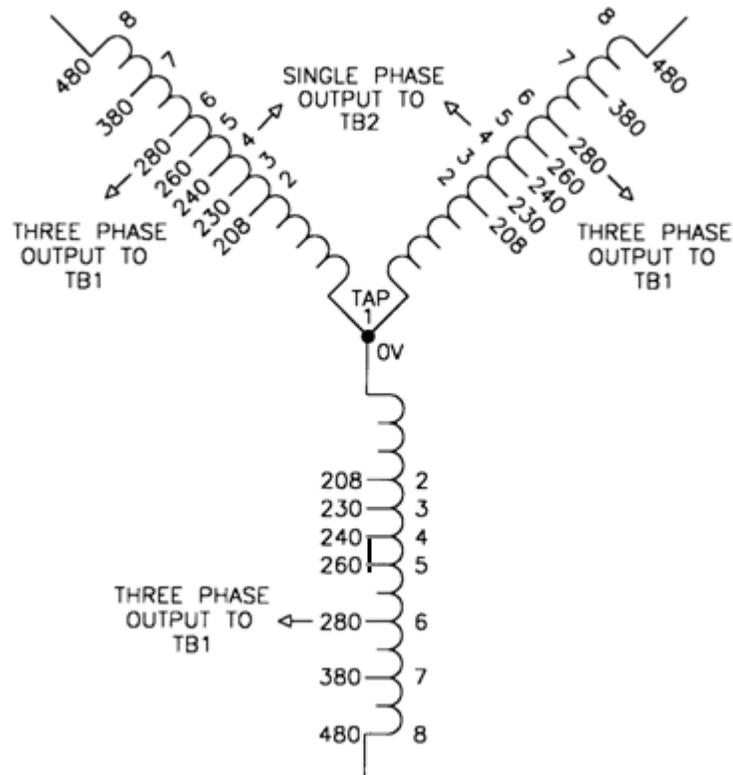


Figura 2.3 Esquemático - #636-0510P1 – Transformador de línea de acoplamiento trifásico

Tabla 2.2 Voltajes trifásicos para las Derivaciones

	D. #1	D. #2	D. #3	D. #4	D. #5	D. #6	D. #7	D. #8
636-5010P1	0V	208V	230V	240V	260V	280V	380V	480V

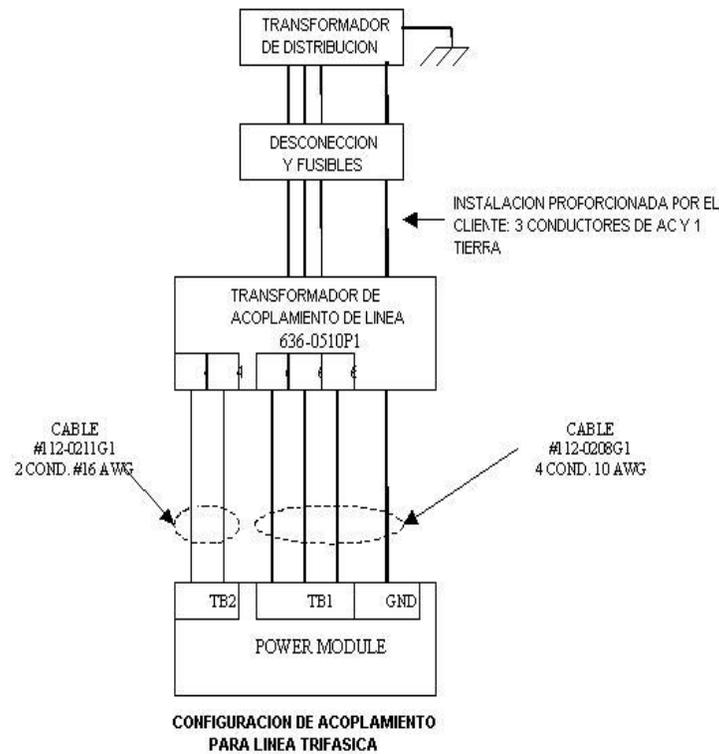


Figura 2.4 Diagrama de interconexión – Transformador de Acople Trifásico de 30 kW

### 2.1.3 208 VAC Trifásico (Únicamente 30 kW)

1. Conectar las tres fases de entrada de la línea trifásica a la toma # 2 de cada bobina del transformador de acoplamiento de línea. Envuelva estas conexiones adecuadamente con cinta eléctrica.
2. Con la cautela adecuada, se energiza temporalmente la línea de entrada desde el interruptor de desconexión de pared se verifican que los voltajes de salida desde el transformador de línea son los correctos.
  - Medirá 240 VAC +/- 5% entre cualquiera de las bobinas #4 del transformador. Estas se usarán para proporcionar 240 VAC a TB2 en el módulo de potencia.
  - medirá 280 VAC +/- 5% entre cualquiera de las bobinas #6 del transformador. Estos se usarán para proporcionar el voltaje en la línea de entrada a TB1, en el módulo de potencia.

3. Conectar el alambre blanco del cable 112-0211G1 (16 AWG) a la punta # 4 de una de las bobinas del transformador. Conecte el cable negro del mismo cable a la punta #4 de cualquiera de las otras dos bobinas del transformador. Envuelva estas conexiones adecuadamente con cinta eléctrica.



Figura 2.5 Bobinas del transformador

4. Conectar el alambre blanco del cable 112-0208G1 (#10 AWG) a la punta # 6 de una de las bobinas del transformador de acoplamiento de línea. Conecte los alambres negro y rojo del mismo cable a las puntas # 6 de cada una de las bobinas que quedan del transformador.
5. Conectar el alambre verde del cable 112-0208G1 al alambre de tierra de entrada desde el interruptor de desconexión de pared.



Figura 2.6 Alambre a tierra

6. Envolver adecuadamente todas las conexiones no usadas del transformador de acoplamiento de línea con bastante cinta eléctrica.
7. Asegurar que todos los alambres #1 estén conectados uno con otro y envuelva con cinta eléctrica. **No los conecte a neutral.**
8. Conectar los dos alambres del cable 112-0211G1 (#16 AWG) a TB2 en el módulo de potencia.
9. Conectar los alambres blanco, negro y rojo del cable 112-0208G1 a TB1 en el módulo de potencia.
10. Conectar el alambre verde del cable 112-0208G1 a la tierra colocada en el módulo de potencia.  
Esto conecta el cableado del transformador de acoplamiento de línea trifásico para aplicaciones de 30 KW.
11. Conectar el alambre verde del cable 112-0208G1 a la tierra del módulo de potencia. Esto completa el cableado del transformador de acoplamiento de línea.



Figura 2.7 Modulo de potencia

Tabla 2.3 Índice de cables

Índice de Cables			
No cable	Descripción	Largo	Número de parte
1	Potencia principal		(no proporcionado)
2	Línea de acoplamiento al módulo de potencia	8 pies	(no proporcionado)
3	Cable para el control de Operador	45 pies	126-5174G1
4	Cable de control de AEC	45 pies	126-5178G1
5	Cable de interfase AEC	10 pies	126-0204G1
6	(No Usado)		
7	Potencia de mesa		(no proporcionado)
8	Potencia de freno eléctrico		(no proporcionado)
9	Potencia del colimador		(no proporcionado)
10	Potencia del soporte de pared	40 pies	4465-0118
11	Cable para detectar el tamaño del Casete de pared	40 pies	(proporcionado con el colimador)
12	Cable para detectar el tamaño del Casete de la mesa	40 pies	(proporcionado con el colimador)
13	Cable de control del Colimador	40 pies	(proporcionado con el colimador)
14	Cable de la cámara de lones de pared	45 pies	(proporcionado con el colimador)
15	Cable de la cámara de lones de la mesa	45 pies	(proporcionado con el colimador)
16	Cable del estator	40 pies	(proporcionado con el colimador)
17	Cable de retroalimentación kV/mA	8 pies	126-0177G1
18	Cable de HV Primaria	8 pies	126-0179G1
19	Cable del Filamento	8 pies	126-0178G1
20	Cables de alta tensión (dos)	(especifique largo)	
21	Cable del Bucky de pared	20 pies	5500-2299
22	Cable del Bucky	20 pies	5500-2399

## 2.2 Instalación

Cada cierre de circuito debe ser un conjunto aislado de contactos los cuales se cierran en la exposición de la condición "Go"

TB1 - 1 para Cierre de Puerta

TB1 - 2 para Cierre de Colimador

TB1 - 3 para Común

Si no están presentes ni el cierre de la Puerta ni del Colimador, jumpers de cables deben ser adicionados al TB1 para permitir una exposición



Figura 2.8 Contactos

#### Conexiones de Filamento al Transformador de Alta Tensión

- TB2 - 1 para XL (Filamento Largo) (Alambre Verde)
- TB2 - 2 para XS (Filamento Pequeño) (Alambre Blanco)
- TB2 - 3 para XC (Filamento Común) (Alambre Negro)

#### Conexiones Plug al Módulo de Potencia

- J12 – Conecta al dispositivo AEC al J4 de la tarjeta principal de AEC.
- J13 – Conecta la consola de operación de la tarjeta del CPU al J5
- J14 – Para mA y kV de retroalimentación: Conecta al transformador de alta tensión como sigue:
  - Blanco para kV – (Cátodo)
  - Verde para mA +
  - Negro para Tierra
  - Rojo para kV + (Ánodo)
  - Negro para Tierra

El generador no encenderá sin tener el kV/mA cable de retroalimentación conectado entre el transformador de alta tensión y J14.

**2.2.1 Conexiones de potencia para el transformador de alta tensión al módulo de potencia trasero.**

El cableado debe ser conectado tal como se muestra en la figura 2.9, no a la parte trasera del conmutador de capacitores.

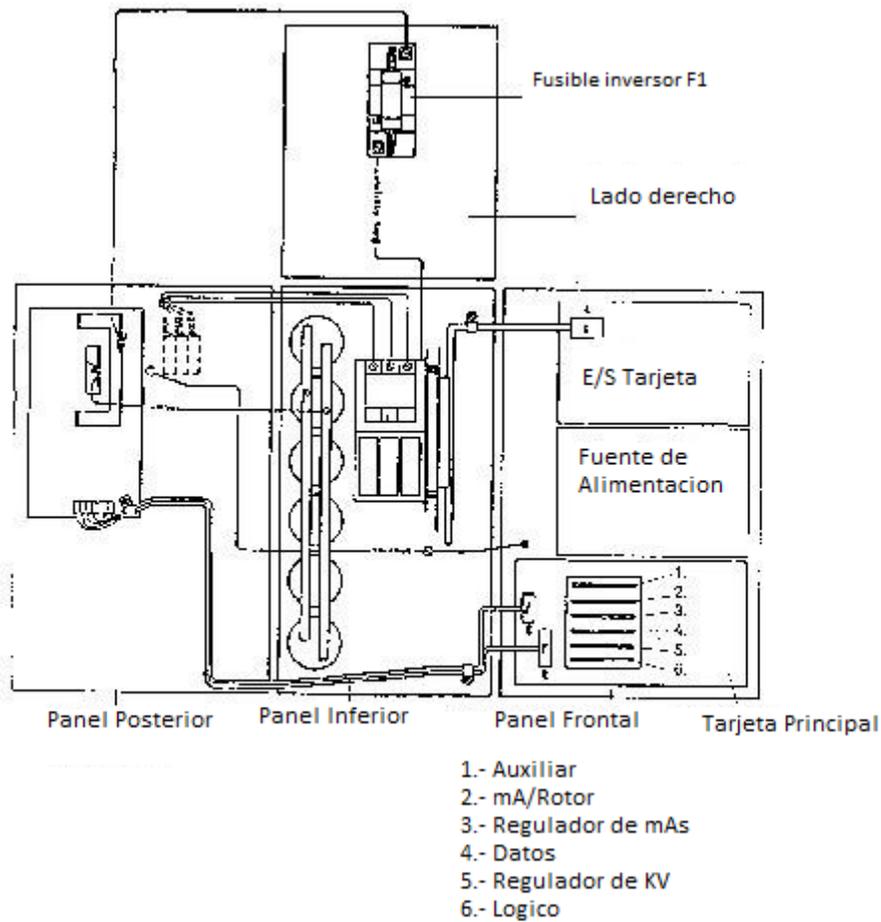


Figura 2.9 Conmutador de capacitores.

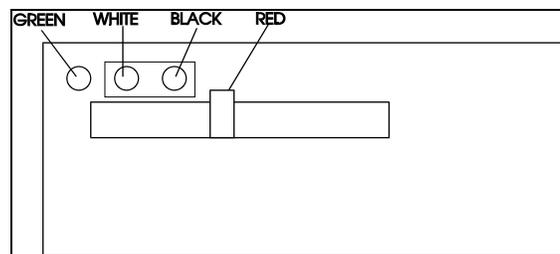


Figura 2.10 –Parte trasera del módulo de potencia.



Tabla 2.4 Conexiones para la Pared de Recepción de Imágenes. Para operaciones a 110 VAC el Villa Bucky requiere la instalación de un jumper entre las terminales 1 y 6.

Conexión	Señal	Modelo L/F 8000 L/F 9000	L/F 8000 (modelos anteriores)	Villa
TB4-1	Selección de Pared 117VAC (Conmutada)	3	B3	7
TB4-2	Retroalimentación de Pared	2	B2	12
TB4-3	117 VAC	L	B8	3
TB4-4	Señal GND	1	B1	11
TB4-5	117 VAC 117 VAC	N	B4	1
Chasis GND	Chasis GND	GND	GND	Chasis GND

Si instala un gabinete de rejilla o bucky de pared, o si la pared de recepción de Imágenes no será empleada, debe colocar un jumper entre TB4-4 y TB4-2 para habilitar exposiciones cuando el dispositivo de pared sea seleccionado.

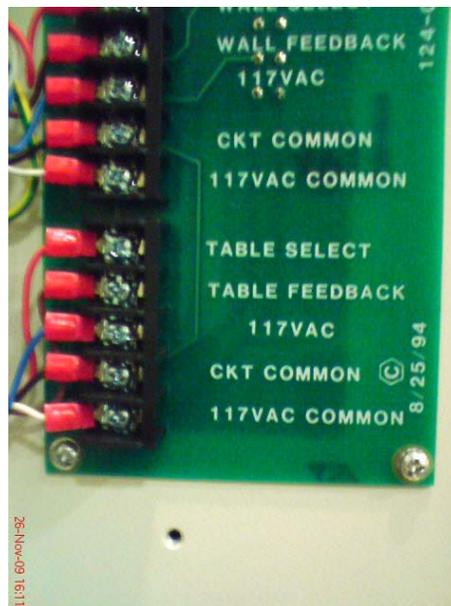


Figura 2.12 Bucky de pared

Tabla 2.5 Conexiones del Receptor de Imágenes. Para operaciones a 110 VAC el Villa Bucky requiere la instalación de un jumper entre las terminales 1 y 6.

Conexión	Señal	Modelo L/F 8000 L/F 9000	L/F 8000 (modelos anteriores)	Villa
TB5-1	Selección de Mesa 117VAC (Conmutada)	3	B3	7
TB5-2	Retroalimentación de Mesa	2	B2	12
TB5-3	117 VAC	L	B8	3
TB5-4	Señal GND	1	B1	11
TB5-5	117 VAC 117 VAC	N	B4	1
Chasis GND	Chasis GND	GND	GND	Chasis GND

Si no serán utilizados ni gabinete de rejilla ni un receptor de imágenes, debe colocar un jumper entre TB5-4 y TB5-2 en orden para permitir exposiciones.

### 2.2.3 Conexiones desde el Transformador de Acoplamiento de Línea al Módulo de Potencia

Los alambres indicados abajo son del Transformador de Acoplamiento de Línea. Consulte la sección de planeación de instalación de este manual.

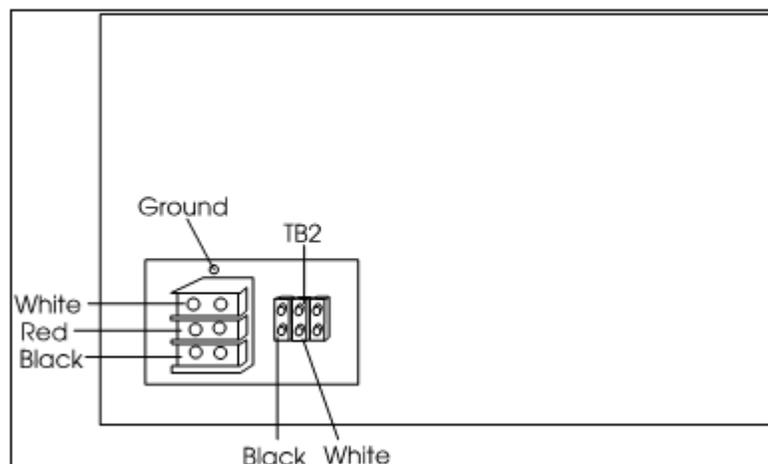


Figura 2.13 parte trasera del módulo de potencia

### 2.3 Puesta en Marcha

Este procedimiento será seguido:

1. Después de la instalación inicial del APX 525/625
2. Antes de iniciar la calibración del APX 525/625
3. Durante las inspecciones de mantenimiento

Este procedimiento es utilizado para la verificación del suministro adecuado del voltaje, manejo de filamentos y la operación de la consola de operación.

El banco principal de capacitores SCR (debajo del módulo de potencia) contiene una carga muy alta cuando la potencia es aplicada. La carga es un riesgo de choque fatal. Después de que el sistema ha sido desconectado de la potencia, ya sea desconectando la línea o apagado por medio de la consola de control, permita un mínimo de 5 minutos para que el banco de capacitores se descargue. Revise que el banco de capacitores quede en Cero Volts con un voltímetro DC antes de trabajar en él o en los circuitos internos.

El desempeño del generador será afectado o se dañará si los circuitos adicionales se conectan a la misma línea. No hay algún accesorio con potencia adicional dentro del generador. Si se conectan los accesorios adicionales como colimador, columnas o mesa a este generador se dañará los circuitos.

Los siguientes procedimientos producirán rayos X. El personal que lo opera deberá tomar las precauciones para asegurar su seguridad personal y la seguridad de otros en la cercanía inmediata al lugar. Las precauciones mínimas a tomar son las siguientes:

- Uso de los delantales de plomo
- El personal que permanezca en la sala de rayos X durante la exposición deberá permanecer detrás del escudo de plomo
- Minimizar la radiación dispersa a través de puertas, paredes y piso.

### 2.3.1 Identificación de componentes

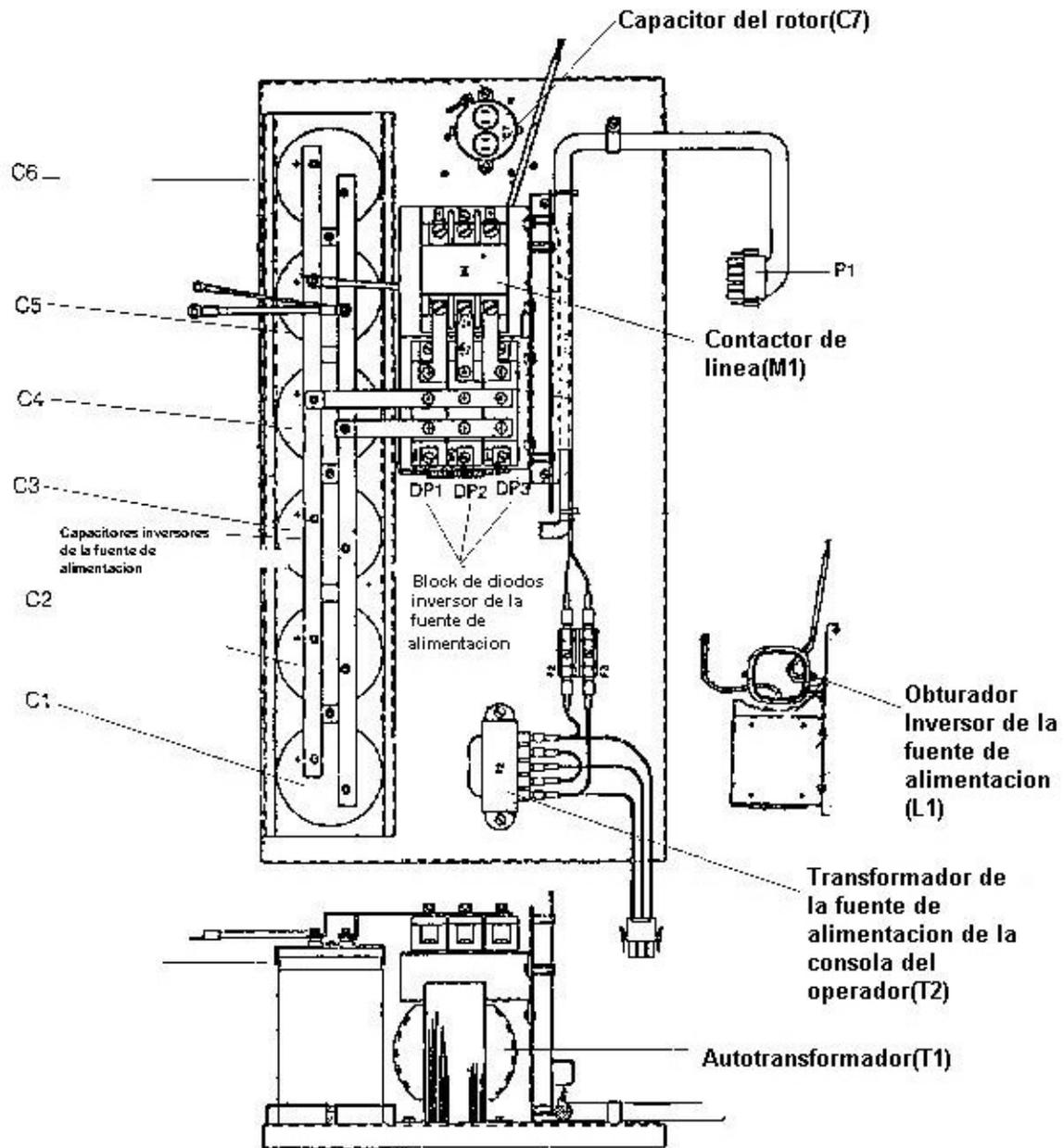


Figura 2.14 Ensamble de la parte inferior del chasis

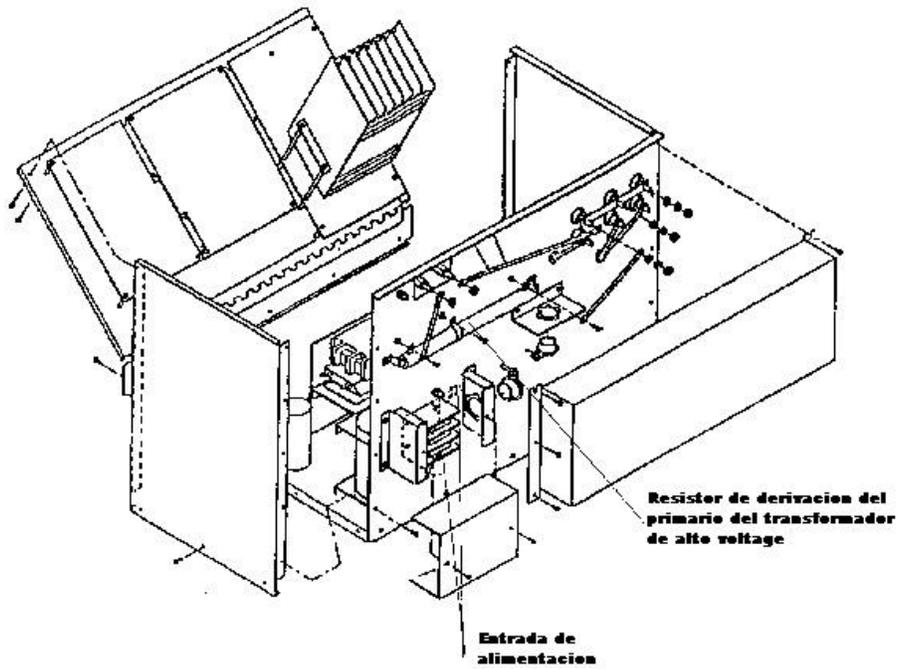


Figura 2.15 Modulo de potencia

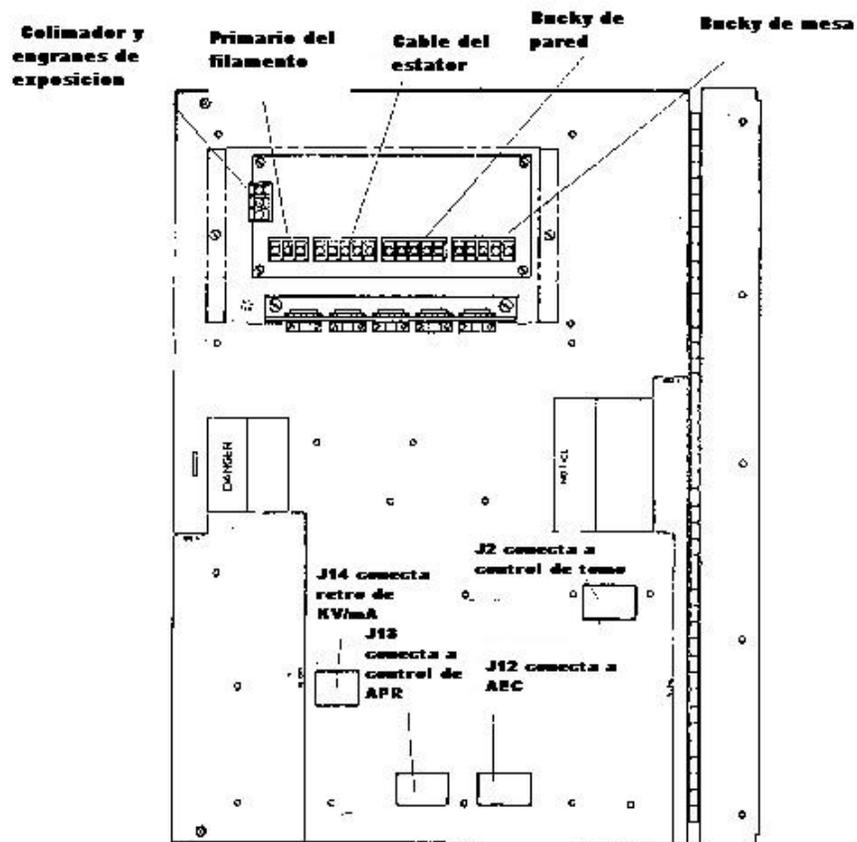


Figura 2.16 Panel frontal del modulo de potencia

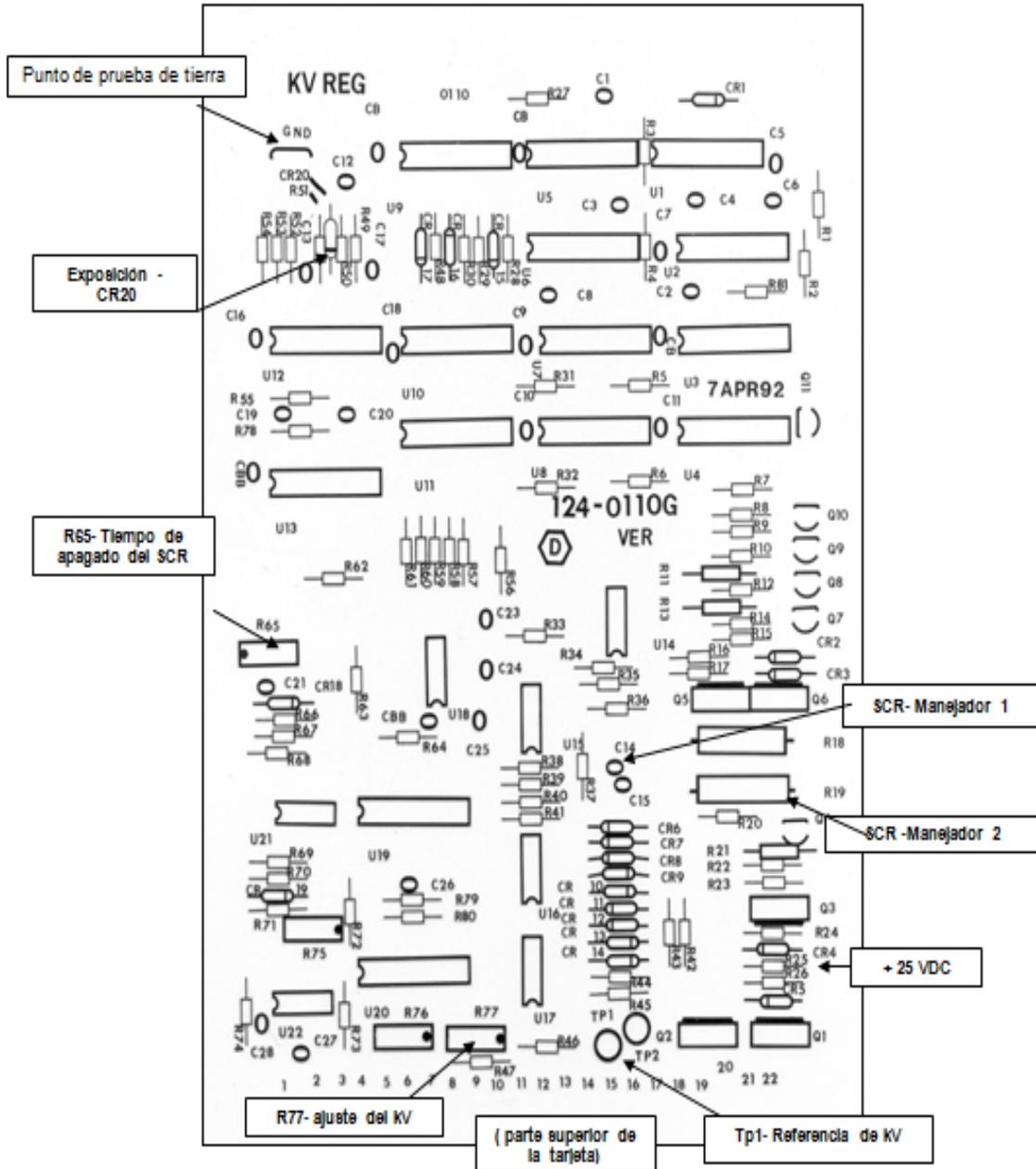


Figura 2.17 Tarjeta de relevadores

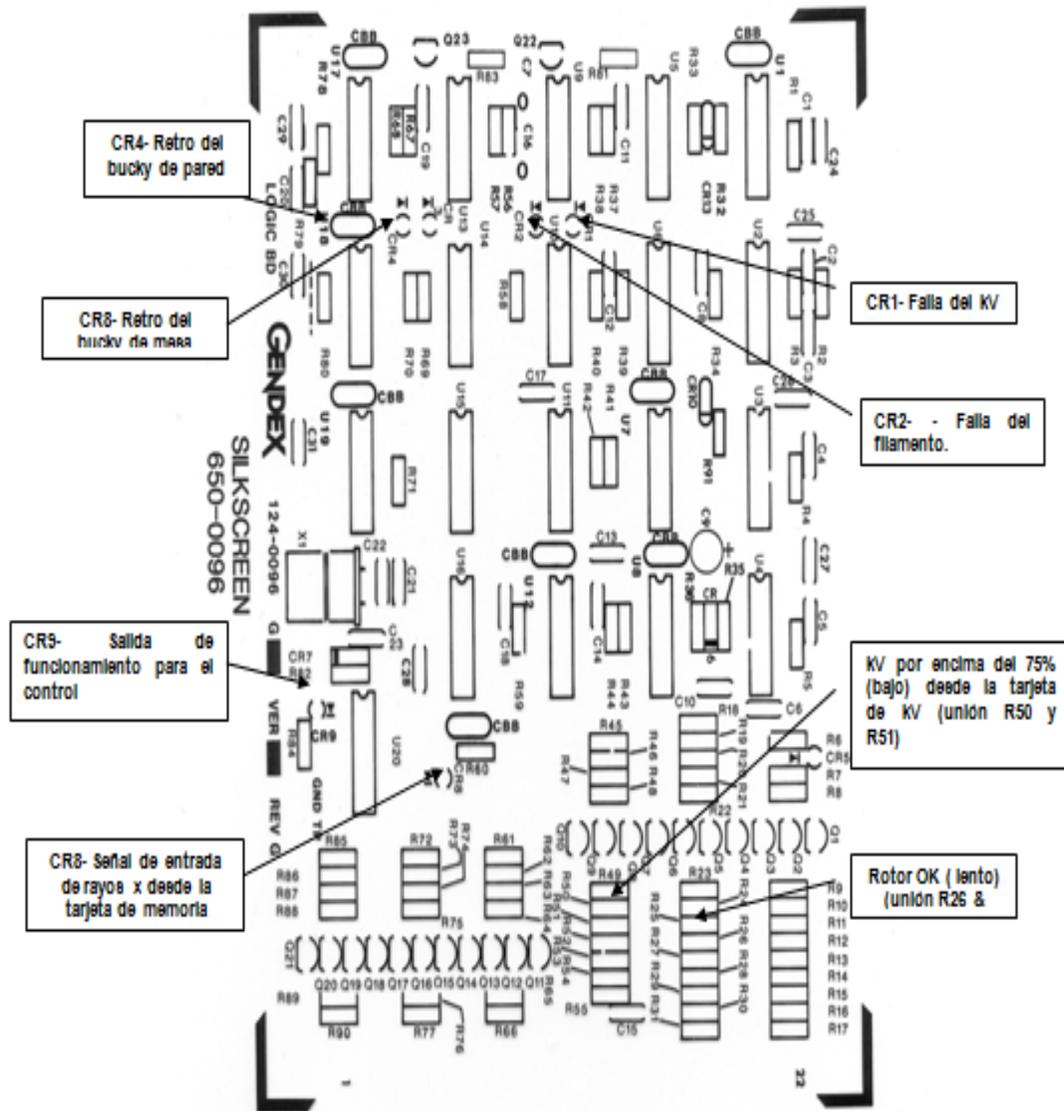


Figura 2.18 Tarjeta controladora de relevadores

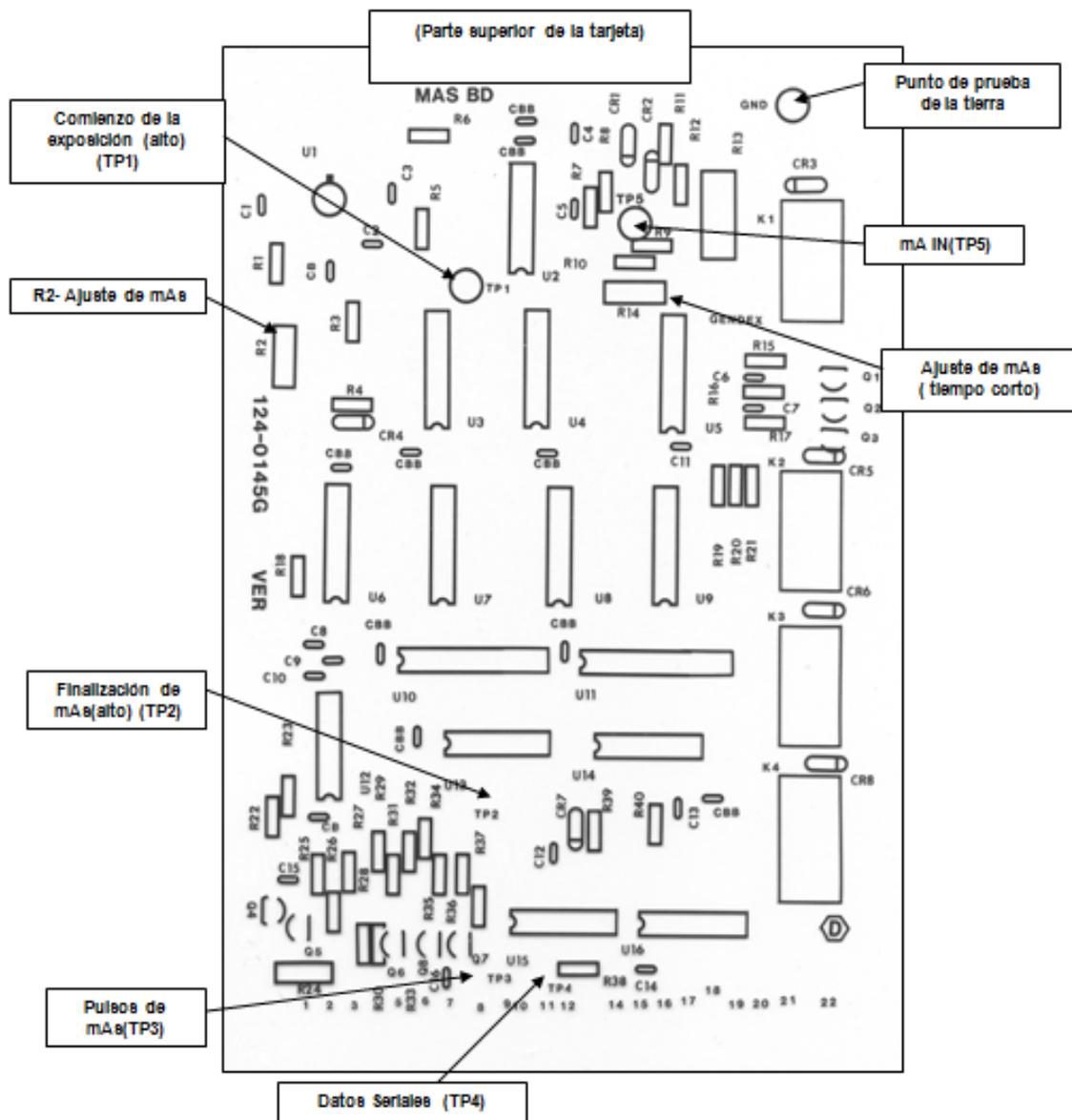


Figura 2.19 Regulador de mas

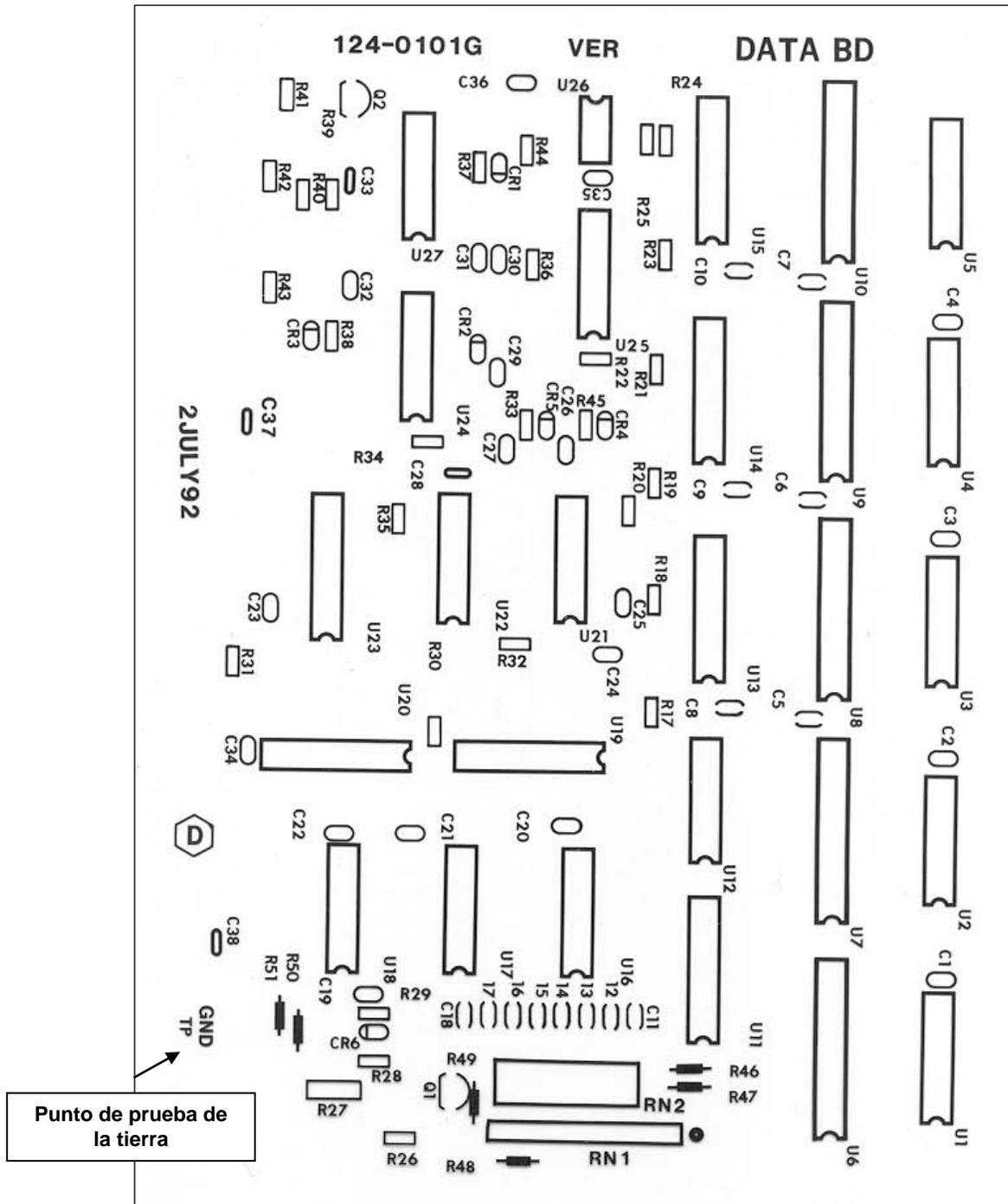


Figura 2.20 Tarjeta de datos

Arriba de la tarjeta

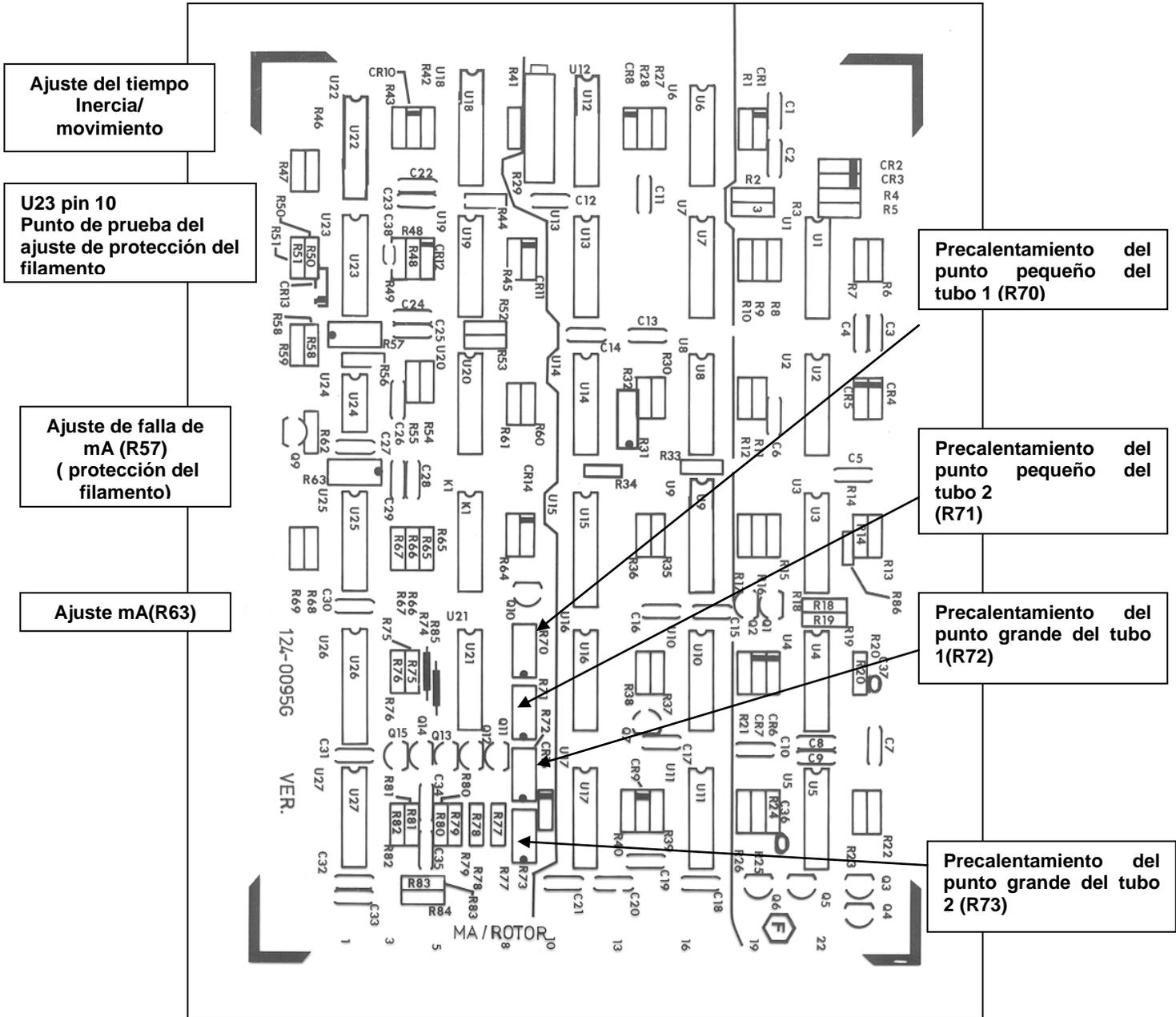


Figura 2.21 Tarjeta Ma/ Rotor

### 2.3.2 Guía de ajustes de los potenciómetros

Tabla 2.6 Guía de ajustes, KV REG124-0110G

KV REG 124-0110G			
Pot	Función	Punto de monitoreo	Valor
R77	Ajuste de kV	El kV se despliega en el analizador dinámico	Para emparejar con el kV puesto en el control del APR
R65	Tiempo de apagado del SCR	Conectar el osciloscopio en U3-10 de esta tarjeta	Realizar una exposición y ajustar R66 para que el pulso negativo sea 140 useg
MAS BD. 124-0145G			
Pot	Función	Punto de monitoreo	Valor
R2	Ajuste de mAs	El mAs se despliega en el analizador dinámico	Para emparejar con el mAs puesto en el control del APR
R14	Convertidor de voltaje de mAs a frecuencia	El mAs se despliega en el analizador dinámico	El mAs en el tiempo mínimo es igual con el mAs en el tiempo máximo

Tabla 2.7 Guía de ajustes mA/Rotor 124-0095G

mA/Rotor 124-0095G			
Pot	Función	Punto de monitoreo	Valor
R63	Ajuste de mA	El mA se despliega en el analizador dinámico	Para emparejar con el mA puesto en el control del APR en el modo de diagnóstico.
R57	Ajuste de falla de mA	Conectar el Multímetro al pin 10 de U23 de esta tarjeta y tierra (TP12) en 124-0106G	Multímetro = 0.8VDC
R29	Ajuste del tiempo de elevación del precalentamiento del rotor	Conectar el osciloscopio a TP1 y TP12 (tierra) en 124-0106G	Ajustar el tiempo de elevación a 1.5seg
R70	Tubo1- Ajuste de precalentamiento del punto focal pequeño	Conectar el osciloscopio a TP14 (mA+) y TP12 (tierra en 124-0106G)	Ajustar para la forma de onda plana de mA
R71	Tubo2- Ajuste del precalentamiento del punto focal pequeño	Conectar el osciloscopio a TP14 (mA+) y TP12 (tierra en 124-0106G)	Ajustar para la forma de onda plana de mA
R72	Tubo1- Ajuste de precalentamiento del punto focal grande	Conectar el osciloscopio a TP14 (mA+) y TP12 (tierra en 124-0106G)	Ajustar para la forma de onda plana de mA
R73	Tubo2- Ajuste de precalentamiento del punto focal grande	Conectar el osciloscopio a TP14 (mA+) y TP12 (tierra en 124-0106G)	Ajustar para la forma de onda plana de mA

### 2.3.3 Pruebas de inicialización del generador y configuración de la instalación

Este procedimiento verificará el funcionamiento eléctrico correcto y guiará al ingeniero de servicio a través de la calibración del generador. Este procedimiento no es para limitar la inspección final del ingeniero de servicio. Según el criterio del ingeniero, pruebas adicionales podrían ser de valor. Instrucciones y criterio de prueba pueden ser obtenidas contactándose con nuestro grupo de soporte técnico. Este procedimiento asegura que ensambles mecánicos y eléctricos del generador han sido completados.

Además, este procedimiento requiere que la programación de la configuración por default del sistema haya ya sido programada.

- La falla en programar correctamente la configuración por default del sistema podría dañar los componentes en los circuitos de alto voltaje y del tubo de rayos X.
- Voltajes letales están presentes en los capacitores filtros de esta unidad. Extreme las precauciones cuando trabaje cerca de las barras de cobre sujetas a los seis grandes capacitores en la base del módulo de potencia. Siempre verificar con un multímetro que los capacitores estén descargados antes de intentar cualquier servicio en esta área.
- Los grandes capacitores de conmutación montados a la izquierda en el panel posterior del módulo de potencia permanecerán cargados incluso cuando la unidad haya sido apagada.

Equipo de examinación requerido:

- Medidor de kV
- Multímetro digital
- Osciloscopio con memoria
- Analizador Dinámico

Desconexión de la tensión de línea:

- Inspeccionar visualmente el transformador para observar signos de pérdidas de aceite o abolladuras lo cual disminuye el espacio del componente interno.
- Controlar el nivel de aceite en el transformador y asegurar que esté hasta la parte superior de la tarjeta del circuito impreso pero no por encima de éste.
- Controlar que la abrazadera de metal esté en su lugar entre P1 A y P2 C y que las tuercas estén bien apretadas.
- Inspeccionar la no existencia de conexiones sueltas en las terminales del transformador.
- Controlar que estén bien apretados los anillos aseguradores del cable de alta tensión.

Inspección del módulo de potencia:

- Controlar que los circuitos impresos estén adecuadamente sujetos en su lugar y que los conectores de la tarjeta estén correctamente alineados.
- Controlar que todos los componentes electrónicos estén montados de manera segura.
- Inspeccionar las conexiones eléctricas para observar signos de elementos flojos u oxidados: poner atención a los capacitores de potencia o conmutación, así como a las conexiones entrantes de la fuente de alimentación.
- Conectar una punta de un ohmetro a la tierra del chasis. Controlar alguna condición de circuito abierto de los siguientes puntos:
  - a. Contactos de la tensión de la línea TB1 y TB2
  - b. Fusible inversor
  - c. Ambos lados del capacitor
  - d. Disipadores en inversores
  - e. Puntos de las compuestas del SCR

### Inspección del controlador

- Controlar que todos los componentes eléctricos estén montados de manera segura.
- Inspeccionar las conexiones eléctricas para observar signos de elementos flojos u oxidados.

### Pruebas operacionales:

1. Remover el fusible 3 desde la tarjeta de la fuente de alimentación.
2. Remover el fusible inversor F1 desde el inversor.
3. Desconectar el estator, el filamento y los cables primarios de alta tensión desde el módulo de potencia.
4. Encender el interruptor principal de desconexión. No encender el control en éste momento.
5. Usar un multímetro para medir aproximadamente 280 volts en las terminales de entrada del contactor de línea.
6. Medir 240 volts en TB2-2 y TB2-3 en la tarjeta de control de relevadores.
7. Presionar el interruptor ON del lado del controlador. Observar las siguientes acciones:
  - a. El contactor de línea se energizará después de un retraso aproximado de 7 segundos.
  - b. El panel de control entrará en un breve periodo de prueba, entonces se desplegará la pantalla de ajustes técnicos por default.
  - c. Los LEDS de + 5 volts , + 12volts y -12 volts se iluminarán en el módulo de potencia de la tarjeta madre.
8. Conectar la punta negativa de un multímetro digital al punto de prueba de tierra (TP12) en la tarjeta madre. Controlar los siguientes voltajes en la tarjeta madre.
  - I. TP8= + 12VDC +/- 5%
  - II. TP18= +5VDC +/- 5 %
  - III. TP17 = -12V DC +/- 5%

9. En la tarjeta de la fuente de alimentación observar el voltaje en el clip del fusible F3 muy cerca de C19 con respecto a la tierra de la tarjeta madre. Este valor debería ser + 40 VDC más/ menos 5 %.
10. Girar el control a OFF.
11. Confirmar que el voltaje del banco del capacitor AEC este en un nivel seguro antes de proseguir.
12. El banco del capacitor inversor mantendrá una carga después que la unidad haya sido apagada. Un circuito de descarga es empleado para eliminar esta carga. Sin embargo, siempre confirmar con el multímetro que los capacitores hayan sido descargados.
13. Colocar nuevamente el fusible "F3" en la tarjeta de la fuente de poder. No instalar en estos momentos el fusible inversor principal.
14. Gira el controlador a la posición de ON.
15. Presionar el interruptor de exposición. Observar que el relevador K1 en la tarjeta madre se energice. Liberar el interruptor de Preparación.

Tabla 2.8 Relevadores

mA	Relevador del panel izquierdo	Relevador del panel derecho	K1
400	Abierto	Cerrado	<b>Cerrado</b>
300	Cerrado	Abierto	<b>Cerrado</b>
250	Cerrado	Abierto	<b>Abierto</b>
200	Abierto	Abierto	<b>Cerrado</b>
<b>150</b>	<b>Abierto</b>	<b>Abierto</b>	<b>Abierto</b>

16. Seleccionar el foco pequeño, verificar que K11 en la tarjeta de E/S este energizado.
17. Seleccionar el foco grande, verificar que K11 en la tarjeta de E/S este desenergizado.
18. Encender el equipo.
19. Los pasos catorce, quince, dieciséis, diecisiete y dieciocho confirmarán varias de las operaciones de los relevadores.
20. Reconectar el cable del estator.
21. Reconectar el cable del filamento.
22. Reconectar el cable primario del alto voltaje.

23. Después de asegurarse que no haya un voltaje presente en el banco del capacitor, remplace el fusible inversor F1.

### 2.3.4 Programación del menú estándar de la configuración del sistema

Es necesario configurar porciones del software operacional del APX 525/625. Durante el proceso de instalación, el instalador debe de identificar cualquier componente instalado:

- Selección del tubo de rayos X
- Accesorios
- Ajustes de disminución de la potencia estándar.

El instalador debe programar la configuración del sistema estándar de la siguiente manera:

1. Presionar y mantener el segundo botón, desde la esquina inferior izquierda de la pantalla del display mientras se enciende el generador.
2. Introducir el password del representante, usando los botones localizados por encima del display para resaltar los caracteres, y ajustando sus valores numéricos con la perilla rotacional.
3. La pantalla estándar de inicialización aparecerá cuando el generador este en su secuencia de inicialización.
4. Se podría seleccionar los ajustes estándares para los siguientes parámetros:
  - Bucky de mesa
  - Bucky de pared
  - AEC instalado
  - Actualizaciones del APR( habilitado o no)
  - Modo de seguimiento de problemas( colocado asi para solamente pruebas de instalación)
5. Nivel de potencia:
  - Disminución de la potencia. En este paso, se debe decidir si el generador APX 525/626 operará a potencia total. Si la unidad es

para ser instalada en una línea de tensión menor a la ideal, será necesario disminuir la potencia de salida. Presionando el botón de nivel de % de potencia se desplazará a través de los rangos disponibles de porcentaje de disminución.

- El generador reducirá los mA de salida durante la exposición en el modo del punto 2. El efecto será de más largos tiempos de exposición. Los kV no serán afectados.
- En el modo del punto 3, la disminución bajara la potencia en watts permitida, lo cual limitará al operador la selección de técnicas disponibles. Cuando una tensión de línea satisfactoria es conectada al generador, el nivel de potencia programado puede ser incrementando correspondientemente.

**6. Seleccione el tubo de rayos X apropiado, usando la perilla rotacional.**

- Si el tubo deseado no está en la lista, contacte al soporte técnico de Universal/ Del Medical Imaging .
- Ensamblés del tubo de rayos X
- Varian:
  - RAD 8 – 1.0 X 2.0
  - RAD 13 – 1.0 X 2.0
  - RAD 14 – 0.6 X 1.2
  - RAD 16 – 1.0 X 2.0
  - RAD 21 – 0.6 X 1.2
  - RAD 25 – 1.0 X 2.0
  - RAD 40 – 0.6 X 1.2
  - RAD 56 – 0.6 X 1.2
  - RAD 60 – 0.6 X 1.2
  - RAD 68 – 0.6 X 1.2
  - RAD 68 – 1.0 X 2.0
  - RAD 74 – 0.6 X 1.5
- Toshiba:
  - DR-3724H – 0.6 X 1.2

UX-51H39 – 1.0 X 2.0

UX-51H42 – 0.6 X 1.5

- Eimac:
  - A119 – 1.0 X 2.0
  - A132 - 0 6 X 1.2
  - A272 – 0.3 X 0.7
  - A292 – 0.6 X 1.2
- Dunleee:
  - DU303M – 1.0 X 2.0
  - PX-1312 – 0.6 X 1.2
  - PX-1429 – 0.6 X 1.2
  - PX -1436 – 0.6 X 1.2
- Comet:
  - DX39H – 0.6 X 1.5

7. Presionar ( exit) la tecla para guardar los cambios y permitir que el control finalice la secuencia de inicialización.
8. Apagar el generador antes de comenzar con el siguiente paso.

Ejecutar la pantalla estándar de inicialización del Usuario:

1. Mantener presionado la primera tecla desde el lado inferior izquierdo de la ventana del display y encender el generador. La consola desplegará en estos momentos la pantalla de configuración estándar del usuario.
2. Configurar la unidad de tal manera que sea la más adecuada para la instalación:
  - Seleccionar un ajuste estándar de mAs
  - Establecer los 2 puntos de kV estándar
  - Establecer el modo de inicialización estándar( 2 o 3 puntos)
  - Establecer los 3 puntos de ajuste estándar de kV
  - Seleccionar los 3 puntos de ajuste estándar de mA
  - Seleccionar los 3 puntos estándar de tiempo

- Seleccionar el punto focal estándar
  - Seleccionar el receptor de la imagen estándar (pared, mesa o ninguna)
  - Seleccionar el contraste estándar del display (ajustarlo aproximadamente a 50)
3. Presionar (exit) y permitir que el generador termine la secuencia de inicialización.

El generador está listo para calibración y para la prueba de aceptación.

#### **2.4 Procedimiento de Calibración del Equipo de rayos X UNIVERSAL APX**

Este procedimiento debe de ser realizado en la instalación del APX 525/ 625

El banco del capacitor principal SCR ( por debajo del módulo) contiene una alta carga incluso después de que se haya apagado el equipo.

La carga es de peligro mortal. Después de que la alimentación haya sido desconectada desde el sistema, por desconexión de línea o por apagado desde la consola, permita un mínimo de cinco minutos para que el capacitor se descargue. Controlar que el voltaje sea cero en el capacitor antes de que se trabaje dentro del módulo.

El funcionamiento del generador puede ser desbalanceado si un circuito adicional es alimentado por la misma línea de alimentación. No hay una provisión para accesorios dentro del generador. Conectar accesorios tales como colimador o mesas a este generador podría dañar los circuitos y no tendría efecto la garantía.

Equipamiento requerido para la prueba.

- Osciloscopio de almacenamiento de trazo doble.
- Multímetro digital
- Dynalyzer (Equipamiento de Testeo de Radiación de Rayos-X)

Los siguientes procedimientos producirán rayos X. El personal que opera el equipo debería de tomar las precauciones para asegurar su propia seguridad y la seguridad de otros en las proximidades. Las precauciones mínimas son las siguientes:

- a. Usar delantal emplomado.
- b. personal que permanezca en la sala de rayos X durante la exposición debería estar detrás de un protector emplomado.
- c. Minimizar la radiación dispersa a través de aberturas de puertas, paredes y pisos.

Conectar un Dynalyzer, equipado con una unidad de display , en línea con el cable de alta tensión del ánodo y el cátodo, entre el transformador de alto voltaje y el tubo de rayos X.

Si no se posee una unidad digital con display para el Dynalyzer, todas las mediciones deben ser hechas con un osciloscopio de almacenamiento, conectado al Dynalyzer como se especifican en las instrucciones de calibración. Sin embargo, el osciloscopio de almacenamiento es siempre requerido para la mayoría de las partes del procedimiento de calibración, incluyendo la medición de la forma de onda de los kV, calidad, balance del ánodo y el cátodo, así como también para la calibración de la corriente del tubo y exactitud del precalentamiento del filamento.

Las instrucciones para la realización de la calibración del campo del generador APX 525/625 cuando no se posee el Dynalyzer podrían ser encontradas posteriormente en esta sección. En Procedimiento Alternativo de Calibración.

Si no se posee un display digital, se puede hacer la medición de mAs insertando un medidor de mAs en serie con el cable de la señal de retroalimentación del mA+.

- No tocar ninguna parte del medidor de mAs durante la exposición debido a la peligrosidad de los altos voltajes que pueden estar presentes si no hay una conexión adecuada.

Mediciones de los mA pueden también ser hechas usando un osciloscopio de almacenamiento. Calcular el mAs como un producto de la corriente del tubo y del tiempo, medidas usando la forma de onda de los mA.

Universal / Del Medical Imaging Corporation prueba la exactitud de todos los sistemas en cuanto a mAs, kV y mA, usando un Dynalyzer equipado con un display digital.

Las conexiones del osciloscopio al Dynalyzer para la medición de la forma de onda deberían ser hechas en la terminal BNC marcada como "mA". El interruptor de modo en el Dynalyzer debería ser colocado en "RAD". La salida del Dynalyzer es escalada a 100 milivolts por mA, o 1 Volt DC por 100 mA, con el osciloscopio ajustado a 1X para la entrada.

Durante las exposiciones normales, el generador podría inducir formas irregulares de picos de ruido de bajo voltaje, los cuales pueden ser recogidos en el cable coaxial entre la punta de muestreo y el Dynalyzer y desplegados como un componente en la forma de onda de mA. Esto es debido a la alta sensibilidad de la entrada del osciloscopio a tan baja escala de voltaje, y no necesariamente indica un problema de funcionamiento en el generador.

#### **2.4.1 Exposición de la prueba inicial**

Voltajes letales están presentes en los grandes capacitores filtros de esta unidad. Tome extrema precaución cuando se trabaje cerca de las barras conductoras de cobre conectadas a los capacitores en la base de los módulos de potencia. Siempre verificar con un multímetro de DC que los capacitores estén descargados antes de realizar cualquier maniobra de servicio en esta área.

Los tres grandes capacitores de conmutación montados a la izquierda del panel posterior del módulo de potencia permanecerán cargados cuando la tensión haya sido desconectada.

- Conectar un Dynalyzer , equipado con una unidad de display , en línea con el cable de alta tensión del ánodo y el cátodo, entre el transformador de alto voltaje y el tubo de rayos X.

Si no se posee una unidad digital con display para el Dynalyzer, todas las mediciones deben ser hechas con un osciloscopio de almacenamiento, conectado al Dynalyzer como se especifican en las instrucciones de calibración. Sin embargo, el osciloscopio de almacenamiento es siempre requerido para muchas de las partes del procedimiento de calibración, incluyendo la medición de la forma de onda de los kV, calidad, balance del ánodo y el cátodo, así como también para la calibración de la corriente del tubo y exactitud del precalentamiento del filamento.

1. Girar el interruptor principal a la posición de ON.
2. Encender el generador.
3. Seleccionar un modo de 3 puntos.
4. Ajustar el generador de la siguiente manera:

Tabla 2.9 Ajuste del generador

Modo	3 puntos
<b>kV</b>	60kV
<b>mA</b>	200 mA
<b>Punto focal</b>	Grande
<b>Tiempo</b>	100 mSeg

5. Realizar una exposición para verificar el funcionamiento del generador.

El generador debería ciclar de manera adecuada a través de la etapa de Preparación, desplegar la luz de listo, y realizar una exposición que termine sin desplegar un mensaje de error.

Las mediciones de los mAs pueden ser hechas insertando un medidor de mAs en serie con el cable de retroalimentación de mA+. Poner mucha atención en no tocar ninguna parte del medidor de mAs durante las exposiciones, un alto voltaje peligroso puede estar presente cuando no hay conexiones apropiadas.

Las mediciones de los mA pueden también ser hechas usando un osciloscopio de almacenamiento calculando el mAs como un producto de la corriente del tubo y del tiempo, medidas usando la forma de onda del mA.

Universal / Del Medical Imaging Corporation prueba la exactitud de todos los sistemas en cuanto a mAs, kV y mA, usando un Dynalyzer equipado con un display digital.

Las instrucciones para la realización de la calibración del campo del generador APX 525/625 cuando no se posee el Dynalyzer podrían ser encontradas posteriormente en esta sección.

Las conexiones del osciloscopio al Dynalyzer para la medición de la forma de onda deberían ser hechas en la terminal BNC marcada como "mA". El interruptor de modo en el Dynalyzer debería ser colocado en "RAD". La salida del Dynalyzer es escalada a 100 millivolts por mA, o 1 Volt DC por 100 mA, con el osciloscopio ajustado a 1X para la entrada.

Durante las exposiciones normales, el generador podría inducir formas irregulares de picos de ruido de bajo voltaje, los cuales pueden ser recogidos en el cable coaxial entre la punta de muestreo y el Dynalyzer y desplegados como un componente en la forma de onda de mA. Esto es debido a la alta sensibilidad de la entrada del osciloscopio a tan baja escala de voltaje, y no necesariamente indica un problema de funcionamiento en el generador.

### 2.4.2 Configuración del Dynalyzer / osciloscopio

1. Conectar el canal 1 del osciloscopio a la salida BNC "A+C" del Dynalyzer.
2. Conectar el canal 2 del osciloscopio a la salida BNC "mA" del Dynalyzer.
3. Ajustar el osciloscopio como sigue:

Tabla 2.10 Configuración del Dynalyzer

C. 1 escala vertical	2V / División
C. 2 escala vertical	100mV / División
Escala horizontal	10 mSeg / División
Modo del display	Chopper
Trigger	Canal 1
Polaridad	Positiva

#### Calibrar mA

1. Apagado el equipo, colocar la tarjeta de mA/ Rotor en la tarjeta de extensión.
2. Encender el equipo. Ajustar el generador de la siguiente manera:

Tabla 2.11 Calibración mA

Modo	3 Puntos
kV	84 kV
mA	300 mA
Punto focal	Grande
Tiempo	100 mseg

3. Para el procedimiento inicial de calibración de mA, ajustar el osciloscopio para medir la forma de onda del mA, como se especifica en la tabla de abajo:

Tabla 2.12 Escala vertical

Escala vertical	100 mV / División
Escala horizontal	10 mSeg / División
Escala de la punta de prueba	1X
Trigger	Positivo
Modo	Barrido normal
Almacena	Encendido

Realizar una exposición y notar los mA actual de la exposición en el display digital.

También observar el nivel de voltaje al cual la forma de onda de mA en el osciloscopio se estabiliza durante la exposición.

El borde de seguimiento de la forma de onda de los mA para un punto focal largo puede ser ajustado usando un potenciómetro R72 localizado en la tarjeta de mA/ Rotor. Los mA a los cuales es la corriente del tubo debería de estabilizarse siguiendo la porción inicial de la exposición es ajustado con R63 en la misma tarjeta.

Podría ser necesario realizar unas cuantas exposiciones y realizar unos cuantos ajustes de ambos potenciómetros, en función de obtener una forma de onda plana, estabilizada a 300mA ( $\pm 3$  mA).

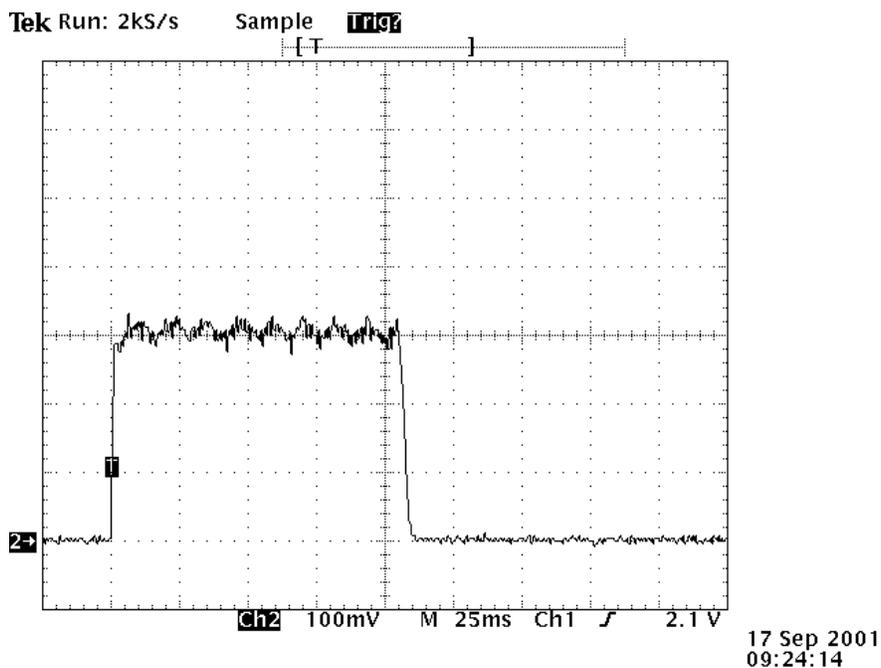


Figura 2.22 Forma de onda adecuada obtenida con el Dynalyzer

4. Apagar el generador de rayos x. Dejar la tarjeta de los mA/ Rotor colocada en la tarjeta de extensión.

### 2.4.3 Ajuste inicial de los potenciómetros de precalentamiento

1. Encender el generador.
2. Ajustar el generador de la siguiente manera:

Tabla 2.13 Potenciómetros de precalentamiento

Modo	3 puntos
Punto focal	Grande
kV	84 kV
mA	300 mA
Tiempo	100 m Seg

3. Realizar una exposición y ajustar R63 en la tarjeta de los mA/ Rotor de tal manera que la forma de onda se estabilice a 300 mA.
4. Realizar exposiciones adicionales como sea necesario y ajustar R72 en la tarjeta de los mA/Rotor (124-0095G1) para una forma de onda plana.

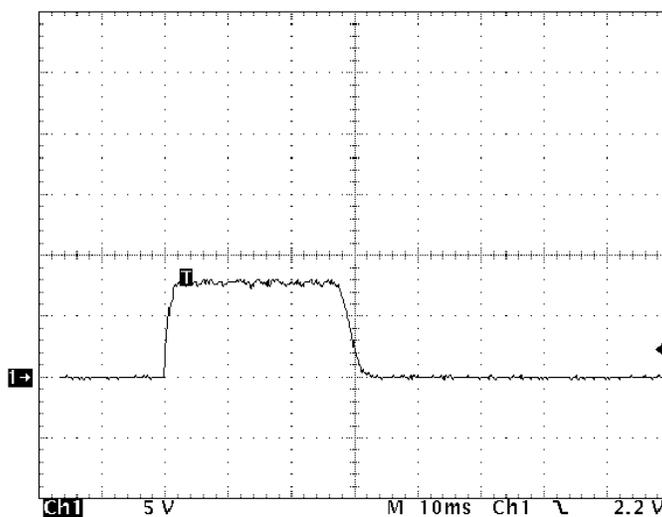


Figura 2.23 Forma Correcta de onda de mA

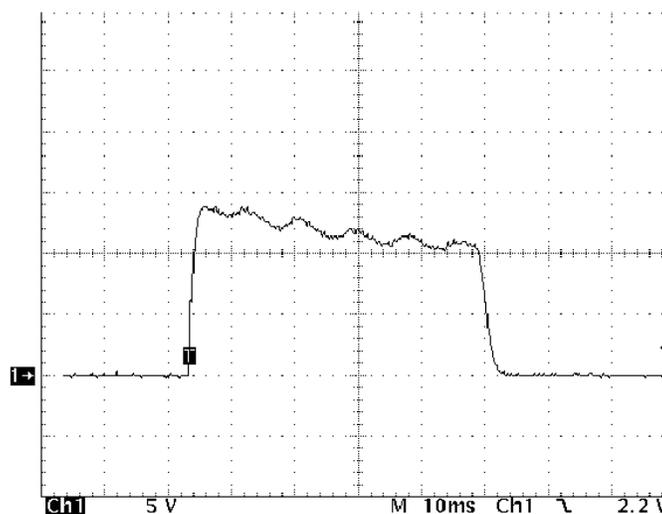


Figura 2.24 Ajuste de precalentamiento demasiado elevado.

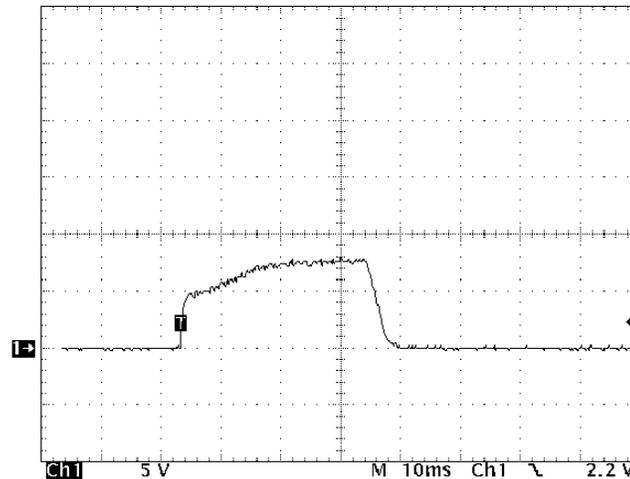


Figura 2.25 Ajuste de precalentamiento demasiado bajo.

5. Ajustar el generador de la siguiente manera:

Tabla 2.14 Ajuste del generador

Modo	3 puntos
Punto focal	Pequeño
kV	84 kV
mA	150 mA
Tiempo	100 m Seg

6. Realizar una exposición y ajustar R70 en la tarjeta los mA/ Rotor ( 124-0095G1) para que la forma de onda sea plana.
7. Apagar el generador.
8. Remover la tarjeta de los mA/Rotor (124-009G1) desde la tarjeta de extensión e insertarla nuevamente en el soporte de tarjeta del equipo.
9. Colocar la tarjeta de mAs ( 124-0145G1) en la tarjeta de extensión.
10. Encender el generador.
11. Ajustar el generador de la siguiente manera:

Tabla 2.15 Calibración de mAs.

Modo	3 puntos
Punto focal	Grande
kV	84 kV
mA	300 mA
Tiempo	500 m Seg
mAs indicado	150 mAs

12. Realizar exposiciones y ajustar R2 en la tarjeta de los mAs ( 124-0145G1) para una lectura de 150 mAs (+/- 1 mAs) en el Dynalyzer™.

Exposición extensa para la calibración de los mAs.

13. Ajustar el generador de la siguiente manera:

Tabla 2.16 Calibración exposición extensa

Modo	3 puntos
Punto focal	Grande
kV	84 kV
mA	25 mA
Tiempo	6.0 m Seg
mAs indicado	150 mAs

14. Realizar una exposición y registrar los mAs indicado por el Dynalyzer, si se tiene un display.

15. Ajustar R14 en la tarjeta de los mAs (124-0145G1) de tal manera que los mAs indicados en el Dynalyzer sean 150 mAs (+/- 1 mAs).

16. Incrementar los mA a 300 mA y acortar el tiempo a 500 mSeg.

17. Realizar otra exposición y confirmar que los mAs de la exposición más corta sean aun 150 mAs (+/- 1 mAs).

18. Apagar el generador.

19. Remover la tarjeta de los mA (124-0145G1) desde la tarjeta de extensión y colocar nuevamente a esta en su lugar.

20. Con el equipo apagado, colocar la tarjeta de regulación de los kV (124-0110G1) en la tarjeta de extensión.

21. Encender el generador.

22. Ajustar el generador de la siguiente manera:

Tabla 2.17 Ajuste del generador

Modo	3 puntos
<b>Tubo</b>	1
<b>Punto focal</b>	Grande
<b>kV</b>	80 kV
<b>mA</b>	200 mA
<b>Tiempo</b>	100 m Seg

23. Conectar el canal 1 del osciloscopio a la salida BNC del analizador dinámico correspondiente al ánodo.

24. Conectar el canal 2 del osciloscopio a la salida BNC del analizador dinámico correspondiente al cátodo.

25. Ajustar el osciloscopio de la siguiente manera:

Tabla 2.18 Ajuste de Osciloscopio

Escala vertical del canal 1	2V / División
Escala vertical del canal 2	2V / División
Escala Horizontal	10 mSeg / División
Trigger	Canal 1
Polaridad	Positiva
Modo	Normal

26. Ajustar la línea de base de los dos canales de tal manera que ambas estén alineadas en la misma línea central de la escala vertical. Canal 1 desplegará los kV positivos del ánodo a 20 kV / División, y el canal 2 desplegará los kV negativos del cátodo a 20 kV / División.

27. Realizar una exposición y ajustar R77 en la tarjeta para 80 kV (+/- kV) en el display del Dynalyzer. Verificar que las formas de onda del ánodo y del cátodo sean de amplitudes muy similares. Y que la suma de los dos voltajes sea igual a 80 kV (+ 8 VDC voltaje diferencial en el osciloscopio).

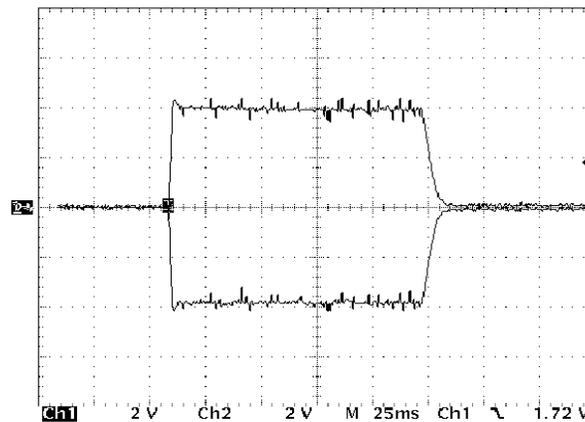


Figura 2.26 Forma de onda del kV.

28. Apagar el equipo y remover la tarjeta de regulación de kV de la tarjeta de extensión. Colocar nuevamente la tarjeta de regulación de kV nuevamente en su correspondiente lugar.

Verificación de la calibración. Este paso verifica que las calibraciones anteriores hayan sido realizadas correctamente y que el generador funcione correctamente.

29. Conectar el canal 1 del osciloscopio a la salida BNC “A+C “ del Dynalyzer.

30. Conectar el canal 2 del osciloscopio a la salida BNC “ mA” del Dynalyzer.

31. Ajustar el osciloscopio de la siguiente manera:

Tabla 2.19 Escala Vertical del Osciloscopio

Escala vertical del canal 1	2V / División
Escala vertical del canal 2	100 mV /División
Escala Horizontal	50 mSeg / División
Trigger	Canal 1
Polaridad	Positiva
Modo	Normal

32. Encender el generador.

33. Ajustar el generador de la siguiente manera:

Tabla 2.20 Ajuste del generador

Modo	2 puntos
Punto focal	Grande
kV	84 kV
mAs	114 mAs

34. Realizar una exposición y verificar que las formas de onda del kV y del mA para un punto focal grande sean adecuados. Las formas de onda del kV y del mA deberían aumentar conjuntamente y estabilizarse sin ningún pico positivo o negativo.

35. Repetir el ejercicio de arriba para un punto focal pequeño. Ajustar el generador de la siguiente manera:

Tabla 2.21 Repetición del ejercicio

Modo	2 puntos
Tubo	1
Punto focal	Pequeño
kV	84 kV
mAs	114 mAs

36. Realizar una exposición y verificar que las formas de onda de los kV y de los mA para el punto focal pequeño sean correctas. Las formas de onda de los kV y de los mA deberían aumentar conjuntamente y estabilizarse sin ningún pico positivo o negativo.

37. Después de que el funcionamiento del generador haya sido revisado, se puede apagar el generador.

#### 2.4.4 Inspecciones opcionales adicionales

Las siguientes calibraciones no son normalmente requeridas. La información es incluida en caso de que deban ser realizadas.

Calibración del Balance del transformador de alta tensión:

1. Conectar el canal 2 del osciloscopio al jack de BNC "C" del Dynalyzer y conectar el canal 1 del osciloscopio al jack de BNC "A" del Dynalyzer.
2. Durante el ajuste siguiente observar las formas de las ondas del ánodo y del cátodo para verificar que el Dynalyzer no está leyendo picos.

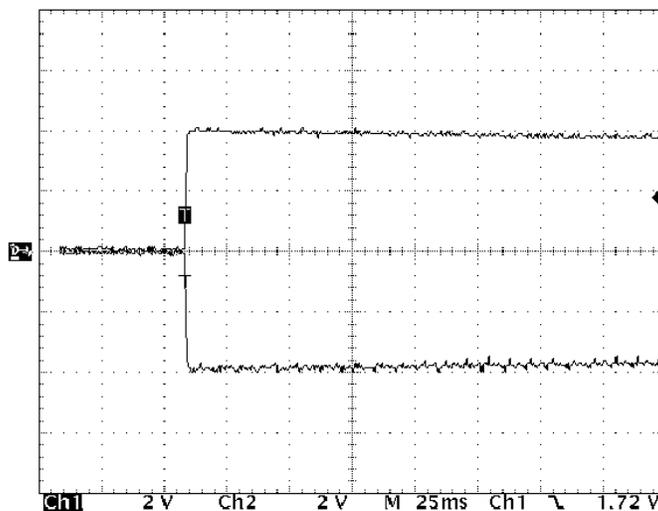


Figura 2.27 Forma de onda típica el kV

Realizar una exposición y mover el punto central del resistor de potencia en la parte posterior del módulo de potencia hasta que la lectura del Dynalyzer de los kV del ánodo sea la misma que la lectura de los kV del cátodo.

3. Calibración del tiempo de apagado del SCR

Éste es un ajuste de la banda de apagado que inhibe el encendido de los SCR.

4. Con el generador apagado, colocar la tarjeta de regulación de los kV en la tarjeta de extensión.
5. Conectar el canal 1 del osciloscopio de memoria al pin 10 de U3 de la tarjeta de regulación de los kV.
6. Ajustar el osciloscopio de la siguiente manera:

**Tabla 2.22 Ajuste del Osciloscopio**

Escala vertical del canal 1	5V / División
Escala Horizontal	20 uSeg / División
Trigger	Canal 1
Polaridad	Negativa
Modo	Barrido simple

7. Ajustar el generador de la siguiente manera:

**Tabla 2.23 Ajuste del generador**

Modo	2 puntos
Punto focal	Grande
kV	80 kV
mAs	31 mAs

8. Realizar una exposición y ajustar R65 en la tarjeta de regulación del kV de tal manera que la porción negativa de la forma de onda sea  $140\mu\text{seg}(+/-\mu\text{seg})$ .
9. Apagar el generador.
10. Remover la tarjeta de regulación de los kV y regresarla a su posición original.

El circuito que limita el sobre voltaje del filamento monitorea el voltaje que es aplicado al transformador del filamento y de esta manera al filamento del tubo de rayos x. Este circuito apaga la alimentación del filamento cuando hay una falla de algún componente o un mal ajuste.

Antes de intentar este ajuste, observar el relevador K2 de la tarjeta de la fuente de alimentación. Este relevador se energizará durante una operación normal. Si el relevador se desenergiza incluso con muy bajo ajuste de potencia del generador,

ésto podría indicar una falla de algún componente. Si el relevador permanece energizado con un bajo ajuste de potencia, esto podría indicar que un ajuste es necesario. Cuando el relevador TRIPS lo necesite, el mensaje de error será “ **mA fault**”<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Generador APX 525/625 Manual en español, pp. 26 -75

## Capítulo 3

### Diagnóstico de falla, solución y mantenimiento preventivo

Las salas de rayos-X de los grandes hospitales o de gabinetes pequeños son lugares especializados donde acude personal médico, técnico y público en general con el propósito de obtener placas auxiliares en el diagnóstico de pacientes con diversas patologías como neumonía, tumores, artritis y principalmente en el caso de lesiones óseas como las fracturas es decir, en general, este tipo de salas permiten la visualización indirecta de estructuras internas.

Dado las características de estas salas se requiere infraestructura específica y además deberán estar provistas de blindaje especial, áreas específicas para revelado y diagnóstico y equipo médico sofisticado, lo que hace de estos lugares, sitios riesgosos, donde participan diferentes especialistas que constantemente se exponen a la radiación por lo cual son necesarias medidas preventivas basadas en regulaciones oficiales según la normatividad vigente en nuestro país y que necesitan ser difundidas y constantemente reforzadas entre el personal hospitalario.

El generador de rayos X debe utilizar el principio del convertidor de frecuencias. Estos generadores convierten una fuente de corriente continua en corriente alterna, a una frecuencia superior a la frecuencia ordinaria de la red (50Hz). La fuente de energía puede consistir en baterías o en una red de corriente alterna rectificadas.

Es preferible utilizar generadores con baterías, pues en numerosos lugares no es fiable el suministro de la red. Se da preferencia a las baterías de plomo-acido, porque el mantenimiento de las baterías de níquel-cadmio requiere conocimientos específicos y también porque los equipos son costosos. El rendimiento del generador debe ser suficiente para producir una exposición mínima de 0,5 mR en

1 segundo o menos, a una distancia foco-placa de 140cm, detrás de un maniquí de prueba de 30 cm de grosor que esta relleno de agua<sup>1</sup>.

### 3.1 Diagnósticos

- Verificar las conexiones, sistemas de seguridad e indicadores del panel de control, estado del tubo generador de rayos X, el buen funcionamiento del sistema de seguridad de cierre por llave del panel de control, estado adecuado de los cables de control.
- Deben ser calibrados como mínimo cada doce meses, etiquetándose con la fecha de calibración, el valor del factor de calibración y la curva de calibración.
- Las alarmas sonoras portátiles deben calibrarse en periodos no superiores al año.
- Revisiones periódicas planificadas<sup>2</sup>.

#### 3.1.1 Temas de Solución de Problemas para el Generador APX 525/625

- No Enciende la Luz Ready (listo para disparar)
- La Luz Ready está Activa, pero no Ocorre Ninguna Exposición
- Falla Consistente de los kV
- Falla Intermitente de los kV
- Tiempos de Exposición Largos con Placas Claras
- Tiempos de Exposición Largos con Placas Oscuras
- Foco aparentemente Chico, Condición de Filamento Abierto
- No hay Retroalimentación de los mA
- No hay Retroalimentación de los kV o Existe una Retroalimentación impropia

---

<sup>1</sup> <http://goo.gl/ny5ff>, Pagina recuperada Enero/10/ 2012

<sup>2</sup> Reglamento General de Seguridad Radiológica (RGSR). Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. México, D.F. 1988.

Antes de iniciar la revisión de pequeños problemas, asegúrese de revisar todas las fuentes de alimentación de CD.

### 3.1.2 No enciende la luz ready (listo para disparar)

Revisar los seguros de la puerta y del colimador. La ausencia de una señal OK del rotor, así como de los seguros de la puerta o del colimador (todas señales Bajas) inhibirá la luz Ready.

- ¿Tiene un comando de preparación válido?

¿Escucha el ruido de activación de cualquiera de los relevadores cuando presiona el botón <PREP>? El comando PREP activa varios relevadores principales en el activador del rotor y activa los circuitos que se pueden escuchar desde la parte exterior del módulo de alimentación.

Algunas condiciones pre-existentes de falla que existan en el hardware pueden inhibir la generación de la señal de solicitud de preparación (PREP) del CPU.

- ¿Está corriendo el rotor?

Un interruptor termomagnético en el tubo de Rayos X puede inhibir el activador del rotor y el ciclo de activación.

1. ¿Está abierto el interruptor termomagnético del tubo de rayos X?  
Revise el relevador K10 en la Tarjeta de Entrada/Salida. También revise los fusibles F2 y F3 en la Tarjeta de Entrada/Salida.
2. Revisar CB1 y CB2 en la Tarjeta de Entrada/Salida (en serie con el activador del rotor y los voltajes de activación).
3. Revisar la presencia de los voltajes de detección de corriente en el rotor en las resistencias de detección de corriente R1 y R2 en la Tarjeta de Entrada/Salida.
4. Revisar que las conexiones estén correctas para los cables principal, común y de fase.

5. Verificar la presencia de los voltajes de CD de detección de corriente del rotor durante la activación (ánodos de CR2 y CR3 en la Tarjeta mA / Rotor).
  6. Revisar la señal OK del Rotor (Valor Bajo Lógico) en la Tarjeta mA / Rotor en R25.
- ¿Tiene corriente en el filamento?  
En la Tarjeta de Entrada/Salida (124-0107G1) verifique:
    1. Presencia de voltaje de alimentación de CD regulado para los circuitos interruptores primarios del filamento (derivación central del transformador T4).
    2. Fusibles F2 y F3.
    3. ¿Los relevadores K2 y K3 cierran durante la preparación (PREP)?
    4. Presencia de pulsos de control en los extremos de entrada y salida de la Tarjeta de Entrada/Salida en U1.
    5. Señales de control de interruptores en los lados primarios del transformador de aislamiento del filamento en la Tarjeta de Entrada/Salida.
    6. Presencia de la señal de preparación (PREP, Valor Lógico Bajo) en R3 en la Tarjeta de Entrada/Salida
    7. Confirme la activación del transistor Q3 (El colector lleva la corriente de R10 a GND, esto le permite a U1 disparar los pulsos de control del filamento a los transistores de conmutación).
  - En la Tarjeta de Alimentación (124-0108G1) verifique:
    1. Presencia de voltaje de CD no regulado en el fusible F3.
    2. Fusible F1. (Voltaje de CA a los diodos rectificadores).
    3. Fusible F3.
    4. Presencia de voltaje regulado del filamento en TP1 (Este voltaje puede variar, dependiendo de la selección del tubo. Los voltajes típicos pueden ser de +3 VCD en standby y entre +12 y +17 VCD en PREP).
    5. Voltaje de referencia en el filamento en R7.

6. Pulsos de control en R17 o el colector de Q2.
7. Verificar que K2 esté activo. (Desde la tarjeta de mA / Rotor– U11 terminal 4).

### 3.1.3 La luz ready está activa, pero no ocurre exposición

¿Está seleccionado el bucky de pared o el de la mesa?

La exposición no se llevará a cabo a menos que el interruptor de “Bucky en Movimiento” esté cerrado cuando el Bucky está activo. El AEC requiere que el receptor de pared o de mesa se seleccione. Los sistemas sin Bucky de pared deberán tener las terminales 2 a 4 de TB4 cerradas con un puente de jumper. Esto permite brincar al interruptor de “Bucky en Movimiento” y habilita el inicio de la exposición.

¿Está abierto el fusible F1 para el inversor de CD?

- Voltajes altamente peligrosos pueden estar presentes en los capacitores después de que el generador ha sido apagado. Siempre revisar la alimentación de CD al inversor con un voltímetro antes de revisar el fusible F1 en el módulo del inversor.
- Revisar el fusible F1 para verificar que haya continuidad. Antes de reemplazar el fusible, revise los componentes del inversor en busca de signos de daños visibles, tales como conexiones sueltas. Revise que no haya SCRs en corto, diodos u otros componentes RC dañados.

El daño al fusible F1 pudo haber sido causado por cualquiera de las siguientes condiciones:

- Un corto en el circuito primario del transformador de alto voltaje (p.e. una mala conexión o un cableado incorrecto).

- Un corto en el circuito primario del transformador de alto voltaje (tal vez exista un corto a tierra, p.e. la cubierta de la conexión primaria o un cableado incorrecto).
- Corto en el inversor (p.e.: un SCR en corto).
- Corto (arco) en el secundario, cables de Alto Voltaje o tubo de rayos X.
  - Caída en la línea de voltaje (consulte la documentación de los requerimientos de alimentación).
  - Mal ajuste del precalentamiento del filamento.
  - Mal ajuste del nivel de soporte del SCR.

#### 3.1.4 Fallas de los kV

Para estos generadores, existe un texto que aparece en el display y una exposición instantánea o de terminación temprana que indican falla en los kV.

- Apague la unidad y luego resetee el generador y limpie el mensaje de falla en el display.

La señal de falla de los kV se origina en la Tarjeta del Regulador de los kV, en un circuito que monitorea la retroalimentación del valor de los kV real. Este circuito utiliza dos conjuntos de comparadores de ventana para revisar las señales de retroalimentación del ánodo y del cátodo por separado.

Si los voltajes de retroalimentación del ánodo o del cátodo sobrepasan el valor de la ventana de 1.3 a 7.0 VCD (representan 13 a 70 kV para el ánodo y el cátodo) uno de los comparadores se activa. Si algún comparador se activa durante un intento de exposición, la condición de falla queda enmascarada y no se puede eliminar hasta que la unidad se apaga y se vuelve a encender. Cuando el enmascaramiento permanece por un momento, ocurren los siguientes eventos:

- Las señales de Control de los kV se bloquean mediante el relevador K1 en la tarjeta principal (para finalizar la operación del inversor).
- Una señal de falla se envía a la Tarjeta Lógica, que finaliza todas las señales de “exposición”.
- La Tarjeta Lógica envía una señal de falla a la consola.

Existen muchas causas posibles para una falla de kV. Esta sección del manual de usuario proporciona un método para puntos de revisión específicos para determinar la causa específica.

Existen dos categorías básicas para fallas de los kV:

- **Categoría I** – Falla de los kV Consistente: Esta es una lista de posibles causas por las cuales ocurre una falla de los kV de manera consistente con cada exposición.
- **Categoría II** – Falla Intermitente de los kV: Esta es una lista de posibles causas para una falla de kV intermitente.

### 3.1.5 Categoría I – Falla Consistente de los kV

Revisar que el fusible del inversor no esté abierto.

1. Apagar la alimentación del generador.
2. Esperar de 5-10 minutos para que se descarguen los capacitores del inversor.
3. Verificar con un voltímetro que existan 0 VCD en el capacitor del inversor.
4. Remover el fusible F1.
5. Utilizar un óhmetro para determinar si el fusible está abierto.

Si este fusible continúa abriéndose, especialmente en exposiciones con valores altos de los mAs, revise el valor de capacitancia de los capacitores de conmutación en el tiempo de apagado del SCR descritos en este capítulo.

Verifique que no haya una diferencia de los kV mayor de 7kV.

Una diferencia entre las formas de onda de retroalimentación del ánodo y del cátodo puede provocarse por:

- Ajuste impropio de la resistencia de balance en la parte posterior del módulo de alimentación.
- Un tubo de rayos X defectuoso.
- Cables de alto voltaje.
- Transformador de alta tensión fallando
  1. Conectar dos canales de osciloscopio entre las terminales de los kV+/- y TP-12 en la tarjeta principal.
  2. Realizar una exposición. Basándose en una interpretación del voltaje en la cual 1V=10kV, las formas de onda del ánodo y del cátodo deben ser iguales en amplitud. Vea la Figura 1.50, "Balance de los kV apropiado entre el Ánodo y el Cátodo".
  3. Apagar el generador e intente balancear el ánodo y cátodo ajustando la resistencia de balance localizada en la parte posterior del módulo de alimentación, detrás de la caja.
  4. Encender el generador y realice una exposición. Tome nota del cambio y repita el paso 3 cuantas veces sea necesario.

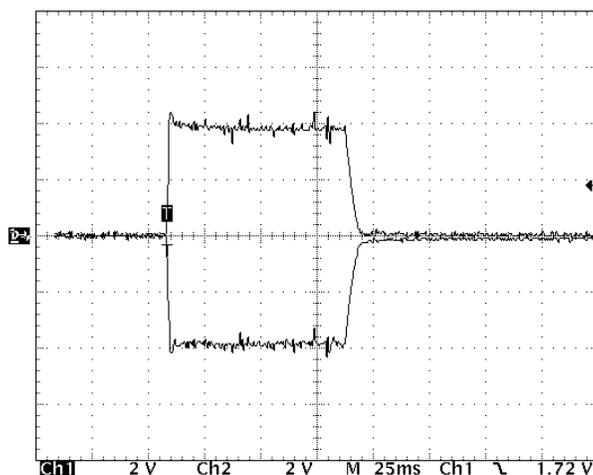


Figura 3.1 Balance Adecuado de kV – Ánodo al Cátodo

5. Si no es posible ajustar, revise si el desbalance aún ocurre durante una prueba sin carga. Consulte posteriormente la sección Prueba Sin Carga. Si el desbalance persiste, probablemente el transformador de alta tensión está defectuoso.

Revisión de una pérdida de 26 VCD en la tarjeta de alimentación que alimenta la compuerta de los transistores SCR en la Tarjeta del Regulador de los kV

1. Apagar la alimentación del generador.
2. Colocar la tarjeta del Regulador de los kV en una parte plana.
3. Conectar una terminal positiva del voltímetro al ánodo de CR-5 y la terminal negativa al ánodo de CR3.
4. Encender el generador y mida el voltaje que deberá ser de aproximadamente 26 VCD.

Revisar que no haya un corto circuito en el capacitor de conmutación:

1. Apagar el generador y espere de 5 a 10 minutos a que los capacitores del inversor se descarguen. Verifique con un voltímetro que existan 0 VCD en los capacitores del inversor y en los de conmutación. (Estas terminales se localizan afuera del generador, en la parte posterior del panel del módulo de alimentación).
2. Desconectar los cables y agarraderas de cobre de ambos capacitores de conmutación.
3. Colocar un óhmetro a través de cada capacitor para verificar que no exista un corto circuito.

Verificar que no falte alguna entrada o exista algún defecto en el circuito de retroalimentación de la Tarjeta del Regulador de kV o el circuito de control de la compuerta:

1. Apagar el generador.
2. Colocar la Tarjeta del Regulador de kV en una superficie plana.

3. Conectar un osciloscopio a R4 y a la tierra lógica, ajuste la base de tiempo para 100 microsegundos.
4. Realizar una exposición y verifique que haya de 2 a 3 pulsos de 80 microsegundos de duración. Si no están presentes los pulsos, es probable que la Tarjeta del Regulador de los kV sea el problema.
5. Verificar la presencia de +25 VCD de voltaje de alimentación en los transistores de encendido en el ánodo de CR5.
6. Realizar otra exposición y verifique los pulsos de salida del control en R18 y R19.
7. Conectar un osciloscopio de 2 canales a R44 y R45 en el Regulador de kV y verificar que haya retroalimentación durante la exposición. Si no hay retroalimentación, el cable de retroalimentación de los kV puede estar defectuoso o puede tener una mala conexión en el tanque de alta tensión o el módulo de alimentación.

Verificar que no haya falla en los componentes de la tarjeta del inversor:

1. Apagar la alimentación del generador y permitir que los capacitores del inversor se descarguen por 5 o 10 minutos. Verifique con un voltímetro que existan 0 VCD en los capacitores del inversor.
2. Medir la resistencia de cada salida de SCR del circuito en modo directo e inverso. Revise las mediciones de la compuerta al cátodo también. Reemplace los componentes y/o tarjeta del inversor según sea necesario.
3. Verificar las conexiones de los cables en el circuito del inversor. Ponga especial atención a las conexiones de las compuertas de los SCR.

Revisión por mal funcionamiento de la Tarjeta mA/Rotor:

1. Apagar el generador.
2. Colocar la Tarjeta de los mA/Rotor en una superficie extendida.
3. Revisar la señal de referencia de salida del filamento conectando un voltímetro o un osciloscopio en la terminal U23, pin 1 a tierra.

4. Encender el generador y prepare la unidad. El voltaje deberá ser de aproximadamente 5 VCD. Si el voltaje de salida no está presente, revise el voltaje de referencia de entrada en la terminal K en el conector al borde de la tarjeta. Un voltaje de entrada de referencia faltante puede indicar un problema en la Tarjeta de Datos.

### 3.1.6 Categoría II – Falla Intermitente de los kV

Para cualquier re-instalación de este equipo: Verifique que el cable primario entre el transformador de alta tensión y el módulo de alimentación no ha sido alterado de tal manera que es mayor que la longitud estándar de 8 pies.

Buscar algún interruptor defectuoso de exposición.

Asegurar que el botón de exposición siempre esté completamente presionado hasta que el indicador sonoro de exposición termine. (Golpear los contactos de los interruptores de exposición puede provocar fallas).

1. Apague el generador.
2. Coloque la Tarjeta Lógica en una superficie plana.
3. Conecte un osciloscopio en R30 lo más cercano posible a la terminal “M” y a la tierra lógica.
4. Ajuste la amplitud para medir 12 VCD.
5. Realice una exposición para observar el pulso bajo activo. Debe ser un pulso bajo individual. Una multitud de pulsos con una sola presión de este interruptor es la indicación de un interruptor golpeado.

Revisar si los ajustes de pre-calentamiento del filamento para un ajuste del nivel de los mA en la Tarjeta del mA del Rotor para confirmar si están ajustados muy alto o muy bajo:

1. Apagar el generador.
2. Colocar la Tarjeta del Rotor/mA sobre una superficie plana.
3. Conectar una punta del osciloscopio en el punto de prueba mA+ en la tarjeta madre.

4. Ajustar el interruptor SW1-1 en la posición de apagado (off) en la Tarjeta de Control para ver el valor de los mA indicados en la pantalla.
5. Encender el generador y seleccione el modo manual, filamento grueso, 60 kV y 10 mAs con un tiempo de exposición de al menos 60 milisegundos.
6. Realizar una exposición.
7. Si la forma de onda no es plana, ajuste R72 según sea necesario. Vea la Figura 3.2, "Ejemplos de formas de ondas de Pre-Calentamiento".
8. Seleccionar el punto focal fino y realice otra exposición. Ajuste R70 según sea necesario.

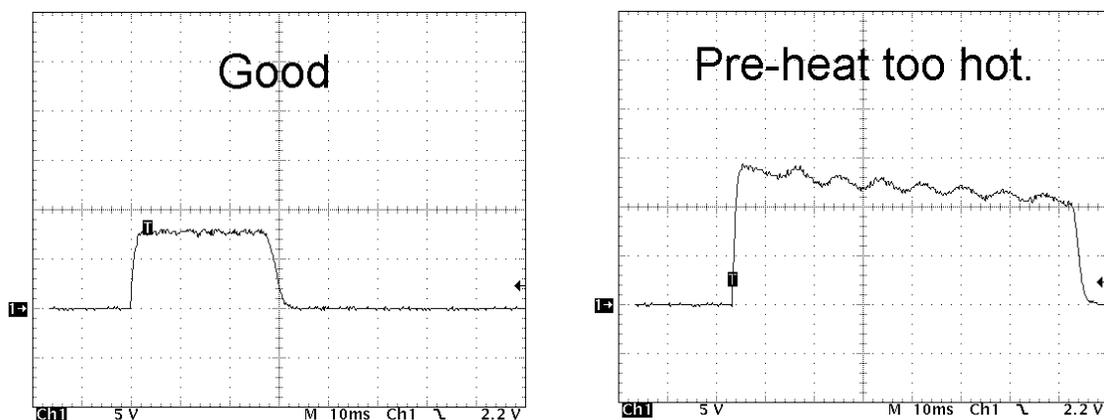


Figura 3.2 Ejemplo de Formas de Ondas de Precalentamiento

9. Note que la amplitud de la forma de onda y ajuste R63 si es necesario.

Revisar la línea en busca de una caída del voltaje de entrada por debajo de 235 VAC durante una exposición:

1. Medir la línea entrante de voltaje en la entrada del contactor de línea de la fuente de potencia del inversor con un osciloscopio ajustado para mediciones diferenciales de voltaje.
2. Tomar nota del voltaje durante una exposición a potencia completa (60kV, 100 mAs, Foco Grueso). Si el nivel de AEC varía dramáticamente, entonces la línea de alimentación es inestable, o se ha utilizado un tamaño incorrecto de cable.

Verificar que no haya un cable de alto voltaje con una conducción pobre:

1. Apagar el generador.
2. Remover los cables de alto voltaje tanto del tubo de rayos X como del transformador de alta tensión.
3. Revisar para asegurarse de las terminales de los cables están suficientemente apretados para hacer buen contacto.
4. Reconectar los cables.

Si los problemas persisten, apague el generador y cambie temporalmente los cables del ánodo y del cátodo entre ellos en ambos extremos.

Verificar que no haya un rizo excesivo en el riel de alto voltaje de CD debido a un capacitor de filtro defectuoso o un empaque de diodo defectuoso:

1. Apagar el generador y permita a los capacitores del inversor descargarse durante 5-10 minutos.
2. Verificar con un voltímetro que se midan 0 VCD entre los capacitores de filtro del inversor.

Voltajes altamente peligrosos se encuentran presentes en los capacitores de filtro del inversor siempre que se aplica alimentación al generador. No intente realizar ninguna medición en este circuito utilizando una configuración flotante o sin tierra. Todas las mediciones deben hacerse utilizando un osciloscopio en una configuración de entrada diferencial. Si es necesario, consulte la documentación de su osciloscopio para instrucciones sobre cómo realizar mediciones diferenciales de voltaje.

3. Conectar un osciloscopio de canal diferencial dual sobre las vías de CD y ajuste la escala vertical de tal manera que pueda medir entre 350 y 400 VCD.
4. Encender el generador y observe las vías de CD durante la exposición a potencia completa (60 kV, 100 mAs, Foco Grueso) y determine si existen anomalías o rizo excesivo. Usted puede ajustar el osciloscopio para AC para poder medir la amplitud del rizo también.

5. Revise en busca de una ruptura en el tanque de alta tensión.

Realizar una prueba sin carga. Consulte “Prueba sin Carga” en esta sección:

1. Si está disponible, conecte un tubo de rayos X de “prueba” con un par diferente de cables de alta tensión.
2. Encienda la alimentación y realice una exposición. Si los problemas persisten, el problema puede estar en el tanque de alta tensión. De otra manera, reemplace permanentemente el tubo de rayos X o los cables de alta tensión.

Revisar el ajuste del tiempo de retraso de disparo de los SCR:

1. Apague el generador.
2. Coloque la Tarjeta del Regulador de Voltaje en una superficie plana.
3. Utilice un osciloscopio ajustado para un tiempo de barrido de 50 microsegundos/Div. y conecte la punta entre U3-10 y tierra.
4. Encienda el generador. Seleccione 60 kV y 10 mAs. Realice una exposición y mida el tiempo de apagado entre pulsos en el inicio de la exposición. Debe ser de 140 microsegundos.
5. Si es necesario, ajuste R65 en la tarjeta.

Si no se está totalmente seguro sobre cómo realizar este ajuste puede ser mejor simplemente reemplazar la tarjeta. Un mal ajuste de R65 puede causar mal funcionamiento y un posible daño permanente del generador. Es raro que este ajuste necesite llevarse a cabo en campo.

Revisar si el circuito de cambio del relevador del capacitor de conmutación no está cambiando o tiene contactos arruinados:

1. Apagar el generador y espere de 5-10 minutos a que los capacitores del inversor se descarguen.
2. Verificar con un voltímetro que el voltaje sea de 0 VCD en los capacitores del inversor.

3. Revisar los contactos de K1 o K2 localizados en el interior izquierdo posterior del módulo de alimentación, debajo de los capacitores de conmutación. Si los contactos están en pobres condiciones, reemplace los relevadores.
4. Encender el generador, seleccione 80 kV, e incremente el valor de mAs desde mínimo, observando la secuencia de los relevadores energizando y des-energizando.
5. Si los relevadores no energizan, revisar el voltaje en cada bobina de los relevadores mientras repite el paso 3. Si el voltaje está presente, cambie el relevador defectuoso.
6. Si nunca existe voltaje, apagar el generador y coloque la tarjeta de control de los mAs sobre una superficie extendida y revise los voltajes de conmutación en Q1, Q2 y Q3. Reemplace la tarjeta si es necesario.

Causas posibles para un fusible F1 abierto :

1. Ruptura en el circuito primario del transformador de alto voltaje (p.e.: una mala conexión o un cableado incorrecto).
2. Corto en el circuito primario del transformador de alto voltaje (posiblemente un corto a tierra, p.e. la cubierta de la conexión del primario o un cableado incorrecto).
3. Un corto en el inversor (p.e.: un SCR en corto).
4. Un corto (arco) en el secundario, Cables de Alto Voltaje o tubo de Rayos X.
5. Caída en la Línea de voltaje (consulte la documentación de requerimientos de alimentación).
6. Ajuste incorrecto del filamento de precalentamiento.
7. Ajuste incorrecto del tiempo de espera de los SCR.

Para eliminar los Cables de Alta Tensión y el tubo de rayos X como causas del problema, intente una prueba sin carga, como se describe a continuación.

Prueba sin Carga:

1. Apagar el generador.
2. Remover F3 en la Tarjeta de Alimentación.
3. Remover los cables de alta tensión del ánodo y cátodo del transformador de alto voltaje y añada una pequeña cantidad de aceite de transformador (llene los contactos de los cables hasta la mitad para pruebas de alto los kV) para prevenir un arco.
4. Conectar un osciloscopio a los puntos de prueba de retroalimentación de kV (TP10, TP11, TP12-GND en la Tarjeta Madre 124-0106G1).
5. Encender el generador y ajuste una técnica de baja potencia en el control.
6. Realizar una exposición y observe la forma de onda de los kV. La unidad deberá iniciar una exposición y hacer un sonido, debido a la baja velocidad del inversor bajo condiciones de no carga. LA exposición continuará hasta que el botón sea liberado. En ese momento deberá aparecer la leyenda "Button Fault". El sonido habitual de alta frecuencia no se escuchará hasta la preparación (PREP). La forma de onda de los kV deberá ser balanceada (ánodo a cátodo) y precisa, pero el rizo debe ser de muy baja frecuencia y con una amplitud mayor de la normal<sup>3</sup>.

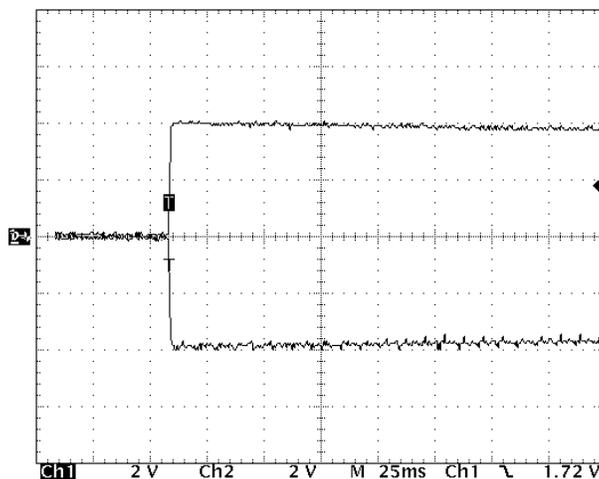


Figura 3.3 Forma de Onda Típica Sin carga

Tabla 3.1 Se Agrega un cuadro que resume posibles fallas o síntomas, causas y acciones correctivas por emprender, sobre la base de la experiencia en la operación del equipo<sup>4</sup>:

Problemas adicionales y sus posibles causas		
Síntoma	Posible Causa	Acción Correctiva
Tiempos de exposición largos con películas claras	Baja corriente en el tubo	Manejo incorrecto del filamento – Revise la fuente de CD a los transistores de conmutación, así como la forma de onda de conmutación
	Bajo kV	Posible retroalimentación o errores de voltaje de referencia – Revise los voltajes de referencia y retroalimentación en la tarjeta del Regulador
Tiempos de exposición largos con películas oscuras	Retroalimentación incorrecta de mA, resultando en un valor excesivo de mAs	Revise la precisión de la retroalimentación (2V = 100 mA)
	Error de tiempo de mAs	Revise el valor de mAs con Dynalyzer™ o con un medidor de mAs
	Errores de tiempo de exposición (AEC)	Revise el ajuste del tiempo de exposición y los preamplificadores de la cámara de iones
Condición aparente de foco fino abierto	Posible problema con el relevador K11 en la Tarjeta de entrada / salida	Revise la activación y operación adecuada del relevador K11 cuando está seleccionado el foco fino
No retroalimentación de mA	Posible corto en el cable de retroalimentación u otros componentes	Revise la resistencia R3 en la tarjeta madre. Debe ser de aproximadamente 20 Ohms. Verifique el capacitor C4 en la tarjeta madre en busca de un posible corto.
No retroalimentación de kV o retroalimentación inadecuada	Posible componente en corto o mala conexión en el cable de retroalimentación	Revise los diodos CR1 y CR2 en la tarjeta madre. La resistencia en el circuito debe ser de aproximadamente 5 K Ohms (típica)

<sup>3</sup> Generador APX 525/625 Manual en español, pp. 110-124

<sup>4</sup> Manual del Curso Avanzado de Protección Radiológica. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Edo. de México, 2009.

### 3.2 Rutina general de mantenimiento preventivo

**Equipo:** Rayos X

**Modelo:** Universal APX 525 – 625

- Acciones a realizar en el mantenimiento preventivo; mesa y columna:
  - ✓ Revisión ocular del sistema eléctrico y mecánico.
  - ✓ Verificación de los movimientos de la mesa.
  - ✓ Revisión de los límites de movimiento mecánico de acuerdo al área.
  - ✓ Limpieza y lubricación de los sistemas mecánicos.
  - ✓ Verificar coincidencia del campo de luz con el campo de radiación.
  - ✓ Revisión y ajuste de fuentes de voltaje según el manual de servicio.
  - ✓ Posición de aparcamiento del brazo (bloqueo, desbloqueo y estabilidad).
  - ✓ Verificar balance y movilidad del brazo.
  - ✓ Verificar el estado de los cables de acero de los contrapesos.
  - ✓ Verificar el sistema de frenos.
  - ✓ Comprobar la correcta fijación de partes colgantes (tubo RX, colimador y cables de HT).
  - ✓ Verificación general de tornillos de sujeción.
  - ✓ Limpieza general del equipo. Pruebas con pacientes del correcto funcionamiento del equipo.
  
- Acciones a realizar en el mantenimiento preventivo; generador, transformador HT, cables de HT y tubo de rayos X
  - ✓ Verificación del voltaje de línea.
  - ✓ Inspección ocular de gabinetes para detectar posibles daños.
  - ✓ Verificación de fugas de aceite dieléctrico en transformador de HT y tubo de RX.
  - ✓ Comprobación del estado físico de los cables de HT y tubo de RX.
  - ✓ Cambio del silicón de cables de alta tensión.
  - ✓ Verificación del nivel de aceite dieléctrico en el transformador HT.

- Acciones a realizar en el mantenimiento preventivo; controles eléctricos
  - ✓ Verifique el funcionamiento de display y LEDES.
  - ✓ Verificación del estado físico y funcionamiento de teclas y botones.
  - ✓ Verifique el funcionamiento de la lámpara del colimador y temporizador.
  - ✓ Verifique la rotación del ánodo.
  - ✓ Verifique la generación de RX.
  - ✓ Verificación de la precisión de los rayos X en KV, mA y mAs. Calibrar de ser necesario.
  - ✓ Realización de pruebas de adecuado funcionamiento.

## Conclusiones

El trabajo de tesis aquí presentados toma como referencia las Normas establecidas por la secretaria de salud (Norma Oficial Mexicana **NOM-158-SSA1-1996**, Salud ambiental. Especificaciones técnicas para equipos de diagnóstico médico con rayos X.) donde se establecen las reglas en materia de protección y seguridad radiológica para los equipos de rayos X para diagnóstico médico. En la normativa vigente (Norma Oficial Mexicana Publicada el Viernes 15 de septiembre de 2006 en el diario oficial de la federación, **NOM-229-SSA1-2002**, Salud ambiental. Requisitos técnicos para las instalaciones, responsabilidades sanitarias, especificaciones técnicas para los equipos y protección radiológica en establecimientos de diagnóstico médico con rayos X.)

Los equipos de radiodiagnóstico médico deben cumplir en el campo de la seguridad radiológica con las normas y reglamentaciones específicas. No obstante es conveniente resumir las principales recomendaciones referidas a aspectos de seguridad radiológica de las instalaciones de radiodiagnóstico.

Con el desarrollo de los equipos digitales se han logrado grandes avances en la medicina ya que es posible prevenir enfermedades en lugar de diagnosticar enfermedades del cáncer de mama, por ejemplo, si se detecta a tiempo se tienen muchas posibilidades de salvar a el paciente.

La sala de rayos X y el área para la consola de control deben:

- Poseer barreras físicas con blindaje suficiente como para garantizar que se mantengan niveles de dosis tan bajos como sea razonablemente posible, sin superar los límites o restricciones de dosis para exposición ocupacional y exposición del público.
- Disponer de señalización reglamentaria y de restricciones para el acceso.
- Ser de acceso exclusivo para el paciente y para el personal del equipo médico necesario para la realización de los estudios y procedimientos

radiológicos. Excepcionalmente se permite la participación de acompañantes.

- En particular, la sala de rayos X deberá contar con blindaje de espesores adecuados en las paredes, piso, techo y puertas, compatibles con los límites de dosis vigentes y los factores de ocupación de los locales vecinos.

En el local de la consola de control deben existir barreras estructurales de dimensiones y blindaje que proporcionen atenuación suficiente para garantizar la protección del operador.

Dentro del área y en la posición de disparo, el operador deberá poder comunicarse eficazmente con el paciente y observarlo mediante un sistema electrónico (televisión) o un visor (ventanilla) apropiado que tenga, por lo menos, la misma atenuación calculada para la estructura.

En caso de utilizarse un sistema de observación electrónico se deberá prever la existencia de un sistema de reserva o sistema alternativo para casos de falla electrónica.

En caso de que la consola de control esté dentro de la sala de rayos X, se puede utilizar un biombo (mampara) fijado permanentemente al piso con una altura mínima de 210cm.

La consola de control deberá estar ubicada de manera que durante las exposiciones ninguna persona pueda entrar a la sala sin ser visto por el operador. La sala de rayos X debe tener señalización visible en la parte exterior de las puertas de acceso, incorporando el símbolo de radiación ionizante y leyendas que indiquen "rayos X" y la prohibición de que ingresen personas no autorizadas.

Una señalización sobre la parte externa de la puerta de acceso (luz roja) deberá ser accionada durante los estudios y procedimientos radiológicos indicando que el

generador está encendido y que hay exposición. Alternativamente puede adoptarse un sistema de accionamiento automático de señalización luminosa conectado directamente al mecanismo de disparo de rayos X, para fluoroscopia y tomografía computada.

Después de su puesta en servicio:

Se realizará un control, al menos semanal, del correcto funcionamiento del dispositivo de vigilancia de aislamiento y de los dispositivos de protección. Así mismo, se realizará medidas de continuidad y resistencia de aislamiento de los diversos circuitos.

La instalación por personal certificado garantiza realizar cuatro mantenimientos preventivos anuales, manteniendo el equipo en óptimas condiciones y conservando la seguridad hacia el personal operativo, así como los pacientes.

El mantenimiento de los diversos equipos deberá efectuarse de acuerdo con las instrucciones de sus fabricantes. La revisión periódica de las instalaciones, en general, deberá realizarse conforme a lo establecido en la (ITC-BT 05<sup>1</sup>), incluyendo en cualquier caso las verificaciones de antes de la puesta en servicio de la instalación.

Además se realizará una nueva revisión anual de la instalación por la empresa instaladora autorizada.

---

<sup>1</sup> Determina las condiciones técnicas y garantías de las instalaciones eléctricas conectadas a una fuente de suministro en los límites de baja tensión. Pretende preservar la seguridad de personas y bienes, asegurar el normal funcionamiento de estas instalaciones y prevenir las perturbaciones en otras, y contribuir a la fiabilidad técnica y a la eficiencia económica de las instalaciones. El Reglamento se aplicará a las instalaciones que distribuyan la energía eléctrica, a las generadoras de electricidad para consumo propio y a las receptoras, en los siguientes límites de tensiones nominales: Corriente alterna, hasta 1.000 voltios, y corriente continua, hasta 1.500 voltios. Incluye como anexo el R.D. 1435/2002 por el que se regulan las instalaciones básicas de los contratos de adquisición de energía y de acceso a las redes en baja tensión. Actualizado a julio de 2010. [http://www.visionlibros.com.mx/index.php?route=product/product&product\\_id=88363](http://www.visionlibros.com.mx/index.php?route=product/product&product_id=88363)

Todos los controles realizados serán recogidos en un libro de mantenimiento de cada quirófano o sala de intervención en el que se expresen los resultados obtenidos y las fechas en que se efectuaron, con firma del técnico que los realizó. En el mismo deberán reflejarse con detalle las anomalías observadas, para disponer de antecedentes que puedan servir de base a la corrección de deficiencias.

Las compañías de instalación y mantenimiento de equipos de rayos X tienen que tener presente todas las indicaciones de manuales de instalación y equipo de seguridad que protegerá al ingeniero de instalación dando con ello una cultura de seguridad.

La importancia de tener el material y herramientas adecuadas para las actividades de mantenimiento son fundamentales para obtener un buen resultado en las pruebas de diagnóstico.

En México la certificación es la carta de recomendación para las empresas, por lo tanto, la Secretaría de Salud es la encargada de dicha regulación, no obstante hay quien instalan sin estas normas, lo cual genera costos excesivos a los hospitales por mantenimientos correctivos no programados, así como poner en riesgo a su personal operativo.

Debemos tomar en cuenta que se debe cuidar al personal de mantenimiento debido a las prácticas controladas, en cuanto a la dosis anual, establecida en la norma, llevar un control de estas exposiciones por ingeniero que realiza las actividades preventivas y correctivas.

Por último, se realiza la inspección con la que se trata de determinar si es aceptable un equipo entregado o cuya entrega se ha ofrecido, bajo contrato de aceptación y cumplimiento de alcance.

# ANEXO

Modelo de Cotización S.A. de C.V.

**Sala RX**  
**Modelo APX 525 - 625**

Versión 1.00

México D. F. a 15 de Septiembre de 2012

**Modelo de Cotización S.A. de C.V.**

Estimado Licenciado:

Atendiendo a su solicitud de cotización para adquisición de una Sala de RX Modelo APX 525 - 625, nos permitimos hacerle llegar la propuesta en donde se encuentra la descripción del alcance que cumpliría con las actividades necesarias para llevar a buen fin el proyecto.

En el documento anexo se describen las etapas que contempla nuestra participación, así como los supuestos que tomaremos en cuenta para determinar tiempos y compromisos.

Con la certeza de que esta propuesta cumpla ampliamente con sus expectativas, quedo a sus órdenes para atender cualquier comentario o aclaración.

**ATENTAMENTE**

Samuel Morales Ramirez  
**Gerente Sistemas**

## 1. Antecedentes

Modelo de Cotización S.A. de C.V. Cuenta con flujos de negocio basados diagnósticos de pacientes por medio de radiografías utilizadas por personal médico para la solución de problemas internos del paciente.

## 2. Objetivos

Se requiere un equipo para tomas RX con la finalidad de satisfacer la necesidad de un laboratorio para el seguimiento y tratamiento de los pacientes.

## 3. Alcances

Este documento tiene la finalidad de especificar los requerimientos para la implementación de una Sala re RX APX 525

### 3.1. Requerimientos.

3.1.1 Requerimiento eléctrico El cliente debe de proporcionar las adecuaciones eléctricas siguientes:

- 3.1.1.1 Transformador independiente para el equipo 75 KVA A 100 KVA de capacidad.
- 3.1.1.2 Interruptores en Q , rango de corte de 100 Amp
- 3.1.1.3 Voltaje en línea de entrada de 208 VAC tres fases

3.1.2 Espacio Isométrico

- 3.1.2.1 Espacio de 40 mtrs<sup>2</sup> con iluminación.

- **Legales y reglamentarios.**

El cliente se comprometerá a proporcionar todos los requerimientos necesarios para la realización del proyecto. Es importante hacer notar que los tiempos calculados para la conclusión del proyecto dependen de la disponibilidad de estos requerimientos.

Esta cotización no incluye ninguna adecuación en el área donde será instalado el equipo, ni el estudio del blindaje de la sala para alguna certificación.

### 3.2. Proceso de Control de Proyectos

Nuestro proceso incluye los siguientes servicios:

- Instalación.
- Puesta en Marcha.
- Aseguramiento de Calidad (pruebas).
- Acompañamiento para puesta en producción.

Para el seguimiento del proyecto se realizan las siguientes actividades:

- Seguimiento 2 veces al día con nuestros ingenieros.
- Reportes de Entrega.
- Matrices de comunicación y procesos de instalación.

### 3.2.1. Análisis de pruebas

Para asegurar la aceptación de conformidad del producto una vez Instalado, se llevara a cabo la siguiente actividad:

- Pruebas de funcionamiento e imagen.

Las actividades tendrán aproximadamente una duración de 1 a 2 días y se incluirán en el plan de trabajo. Una vez terminados deberán ser firmados por el líder de Proyecto en máximo cinco días o hacer las observaciones que considere necesarias.

## 4. Capacitación

1 curso para usuarios del equipo del departamento de imagenología de dicho hospital.

La capacitación se llevara a cabo en las instalaciones del Cliente, con un horario de 9:00 a 14:00 hrs. De Lunes a Viernes.

### Precondiciones:

El personal que asista a la capacitación deberá conocer el proceso de negocio que soporta la solución, para tener un mayor aprovechamiento del curso.

## 5. Garantía

**Garantía por 1 año en todas sus partes.**

**Cuatro servicios preventivos diferidos cada 3 meses**

**Soporte a usuarios 24 x 24 En el interior de la republica al siguiente día hábil.**

## 6. Tiempos

El proyecto se realizará en 6 semanas calendario a partir de la orden de compra.

## 7. Precios

El equipo APX 525 tiene un costo de \$147,630.00 DLL (Ciento cuarenta y seis mil, ciento cincuenta y tres dólares), más el Impuesto al Valor Agregado (IVA)

Costo del equipo	\$	93,240.00
Costo de la instalación	\$	38,850.00
Mantenimiento anual	\$	15,540.00
<b>Total Proyecto</b>	<b>\$</b>	<b>147,630.00</b>

**\*Precios en dólares americanos más IVA**

## 8. Condiciones Comerciales

- Los precios incluidos no incluyen el Impuesto al Valor Agregado (I. V. A.), mismo que se adicionará en las facturas correspondientes.
- Este proyecto se desarrollará en la Ciudad de México, D. F., por lo que en caso de tener que desarrollar actividades fuera de esta zona por cuenta del propio proyecto, los gastos de viáticos correspondientes a transportación, alimentación y hospedaje correrán a cargo del cliente.
- El cliente se comprometerá a proporcionar todos los requerimientos necesarios para la realización del proyecto. Es importante hacer notar que los tiempos calculados para la conclusión del proyecto dependen de la disponibilidad de estos requerimientos.
- Los precios indicados son fijos por Proyecto y solo sufrirán variación en los siguientes casos:
  - Por cambios en los alcances establecidos del proyecto, en cuyo caso revisarán conjuntamente Misanti y el cliente y decidirán si llevan a cabo el cambio identificado con base en la definición del impacto en tiempo y costo.
  - Por causas imputables directamente al cliente, incluidos retrasos en la fecha de entrega de la información que se requiera para el desarrollo de los trabajos, así como en la programación de actividades y reuniones de trabajo.

En cualquier caso que pudiera ameritar una variación al proyecto original, se generará un Acuerdo de Cambios que será firmado por ambas parte, mismo que documentará indicando las variaciones e impactos en tiempo y costos.

- Esta Propuesta solo ampara lo que está explícitamente indicado en su contenido.
- El trabajo puede empezarse inmediatamente toda vez que el cliente acepte esta propuesta.

## 9. Vigencia

- La vigencia de esta propuesta se extiende por 30 días a partir de la fecha de entrega al cliente

---

## Glosario

**Asesor Especializado en Seguridad Radiológica.-** Persona física o moral que auxiliará técnicamente al Titular y al Responsable de Operación y Funcionamiento.

**Barrera primaria.-** Blindaje de la instalación sobre el cual puede incidir directamente, en un momento dado, el haz útil producido por el equipo de rayos X.

**Barrera secundaria.-** Blindaje de la instalación sobre el cual nunca incide directamente el haz útil producido por el equipo de rayos X, sino solo la radiación de fuga y la radiación dispersa.

**Blindaje.-** Material empleado para reducir la intensidad de las radiaciones ionizantes al interponerse en su trayectoria.

**Bucky.-** Dispositivo que contiene y desplaza a la rejilla antidifusora con movimiento oscilatorio.

**Campo de rayos X (campo de radiación).-** Área definida por la intersección del haz útil y el plano, perpendicular al eje del haz, donde se encuentra el punto de interés para la medición o estudio a realizar.

**Campo luminoso.-** Área definida por la intersección del haz luminoso y el plano, perpendicular al eje del haz, donde se encuentra el punto de interés para la medición o estudio a realizar.

**Capa decirreductora (CDR).-** Espesor de un material que al interponerse en un haz útil de rayos X, atenúa la intensidad de la radiación al 10% de su valor inicial. El valor de la CDR es característico para cada material y cada tensión aplicada al tubo de rayos X. En esta definición se excluye la contribución de toda la radiación dispersa, que no sea la que se encuentre presente desde el inicio, en el haz bajo estudio.

**Capa hemirreductora (CHR).-** Espesor de un material que al interponerse en un haz útil de rayos X, atenúa la intensidad de la radiación al 50% de su valor inicial. El valor de la CDR es característico para cada material y cada tensión aplicada al tubo de rayos X. En esta definición se excluye la contribución de toda la radiación dispersa, que no sea la que se encuentre presente desde el inicio, en el haz bajo estudio.

**Carga de trabajo.-** Producto de factores que determinan la cantidad de radiación emitida por el tubo de rayos X, en función de su grado de utilización, para una tensión dada, durante un tiempo específico. Para equipos de rayos X de diagnóstico médico generalmente se expresa en:  
mA-min/semana o mA-s/semana.

**Cefalostato.-** Aditamento que se integra a un sistema de panorámica dental para realizar exposiciones craneales.

**Consola de control.-** Parte del equipo de rayos X que contiene los mandos e indicadores, desde donde se puede seleccionar el conjunto de parámetros para realizar los estudios radiológicos, así como activar e interrumpir la generación de rayos X.

**Control automático de exposición.-** Dispositivo que controla automáticamente uno o más de los factores técnicos con objeto de producir en un lugar preseleccionado una cantidad determinada de radiación.

**Coraza.-** Cubierta metálica forrada de plomo que contiene el tubo de rayos X. Esta incluye los transformadores de alto voltaje o del filamento y otros elementos apropiados cuando éstos están contenidos en la coraza.

**Cuarto oscuro.-** Área de la instalación donde se lleva a cabo la preparación y el procesamiento de películas o placas fotográficas, a fin de obtener las imágenes para los estudios de diagnóstico médico con rayos X.

**Cultura de seguridad.-** Conjunto de valores éticos y actitudes que rigen la conducta de los individuos y de las organizaciones, para dar a la protección y a la seguridad radiológica la más alta prioridad, asegurando así que reciban la atención adecuada y oportuna que demanda su importancia.

**Defecto (artefacto).-** Estructura o rasgo en una imagen radiográfica que, en general, ha sido introducido por el propio equipo de rayos X o sus accesorios y no existe en el paciente.

**Densidad óptica de transmisión.-** Magnitud que proporciona una medida del grado de oscurecimiento de una película radiográfica después de haber sido expuesta y procesada. Está definida por la ecuación:

$$DO = \log \left[ \frac{B_0}{B} \right]$$

Donde B es la intensidad de la luz que incide sobre la película y B<sub>0</sub> es la intensidad de la luz que se transmite a través de la película.

**Desplazamiento exploratorio (Barrido).-** Proceso completo de recolectar los datos de la transmisión de rayos X para la producción de una tomografía. Los datos pueden ser recolectados simultáneamente durante un solo desplazamiento para la producción de una o más tomografías.

**Desviación estándar experimental.-** Para una serie de mediciones de la misma magnitud a medir, la desviación estándar que caracteriza la dispersión de los resultados, está dada por la expresión:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad N < 30$$

donde  $x_i$  es el resultado de la  $i$ -ésima medición y  $\bar{x}$  es la media aritmética de los  $N$  resultados considerados.

**Diagnóstico.-** Parte de la medicina que tiene por objeto la identificación de una enfermedad fundamentándose en los síntomas y signos de ésta.

**Distancia foco-piel (DFP).-** Distancia que existe entre el foco y la piel del paciente, medida sobre el eje principal del haz.

**Distancia foco-receptor de imagen (DFI).-** Distancia que existe entre el foco y el centro de la superficie de entrada del receptor de imagen.

**Dosis absorbida.-** Cantidad de energía depositada por la radiación ionizante en la unidad de masa de un determinado material, medida en un punto específico. Matemáticamente se expresa como el cociente de  $dE$  entre  $dm$ , donde  $dE$  es la energía promedio depositada en una masa  $dm$ .  
 $D = dE/dm$  . La unidad de dosis absorbida es el Gray (Gy) y equivale a 1 Joule/kg.

**Dosis de entrada en superficie.-** Valor de la dosis absorbida en aire, con retrodispersión, medida al centro del haz útil y en la superficie de entrada del paciente sometido a diagnóstico médico con rayos X.

**Dosis umbral.-** Valor de la dosis por debajo del cual se considera que no se manifestará un efecto determinista específico (no estocástico).

**Efectos deterministas.-** Efectos biológicos producidos por la radiación que se presentan solamente cuando se rebasa la dosis umbral específica para ése efecto y cuya severidad es función de la dosis absorbida.

**Efectos estocásticos.-** Efectos biológicos producidos por la radiación para los cuales no existe una dosis umbral, sino que la probabilidad de que se produzcan, es función de la dosis absorbida y cuya severidad es independiente de la dosis.

**Eje principal del haz.-** Línea que parte del foco hasta el centro del campo de rayos X.

**Equipo de rayos X.-** Dispositivo generador de rayos X destinado a realizar estudios de diagnóstico médico. Este puede ser fijo, diseñado para permanecer dentro de una sala o cuarto destinado específicamente para realizar dichos estudios, o móvil diseñado para poder transportarse, manualmente o por medios

motorizados, a las diferentes áreas donde sean requeridos dichos estudios, dentro de una misma instalación.

**Equipo portátil de rayos X.-** Equipo de rayos X diseñado para transportarse manualmente.

**Equivalente de dosis.-** Cantidad que resulta del producto  $D Q N$ , donde  $D$  es la dosis absorbida en Gray;  $Q$  es el factor de calidad y  $N$  es el producto de todos los demás factores modificantes, tomándose por ahora un valor para  $N = 1$ . El nombre especial para la unidad de equivalente de dosis es el Sievert (Sv).  $H = DQN$ .

**Equivalente de dosis efectivo.-** Suma ponderada de los equivalentes de dosis para los diferentes tejidos ( $H_T$ ), tanto por irradiación externa como por incorporación de radionúclidos. Se define como:

$$H_E = \sum_T W_T H_T$$

Donde  $W_T$  son los factores de ponderación por tejido.

**Equivalente en aluminio.-** Espesor de aluminio (aleación tipo 1100) que proporciona la misma atenuación, bajo condiciones específicas, que el material bajo estudio. La composición química nominal del aluminio 1100 es: 99% mínimo de aluminio y 0.12% de cobre).

**Espesor equivalente.-** Espesor de un material de referencia, necesario para que al interponerlo al haz útil de rayos X, se obtenga una determinada transmisión relativa. En el caso de rayos X depende de la tensión aplicada al tubo.

**Establecimiento.-** Local en el que se use un sistema de rayos X de manera que provoque la irradiación de alguna parte del cuerpo humano, con fines de diagnóstico médico.

**Exposición.-** Cociente de  $dQ$  entre  $dm$ , donde  $dQ$  es el valor absoluto de la carga total de los iones de un solo signo producidos en aire cuando todos los electrones (negatrones y positrones) liberados por los fotones en un elemento de volumen de aire que tiene masa  $dm$  son completamente frenados en el aire.

**Exposición médica.-** La recibida por los pacientes con motivo de su propio diagnóstico o tratamiento médico, o por personas que los ayudan voluntariamente y no son ocupacionalmente expuestas.

**Exposición ocupacional.-** La recibida por el personal ocupacionalmente expuesto durante su trabajo y con motivo del mismo.

**Factor de ocupación (T).-** Fracción de tiempo que las personas (POE y público) permanecen en las áreas que deben protegerse de la radiación, respecto al tiempo total de uso del equipo, en el contexto del cálculo de blindajes.

**Factor de calidad.-** Factor por el que se multiplica la dosis absorbida debida a cada tipo de radiación, para considerar el riesgo relativo para la salud por ése tipo de radiación. Para los rayos X de todas las energías su valor es de 1.

**Factor de ponderación por tejido ( $W_T$ )-** Factor por el que se multiplica la dosis equivalente recibida por un órgano o tejido para considerar su sensibilidad específica respecto a los efectos estocásticos de la radiación. Los factores que se usan con fines de protección radiológica son:

Órgano o Tejido	Factor de Ponderación ( $W_T$ )
Gónadas	0.20
Medula ósea roja, colon (intestino grueso inferior), pulmón y estomago	0.12
Vejiga, mama, esófago, hígado y tiroides	0.05
Piel y superficies óseas	0.01
Órganos o tejidos restantes	0.05
Glándulas suprarrenales, cerebro, intestino grueso superior, intestino delgado, riñón, musculo, páncreas, bazo, timo y útero. Si alguno de estos recibiera una dosis mayor ala más alta recibida por alguno de la tabla a ese se le aplicaría i factor de 0.025 y un factor igual al promedio de las dosis recibidas por os demás órganos considerados restantes.	

**Factor de uso (U)-** Fracción del tiempo total de operación del equipo de rayos X durante el cual el haz útil de radiación está dirigido hacia una barrera en particular.

**Factores técnicos.-** Conjunto de parámetros de operación del equipo (tensión, corriente, tiempo de exposición o sus combinaciones) empleados para realizar el estudio requerido.

**Filtración.-** Eliminación del haz útil de los rayos X de baja energía mediante aluminio o algún otro metal.

**Filtro de compensación.-** Filtro del haz de rayos X diseñado para hacer el haz remanente más uniforme.

**Fluoroscopia.-** Técnica radiológica en la que el haz útil de rayos X, después de atravesar el cuerpo del paciente, produce una imagen dinámica.

**Foco.-** Punto focal del tubo de rayos X.

**Garantía de calidad.-** Actividades planificadas y sistemáticas necesarias para inspirar confianza suficiente en que una estructura, sistema o componente va a funcionar a satisfacción cuando esté en servicio. Funcionar a satisfacción en servicio implica que pueda obtenerse una calidad óptima en todo el proceso de

diagnóstico, es decir, que se produzca en todo momento una información de diagnóstico adecuada, y con una exposición mínima del paciente y del personal.

**Generador de alta tensión.-** Circuito que transforma la energía eléctrica proporcionada por la alimentación de la consola de control en la tensión de operación del tubo. Este instrumento puede incluir los medios usados para transformar la corriente alterna en corriente directa, los transformadores del filamento del tubo de rayos X, interruptores de alto voltaje, circuitos de protección eléctrica y otros elementos anexos.

**Haz útil.-** Radiación ionizante proveniente del tubo de rayos X, que sale por la ventana de la coraza, atraviesa la filtración y es colimado por los dispositivos pertinentes, para obtener la imagen de interés clínico.

**Imagen radiográfica.-** Representación de una o varias estructuras producidas por la atenuación que experimenta un haz de rayos X al incidir sobre un paciente.

**Instalación.-** Cada sala de rayos X con su respectiva área de ubicación de la consola de control y el cuarto oscuro y área de interpretación que dan servicio a esta sala.

**Instalación de diagnóstico médico con rayos X.-** Cada sala de rayos X con su respectiva área de ubicación de la consola de control, el cuarto oscuro y el área de interpretación que dan servicio a esta sala.

**Instalación móvil de diagnóstico médico con rayos X.-** Vehículo automotor en cuyo interior se encuentra instalado un equipo de rayos X.

**Instalador.-** Persona física o moral autorizada, dedicada a la actividad de armar, sustituir o instalar una o más componentes en un sistema o subsistema de diagnóstico médico con rayos X.

**Intensificador de imagen.-** Dispositivo que conviene un patrón de rayos X en su correspondiente imagen luminosa.

**Irradiación.-** Acción y efecto de someter a un individuo a los rayos X.

**Límite anual de dosis.-** Valor de la dosis individual, efectiva o equivalente, debida a prácticas controladas y que no se debe rebasar en un año.

**Manual de protección y seguridad radiológica.-** Documento cuyo objetivo es que todas las acciones que involucren fuentes de radiación ionizante, se ejecuten cumpliendo con normas y procedimientos de protección radiológica adecuados, para reducir las exposiciones ocupacionales y del público a valores tan bajos como razonablemente puedan lograrse, tomando en cuenta factores económicos y

sociales. Debe contener los procedimientos de protección y seguridad radiológica aplicables a las actividades que se realicen en el establecimiento.

**Memoria analítica.-** Documento que certifica los requerimientos de blindaje de la instalación de rayos X de diagnóstico, realizados por un asesor especializado en seguridad radiológica.

**Mesa.-** Dispositivo que sirve para soportar al paciente.

**Mesa basculable.-** Dispositivo que rota en un ángulo de hasta 90° y que permite mover al paciente de una posición horizontal a una vertical.

**Mesa de tablero flotante o deslizante.-** Mesa que, ya lista para ser usada, es capaz de moverse con respecto a su estructura de soporte, dentro del plano de la superficie de la mesa.

**Niveles orientativos para la exposición médica.-** Valores de la dosis al paciente o de la rapidez (tasa) de dosis, que de rebasarse conviene efectuar un estudio para determinar si son o no excesivos, tomando en cuenta las condiciones y circunstancias específicas, así como los criterios clínicos adecuados.

**Número CT.-** Número utilizado para representar la atenuación de los rayos X asociada con cada área elemental de una tomografía. Este número se expresa en unidades Hounsfield.

**Operador.-** Persona autorizada para operar el equipo de rayos X.

**Paciente.-** Individuo en turno que está siendo objeto del estudio de diagnóstico médico con rayos X.

**Pasaplaca.-** Dispositivo a través del cual se puede intercambiar chasis del cuarto oscuro, sin transmisión de luz (Transfer).

**Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE).-** Persona que en el ejercicio y con motivo de su ocupación está expuesta a la radiación ionizante. Quedan excluidos los trabajadores que ocasionalmente en el desarrollo de su trabajo puedan estar expuestos a este tipo de radiación.

**Programa de garantía de calidad.-** Conjunto de disposiciones administrativas y procedimientos técnicos debidamente documentados, así como acciones para verificación y medidas correctivas destinados a generar la calidad de los servicios de diagnóstico médico con rayos X.

**Pruebas de aceptación.-** Inspección con la que se trata de determinar si es aceptable un equipo entregado o cuya entrega se ha ofrecido. Esa inspección puede incluir pruebas realizadas después de la instalación del equipo para determinar si se ha fabricado e instalado de conformidad con las especificaciones

técnicas acordadas. Los resultados de esas pruebas servirán como valores de referencia para evaluar el rendimiento del equipo en pruebas sistemáticas que se realicen en el futuro.

**Público.-** Toda persona que puede estar expuesta a las radiaciones de equipos de diagnóstico médico con rayos X por encontrarse en las inmediaciones de las instalaciones.

**Punto local efectivo.-** Área cuya normal coincide con el eje principal y que resulta de proyectar el área perteneciente al ánodo donde incide el haz de electrones que viaja a través del tubo de rayos X.

**Radiación ionizante.-** Radiación electromagnética o corpuscular capaz de producir iones, en forma directa o indirecta, al interactuar con la materia.

**Radiación de fuga.-** Radiación generada en el tubo de rayos X y que atraviesa la coraza del mismo, exceptuando el haz útil.

**Radiación dispersa.-** Fracción del haz útil cuya dirección y energía han sido modificadas al interactuar con la materia. En diagnóstico médico con rayos X se considera al paciente como el principal dispersor de la radiación del haz útil.

**Radiación secundaria.-** Suma de la radiación dispersa y de la radiación de fuga.

**Radiografía.-** Técnica del diagnóstico médico que produce una imagen de las estructuras del cuerpo sobre un receptor de imagen sensible a los rayos X transmitidos a través del paciente.

**Receptor de imagen.-** Dispositivo donde se reciben los rayos X que atravesaron al paciente, para formar la imagen de las estructuras de interés diagnóstico, mediante un proceso físico, químico o electrónico.

**Región de interés (ROI).-** Área de una imagen tomográfica computarizada en la cual se mide su número CT promedio.

**Rejilla.-** Dispositivo para reducir la cantidad de radiación dispersa en el haz remanente de rayos X.

**Responsable Técnico del Servicio.-** Profesional que asume la responsabilidad ante la Secretaría de Salud de los servicios que está autorizado a brindar el Asesor Especializado en Seguridad Radiológica. En caso de personas físicas, la figura del Responsable Técnico del Servicio recae en el Asesor Especializado en Seguridad Radiológica.

**Sala de rayos X.-** Área del establecimiento de diagnóstico médico con rayos X donde está instalado un equipo fijo y se lleva a cabo la generación de rayos X para efectuar los estudios.

**Seriógrafo.-** Dispositivo auxiliar de las mesas basculables en el cual se realiza la programación de las radiografías seriadas y que permite acoplar mecánicamente el intensificador de imagen y el tubo de rayos X. Lleva instalada una rejilla antidifusora, mascarillas limitadoras del campo de radiación, un cono de compresión y, de manera opcional, una cámara de ionización para la operación en modalidad de exposición automática.

**Sistema de apertura variable para limitación de haz útil (colimador).-** Sistema de limitación de haz que tiene la capacidad de ajustar el tamaño del haz útil de rayos X a una DFI determinada.

**Sistema de imagen.-** Conjunto formado por los elementos que reciben la porción del haz útil transmitida a través del paciente para la formación de la imagen (en película o en pantalla fluorescente), junto con los dispositivos para su soporte mecánico, más los intensificadores de imagen y cámaras de televisión usados en fluoroscopia.

**Sistema de panorámica dental.-** Conjunto de componentes diseñado para realizar una exposición panorámica controlada de rayos X de la región maxilar y sus ramas ascendentes, incluyendo la articulación temporo-maxilar.

**Tensión del tubo (kV).-** Valor máximo de la diferencia de potencial que se establece a través del tubo de rayos X durante una exposición.

**Titular.-** Persona física o moral que posee la titularidad de la Licencia Sanitaria expedida por la Secretaría de Salud.

**Tomografía.-** Representación de la atenuación de los rayos X producida por una sección del cuerpo.

**Tomografía computarizada.-** Es la producción de una tomografía mediante la adquisición y procesamiento por computadora de los datos obtenidos a partir de la transmisión de rayos X.

**Tubo de rayos X.-** Dispositivo electrónico diseñado para producir rayos X.

**Vigilancia médica.-** Supervisión médica cuya finalidad es verificar las condiciones iniciales de salud del POE y determinar si existe algún impedimento para desempeñar el cargo, así como vigilar periódicamente si su salud ha sufrido alteraciones relevantes que requieran una reconsideración respecto de continuar el trabajo con radiaciones.

**Vigilancia radiológica.-** Supervisión profesional destinada a verificar el cumplimiento de las normas de protección contra las radiaciones ionizantes, mediante la medición de las exposiciones o las dosis recibidas por el POE y su interpretación con fines de control.

**Zona controlada.-** Zona sujeta a supervisión y controles especiales con fines de protección radiológica.

**Zona supervisada.-** Toda área no definida como zona controlada pero en la que se mantienen en examen las condiciones de exposición ocupacional aunque normalmente no sean necesarias medidas protectoras ni disposiciones de seguridad concretas.

**Bibliografía**

1. **Domínguez** Anaya Carlos Enrique, Curso de protección y seguridad radiológica en el diagnóstico médico con rayos X. Instituto nacional de investigaciones nucleares, 1994.
2. **Factores** para el cálculo del equivalente de dosis. Norma Oficial Mexicana NOM-001-NUCL-1994.
3. **Manual** del Curso Avanzado de Protección Radiológica. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Edo. de México, 2009.
4. **NOM-146-SSA1-1996**: Responsabilidades sanitarias en establecimientos de diagnostico medico con rayos X, proyecto de norma oficial mexicana., Publicada en el diario oficial de la federación el 7 de octubre de 1996.
5. **NOM-156-SSA1-1996**: Requisitos técnicos para las instalaciones en establecimientos de diagnostico medico con rayos X, proyecto de norma oficial mexicana. Publicada en el diario oficial de la federación el 29 de noviembre de 1996.
6. **NOM-229-SSA1-2002**, Salud ambiental. Requisitos técnicos para las instalaciones, responsabilidades sanitarias, especificaciones técnicas para los equipos y protección radiológica en establecimientos de diagnóstico médico con rayos X.)
7. **Generador** APX 525/625 Manual en español
8. **Misanti**, Sala RX Modelo APX 525 – 625, Modelo de Cotización S.A. de C.V.
9. **Reglamento** General de Seguridad Radiológica (RGSR). Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. México, D.F. 1988.

**Referencias electrónicas**

- <http://www.netdoctor.es/XML/verArticuloMenu.jsp?XML=000347>
- <http://goo.gl/ny5f>