

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---



FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA

**“REESTRUCTURACIÓN DE UNA SALA DE RAYOS X CON BASE A LA  
NORMATIVIDAD OFICIAL”**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE  
**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

PRESENTA

**ALONSO GARCÍA LILIANA**

**NÚÑEZ VÁZQUEZ ANTONIO**

DIRECTOR DE TESIS

**JOSÉ ARTURO MARTINEZ ACOSTA**

MEXICO D.F.OCTUBRE DE 2014



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres Rodolfo y Juanita por brindarme el apoyo y la fortaleza a lo largo de mi carrera, que sin duda alguna siempre han demostrado su amor y comprensión en mi vida y jamás existirá la manera de agradecerles todo los sacrificios hechos.

A mis hermanos Rodolfo y Paulina que son una parte importante en mi vida y un modelo de superación. Agradezco su apoyo ya que es un motor para seguir adelante.

Agradezco especialmente a mis abuelos Manuel y Elsa que son un ejemplo de vida. Gracias a sus enseñanzas me empeño para alcanzar mis metas y propósitos.

Un agradecimiento para Gabriel que además de ser un primo es como un hermano y a Noelia que a través de los años me han demostrado que el trabajo y el esfuerzo siempre son recompensados.

A mi compañera de tesis y amiga Liliana Alonso. Gracias por tu apoyo y brindarme tu amistad a lo largo de la carrera ya que sin ti este trabajo no hubiera sido posible, tu paciencia y cariño siempre fueron un propulsor.

A Adriana Corona y su familia que siempre han estado conmigo en los buenos y malos momentos, agradezco su amistad y cariño.

Agradezco de una manera muy especial a la Maestra María Elena Gaitán Herrera que gracias a su ayuda y consejos este trabajo tiene la estructura deseada.

Agradezco al Maestro Arturo Acosta ya que sus conocimientos y aportaciones fueron esenciales en este proyecto.

Finalmente a todas las personas que nos brindaron su ayuda ya que sus palabras y acciones me sirvieron como guía para continuar con este proyecto.

**Antonio Núñez Vázquez**

A mi padre Cristóbal Alonso a quien amo, admiro y respeto profundamente, gracias por tu esfuerzo por hacer de mí un ser humano responsable.

A mis hermanas Adriana e Isela que siempre han estado conmigo en los momentos más difíciles, son mis mejores amigas gracias por creer en mí.

A mi mejor amigo Antonio Núñez Vázquez quien es el mejor ejemplo de perseverancia que conozco, eres un increíble ser humano soy muy afortunada en tenerte como amigo.

A Víctor Frías Franco por impulsarme siempre a ser una mejor persona y profesionista gracias por tu apoyo y cariño.

A mis amigos quienes me han llenado de experiencias y consejos, los cuales siempre son de gran ayuda.

A mis profesores que con su vocación y conocimiento han contribuido a mi formación profesional y humana.

A nuestro director de tesis Arturo Acosta y sinodales Elizabeth Orencio, Esther Barrios, Heriberto Aguilar y Juan Manuel Gómez que nos brindaron su tiempo, paciencia y orientación, muchas gracias por contribuir con este proyecto.

**Liliana Alonso García**

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	6
OBJETIVO.....	8
<i>FUNDAMENTOS DE RAYOS X</i> .....	9
1.1 RADIACIÓN.....	9
1.2 HISTORIA DE LOS RAYOS X .....	9
1.3 RAYOS X.....	10
1.3.1 Producción física de los rayos X .....	11
1.3.2 Características de un haz de rayos X .....	15
1.3.3 Interacción de los rayos X con la materia.....	16
1.3.4 Absorción de los rayos X en la materia .....	19
1.4 EQUIPO DE RAYOS X .....	20
1.5 RADIOLOGÍA .....	26
1.5.1 Radiología en México. ....	26
1.5.2 Protección radiológica.....	27
1.5.3 Efectos biológicos de la radiación .....	31
<i>INSTALACIÓN ELÉCTRICA</i> .....	33
2.1 INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y SUS ELEMENTOS.....	34
2.1.1 Conductores eléctricos en instalaciones eléctricas interiores.....	34
2.1.2 Canalizaciones eléctricas.....	39
2.1.3 Protecciones eléctricas .....	42
2.1.4 Iluminación.....	48
2.2 SALA DE RAYOS X No.1 EN HOSPITAL MODELO.....	51
2.3 ALIMENTACION ELÉCTRICA EN LA SALA DE RAYOS X No. 1 .....	53
2.4 PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN LA SALA DE RAYOS X No.1. ....	63
<i>ANÁLISIS DEL ÁREA CON BASE EN LA NORMATIVIDAD OFICIAL</i> .....	67
3.1 INSTALACIÓN ELÉCTRICA CON BASE EN LA NORMATIVIDAD OFICIAL .....	68
3.1.1 Cálculo de luminarias .....	68
3.1.2 Cálculo de receptáculos monofásicos doble polarizado con puesta a tierra ....	78
3.1.3 Cálculo de receptáculos de tensión regulada doble polarizado con puesta a tierra aislada .....	87

3.2 PROTECCIÓN RADIOLÓGICA CON BASE EN LA NORMATIVIDAD .....	97
3.2.1 Diseño general del área .....	97
3.2.2 Blindajes y barreras de protección radiológica.....	101
3.2.3 Calidad y garantía en el servicio.....	102
<i>RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA SALA DE RAYOS X NO. 1</i> .....	111
4.1 PROPUESTA DE MEJORA PARA LA ILUMINACIÓN EN LA SALA DE RAYOS X .....	112
4.2 PROPUESTA DE MEJORA PARA RECEPTÁCULOS Y RECEPTÁCULOS DE TENSIÓN REGULADA.....	115
4.3 PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE LA MEMORIA ANALÍTICA .....	118
4.4 PROPUESTA DE MEJORA PARA LA SALA DE RAYOS X NO.1 .....	128
<i>CONCLUSIONES</i> .....	132
GLOSARIO.....	134
BIBLIOGRAFÍA.....	140

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad los avances médicos han tenido alcances que no pudimos haber imaginado hace diez años. Sin duda alguna uno de los factores que más han influido es el avance de la tecnología, la cual es una herramienta invaluable para el tratamiento de enfermedades. La tecnología aplicada a la medicina juega un papel básico en el diagnóstico, estudio y tratamiento de muchos tipos de enfermedades.

Ante el crecimiento de la población la demanda de los servicios de salud crece de forma continua. Debido a lo anterior, es necesario que nuevos equipos médicos se incorporen a la infraestructura de diversas instituciones de salud públicas y privadas. Sin embargo se ha detectado que en ocasiones las instalaciones no logran proporcionar las condiciones de seguridad para el paciente o incluso los requerimientos básicos para la correcta operación del equipo. En particular una de las áreas con mayor cantidad de usuarios es radiodiagnóstico. Por esa razón el presente trabajo consiste en un análisis integral para la mejora en las instalaciones del área de radiodiagnóstico, de forma particular, de un equipo de rayos X.

Los equipos de rayos X son parte fundamental del diagnóstico y tratamiento de millones de pacientes, además forman parte de los primeros equipos orientados al ámbito médico. Los equipos de rayos X han evolucionado en gran medida y siguen formando la principal herramienta del diagnóstico traumatológico, oncológico y cardiaco. Sin embargo, no debemos olvidar que estos equipos obtienen un estudio mediante la exposición del paciente a una cantidad de radiación ionizante. Este tipo de radiación puede modificar la producción y desarrollo de las distintas células del cuerpo humano. Por lo anterior, los equipos de rayos X deben de operar en áreas controladas, las cuales cuenten con los elementos necesarios para el correcto funcionamiento del equipo, con el propósito de obtener su mejor rendimiento; al mismo tiempo que poseen las características necesarias de seguridad y espacio para el libre tránsito del técnico radiólogo y del paciente.

Tomando como base la normatividad oficial se realizó un análisis del área para evaluar que cumpla con los requerimientos establecidos en las normas, lo cual significa que la salud del paciente no se pone en riesgo ni se ve afectada al ser sometido a un estudio para el diagnóstico o tratamiento de algún padecimiento. Además, por tratarse de un equipo de radiación ionizante debemos proteger de forma correcta al personal operario, es decir, los técnicos radiólogos, médicos radiólogos y personal de enfermería, y asegurar su salud durante la realización su trabajo.

De la misma manera, la aplicación de las normas oficiales mexicanas contribuye a garantizar el correcto funcionamiento del equipo médico, procurando una menor cantidad de fallas técnicas derivadas de una mala instalación o en su caso operación; teniendo por consecuencia la extensión de su vida útil.

## OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es exponer un análisis claro e integral de la instalación de una sala de rayos X ubicada en el Hospital Modelo<sup>1</sup> del sector salud, analizando las condiciones de seguridad, tomando en cuenta los parámetros y especificaciones necesarias para evaluar el área con base en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las cuales nos ayudan a asegurar la eficiencia de la instalación y la seguridad de los usuarios.

¿Cómo podemos lograr este objetivo? El objetivo se puede lograr mediante un conocimiento integral sobre las normas oficiales que rigen estas áreas, en conjunto con la capacidad de análisis para evaluar el funcionamiento del equipo, la instalación eléctrica y los elementos de protección radiológica en beneficio del personal y los usuarios.

El análisis de la sala de radiodiagnóstico se compone de las siguientes actividades:

- Revisar la instalación eléctrica, comprobar que cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, verificando la calidad de los elementos eléctricos que la conforman, como son: conductores, tableros, canalizaciones, protecciones, etc., y evaluar si estos se encuentran en óptimas condiciones, para que no exista ningún riesgo para la integridad de los usuarios y el personal. En caso de que no se cumplan las normas pertinentes se señalarán los errores y se realizarán propuestas para corregirlos.
- Realizar un estudio de la sala considerando las normas arquitectónicas y de construcción del IMSS, con la finalidad de evaluar si el área cumple con los requerimientos estructurales necesarios para la realización de estudios de radiodiagnóstico.
- Realizar un análisis de los principales elementos de protección radiológica y verificar si su estado actual cumple con lo señalado en la norma NOM-229-SSA-2002.
- Obtener un análisis completo del área, exponer las conclusiones obtenidas y emplear nuestros conocimientos de ingeniería para proponer mejoras en el área.

---

<sup>1</sup>Con el fin de preservar la privacidad de la institución en la cual se realizó el estudio, se denominará "Hospital Modelo".



# ***CAPÍTULO 1***

## ***FUNDAMENTOS DE RAYOS X***

### **1.1 RADIACIÓN**

La radiación es una manifestación de la energía que se transmite en forma de ondas electromagnéticas o partículas. Esta energía ha sido parte de la historia de nuestro planeta desde que se formó el sistema solar, hace unos cinco mil millones de años. Hoy en día, igual que entonces, el planeta tierra es bombardeado continuamente por partículas energéticas provenientes del centro de nuestra galaxia y de otras galaxias lejanas a millones de años luz. Pero no toda la radiación recibida sobre el planeta tierra es extraterrestre, ya que en el interior y en la superficie del planeta existen núcleos radiactivos, que fueron creados al formarse el sistema solar, y que emiten espontáneamente diferentes formas de radiación. Desde comienzos del siglo XX a esta radiación natural o “de fondo”, se le ha sumado radiación que el ser humano aprendió a producir para satisfacer sus necesidades y sus intereses. La radiación producida por el ser humano, a veces denominada radiación artificial, causa aproximadamente el 20% de la irradiación total promedio en el mundo; el resto es de origen natural. A finales del siglo XIX el ser humano descubrió la manera de producir radiación. Primero fueron los rayos X (descubiertos en 1895 por Wilhelm Conrad Roentgen) y luego la radiactividad.

### **1.2 HISTORIA DE LOS RAYOS X**

El científico alemán Wilhelm Conrad Roentgen fue el primero que descubrió los rayos X. Igual que muchos científicos de su época, Roentgen efectuaba experimentos con tubos de vidrio llenos de gas a baja presión, y en su interior aplicaba campos eléctricos intensos. Era sabido que el tubo se iluminaba tan pronto como se aplicaban voltajes muy diferentes en sus dos electrodos; la luz parecía ser producida por rayos originados en el electrodo negativo (cátodo). El interés de Roentgen se centraba en el estudio de las propiedades de fluorescencia de ciertas sales y el oscurecimiento del papel fotográfico sobre el que incidían estos rayos originados en el cátodo. El viernes 8 de noviembre de 1895, cuando intentaba asegurarse de que la luz emitida por uno de sus tubos no atravesaba una camisa de cartón y estaño, apagó la luz de su laboratorio y observó con sorpresa que en su mesa de trabajo, lejos del tubo, un punto emitía luz. Al encender la luz, identificó el objeto brillante: un pedazo de papel

pintado con sales fluorescentes. El fenómeno que observó era la luz fluorescente producida en el papel por rayos invisibles al ojo humano, que eran emitidos desde el tubo y atravesaban el vidrio, el cartón, el estaño y el aire hasta llegar a las sales del papel.

Posteriormente, Roentgen observó la sombra de un alambre que se interponía entre el tubo y el papel fluorescente. Sin embargo ni un libro de mil páginas, ni la madera, ni el hule producía sombra. Comparó la transparencia relativa de varios espesores de aluminio, plata, cobre, plomo y zinc a la radiación invisible, y encontró que 1.5 centímetros de plomo impedían la fluorescencia del papel. Durante sus estudios descubrió que podía verse la sombra de sus dedos y la imagen más oscura de sus huesos. Ésta fue la primera fluoroscopia en el mundo. Se le ocurrió que estos fenómenos podrían ser registrados en placas fotográficas, y se dedicó a radiografiar varios objetos. Así el 22 de diciembre de 1895 tomó la primera radiografía hecha a un ser humano: la mano de su esposa. El 28 de diciembre del mismo año entregó para publicación científica sus observaciones detalladas, y el 5 de enero siguiente la prensa ya estaba informada de este descubrimiento. Los rayos invisibles, emitidos por el tubo, fueron llamados por el propio Roentgen “rayos X” para distinguirlos de otras radiaciones. La divulgación mundial de estos hechos fue explosiva y los rayos X pasaron a ser un elemento indispensable, tanto en hospitales como en centros de investigación. Roentgen recibió el primer premio Nobel de Física en el año 1901.

### 1.3 RAYOS X

“Los rayos X son ondas electromagnéticas de alta frecuencia, cuya longitud de onda está comprendida entre 5 picómetros y 10 nanómetros. La energía de estos fotones varía desde algunos electrón-volts a varias decenas de electrón-volts, lo cual los incluye en la familia de las radiaciones ionizantes” Los rayos X se generan en la nube electrónica del átomo (Figura 1.1). Como en toda onda electromagnética, la energía transportada por un fotón X está ligada a su frecuencia (por lo tanto a su longitud de onda), por la siguiente relación.”(Dillenseger & Moerschell, 2012):

$$E_p = h \cdot v = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

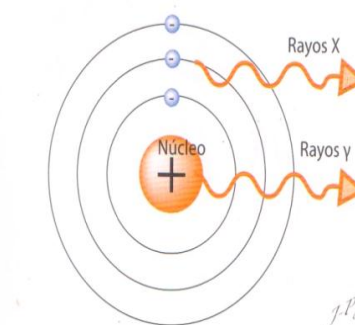
donde

h: Constante de Planck (6.62 J/s)

v: Frecuencia de onda (Hz)

c: Velocidad de la luz (300,000 km/s)

$\lambda$ : longitud de onda (m) Figura 1.1 Orígenes atómicos de la radiación X y  $\gamma$ .



### 1.3.1 Producción física de los rayos X

“La producción de rayos X es el resultado de una interacción energética entre un electrón que posee una muy alta velocidad y un blanco metálico muy denso (de número atómico elevado). Con motivo de este choque, el electrón penetra en el blanco y sufre una brusca desaceleración con pérdida de energía cinética. El 99% de esta pérdida de energía cinética se convierte en calor (energía térmica) y el 1 % en radiación X. Por lo tanto, el rendimiento de producción de rayos X, es bajo.”(Dillenseger & Moerschell, 2012).

Existen dos formas en las que el electrón interactúa con el blanco y se producen rayos X. La primera es una interacción electrón-núcleo y la segunda una interacción electrón-electrón.

La interacción electrón-núcleo se presenta “Cuando un electrón incidente pasa cerca de un núcleo, es atraído por este último, lo cual provoca una importante desviación en su trayectoria y la pérdida de una parte de su energía bajo la forma de radiación electromagnética, llamada “radiación de frenado” o Bremsstrahlung, que produce su desaceleración. Cuando el blanco es de naturaleza muy densa (número atómico elevado), la energía transportada por esa radiación de frenado es alta y se sitúa en el rango de los rayos X (Figura 1.2).

Su valor depende de:

- La energía de los electrones incidentes.
- El número atómico del blanco.

Esta energía está definida y caracterizada por un espectro continuo, donde las curvas obtenidas corresponden al abanico de longitudes de onda de los fotones generados en el blanco debido al efecto de frenado y cuya energía es directamente proporcional a la tensión aplicada al tubo.”(Dillenseger & Moerschell, 2012)

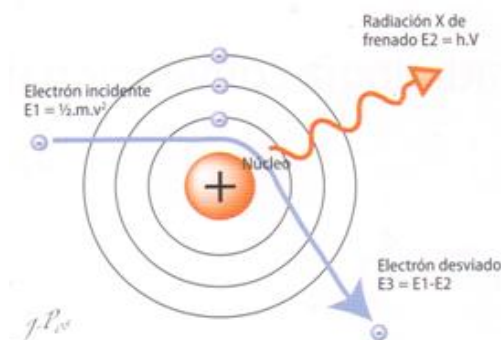
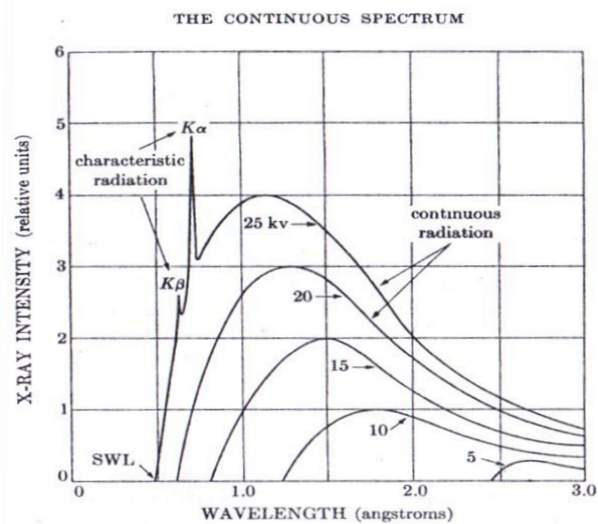


Figura 1.2 Efecto de frenado

Analizando los rayos X que se producen por la interacción electrón-núcleo se encuentra que el haz está compuesto por una mezcla de distintas longitudes de onda. La variación de la intensidad y la longitud de onda dependen del voltaje aplicado al tubo. En la figura 1.3 se muestran las curvas obtenidas debido al efecto de frenado.

La longitud de onda más corta de rayos X es conocida como short wavelength limit ( $\lambda_{SWL}$ ), ésta se incrementa rápidamente hasta el punto máximo para después volver a decrecer. Cuando se incrementa el voltaje en el tubo, la intensidad de todas las longitudes de onda se incrementa. Las curvas de la figura 1.3 corresponden a la aplicación de voltajes de 20 [kV] o menores, utilizando un blanco de tungsteno. La radiación representada en las curvas de nivel es conocida como heterocromatina, continua o radiaciones blancas.

El espectro continuo se presenta debido a la rápida desaceleración de los electrones que son bombardeados contra el objetivo. No todos los electrones son desacelerados de la misma forma: algunos son detenidos en un solo impacto cediendo toda su energía, sin embargo algunos otros son desviados y van perdiendo su energía cinética lentamente. Los electrones que son detenidos de un solo impacto dan lugar a fotones de máxima energía a rayos X de mínima longitud de onda. Figura 1.3 Espectro continuo de los rayos X



La interacción electrón-electrón es explicada con base en el modelo atómico de Bohr, el átomo se describe como un conjunto conformado por un núcleo rodeado de orbitales que contiene electrones. “Dentro de la nube electrónica, los electrones están agrupados en distintos niveles de energía denominados K, L, M, etc. y caracterizados por su energía de unión al núcleo, cuanto más cerca está del núcleo, mayor será su energía de unión. Cuando la energía de los electrones incidentes es superior a la energía de unión del electrón al núcleo, el electrón es arrancado de la nube electrónica.

Si el electrón extraído proviene de una capa interna del átomo, los de las capas periféricas tendrán tendencia a precipitarse al lugar dejado vacante. Esto hace que el electrón que cambia de órbita pierda energía que es disipada bajo la forma de rayos X (fotón).

Esta radiación, caracterizada por un espectro de líneas particulares del metal del ánodo, constituye solamente el 1% de la radiación X emitida, o sea, el 0.01% de la energía electrónica incidente. Esto se explica por la baja probabilidad que tienen los electrones incidentes de colisionar con los del átomo del blanco, debido a las enormes distancias que separan los distintos orbitales electrónicos.

Dependiendo del nivel de energía del electrón dentro del átomo y de la energía del electrón incidente, son posibles diferentes tipos de colisiones.

- Primer caso: El electrón incidente de baja energía interacciona con un electrón periférico y lo expulsa. Este último es nuevamente atraído por el núcleo del mismo átomo. El retorno es acompañado por una liberación de energía en forma de fotón.
- Segundo caso: El electrón incidente posee alta energía e interacciona con un electrón periférico y lo expulsa. El átomo resulta ionizado y no existe emisión de fotones X.
- Tercer caso: El electrón incidente interacciona con un electrón de un nivel profundo y lo expulsa. El átomo queda inestable y se produce un reordenamiento de la nube electrónica que provoca una emisión de fotones X.”(Dillenseger & Moerschel, 2012).

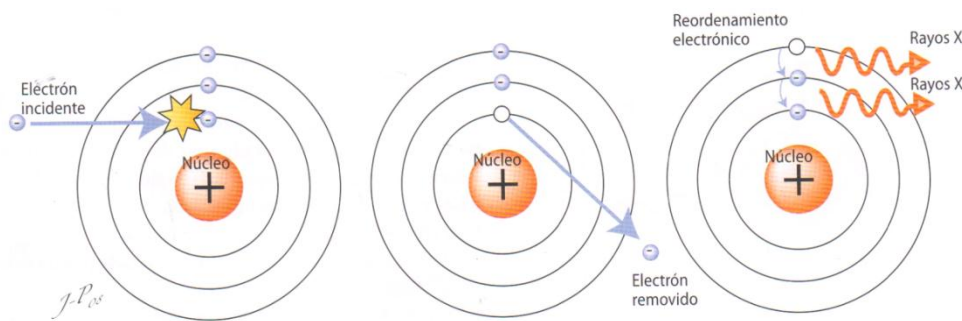


Figura 1.4 Interacción electrón – electrón.

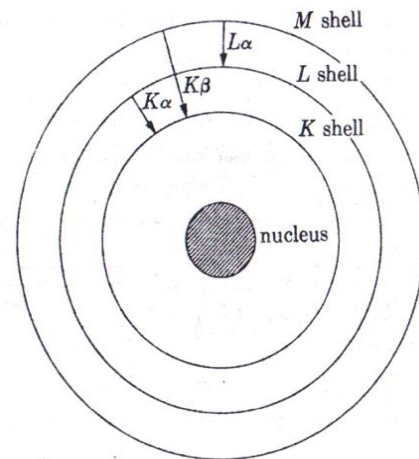
El espectro de líneas es el resultado de la interacción electrón-electrón y se produce cuando el voltaje aplicado al tubo de rayos X es elevado a un valor crítico. La longitud de onda del fotón X resultante, está directamente relacionada con los orbitales K, L, M, etc., de donde se desprende el electrón removido(Figura 1.4).

El origen del espectro de líneas nace del propio número atómico del material utilizado como blanco. Para entender este fenómeno es necesario considerar al átomo como en el modelo atómico de Bohr.

El espacio dejado por el electrón removido de la órbita K tras una colisión electrón – electrón, puede ser ocupado por un electrón de cualquiera de las otras orbitas. Los vectores  $K_{\alpha}$  y  $K_{\beta}$ , son el resultado de completar la órbita K con un electrón de las orbitas L o M, (Figura 1.5)

Es posible que un átomo del blanco pueda emitir radiación  $K_{\alpha}$  mientras su vecino emite radiación  $K_{\beta}$ . Sin embargo es más probable, que la vacante en la capa K sea ocupada por un electrón de la capa L que por uno de la capa M; dando como resultado el vector  $K_{\alpha}$ .

Durante esta transición electrónica es imposible excitar la órbita K sin excitar las demás orbitas, por lo que en la órbita L se presenta el mismo efecto: un electrón es removido de la capa L y el lugar vacante es ocupado por un electrón de otra orbita externa.



Un valor elevado de voltaje aplicado al tubo de rayos X, garantiza la aceleración de electrones con mayor energía para lograr desprender electrones de las capas (K, L, M, etc.) y de esta forma producir fotones X.

Figura 1.5 Transición electrónica del átomo.

“El espectro total corresponde a la combinación del espectro continuo y del espectro de líneas (Figura 1.6). Este espectro es prueba fehaciente que, luego de una interacción de los electrones con el blanco, la cantidad de rayos X producida por efecto de frenado es muy superior a la producida por colisiones electrón-electrón.” (Dillenseger & Moerschel, 2012)

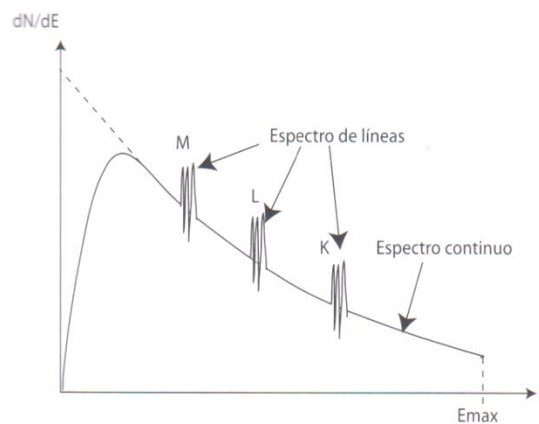


Figura 1.6 Espectro total de radiación X

### 1.3.2 Características de un haz de rayos X

“La expresión “haz de rayos X” reagrupa el conjunto de los rayos X producidos luego de la interacción de los electrones con un blanco metálico. El haz es de naturaleza poli energética pues contiene rayos X de diferentes energías” (Dillenseger & Moerschel, 2012). La energía total emitida depende de la tensión de aceleración de los electrones, del número de electrones incidentes y del número atómico del ánodo.

Una característica importante de los rayos X es que podemos hacerlos más penetrantes, esto con la finalidad de que se reduzca la atenuación resultante de su interacción con la materia. “Para hacer que el haz sea globalmente más penetrante, podemos:

- Aumentar la tensión de aceleración (V) de los electrones que impactarán el metal del ánodo, lo cual aumenta el umbral energético máximo del espectro.
- Agregar un filtro adicional a la salida del tubo con el fin de homogeneizar el haz, ya que de esta manera se eliminan los rayos X de baja energía (rayos blandos).

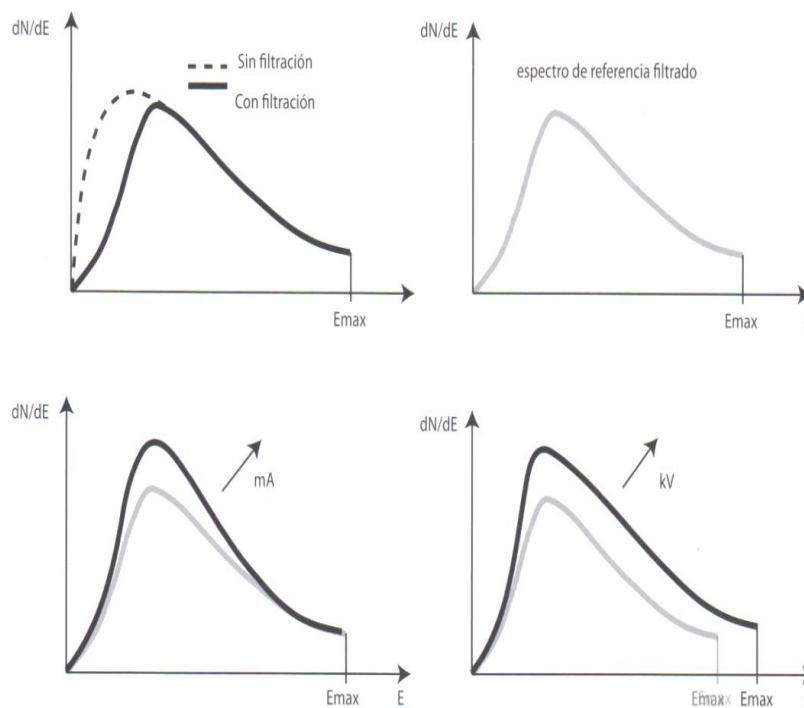


Figura 1.7 Efectos de la filtración, tensión de aceleración e intensidad de corriente en el filamento, sobre las características energéticas de haz de rayos X.

De este modo la reducción del número de fotones está compensada por una ganancia en la penetración del haz, lo cual se conoce como “endurecimiento” del haz. Es importante mencionar que el incremento de electrones incidentes ( $n$ ), ligado a la intensidad de corriente en el filamento del tubo, no aumenta la penetración del haz, solamente crece la cantidad de fotones X.”(Dillenseger & Moerschel, 2012) (Figura 1.7).

### 1.3.3 Interacción de los rayos X con la materia

“Durante su recorrido a través del medio, los rayos X son atenuados siguiendo una variación exponencial, decreciente. La “fluencia fotónica” (fotones/mm<sup>2</sup>), permite estimar esta atenuación que depende de:

- El flujo de fotones incidentes ( $F_0$ ), es decir, el número de fotones presentes por unidad de superficie (mm<sup>2</sup>) a la entrada del medio.
- La densidad del medio atravesado, es decir, su coeficiente de atenuación ( $\mu$ ) o de absorción, a mayor coeficiente mayor absorción del haz.
- El espesor ( $x$ ) del medio atravesado; a mayor espesor, mayor atenuación.” (Dillenseger & Moerschel, 2012) (Figura 1.8).

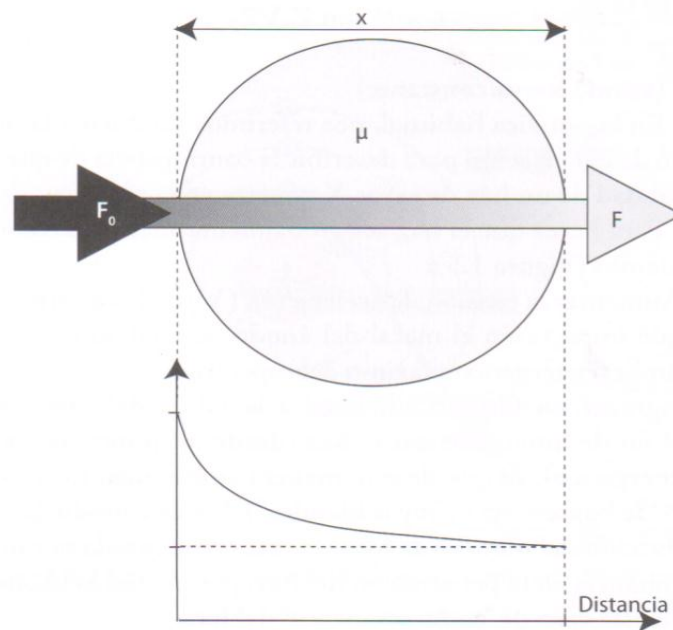


Figura 1.8 Atenuación de un haz monoenergético de rayos X en un material homogéneo.

Esta atenuación global de los rayos X se explica por las múltiples interacciones físicas elementales que experimenta el haz al atravesar la materia; las cuales, a continuación son clasificadas de acuerdo a la secuencia de aparición en función de la energía X incidente:



- El efecto fotoeléctrico.
- El efecto Compton.
- El efecto de difusión de Thomson-Rayleigh.
- El efecto de materialización.
- Las reacciones fotonucleares.” (Dillenseger & Moerschel, 2012)

A continuación se explican las interacciones, teniendo en cuenta que el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton son casi los únicos presentes en radiología.

“El efecto fotoeléctrico se produce cuando un fotón X cede toda su energía a un electrón del átomo. La transferencia de energía puede ocurrir sólo si la energía de unión del electrón involucrado es inferior a la del fotón X incidente. De este modo el átomo es ionizado, excitado y su vuelta al estado de equilibrio por reordenamiento electrónico se acompaña por la emisión de un fotón de fluorescencia. (Figura 1.9)

El efecto fotoeléctrico se ve favorecido en los medios densos tales como los huesos, las calcificaciones, etc.” (Dillenseger & Moerschel, 2012). Este efecto es el más buscado para la formación de la imagen radiológica.

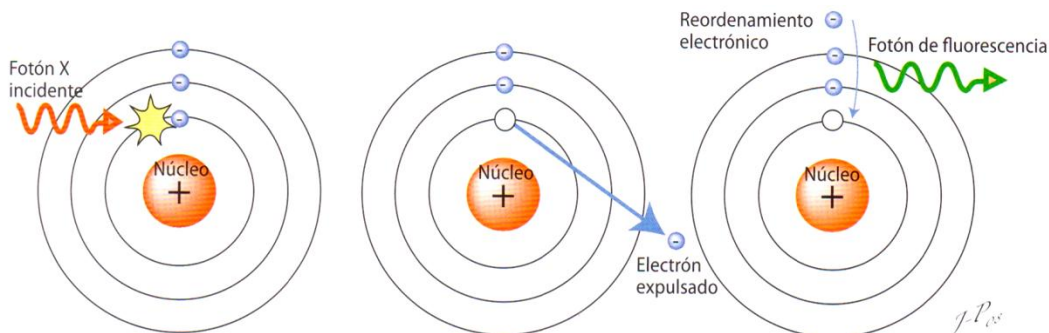


Figura 1.9 Principio del efecto fotoeléctrico.

“El efecto Compton resulta de la interacción entre un fotón incidente con energía incidente  $E_{INC}$  y un electrón del átomo, débilmente unido, cuya energía de unión es despreciable frente a  $E_{INC}$ . Con motivo de esta interacción, el fotón X incidente desaparece.

Una parte de su energía es cedida al electrón periférico que de este modo es expulsado, este electrón recibe el nombre de electrón Compton, mientras tanto la otra parte de su energía es transmitida como un nuevo fotón X, a este se le conoce como fotón dispersado o fotón de retroceso.”(Dillenseger & Moerschel, 2012)

Como se muestra en la Figura 1.10 las emisiones que se producen son:

- “Para los fotones dispersados, según un ángulo  $\theta$  (theta) formado entre las direcciones del fotón incidente y del fotón dispersado.
- Para el electrón Compton, según el ángulo  $\phi$  (phi) determinado por las direcciones del fotón incidente y del electrón Compton.” (Dillenseger & Moerschel, 2012)

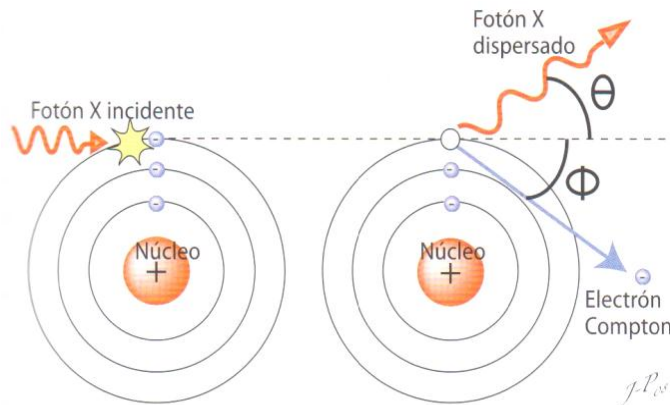


Figura 1.10 Principio de efecto Compton

“A mayor energía del fotón incidente, menores serán los ángulos  $\theta$  y  $\phi$ . Con las energías utilizadas en radiología, el efecto Compton prevalece en los medios de poca densidad (tejido adiposo, tejidos blandos, etc.)” (Dillenseger & Moerschel, 2012). Este efecto es considerado perjudicial para la calidad de la imagen.

“El efecto de Thomson-Rayleigh es un proceso puramente de dispersión. El fotón incidente es absorbido por el átomo del blanco, luego remitido en una dirección diferente, pero sin cambio de energía. Predomina para los fotones de baja energía (luz visible, infrarrojo, etc.) Esta emisión es despreciable para los fotones X o gamma.” (Dillenseger & Moerschel, 2012)

El efecto de materialización “está ausente en radiología clásica dado que se produce para fotones X muy energéticos ( $E_{INC} > 1,022$  MeV) que pasan próximos al núcleo. El fotón incidente se materializa bajo la forma de un electrón y de un positrón cada uno de igual masa y con la misma energía cinética.

Al final de su recorrido, el positrón se combina con un electrón en una reacción de aniquilación que da origen a dos fotones de 511 [keV] emitidos en direcciones opuestas.”(Dillenseger & Moerschel, 2012). (Figura 1.11)

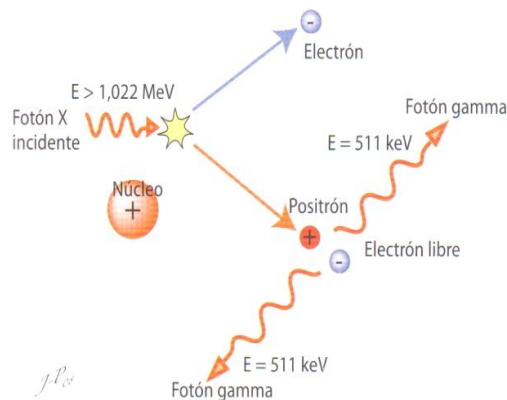


Figura 1.11 Formación de pares y aniquilación.

Las reacciones fotonucleares se presentan “cuando se bombardea un núcleo con fotones de muy alta energía (6 a 150 MeV) se pueden generar reacciones de fotofisión. Estas reacciones son producidas y estudiadas en los laboratorios de investigación y no intervienen en el ámbito del diagnóstico por imágenes.” (Dillenseger & Moerschel, 2012)

#### 1.3.4 Absorción de los rayos X en la materia

La absorción de los rayos X en la materia depende de los siguientes factores:

- Número atómico del material
- Densidad o concentración del material.
- Espesor del material.
- Longitud de onda de los rayos X.

La absorción que se presenta en un elemento o material depende del número atómico del mismo. Por ejemplo el tejido óseo está compuesto principalmente por calcio (Ca), elemento de número atómico elevado  $Z=20$ , por lo cual la absorción en los huesos es mucho mayor que en otras partes blandas del cuerpo humano; las cuales se estima tienen un número atómico promedio  $Z=7$ . Entre mayor sea el número atómico de un material, mayor será la absorción del haz de radiación.

La densidad de una sustancia es la cantidad de átomos contenidos por unidad de volumen. En el cuerpo humano existen órganos menos densos o que contienen aire como los pulmones o los intestinos, los cuales son atravesados fácilmente por los rayos X. A diferencia del tejido óseo donde la densidad de los huesos es casi dos veces la densidad de los tejidos blandos.

Otro factor importante es el espesor de la sustancia a través de la cual pasan los rayos X. Cuando el haz de rayos X monocromático sufre una atenuación del 50% en una capa de 1 centímetro de espesor, esto no significa que en el siguiente centímetro el haz será absorbido totalmente, sino que del haz restante la absorción será del 50%; por lo que después de 2 centímetros de espesor se tendrá el 25% del haz original y después del tercer centímetro se tendrá el 12.5% de la intensidad primaria. El factor de absorción es determinado para cada sustancia y se conoce como coeficiente de absorción, el cual indica la radiación absorbida en una capa de 1 centímetro de espesor.

Finalmente la longitud de onda de la radiación también es un factor de atenuación. Mientras más grande sea la longitud de onda de los rayos X, estos son absorbidos más fácilmente, lo que también se conoce como radiación blanda. Mientras que a menor longitud de onda del haz, mayor poder de penetración, a este tipo de radiación se le denomina radiación dura. Dependiendo del tipo de radiación dura o blanda, así como del coeficiente de absorción de cada sustancia se obtiene el contraste en la imagen de rayos X.

#### **1.4 EQUIPO DE RAYOS X**

El equipo de rayos X está compuesto por: el tubo de rayos X, consola de control, generador, columna de soporte de tubo, mesa y bucky de pared, los cuales participan conjuntamente para la obtención de imágenes radiográficas. Todos los componentes del equipo son de importancia, sin embargo los elementos más indispensables son el tubo y el generador. Ya que en el tubo se lleva a cabo la emisión de rayos X, mientras que el generador se encarga de suministrar el alto valor de kilovoltaje necesario al tubo; así como el voltaje de alimentación al resto de los componentes del equipo.

##### Tubo de rayos X

El tubo de rayos X tiene su fundamento en el tubo de Crookes, el cual consistía en un tubo de vidrio con débil vacío y iones positivos de gas al interior, los cuales eran atraídos hacia una placa metálica con carga negativa (cátodo) y cuya iteración provocaba el desprendimiento de electrones de este último y la atracción de ellos hacia la placa metálica con carga positiva (ánodo), de esta forma se obtiene un haz de electrones que produce fluorescencia dentro del tubo.

Los tubos de Crookes fueron durante más de veinte años el único medio tecnológico utilizado para generar rayos X pero eran frágiles y costosos. Fue hasta 1913 cuando el físico William David Coolidge creó el primer tubo de rayos X cuya concepción sigue presente en los tubos comercializados

actualmente. Al igual que en el tubo de Crookes el de Coolidge posee tres elementos básicos para la generación de los rayos X (Figura 1.12).

- Una fuente de electrones en el cátodo.
- Una elevada diferencia de potencial que permita acelerar los electrones en el vacío.
- Un blanco metálico que permita la generación de los rayos X.

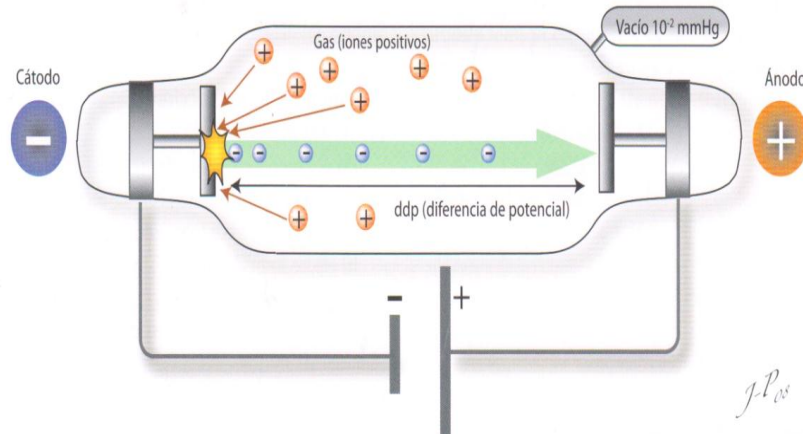


Figura 1.12 Principio histórico del tubo de Crookes.

“La fuente de electrones se obtiene por el efecto termoiónico de Richardson, el principio consiste en llevar un filamento a la incandescencia donde el calor acumulado es transmitido como energía cinética a los electrones libres del metal del filamento; gracias a este aporte de energía los electrones son expulsados del filamento y forman una nube electrónica alrededor de la espiras de dicho filamento.

Los electrones situados alrededor del filamento son atraídos hacia el blanco por una elevada diferencia de potencial que puede variar entre 40 y 150 [kV]. El filamento se comporta entonces como un cátodo y el blanco como un ánodo; entre mayor sea la diferencia de potencial mayor será la energía cinética, y la aceleración de los electrones será directamente proporcional a la energía de los rayos X (Figura 1.13).

La energía cinética se encuentra definida por la expresión:

$$E_{ce} = \frac{1}{2}mv^2 = eV$$

donde:

m: masa del electrón  $9.11 e^{-31}$ [Kg]

v: velocidad del electrón (al llegar al ánodo) [m/s]

e: carga del electrón  $1.6 e^{-19}$  [Coulomb]

V: Diferencia de potencial en [KV]

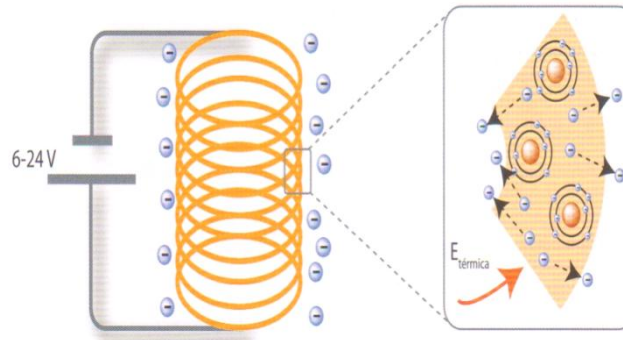


Figura 1.13 Efecto termoiónico y creación de una fuente de electrones.

El blanco cuyo objetivo es generar una brusca desaceleración de los electrones, debe ser de elevado número atómico y buen conductor de calor, ya que la pérdida de energía cinética de los electrones después del choque se transforma principalmente en calor (99%) y en rayos X (1%) por lo que el rendimiento de un tubo es considerablemente bajo.” (Dillenseger & Moerschel, 2012).

En la actualidad se ha perfeccionado el tubo de rayos X agregando distintos componentes a su estructura básica, con la finalidad de obtener mejores resultados en la calidad de la radiación y un mejor aprovechamiento de la energía necesaria para la generación del haz de rayos X. (Figura 1.14).

El cátodo está constituido por dos filamentos de tungsteno ( $Z=74$ ) en forma de espiral que poseen un elevado punto de fusión y elevado número atómico para constituir la fuente de electrones, la selección del filamento dependerá de la definición deseada, así como de la carga térmica utilizada. Adicionalmente se cuenta con una pieza de molibdeno ( $Z=42$ ) que: ayuda a impedir la deformación de los filamentos ocasionada por el calentamiento, determina la forma rectangular del foco térmico al incidir sobre el ánodo y contribuye a una mejor focalización de los electrones hacia el ánodo.

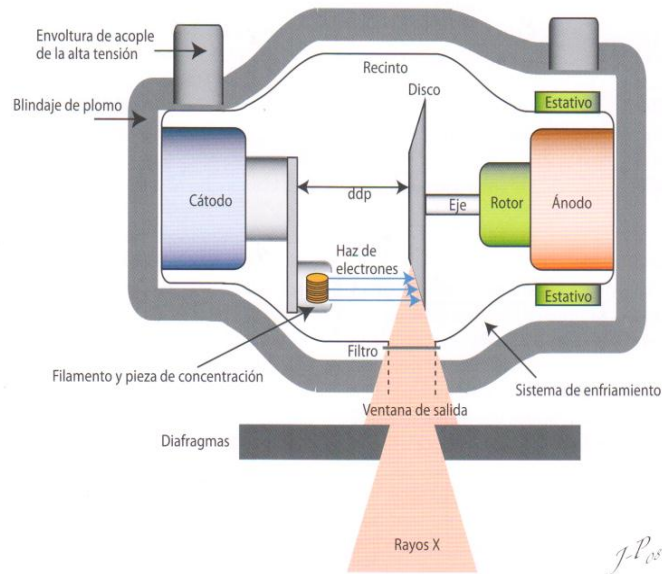


Figura 1.14 Principales elementos tecnológicos de un tubo de rayos X.

El ánodo debe tener un número atómico ( $Z$ ) elevado para favorecer la producción de los rayos X por efecto de frenado, así como una temperatura de fusión elevada por la intensa interacción electrónica y buena conducción térmica para disipar el calor rápidamente. Existen dos tipos de ánodos: el ánodo fijo, se fabrica en cobre y contiene en su centro una pastilla de tungsteno se utiliza en equipos de baja potencia como los de uso odontológico. Mientras que el ánodo giratorio está constituido por un rotor-estativo, encargado de proporcionar el movimiento de rotación entre 3000 y 12000 rpm durante la exposición, un eje de transmisión de molibdeno ( $Z=42$ ) que transmite el movimiento del rotor al ánodo asegurando el aislamiento térmico del rotor, un disco compuesto por una base de grafito y molibdeno, y una superficie de impacto de aleación de reno y tungsteno para garantizar una buena disipación térmica con una alta densidad. (Figura 1.15)

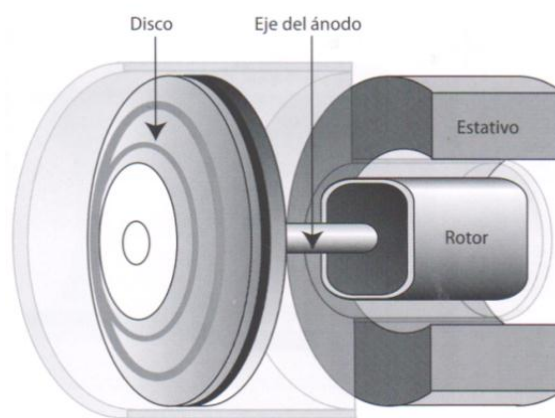


Figura 1.15 Elementos que constituyen un ánodo giratorio.

La ampollita de vidrio contiene los elementos principales (cátodo y ánodo), su finalidad es mantener un fuerte vacío y de esta forma garantizar que los electrones no colisionarán con otras moléculas y pueden obtener la energía necesaria para producir rayos X. Inicialmente fue construida de vidrio duro, actualmente se fabrica en vidrio pyrex o incluso de metal transparente a la radiación ya que debe resistir altas temperaturas.

Recordando que de esta energía aplicada al ánodo el 99% se convertirá en calor y solo el 1% restante se convertirá en radiación, resulta indispensable utilizar un medio para disipar la energía térmica de la ampollita, actualmente se utiliza aceite dieléctrico, el cual es enfriado al circular por canales, o dependiendo de la potencia del equipo por un sistema de ventilación.

Esta ampollita de vidrio está dentro de una coraza o funda con revestimiento de plomo con 3 a 5 [mm] de espesor, cuya función es aislar al ambiente de la alta tensión, el calor y la radiación X parasita. La funda posee una ventana o salida frente al ánodo destinada a permitir el paso de los rayos X; dicha ventana está compuesta por un filtro que permite homogenizar la energía del haz eliminando los fotones de menor energía. Para tensiones de 60 a 120 [kV] se sugiere un filtro de 2 [mm] de aluminio mientras que para tensiones mayores a 120 [kV] el filtro sugerido es de 2 [mm] de aluminio y cobre. Sin embargo existen diversos filtros adicionales sugeridos por los fabricantes y cada funda posee un filtraje propio en función de las aplicaciones del equipo.

Para garantizar una mejor calidad en la imagen, delimitar el campo de radiación rectangular y disminuir la cantidad de radiación dispersa para el paciente se utilizan diafragmas. Los cuales se sitúan frente a la ventana de salida por la parte exterior de la funda y con los cuales se delimita el campo de irradiación. También existen accesorios en forma cilíndrica o cónica introducidos a la salida de los diafragmas para limitar aun más el campo de exposición y radiación dispersa. (Figura 1.16)

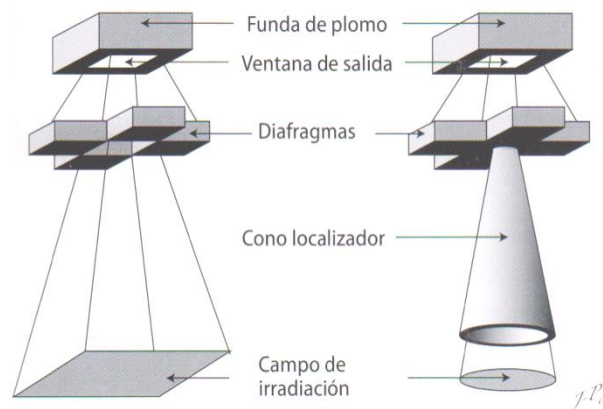


Figura 1.16 Diafragmas y cono localizador.



## Generador de rayos X

El generador radiológico agrupa a todos los circuitos electrónicos y eléctricos que alimentan al equipo. Suministra una tensión directa de gran magnitud al tubo de rayos X, para lo cual debe transformar la corriente alterna de baja tensión de la línea en corriente continua estable de alta tensión, regular el calentamiento del filamento del cátodo con el objetivo de controlar la producción de rayos X, determinar el tiempo de exposición y proteger al tubo mediante verificaciones constantes. El transformador del circuito de alta tensión es el que permite la obtención de una diferencia de potencial elevada y unidireccional con la finalidad de aplicarlo a un puente rectificador de alta tensión para obtener un voltaje directo. Mientras que el transformador de baja tensión controla la alimentación del filamento con el objetivo de regular la producción de rayos X.

El generador está incluido en un módulo electrónico conectado al tubo a través de los cables de alta tensión, los cuales están diseñados para soportar la alta diferencia de potencial que existe entre ellos incluso a distancias muy cortas. También cumple la función de determinar el tiempo de aplicación de la alta tensión o bien el tiempo de exposición, así como del funcionamiento y alimentación del par rotor-estator.

## Mesa basculable

Es el dispositivo donde el paciente se recuesta para la realización del estudio; en este tipo de mesas se logran ángulos de -15 a 90 grados en el plano horizontal, de esta manera se puede obtener la posición más adecuada para la realización del estudio.

## Bucky mural

Este dispositivo se utiliza para tomar radiografías con el paciente de pie o en posición vertical a diferentes alturas, comúnmente contiene una rejilla anti dispersora para lograr eliminar la radiación de fuga y dispersa para obtener una mejor imagen.

## Columna

La función principal de este dispositivo es trasladar y sostener al tubo de Rayos X en distintas posiciones, teniendo una amplia variedad en movimiento vertical, transversal, longitudinal y de angulación. Además cuentan con sistema de frenado mecánico o electromagnético para sostener el tubo en la posición deseada. En la actualidad existen dos tipos de columnas, cielítica y de piso-techo, las columnas cielíticas se instalaban sobre el techo de la sala de rayos X pero han entrado en desuso debido al peso y a la cantidad de espacio que ocupan; por otra parte las columnas de piso techo se desplazan por un riel

ubicado en el piso mientras que la parte superior de la columna se guía por un segundo rieles en el techo.

### Colimador

Es un dispositivo que permite definir el campo de irradiación, mediante un sistema de cortinillas de plomo que sirven para delimitar el haz de rayos X, complementado por un sistema de iluminación que identifica el área a irradiar. La función principal del colimador es permitir al operador visualizar el área a radiar y posicionar al paciente correctamente en la mesa del equipo.

## **1.5 RADIOLOGÍA**

### **1.5.1 Radiología en México.**

“Las primeras manifestaciones del uso de radiación en México datan del siglo XIX, esencialmente con el uso de rayos X para diagnóstico médico. Así lo demuestran las noticias existentes sobre la instalación en México de varias máquinas Roentgen.

El ingeniero potosino Luis Espinosa y Cuevas se encontraba en Alemania el 28 de diciembre de 1895, fecha en que Röntgen presentó los rayos X, descubiertos ese mismo año. En esa ocasión, Luis Espinosa adquirió una de esas novedosas máquinas y la llevó a San Luis Potosí a principios de 1896. En la misma entidad, el doctor Antonio F. López publicó en el periódico “El estandarte” el primer artículo sobre rayos X en México, el 25 de febrero de 1896 (Bulbulián: 1996: 6). El primer equipo de rayos X que existió en la Ciudad de México lo adquirió en 1896 el doctor Tobías Núñez para el Hospital Juárez y la primera radiografía se obtuvo el 28 de octubre de ese mismo año. También en la capital, se integró la Institución Médico-Eléctrica que ofrecía aplicaciones radiográficas y radioscópias, entre otros servicios. Como ocurrió con otras tantas actividades del país, el quehacer científico se aletargó con la Revolución Mexicana. No obstante, durante el IV Congreso Nacional de Medicina, en 1910, se presentó una exposición en la casa de E. Villain, donde se mostró un moderno equipo de rayos X. (Ibid: 7-8).

En los años cuarenta, el Memorial Hospital de Nueva York donó al Hospital General, uno de los hospitales más importantes de su época en México, 1.5 gramos de radio-226 para ser utilizado como una fuente de emanación de radón. Desde ese momento y hasta los años cincuenta la fuente se utilizó en la preparación de agujas de radio que se emplearían para tratamiento de tumores (Ibid: 15)”(nucleares).

El campo de la radiología en México ha progresado rápidamente, con avances sucesivos en áreas como la angiografía con catéter (década de 1950), medicina nuclear (década de 1960), ultrasonidos y tomografía computarizada CT (década de 1970), imágenes de resonancia magnética MR, tomografía por emisión de positrones PET y radiología intervencionista (década de 1980), CT multidetector y técnicas de RM ultra rápidas (década de 1990) e imagen funcional y molecular (en finales de 1990). La clasificación de las subespecialidades radiológicas puede basarse en órganos y en sistemas, en modalidades de imagen o en campos de subespecialidad. Algunas subespecialidades por sistemas orgánicos son neuroradiología, radiología musculoesquelética, radiología de mama, torácica, abdominal, gastrointestinal y genito urinaria. Una apropiada selección de las exploraciones diagnósticas es esencial para garantizar la mejor asistencia al paciente y para contener el gasto sanitario.

La radiología convencional sigue siendo una herramienta anatómica fundamental en la detección y diagnóstico de enfermedades, mediante la exploración de abdomen, pelvis, mamas y huesos; y continúa siendo utilizada en la evaluación inicial del paciente. El principal objetivo de la radiología es:

- Ratificar una sospecha o un diagnóstico.
- Hallar una patología.
- Como documento que da fe o rectifica.
- Para vigilar o dirigir los pasos de una intervención quirúrgica.
- Para conocer o vigilar la evolución de un tratamiento o terapia.
- Para conocer la localización, geografía o diseminación de tumores.
- Para conocer la extensión y localización en ciertas regiones.
- Para investigación científica.

### **1.5.2 Protección radiológica**

“La necesidad de establecer normas de protección contra los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes se hizo latente a los pocos meses de su descubrimiento. Como consecuencia del uso de las radiaciones ionizantes algunos trabajadores comenzaron a manifestar efectos nocivos. El análisis de estos efectos en un conjunto de radiólogos permitió establecer que la incidencia de cáncer en este grupo de trabajo era significativamente más alta respecto a otros médicos, lo que hizo evidente la peligrosidad de las radiaciones ionizantes y la necesidad de establecer normas específicas de radio protección”(Azorin & Azorin Vega, 2010).

“De esta forma, en 1925, se fundó la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas (ICRU) que es el organismo encargado de emitir las

recomendaciones para la adopción de las magnitudes y unidades radiológicas. En el periodo de 1953 a 1962, la ICRU desarrolló y presentó sus definiciones para las magnitudes de dosis absorbida, exposición, actividad y dosis equivalente, así como sus correspondientes unidades: el rad (rad), el roentgen (R), el curie (Ci), el rem (rem), el becquerel (Bq) y el gray (Gy) para la unidad de dosis absorbida.”(Juan & Azorin Vega, 2010)

Las medidas de protección se inician desde la planeación de los trabajos a desarrollar con las fuentes radiactivas, es decir desde la elección y diseño de las fuentes que se emplearán. La energía de la radiación no debe exceder a la necesaria para ejecutar el trabajo planeado.

El manejo de las fuentes radiactivas debe realizarse de tal forma que la dosis recibida por el personal sea la mínima. Para esto se deben utilizar manipuladores a distancia, blindajes y la reducción del tiempo de exposición. A continuación se describen algunas medidas de seguridad en la sala de rayos X con la finalidad de evitar la exposición innecesaria a la radiación.

### Barreras radiológicas

Para poder realizar el correcto diseño de barreras radiológicas se clasifica la radiación en dos tipos: radiación primaria y radiación secundaria. La radiación de mayor energía y por lo tanto la más peligrosa para el organismo es denominada como radiación primaria y se refiere al haz principal de rayos X. En protección radiológica es necesario que cualquier pared a la cual pueda ser dirigido el haz principal de rayos X este provista de una barrera protectora primaria.

La radiación primaria ayuda a generar el estudio de rayos X, por lo tanto, el paciente es quien recibe la mayor cantidad de este tipo de radiación. La radiación secundaria se produce cuando la radiación primaria choca con algún objeto, este choque produce la desviación del haz incidente y un cambio en su longitud de onda. La radiación secundaria a su vez se divide en radiación dispersa y radiación por fuga (Figura 1.17).

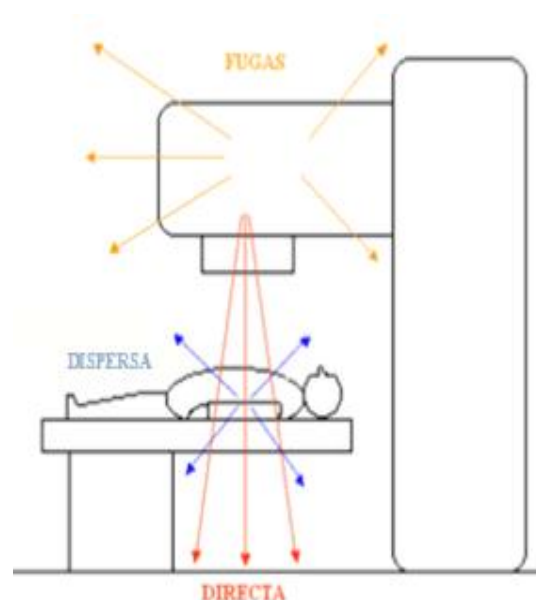


Figura 1.17 Radiación en la exposición.

Cuando el haz útil choca con el paciente se genera una radiación secundaria, la cual recibe el nombre de radiación dispersa. La intensidad de la radiación dispersa a 1[m] de distancia corresponde al 0.1% de la intensidad del haz primario, por lo cual la distancia resulta un factor significativo en seguridad radiológica. Adicionalmente existen elementos que contribuyen con la seguridad de médicos y técnicos radiólogos, como los chalecos y guantes plomados los cuales tienen la función de proteger las partes más vulnerables a la radiación ionizante.

Por otra parte la radiación de fuga es radiación secundaria que proviene directamente del tubo de rayos X y que no forma parte del haz útil. El tubo debe contar con una coraza o funda plomada para garantizar el blindaje radiológico, aunque existan fugas estas no deben superar los 100 [mR/h] a un metro de distancia desde la coraza del tubo.

En el diagrama de la figura 1.18 se muestran la clasificación de las radiaciones que se presentan durante la realización de un estudio con equipo de rayos X.

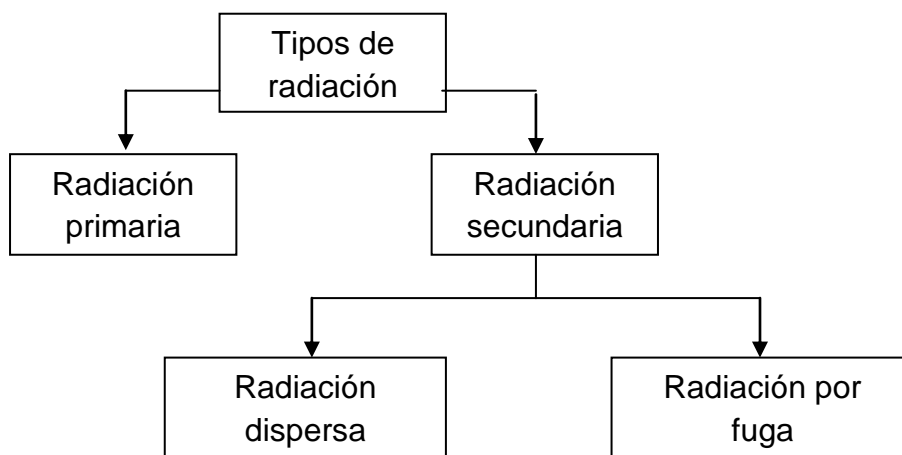


Figura 1.18 Clasificación de la radiación ionizante.<sup>2</sup>

Para garantizar la integridad de la salud del personal operativo y de los pacientes es necesario el uso de blindajes o barreras radiológicas en conjunto con otros dispositivos de protección radiológica.

El blindaje en una sala de rayos X se clasifica en dos categorías: el blindaje de la fuente que principalmente es la coraza o funda del tubo de rayos X y el blindaje estructural que se refiere al blindaje de la sala de radiodiagnóstico. El primero es proporcionado por el fabricante y comúnmente se encuentra conformado de plomo. Mientras el blindaje estructural debe diseñarse para la radiación primaria, la radiación de fuga y la radiación dispersa, por lo cual

<sup>2</sup> Elaboración propia con datos del libro *Protección radiológica*.

El diseño depende principalmente del tipo de equipo utilizado además de factores como el área de la instalación y la frecuencia de uso.

El blindaje estructural en una instalación de rayos X, está determinado principalmente por los siguientes factores:

- El kilovoltaje máximo al cual opera el tubo de rayos X
- La corriente máxima que soporta el tubo de rayos X
- La carga de trabajo (W)
- El límite de dosis equivalente (He)
- El factor de uso (U)
- El factor de ocupación (T)

El factor de ocupación (T) es el tiempo que el POE permanece en las áreas protegidas con respecto al tiempo total de uso del equipo (Tabla 1.1); el factor de uso (U) es el tiempo total de operación del equipo durante el cual el haz de rayos X se dirige hacia una barrera en particular, mientras que la carga de trabajo (W) es resultado del producto de la corriente del tubo [mA] por el tiempo que en que el tubo permanece energizado [min/semana].

En una sala de rayos X el cálculo del espesor del blindaje se realiza con base en las características del equipo y debe hacerse para cada una de las paredes que delimitan la sala incluyendo piso, techo, mamparas fijas o móviles y ventanas de observación.

**Tabla 1.1 Factor de ocupación<sup>3</sup>**

<b>Factor de ocupación (T)</b>	<b>Tipo de ocupación</b>	<b>Ubicación</b>
1	Ocupación total	Áreas de trabajo, laboratorios, oficinas, despachos, talleres, tiendas, zonas de recepción, pasillos anchos, cuartos oscuros, viviendas, zonas infantiles, colindancias externas de propiedad ajena.
1/4	Ocupación parcial	Pasillos estrechos, salas de espera, estacionamientos, elevadores con operador, sanitarios, vestidores.
1/6	Ocupación ocasional	Exteriores, cuartos de aseo, escaleras, elevadores automáticos.

<sup>3</sup> Tabla obtenida del libro *Protección radiológica*.

Para el cálculo de una barrera protectora primaria se toman en cuenta el factor de ocupación, la carga de trabajo y el factor de uso. De tal forma que podemos calcular la rapidez de dosis equivalente efectiva máxima, a cualquier distancia del tubo de rayos X.

El cálculo de una barrera secundaria se realiza en función del ángulo de dispersión, la energía del haz primario y el área dispersora. Para este tipo de barrera se debe calcular por separado el espesor requerido para la protección de la radiación dispersa y la radiación de fuga. Lo anterior se debe a que la radiación proveniente del paciente posee menor energía, y por lo tanto una rapidez de dosis equivalente efectiva menor que la radiación de fuga.

La capa hemirreductora es un término comúnmente utilizado en protección radiológica. El cual se define como el espesor de un determinado material que logra atenuar la rapidez de exposición a la mitad de su valor original en un punto de interés. El cálculo de la capa hemirreductora se obtiene de forma experimental para cada material y tipo de radiación, actualmente existen tablas que establecen las características de los distintos tipos de blindajes con base en los factores mencionados.

Comúnmente el blindaje de las salas de rayos X se realiza con láminas de plomo o concreto baritado, debido a que el espesor requerido es mucho menor que el de otros materiales. Sin embargo las barreras radiológicas pueden conformarse de distintos materiales, siempre y cuando se realicen los cálculos necesarios para determinar el espesor del blindaje y conseguir la atenuación de la radiación primaria y secundaria.

### **1.5.3 Efectos biológicos de la radiación**

La radiación ionizante y los elementos radiactivos siempre han formado parte de nuestro medio ambiente. Sin embargo debido a sus características no los podemos percibir con ayuda de nuestros sentidos.

La radiación de cierta energía puede ocasionar el efecto de ionización en la materia, el cual cambia la estructura de átomos y moléculas, y en consecuencia puede causar daños en las células. Si el daño celular ocurre, y no es reparado adecuadamente la célula puede morir o reproducirse con una mutación. La mayor parte de los órganos y tejidos del cuerpo no son afectados por la pérdida sustancial de células, pero sí el número de pérdidas es lo suficientemente grande se observará un daño reflejado, y después de un prolongado tiempo se verá la manifestación de una condición maligna probablemente cáncer.

Existen distintas formas en las que la radiación puede afectar a las células, la más preocupante es el daño que puede ser ocasionado al ácido

desoxirribonucleico (ADN). El daño al ADN impide la sobrevivencia o la correcta reproducción de las células, las cuales frecuentemente logran reparar los daños que sufren. Sin embargo si la reparación no es perfecta, la célula se ve modificada: dicha modificación se ve reflejada en mutaciones o muerte celular. En la Tabla 1.3 se muestran algunos de los efectos que pueden llegar a causar la radiación en los órganos.

**Tabla 1.3 Efectos en órganos humanos causados por la radiación<sup>4</sup>**

<b>Órgano sometido a radiación</b>	<b>Efecto causado</b>
Médula ósea y sangre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja en glóbulos blancos (leucopenia)</li> <li>• Disminución en el número de plaquetas</li> </ul>
Tubo digestivo (intestino delgado, estómago y esófago)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nauseas</li> <li>• Vomito</li> <li>• Ulceraciones</li> <li>• Muerte debido a la falla en absorción de alimentos</li> </ul>
Órganos reproductores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esterilidad</li> </ul>
Cerebro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daña los vasos sanguíneos y crea falta de irrigación</li> </ul>
Tiroides	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminución en la producción de la proteína tiroxina</li> </ul>
Ojo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inflamación aguda en la córnea y daño en cristalino produciendo cataratas</li> </ul>
Pulmones, hígado y riñones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se conoce efecto</li> </ul>
Piel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A altas dosis se corre el riesgo de cáncer.</li> </ul>

<sup>4</sup> Tabla de elaboración propia con datos del manual *Curso de protección radiológica para personal ocupacionalmente expuesto en instalaciones de radioinmunoanálisis, medicina nuclear y radioterapia*.



## ***CAPÍTULO 2***

### ***INSTALACIÓN ELÉCTRICA***

En la actualidad la energía eléctrica es un término muy común e importante en nuestra sociedad, sin embargo tal vez poco llegamos a conocer sobre su manejo y distribución. En este capítulo se expone el concepto de instalación eléctrica, así como los principales elementos que la conforman y el papel que cumple cada uno de ellos.

La instalación eléctrica es un factor elemental en el presente proyecto, ya que en gran medida de ella depende la calidad de operación del equipo. Una buena instalación eléctrica ya sea doméstica o industrial influye de forma positiva en la vida útil de cualquier dispositivo eléctrico. Por el contrario ante una mala instalación eléctrica el deterioro de los componentes eléctricos es inminente e incluso se puede dañar el equipo en su totalidad.

Por otra parte, no debemos olvidar que la energía eléctrica puede representar un riesgo para las personas. Existen dispositivos y sistemas en la instalación eléctrica que ayudan a generar un ambiente más seguro para los usuarios.

En el presente capítulo se incluye el levantamiento físico y funcional del área de trabajo con el propósito de obtener y exponer información puntual sobre el estado en que se encuentra la sala de rayos X No. 1 del Hospital Modelo.

## **2.1 INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y SUS ELEMENTOS**

Una instalación eléctrica es el conjunto de elementos necesarios para conducir, transformar y proporcionar de manera segura energía eléctrica, al igual que los elementos que la conforman. Algunas de las condiciones que debe cumplir son: ser eficiente, confiable, flexible, accesible y económica.

La eficiencia y buen funcionamiento de una sala de rayos X dependen en gran medida de la instalación eléctrica, debido a la gran cantidad de energía que se transporta del generador al tubo de rayos X. Las instalaciones eléctricas tienen diferentes elementos, los cuales permiten su operación. Dentro de estos elementos eléctricos encontramos: conductores, protecciones, canalizaciones, etcétera.

### **2.1.1 Conductores eléctricos en instalaciones eléctricas interiores**

Se denomina cable o conductor eléctrico al conjunto de hilos, que tienen la finalidad de conducir la corriente eléctrica de un punto inicial a un punto final. También existen cables desnudos y cables aislados, empleándose estos últimos en las instalaciones eléctricas interiores. “Estructuralmente, un conductor para instalaciones eléctricas interiores consta de las partes que se indican a continuación.

- 1) En la parte central están los “conductores” propiamente dichos, que son los elementos destinados a conducir la corriente; en casi todos los casos son de cobre o de aluminio. Cuando el hilo o el cable consta de un solo conductor o grupo de conductores, se denomina monoconductor y si incluyen dos o más conductores o grupo de conductores aislados entre sí se denomina policonductor o multiconductor.
- 2) Cada conductor lleva su propio aislamiento, destinado a aislarlo eléctricamente de los demás conductores.
- 3) El conjunto de conductores lleva muchas veces un aislamiento común, que se aplica sobre el primer aislamiento y que, generalmente es de la misma naturaleza que este.

Los huecos entre el primer y el segundo aislamiento se rellenan con un espesor aislante o material de relleno.

Los aislamientos y el material de relleno constituyen los recubrimientos aislantes del hilo o cable que tienen por objeto evitar perforaciones a causa del campo eléctrico que se genera entre los conductores y tierra. Además de estos

recubrimientos aislantes, los hilos o cables llevan distintos recubrimientos protectores que no tienen una función eléctrica sino que más bien están destinados a proteger el hilo contra esfuerzos mecánicos, efectos químicos, etcétera. Entre estos recubrimientos protectores se pueden citar:

- Las cubiertas: Evitan peligro de corrosión y otros agentes químicos
- Las envolturas mecánicas: Evitan el paso de la humedad
- Las armaduras: Protegen al hilo contra acciones mecánicas exteriores” (Ramírez, 1992)

Los materiales conductores empleados en instalaciones eléctricas interiores son cobre y aluminio.

El cobre tiene mejores propiedades eléctricas que el aluminio, por ello, actualmente se emplea casi exclusivamente en las instalaciones interiores. “Es un metal muy maleable de color rojizo, se puede someter a grandes deformaciones y estirarse en hilos sin romperse”(Ramírez, 1992). Sus propiedades físicas se muestran en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Propiedades físicas del cobre<sup>5</sup>**

Peso específico	8.9 g/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión	1083 °C
Resistividad	0.017 Ωmm <sup>2</sup> /m

“El cobre se presenta en el comercio de dos formas diferentes, denominadas cobre duro y cobre recocido. El cobre duro es el que se obtiene por trefilado esto quiere decir que es duro y resistente pero se trabaja con dificultad, por lo que, solamente se emplea en conexiones rígidas tales como tornillos, mordazas, etc. El cobre recocido se obtiene a partir del cobre duro, calentándolo en condiciones adecuadas para evitar indeseables oxidaciones, hasta temperaturas de 600 °C. Es blando y más dúctil que el cobre duro y se trabaja con mayor facilidad, pero tiene menor resistencia mecánica que el anterior; es el más utilizado en hilos y cables para instalaciones interiores.

El aluminio por su parte es un material maleable, dúctil y de color blanco plateado. Puede trabajarse fácilmente por laminación, estirado, fundición, forjado y mecanizado en máquinas.”(Ramírez, 1992) Sus propiedades físicas se encuentran en la tabla 2.2.

---

<sup>5</sup> Elaboración propia con datos del libro Instalaciones eléctricas interiores.

**Tabla 2.2 Propiedades físicas del aluminio<sup>6</sup>**

Peso específico	2.7 g/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión	660 °C
Resistividad	0.028 Ωmm <sup>2</sup> /m

Para poder realizar un estudio comparativo del cobre y el aluminio, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- El peso de un conductor de cobre es dos veces mayor que el de un conductor de aluminio, de las mismas características eléctricas.
- El aluminio tiene una resistividad 1.64 veces mayor que la del cobre.
- El aluminio es más económico que el cobre.

Por consiguiente, el aluminio parece preferible. No obstante hay que tener en cuenta que el volumen del aluminio es mayor que el del cobre, por lo que también se requiere un mayor peso de aislamiento, cubierta y armadura. Además de que la resistencia ante los agentes químicos es muy pobre; reacciona con facilidad con muchos ácidos aun débiles y en presencia de humedad produce corrosión lo que dificulta su empleo. El aluminio tiene la propiedad de que expuesto al aire se cubre de una delgada e invisible capa de óxido de aluminio que es impermeable y lo protege contra posteriores oxidaciones, se deforma al estar sometido a un esfuerzo prolongado durante mucho tiempo. Esto impide que pueda utilizarse en instalaciones interiores de viviendas ya que con estas condiciones no se puede asegurar la calidad de la instalación.

“Los conductores empleados en las instalaciones eléctricas deben estar aislados, antiguamente los conductores eléctricos se aislaban con hule conocido comercialmente como tipo R, actualmente se fabrican con aislantes de tipo termoplástico (T) con distintas denominaciones comerciales, según el tipo de fabricante, siendo los más conocidos por ser a prueba de agua entre otras propiedades los siguientes: tipo TW, vinanel 900, vinanel nylon, vulcanel EP, vulcanel XLP, THWN, RUW, TWD, THW, PILC, V, RHH. Cada tipo de conductor tiene propiedades específicas que lo diferencian de otros. En la selección de un conductor deben considerarse los agentes que lo afectan durante su operación y se pueden agrupar como:

- Agentes mecánicos
- Agentes químicos
- Agentes eléctricos

---

<sup>6</sup> Elaboración propia con datos del libro Instalaciones eléctricas interiores.

La mayor parte de los daños mecánicos que sufre un conductor se deben a agentes externos como son el desempaque, manejo e instalación que pueden afectar las características del conductor y producir fallas de operación, por lo que es necesario prevenir el deterioro por agentes externos usando las técnicas adecuadas de manejo de materiales e inserción de conductores a canalizaciones. Los principales agentes que pueden afectar mecánicamente a los conductores se pueden dividir en cuatro clases: “ (Enríquez, 1994)

- Presión mecánica
- Abrasión
- Elongación
- Dobleza a 180°

La presión mecánica se puede presentar durante el manejo de los conductores por el paso o colocación de objetos pesados sobre ellos. Su efecto puede ser la deformación permanente del aislamiento, disminuyendo el espesor del mismo y originando fisuras que pueden provocar fallas eléctricas futuras.

La abrasión es un fenómeno que se presenta normalmente al introducir los conductores a las canalizaciones, cuando estas están mal preparadas y contienen rebabas o bordes punzo-cortantes.

La elongación es un fenómeno que se presenta cuando existe más de dos curvas de 90° en una trayectoria unitaria de tubería o cuando se trata de introducir una mayor cantidad de conductores en la tubería de los permitidos. El cobre corre el riesgo de presentar elongación si se le aplica una tensión de mayor magnitud que la que la establecida en el diseño del conductor, lo cual puede provocar fallas latentes.

El doblez a 180° se presenta principalmente por el mal manejo del material. De tal forma que las moléculas del aislamiento se quedan sometidas a tensión, mientras que las moléculas en el interior se encuentran sometidas a compresión, este se conoce fenómeno como formación de “cocas”.

Un conductor puede verse expuesto a distintos agentes químicos que pueden originar diversos daños dependiendo del tiempo que permanezcan en contacto, y tipo de contaminante que se encuentre en el lugar de la instalación. Estos agentes químicos contaminantes se pueden clasificar en cuatro tipos generales que son:

- Agua o humedad
- Hidrocarburos
- Ácidos
- Alcalis

Por lo general no es posible eliminar en su totalidad los contaminantes en una instalación eléctrica, lo que hace necesario que los conductores eléctricos sean resistentes a ellos. Las fallas por agentes químicos en los conductores se manifiestan con disminución en el espesor del aislamiento, grietas con trazos de sulfatación incluso oxidación en el aislamiento. En la tabla 2.3 se indican las propiedades de los tipos de conductores ante ciertos contaminantes.

**Tabla 2.3 Resistencia de los conductores ante contaminantes<sup>7</sup>.**

TIPO COMERCIAL	ALCALIS	ACIDOS	HUMEDAD	HIDROCARBUROS
TW	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno
VINANEL 900	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno
VINANEL NYLON	Muy bueno	Excelente	Excelente	Inerte
VULCANELEP	Muy bueno	Muy bueno	Excelente	Regular
VULCANELXLP	Muy bueno	Muy bueno	Excelente	Regular

Desde el punto de vista eléctrico la característica principal de los conductores eléctricos de baja tensión se mide por la rigidez dieléctrica del aislamiento. La cual se expresa en [kV/mm] y determina las condiciones de operación, manteniendo la diferencia de potencial requerida dentro de los límites de seguridad. Además permite soportar sobrecargas transitorias e impulsos de corriente provocados por cortocircuito.

Por lo general la habilidad eléctrica de los aislamientos para conductores de baja tensión es del orden de 600 [V], que es la tensión máxima a que están especificados, por esta razón los conductores empleados en instalaciones eléctricas de baja tensión difícilmente fallan por causas meramente eléctricas, en la mayoría de los casos fallan por fenómenos térmicos provocados por sobrecargas.

<sup>7</sup>Características de resistencia de los conductores de baja tensión al ataque de agentes químicos obtenida del libro *El abc de las instalaciones eléctricas*

“Los calibres de conductores dan una idea del diámetro de los mismos y se designan usando el sistema americano de calibres (AWG) por medio de un número al cual se hace referencia para sus otras características como son diámetro, área, resistencia, etc.

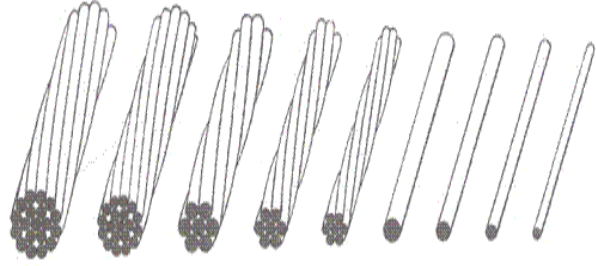


Figura 2.1 Calibre de conductores eléctricos

Es conveniente notar que en el sistema de designación de los calibres de conductores usados por la AWG, a medida que el número de designación es más grande, la sección disminuye.”(Enríquez, 1994) En la figura 2.1 se ilustra la variación de la sección transversal de los conductores sin aislamiento respecto al número de asignación. Para seleccionar el calibre de conductores para instalaciones eléctricas de baja tensión se deben cumplir ciertos requisitos como son:

- 1) Límite de tensión de aplicación.
- 2) Capacidad de conducción de corriente (ampacidad), que representa la máxima corriente que puede conducir un conductor para un calibre dado y que está afectada principalmente por los siguientes factores:
  - Temperatura.
  - Capacidad de disipación del calor producido por las pérdidas en función del medio en que se encuentre el conductor, es decir, aire o tubería conduit.
- 3) Máxima caída de voltaje de acuerdo con el calibre del conductor y la corriente que conducirá. Se debe respetar la máxima caída de voltaje permisible recomendada que corresponde al 3% desde el punto de alimentación al punto más distante de la instalación.

Los datos de los conductores de cobre usados en las instalaciones eléctricas se encuentran en tablas de fabricantes o bien en las normas para instalación eléctrica.

### 2.1.2 Canalizaciones eléctricas

Se entiende por canalizaciones eléctricas los dispositivos que se emplean en las instalaciones eléctricas que contienen a los conductores, de manera que queden protegidos contra deterioro mecánico y contaminación. Además de proteger las instalaciones contra incendios por arcos eléctricos que se presentan en condiciones de corto circuito. Los medios de canalización más comunes en las instalaciones eléctricas son:

- Tubos conduit
- Ductos
- Charolas

El tubo conduites un tipo de tubo (de metal o plástico) usado para contener y proteger a los conductores eléctricos usados en las instalaciones. Los tubos conduit metálicos pueden ser de aluminio, acero o aleaciones especiales; los tubos de acero a su vez se fabrican en los tipos pesado, semipesado y ligero distinguiéndose uno de otro por el espesor de la pared. (Figura 2.2).



Figura 2.2 Tubería conduit de pared delgada

La tubería conduit de acero pesado (pared gruesa) se encuentran en el mercado en forma galvanizada o con recubrimiento negro esmaltado. La superficie interior en estos tubos como en cualquiera de los otros tipos debe ser lisa para evitar daños al aislamiento o a la cubierta de los conductores, los extremos se deben escariar para evitar bordes cortantes que dañen a los conductores durante el alambrado. Este tipo de tubos se pueden emplear en instalaciones visibles u ocultas ya sea embebido en concreto o embutido en mampostería en cualquier tipo de edificios y bajo cualquier condición atmosférica.

La tubería conduit metálica de pared delgada se le conoce también como tubo metálico rígido ligero, su uso es permitido en instalaciones ocultas o visibles ya sea embebido en concreto o embutido en mampostería en lugares de ambiente seco no expuestos a humedad o ambiente corrosivo. No se recomienda su uso en lugares que durante su instalación o después de esta, quede expuesto a daño mecánico. Tampoco se debe usar directamente enterrado o en lugares húmedos o mojados, así como lugares clasificados como peligrosos. Estos tubos no deben hacer roscado para atornillarse a cajas de conexión u otros accesorios, de modo que los tramos se deben unir por medio de accesorios especiales.



### Tubería Conduit metálico flexible

La tubería conduit metálico flexible también se le conoce como “Greenfield”. Se recomienda su uso en lugares secos donde no esté expuesto a corrosión o daño mecánico, se puede instalar embutido en muro o ladrillos. El acoplamiento a cajas, ductos y gabinetes se debe hacer usando los accesorios apropiados según el objeto. Asimismo cuando su uso sea como canalización fija a muro se deben emplear para su montaje, abrazaderas, grapas o accesorios similares que no dañen al tubo. (Figura 2.3)



Figura 2.3 Tubería conduit metálico flexible

La tubería conduit de plástico rígido (PVC) cae dentro de la clasificación de los tubos conduit no metálicos, el tubo PVC es la designación comercial que se da al tubo rígido de Policloruro de Vinilo (PVC). Los tubos de polietileno también se encuentran dentro de la clasificación de tubos no metálicos. “El tubo rígido de PVC debe ser auto extingible, resistente al aplastamiento, a la humedad y a ciertos agentes químicos.

El uso permitido del tubo conduit rígido de PVC es en:

- Instalaciones ocultas
- Instalaciones visibles en donde el tubo no esté expuesto a daño mecánico
- En locales húmedos o mojados.

El tubo rígido de PVC no debe ser usado en las siguientes condiciones:

- En áreas que estén consideradas como peligrosas.
- Para soportar luminarias u otros equipos
- En lugares donde la temperatura del medio ambiente más la de los conductores no exceda los 70°C.”(Enríquez, 1994)

Los ductos son otro medio de canalización para conductores eléctricos que se usan solo en las instalaciones eléctricas visibles, debido a que no se pueden montar embutidos en pared o dentro de lazos de concreto. Se fabrican de lámina de acero en canales de sección cuadrada o rectangular. Los conductores se instalan dentro de los ductos en forma similar al caso de los tubos conduit. Sus ventajas en comparación con la tubería conduit son: ofrecer mayor espacio para alojar conductores y mejor aprovechamiento de la capacidad conductiva de los mismos, al tener una mejor disipación de calor. Su desventaja es que requieren mayor mantenimiento. Otras ventajas de los ductos son:

- Fácil de instalación.
- Facilidad y versatilidad para la instalación de conductores dentro del ducto, teniendo la posibilidad de agregar más circuitos a la instalación ya existente.
- Son 100% recuperables, cuando se modifican las instalaciones se pueden volver a usar.
- Fáciles de abrir y conectar derivaciones para alumbrado o fuerza.
- Ahorro de herramienta ya que no es necesario usar tarrajas, dobladora de tubo, etc.

El uso de charolas tiene aplicaciones parecidas a las de los ductos, con algunas limitantes propias de los lugares en que se hace la instalación. Con ellas se pueden realizar trayectorias muy específicas que son de gran utilidad en instalaciones eléctricas.

En cuanto a la utilización de charolas se dan las siguientes recomendaciones:

- Procurar alinear los conductores de manera que guarden siempre la misma posición relativa en todo el trayecto de la charola.
- En el caso de muchos conductores delgados es conveniente hacer amarres a intervalos.

### **2.1.3 Protecciones eléctricas**

Para lograr que una instalación eléctrica sea confiable debe estar dotada de una serie de protecciones que la hagan segura tanto para las personas que van a trabajar con ella, como para los elementos que las conforman y los equipos conectados a ella. Existen tres principales protecciones que hacen segura una instalación eléctrica.

- Protección contra cortocircuitos.
- Protección contra sobrecargas.
- Protección contra electrocución.

Las protecciones contra cortocircuitos son indispensables en una instalación eléctrica. “Un cortocircuito se denomina como la unión de dos conductores o partes de un circuito eléctrico con una diferencia de potencial o tensión entre si y sin ninguna impedancia entre ellos”(Martínez, 2006). Según la Ley de Ohm, cuando el valor de la impedancia es cero la intensidad de la corriente tiende a infinito, en la práctica la intensidad producida por un cortocircuito siempre queda amortiguada por la impedancia de los conductores, que aunque es de una magnitud muy pequeña nunca es cero. Al producirse un cortocircuito queda expuesta la integridad de los conductores, así como los equipos conectados a la instalación debido a la intensidad de la corriente que se genera y al calor producido debido al efecto Joule. Los dispositivos más empleados para la protección contra cortocircuito son:

- Fusibles.
- Interruptores termomagnéticos.

Los fusibles van colocados usualmente a la entrada del circuito a proteger para que al producirse un cortocircuito sea el primer dispositivo en fundirse e interrumpir el paso de la corriente eléctrica. El fusible suele ser un fino hilo o lámina de cobre o aleación de plata colocada dentro de un cartucho cerámico lleno de arena de cuarzo u otro material que evite la dispersión del material fundido.

Para una mejor protección de los diferentes tipos de circuitos que puede haber en una instalación existen fusibles para una misma intensidad de corriente que varían en la rapidez de fusión IF. Debido a la rapidez de fusión podemos encontrar tres tipos de fusibles:

- Fusibles rápidos.
- Fusibles lentos.
- Fusibles de acompañamiento.

Cada cartucho fusible tiene curvas particulares de fusión dadas por el fabricante, las cuales varían según el tipo de fusible. (Figura 2.4)

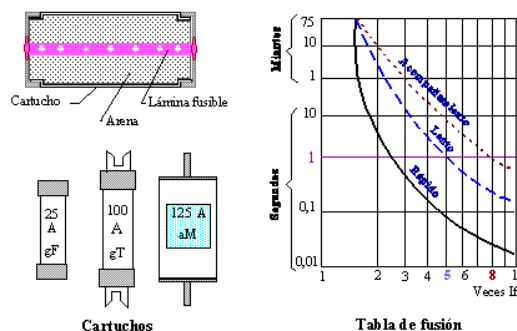


Figura 2.4 Tipos de cartuchos fusibles y curvas orientativas de fusión

Los interruptores termomagnéticos son dispositivos que se emplean para la protección contra sobre cargas y cortocircuitos, como una sustitución de los fusibles ya que tiene la ventaja de que no hay que reponerlos ya que se pueden reactivar de forma manual o eléctrica. Estos dispositivos se clasifican según el número de polos que poseen. Constan de un disparador magnético que por medio de una bobina actúa sobre el contacto móvil al existir un valor de sobre corriente, dicho contacto móvil interrumpe la conexión eléctrica y protege a la instalación contra cortocircuitos.

Por otra parte el protector térmico que se encuentra incluido en el mismo dispositivo, está formado por una lámina bimetálica que se deforma al ser calentada por un exceso de intensidad de corriente, aunque de forma más lenta logra también interrumpir la conexión eléctrica. Este elemento constituye la protección contra sobrecargas y su velocidad de desconexión es inversamente proporcional a la sobrecarga. Cuando la protección se activa debido a una sobrecarga se debe esperar a que la bilamina enfríe y cierre el circuito nuevamente. (Figura 2.5)

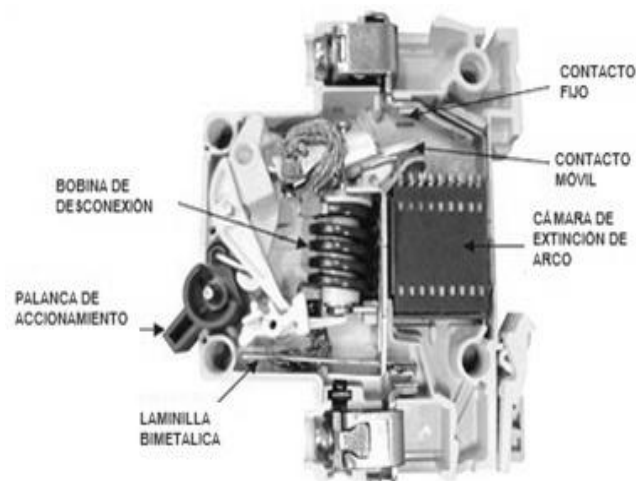


Figura 2.5 Estructura interna del interruptor termomagnético

Existen distintos tipos de interruptores termomagnéticos definidos por sus características de desconexión, como el tiempo y la intensidad de corriente por lo cual es necesario elegir el interruptor ideal tomando en cuenta las necesidades de la instalación.

Las protecciones contra sobrecargas son esenciales en las instalaciones eléctricas. “Una sobrecarga se define como el exceso de intensidad de corriente en un circuito, debido a un defecto de aislamiento o a una demanda excesiva del equipo conectado a la red eléctrica.”(Martínez, 2006) Las sobrecargas pueden dar lugar al deterioro o destrucción de los aislamientos de la instalación, de la red eléctrica o de cualquier otro dispositivo que se encuentre conectado a la misma. Los dispositivos eléctricos principalmente empleados para la protección contra sobrecargas son:

- Fusibles calibrados.
- Interruptores termomagnéticos.
- Relés térmicos.

Los dos primeros suelen emplearse en los circuitos domésticos, de alumbrado y para pequeños motores; mientras que para motores trifásicos se suelen emplear los relés térmicos.

Ya que hemos mencionado las principales protecciones eléctricas orientadas a la seguridad de la instalación, es importante mencionar los sistemas de protección eléctrica orientados a la seguridad de los usuarios. “Cabe mencionar que aunque los tipos de protecciones, pueden parecer independientes, solo en conjunto logran conformar un sistema de seguridad efectivo.”(Martínez, 2006)

Las protecciones contra electrocución son importantes debido a los efectos que una corriente eléctrica puede tener en el cuerpo humano. Los efectos y su gravedad varían según diversos factores como: la intensidad de corriente, el tiempo y tipo de contacto, así como las características fisiológicas de cada persona. A continuación se señalan algunos efectos graves que puede presentar el organismo al entrar en contacto con una corriente eléctrica.

- Paralización del musculo cardiaco.
- Atrofia de los músculos del tórax (asfixia).
- Carbonización o destrucción de los tejidos.
- Electrolisis de la sangre.

Aunque cada organismo reacciona de forma distinta ante una misma situación podemos decir que una corriente eléctrica comienza a ser peligrosa, cuando atraviesan el cuerpo humano más de 25 [mA] durante más de 0.2 [s]. Se ha comprobado que la impedancia del cuerpo humano, con piel sana y seca oscila entre 2,500[Ω] y 100,000[Ω] dependiendo de la tensión que se le aplique. La impedancia corporal varia además dependiendo de la humedad del ambiente, transpiración, presencia de heridas superficiales, masa corporal de la personas e incluso si el contacto es inesperado o no. Para realizar cálculos para las protecciones contra electrocución se considera la impedancia del cuerpo humano de 1,000[Ω].

Frente a los riesgos que implica la corriente eléctrica, la seguridad de las personas debe estar fundamentada en nunca estar sometidas a una tensión peligrosa, por tal motivo deben existir los medios necesarios para la protección contra electrocución. Las medidas de protección contra los contactos indirectos pueden clasificarse en dos grandes grupos:

**Clase A.** Dicha clase considera tomar medidas necesarias que eviten el riesgo mínimo de contacto con partes en tensión o susceptibles a estarlo. Los sistemas de protección en clase A son los siguientes:

- Separación de los circuitos por medio de transformadores o grupos de convertidores.
- Empleo de bajas tensiones.
- Separación entre partes activas y masas por medio de aislamientos.
- Inaccesibilidad simultánea de elementos conductores y masas.
- Recubrimiento de las masas con aislamientos de protección.
- Conexiones equipotenciales.

**Clase B.** Consiste en la puesta a tierra de las masas, asociándola a un dispositivo de corte automático que desconecte la instalación defectuosa, y para ello se emplean principalmente los siguientes tipos de protecciones:

- Puesta a tierra de masas.
- Interruptores o relés diferenciales.

Cabe mencionar que dichas protecciones son las más empleadas tanto doméstica como industrialmente, puesto que casi siempre se emplean redes de distribución con el neutro accesible y puesta a tierra.

La conexión o puesta a tierra es la unión eléctrica entre todos los elementos metálicos de una instalación y un electrodo de unión con tierra. (Figura 2.6). Usualmente se utiliza una varilla de cobre o hierro galvanizado enterrada en el suelo, con el fin de conseguir una perfecta conexión eléctrica entre los elementos metálicos y tierra, que a su vez ofrezca la menor resistencia eléctrica posible. Con esto se asegura que en la instalación no existan tensiones peligrosas entre sus elementos metálicos y tierra. Con la puesta a tierra se consigue que las corrientes de fuga tengan un camino que ofrezca la menor resistencia eléctrica, por lo tanto un camino más fácil que el que podría ofrecer el cuerpo humano al entrar en contacto con un elemento metálico expuesto a una diferencia de tensión.

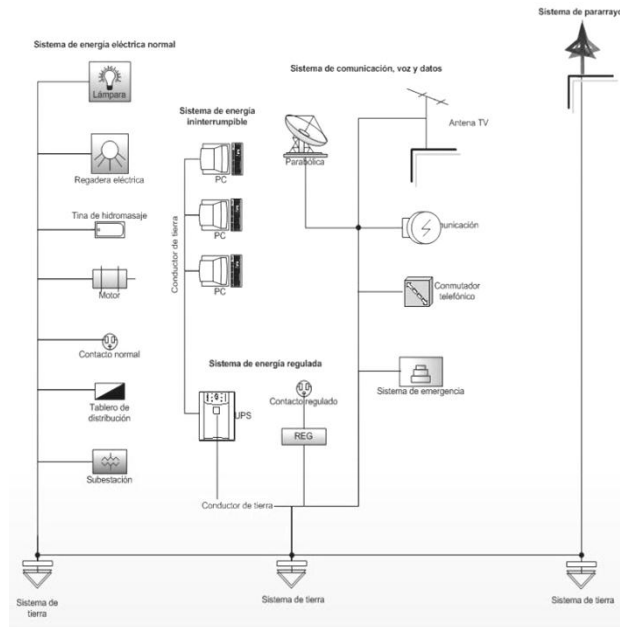


Figura 2.6 Sistema de puesta a tierra.

Tal como se aprecia en la figura 2.7, en las instalaciones industriales deben realizarse tomas de tierra independientes para los elementos metálicos de la instalación; para la conexión de neutros, transformadores de potencia y pararrayos.

En las instalaciones domésticas como en los edificios se deben conectar a la toma de tierra:

- Las instalaciones de pararrayos.
- Las instalaciones de antenas.
- Los receptáculos eléctricos y los elementos metálicos de dormitorios, baños y cocina.
- Las instalaciones de plomería, calefacción, gas, calderas, instalaciones de ascensores, montacargas y en general todo elemento metálico que pueda entrar en contacto con un cable de potencia o baja tensión.



Figura 2.7 Ruta de la corriente ante una falla en la conexión.

El tipo de conexión a tierra depende de la resistencia del terreno, el más empleado tanto doméstica como industrialmente se realiza utilizando cables desnudos y varillas de aproximadamente dos metros de longitud, enterradas verticalmente en el terreno. Para verificar que la conexión a tierra es eficiente se utiliza un óhmetro para verificar el valor de la resistencia que ofrece la conexión.

### 2.1.4 Iluminación

El sistema de iluminación está conformado por tres elementos principales: luminaria, lámpara y balastro los tres intervienen de forma significativa en la calidad de la iluminación de cualquier proyecto, por lo que resulta indispensable analizar cada uno de ellos.

Las lámparas son elementos encargados de proporcionar luz; existen distintos tipos de lámparas y se clasifican dependiendo de su principio de funcionamiento. La variedad tecnológica en lámparas es tan grande como la cantidad de aplicaciones y ha traído enormes ventajas en el aprovechamiento y ahorro de energía.

Las lámparas suelen estar montadas sobre armaduras o luminarias, provistas de sistemas de difusión y transmisión de muy diversas formas según el tipo de alumbrado deseado. De acuerdo con lo anterior podemos clasificar los sistemas de alumbrado según el modo de distribución de la luz que poseen. Estos sistemas son: directo, semidirecto, uniforme, semiindirecto e indirecto los cuales se encuentran normados internacionalmente. (Figura 2.8)






SISTEMA	FORMA TÍPICA DE LA ARMADURA	% DE LUZ DIRIGIDA AL TECHO	EFECTOS DE LA ILUMINACION
DIRECTO		0 a 10	Techo y paredes oscuras. Produce deslumbramiento.
SEMI DIRECTO		10 a 40	Buen aprovechamiento de la luz. Aún existe algo de deslumbramiento.
UNIFORME		40 a 60	Ausencia de deslumbramiento. Sombras medianas.
SEMI INDIRECTO		60 a 90	Prácticamente exenta de sombras y deslumbramiento.
INDIRECTO		90 a 100	Ausencia total de sombras y brillos molestos.

Figura 2.8 Efectos en el sistema de iluminación



La luminaria debe poseer ciertas características luminotécnicas como: resistencia, fácil montaje, facilidad para el cambio de lámparas y accesorios de protección contra la entrada de agua y polvo.

El sistema de alumbrado se compone de elementos que en conjunto proporcionan la calidad de la iluminación de un área como:

- Luminaria.
- Reflector.
- Difusor.
- Pantalla.
- Pantalla antideslumbrante.
- Vidrio de protección.
- Rejilla de protección.
- Difusor de rejilla.

Analizando la forma en la que la luz se genera podemos clasificar las lámparas, en tres tipos:

- Lámparas incandescentes.
- Lámparas fluorescentes.
- Lámparas de descarga en vapores o en gases.

Aunque las lámparas fluorescentes también son de descarga, siempre se consideran como un tipo muy particular de las mismas debido a su peculiar funcionamiento y a su extendida utilización. La potencia de todas las lámparas se debe expresar en watts [W].

Las lámparas incandescentes están formadas por un filamento de tungsteno que logra emitir luz mediante su incandescencia, para la emisión de luz se debe circular por el tungsteno una corriente eléctrica. Para que el filamento no se queme debido a las altas temperaturas que puede alcanzar, se coloca dentro de una ampolla de cristal cerrada al vacío o llena de un gas inerte. La vida promedio de las lámparas incandescentes oscila entre las 1,000 y 2,000 horas, son las de menor rendimiento lumínico ofrecen entre 9 y 16 [lm/W].

Las lámparas fluorescentes son fuentes luminosas que utilizan radiaciones energéticas, producidas por electrones en movimiento a través de vapor de mercurio. Una lámpara fluorescente está conformada por un tubo de vidrio, recubierto en su interior una sustancia fluorescente y dos pequeños filamentos de tungsteno en los extremos (recubiertos a su vez de óxidos de calcio, estroncio y bario). El tubo está lleno de un gas inerte, generalmente argón, conteniendo además una pequeña cantidad de vapor de mercurio. Los filamentos están rodeados por un anillo metálico encargado de dirigir el flujo de electrones longitudinalmente, y los óxidos que recubren los filamentos son

sustancias que fácilmente desprenden electrones al ser calentados. Al calentarse ambos filamentos debido al paso de una corriente eléctrica, empiezan a emitir electrones, los cuales chocan con los electrones periféricos de los átomos del vapor de mercurio, dando como resultado la producción de fotones ultravioleta, los cuales chocan con las sustancias fluorescentes que recubren el tubo de vidrio, transformándose en radiación visible para el ojo humano. El color de la luz emitida o bien su longitud de onda, dependerá de la sustancia o mezcla de sustancias que se encuentren en el recubrimiento interior del tubo.

El rendimiento de las lámparas fluorescentes es cuatro veces superior al de las lámparas incandescentes proporcionan entre 40 y 95 [lm/W]. Además pueden considerarse como fuente de luz fría ya que sus filamentos desprenden muy poco calor. Su arranque o encendido depende de un circuito arrancador o balastro que regula la tensión aplicada al tubo. Lo anterior debido a que el inicio de la emisión electrónica se realiza con un valor de sobretensión que debe disminuir cuando el mercurio se encuentra completamente gasificado.

Las lámparas de descarga logran producir un flujo luminoso, debido al paso de la corriente eléctrica a través de un gas o vapor. En realidad se puede considerar a las lámparas fluorescentes como lámparas de descarga, sin embargo esta clasificación incluye lámparas cuyas presiones internas sean mayores a 1 atmósfera, que no es el caso de las lámparas fluorescentes.

Toda lámpara de descarga está constituida principalmente por una ampollita de vidrio o cuarzo con varios electrodos. La ampollita contiene el gas de la descarga que puede ser neón, nitrógeno, argón, o bien una pequeña cantidad de metal que una vez gasificado produce el vapor de la descarga. Al igual que las lámparas fluorescentes, es necesario estabilizar la corriente una vez que ha encendido la lámpara. Las lámparas de descarga más empleadas actualmente son:

- Lámparas de vapor de mercurio.
- Lámparas de luz mezcla.
- Lámparas de vapor de sodio.

## 2.2 SALA DE RAYOS X No.1 ENHOSPITAL MODELO

En esta parte del capítulo se expone el estudio realizado a la sala de rayos X No. 1 en el Hospital Modelo, con el propósito de presentar las condiciones de la instalación eléctrica y analizar el área para su optimización.

Para cumplir con dicho objetivo se lleva a cabo un levantamiento físico y funcional del área, el cual consiste en obtener los requerimientos eléctricos de operación del equipo, el estado físico, las dimensiones de la sala además de los elementos presentes en ella.

Se verifica el sistema de iluminación, conductores, canalizaciones y protecciones eléctricas que se encuentran instalados; así como la presencia de agentes químicos, mecánicos o eléctricos que amenacen el estado físico y funcional de dichos dispositivos.

La sala de rayos X No.1 se encuentra en el área de imagenología y forma parte de un conjunto de cuatro salas destinadas para estudios con equipos de rayos X. La sala No. 1 destinada para estudios de tórax, cuenta con un área de 16.5 [m<sup>2</sup>] dividida por una mampara con vidrio emplomado, que funge como dispositivo de protección radiológica para técnico radiólogo y dos vestidores para uso de los pacientes. (Figura 2.9)



Figura 2.9 Sala de rayos X No.1

En la sala No. 1 se encuentran instalados los elementos que componen al equipo de rayos X, compuesto por: generador, bucky de pared, consola de control y columna de piso-techo, que sostiene al tubo de rayos X con su respectivo colimador. Estos elementos se encuentran interconectados de tal forma que permiten la generación de rayos X. Para una mejor apreciación de la arquitectura de la sala No. 1 se anexa el Plano No.1 del apéndice A.

Para poder evaluar la instalación eléctrica y la protección radiológica del área es necesario contar con las especificaciones y datos de placa de los componentes que integran al equipo de rayos X. Por lo cual se recaba la información de cada uno de ellos y se presenta en las tablas 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7. Mientras que en el apéndice A se encuentran los esquemas de cada componente del equipo con sus dimensiones físicas correspondientes.

**Tabla 2.4 Características físicas y técnicas del generador de rayos X<sup>8</sup>**

<b>Generador</b>	
<b>Características físicas</b>	<b>Características Técnicas</b>
Dimensiones: 136 [cm] x 40 [cm] x 40.5 [cm]	Marca: CMR
Estado físico: Buenas condiciones	Modelo: GMX 525 AF-II RF
	Voltaje de Operación: 480[VCA]
	Fases: 3
	Frecuencia: 60 [Hz]
	Potencia: 80 [kW]

**Tabla 2.5 Características físicas y técnicas del bucky de pared<sup>9</sup>**

<b>Bucky de pared</b>	
<b>Características físicas</b>	<b>Características Técnicas</b>
Dimensiones: 199 [cm] x 59 [cm] x 13 [cm]	Marca: CMR
Estado físico: Buenas condiciones con detalles en la pintura	Modelo: SBV-1
	Voltaje de Operación: 220 [VCA]
	Fases: 1
	Frecuencia: 60 [Hz]
	Corriente: 1 [A]

<sup>8</sup>Elaboración propia con datos del equipo instalado en sala de rayos X No.1. Ver plano 2 del apéndice A.

<sup>9</sup>Elaboración propia con datos del equipo instalado en sala de rayos X No.1. Ver plano 3 del apéndice A.

**Tabla 2.6 Características físicas y técnicas de la columna<sup>10</sup>**

Columna	
Características físicas	Características Técnicas
Dimensiones: 232 [cm] x 126 [cm]	Marca: CMR
Estado físico: Buenas condiciones con detalles en la pintura	Modelo: CP 360 –II
	Voltaje de Operación: 26 [VCD]
	Corriente: 1 [A]

**Tabla 2.7 Características físicas y técnicas del tubo de rayos X<sup>11</sup>**

Tubo de rayos X	
Características físicas	Características Técnicas
Dimensiones: 14 [cm] x 45 [cm]	Fecha de fabricación: Agosto 2003
Estado físico: Buenas condiciones	Tipo de tubo: RAD 68
	Modelo de coraza: Diamante
	Foco fino: 2.0
	Foco grueso: 1.0
	Máximo KVP: 150
	Estator : R

### 2.3 ALIMENTACION ELÉCTRICA EN LA SALA DE RAYOS X No. 1

La verificación de la instalación eléctrica se realiza consultando los planos eléctricos proporcionados por el Hospital Modelo (mostrados en apéndice B), los cuales incluyen los siguientes planos: el plano No.7 “Ingeniería eléctrica de alumbrado”, el plano No.8 “Ingeniería eléctrica receptáculos” y el plano No.9 “Ingeniería eléctrica receptáculos tensión regulada”. El plano que contiene la alimentación eléctrica para el generador de rayos X no existe, sin embargo se recabó la información necesaria para la creación del diagrama unifilar, correspondiente a la conexión eléctrica del generador de rayos X (Plano No.6).

#### Alimentación eléctrica al generador de rayos X en la sala No.1

La alimentación eléctrica para el generador de rayos X en la sala No.1 proviene de un tablero general ubicado en el patio trasero del Hospital Modelo. De dicho tablero parte un conductor trifásico con una tensión de 220 [V], que se enlaza con un interruptor termomagnético trifásico con una capacidad de interrupción

<sup>10</sup>Elaboración propia con datos del equipo instalado en sala de rayos X No.1. Ver plano 4 del apéndice A.

<sup>11</sup>Elaboración propia con datos del equipo instalado en sala de rayos X No.1. Ver plano 5 del apéndice A

de 125 [A], desde el cual se alimenta eléctricamente un transformador de elevación (380 – 480 [Vac]) con conexión delta-estrella trifásico de 75 [KVA].

Del devanado de 480 [V] se desprende un conductor trifásico que enlaza a un interruptor termomagnético con capacidad de interrupción de 100 [A]. De dicho interruptor se deriva un segundo conductor trifásico que alimenta eléctricamente al generador de rayos X. Debido a que no existe un plano del diagrama unifilar de la sala No.1, lo descrito anteriormente se investigó directamente en el área.

El tipo de conductor eléctrico que alimenta al generador es VINANEL 33.52 [mm<sup>2</sup>] (2 AWG), mientras que la protección eléctrica es un interruptor termomagnético marca Square D de tres polos con capacidad de interrupción de 100 [A]. Dichos conductores se encuentran contenidos en una canalización subterránea. El resto de los componentes del equipo de rayos X (bucky de pared, columna y tubo de rayos X) se encuentran alimentados eléctricamente por medio del generador. En la figura 2.10 se aprecian los conductores de alimentación eléctrica del generador.



Figura 2.10 Conductores eléctricos para el generador de rayos X.

La canalización que contiene a los conductores del generador es una tubería conduit galvanizada, pared gruesa y subterránea. Es importante señalar que no existe una canalización que continúe protegiendo a los conductores después de la tubería conduit mencionada y hasta la entrada de conexión al generador. Lo cual implica la exposición de los conductores al medio ambiente y el aumento de probabilidad de una falla eléctrica.

Por otra parte la canalización subterránea que contiene a los conductores encargados de alimentar al bucky de pared y a la columna del equipo, también carecen de tuberías adecuadas. Por lo que se observa la existencia de polvo y suciedad en los cables de alimentación, lo que representa una debilidad y

amenaza de la instalación eléctrica ya que en este tipo de zanjas permiten el estancamiento de líquidos exponiendo al equipo a una falla eléctrica (Figura 2.11)



Figura 2.11 Canalizaciones en la sala de rayos X No.1.

### Alimentación eléctrica para luminarias en sala de rayos X No.1

Actualmente la sala No.1 cuenta con ocho luminarias empotradas al plafón y una lámpara decolor rojo en la parte superior de la entrada principal, tienen la función de indicar la generación de radiación ionizante dentro del área. Dicha lámpara es un elemento de seguridad compuesto por un foco rojo de 25 [W] con un acrílico transparente conectado al tablero de emergencia (**TAB de Emergencia**). Las ocho luminarias que se encuentran dentro de la sala están compuestas por lámparas fluorescentes compactas de 26 [W] y difusores de acrílico. La distribución de las mismas es: seis luminarias dentro del área donde se realiza el estudio y una luminaria más por cada vestidor. La conexión eléctrica de cinco de ellas se realiza desde el tablero existente (**TAB.Existente**), mientras que las tres restantes están conectadas al tablero de emergencia (**TAB de Emergencia**). Lo descrito anteriormente se puede corroborar en el plano No. 7 “Ingeniería eléctrica de alumbrado” contenido en el apéndice B.

Los acrílicos presentan desgaste y una tonalidad amarilla debido a la continua exposición de la luz. Cabe mencionar que en el interior de las luminarias existen focos rojos de 40 [W], los cuales se encuentran fuera de operación. El control de encendido y apagado de las lámparas se realiza por medio de tres apagadores ubicados a la entrada de la sala sin embargo solo dos de ellos funcionan correctamente. Se hace hincapié que la ubicación de los apagadores no corresponde con lo señalado en el plano No.7 del apéndice B.

Además se detecta en el plano No.7 “Ingeniería eléctrica de alumbrado” que la sala de demostración y la sala de rayos X No.1 se encuentran conectadas a un mismo circuito eléctrico, esto implica que una falla eléctrica en el circuito deshabilitaría la iluminación en ambas áreas, lo cual se traduce dieciocho

luminarias fuera de servicio. Las luminarias instaladas en la sala No.1 se muestran en la figura 2.12.



Figura 2.12 Luminarias de la sala de rayos X.

En la tabla 2.8 se resume el conexionado de las luminarias en la sala No. 1 de rayos X del Hospital Modelo, con base al plano No.7 “Ingeniería eléctrica de alumbrado”. La tabla contiene los datos como: el tipo de luminaria, trayectoria eléctrica, número de conductores en la canalización y tensión suministrada. Esta tabla solo se considera el sistema conectado al tablero existente (**TAB.Existente**) mientras que en la tabla 2.9 se considera el sistema conectado al tablero de emergencia (**TAB.Emergencia**).

**Tabla 2.8 Conexión de luminarias en la sala de rayos X No.1 conectadas al tablero eléctrico (TAB. Existente)<sup>12</sup>**

Luminaria	Tipo de luminaria instalada	Trayectoria eléctrica	No. de conductores	Canalización	Tensión
L1	Luminaria con lámpara fluorescente compacta 1T-26W, 4100°K de temperatura de color con balastro electrónico.	De tablero eléctrico existente ( <b>TAB. Existente</b> ) a L1.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-12AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit galvanizado, pared gruesa de 16mm (1/2”).	127 [V].
L2	Luminaria con lámpara	De L1 a L2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-12AWG</li> </ul>	Tubería	127 [V].

<sup>12</sup> Tabla de elaboración propia con datos del plano eléctrico No. 7 “Ingeniería eléctrica de alumbrado”



	fluorescente compacta 1T-26W, 4100 °K de temperatura de color con balastro electrónico.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1-12 d</li> </ul>	conduit galvanizado, pared gruesa de 16mm (1/2").	
L3	Luminaria con lámpara fluorescente compacta 1T-26W, 4100 °K de temperatura de color con balastro electrónico.	De L2 a L3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-12AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit galvanizado, pared gruesa de 16mm (1/2").	127 [V].
L4	Luminaria con lámpara fluorescente compacta 1T-26W, 4100 °K de temperatura de color con balastro electrónico.	De L3 a L4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-12AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit galvanizado, pared gruesa de 16mm (1/2").	127 [V].
A1	Interruptor de tecla tipo sencillo 1 polo, 1 tiro, 15[A].	De L4 a A1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-12AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit galvanizado, pared gruesa de 16mm (1/2").	120 [V].
L5	Luminaria con lámpara fluorescente compacta 1T-26W, 4100 °K de temperatura de  Color con balastro electrónico.	De L2 a L5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-12AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit galvanizado, pared gruesa de 16mm (1/2").	127 [V].

A2	Interruptor de tecla tipo sencillo 1 polo, 1 tiro, 15[A].	De L5 a A2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-12AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit galvanizado, pared gruesa de 16mm (1/2").	120 [V].
----	---	------------	---	---	----------

**Tabla 2.9 Conexión de luminarias en la sala de rayos X No.1 conectadas al tablero eléctrico (TAB. Emergencia)<sup>13</sup>**

Luminaria	Tipo de luminaria instalada	Trayectoria eléctrica	No. de conductores	Canalización	Tensión
LE1	Luminaria con lámpara fluorescente compacta 1T-26W, 4100 °K de temperatura de color con balastro electrónico.	De tablero de emergencia "TAB. Emergencia" a luminaria LE1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-12AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit galvanizado, pared gruesa de 16mm (1/2").	127[V].
LE2	Luminaria con lámpara fluorescente compacta 1T-26W, 4100 °K de temperatura de color con balastro electrónico.	De luminaria LE1 a luminaria LE2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-12AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit galvanizado, pared gruesa de 16mm (1/2").	127 [V].
LE3	Luminaria con lámpara fluorescente compacta 1T-26W, 4100 °K de temperatura de color con balastro electrónico.	De luminaria LE2 a luminaria LE3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-12AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit galvanizado, pared gruesa de 16mm (1/2").	127 [V].
A3	Interruptor de tecla tipo sencillo 1 polo, 1 tiro, 15[A].	De luminaria LE2 a apagador A3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-12AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit galvanizado, pared gruesa de 16mm (1/2").	127 [V].

<sup>13</sup> Tabla de elaboración propia con datos del plano eléctrico No. 7 "Ingeniería eléctrica de alumbrado"

L4E	Luminaria con foco rojo incandescente de 40 [W].	De luminaria L2E a luminaria LE4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-12AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit galvanizado, pared gruesa de 16mm (1/2").	127 [V].
-----	--	----------------------------------	---	---	----------

#### Alimentación eléctrica a receptáculos en la sala de rayos X No.1

Teniendo como base los planos de alimentación eléctrica a receptáculos del primer piso del área de imagenología del plano No.8 “Ingeniería eléctrica receptáculos” y No. 9 “Ingeniería eléctrica receptáculos tensión regulada”, se obtienen las tablas 2.10, 2.11 y 2.12. Las cuales contienen un resumen de la alimentación eléctrica a receptáculos de la sala No. 1, donde tenemos 3 tipos de receptáculos: receptáculos monofásicos polarizados con puesta a tierra, receptáculos monofásicos polarizados con puesta a tierra de emergencia y receptáculos monofásicos polarizados con puesta a tierra aislada que se identifican por ser de color naranja (tensión regulada).

**Tabla 2.10 Conexión de receptáculos en la sala de rayos X No.1 conectados al tablero eléctrico (TAB Existente).<sup>14</sup>**

Receptáculo	Tipo de receptáculo	Trayectoria eléctrica	No. de conductores	Canalización	Tensión
R1	Monofásico doble polarizado con puesta a tierra, grado comercial	Parte de un tablero existente “ <b>TAB. Existente</b> ” a receptáculo R1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-10 AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit pared gruesa. subterránea de 16 mm (1/2")	127 V
R2	Monofásico doble polarizado con puesta a tierra, grado comercial	De R1 a R2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-10 AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit pared gruesa. subterránea de 16 mm (1/2")	127 V

<sup>14</sup> Tabla de elaboración propia con datos del plano eléctrico No. 8 “Ingeniería eléctrica de receptáculos”

R3	Monofásico doble polarizado con puesta a tierra, grado comercial	De R1 a R3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-10 AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit pared gruesa. subterránea de 16 mm (1/2")	127 V
----	--	------------	--	--	-------

**Tabla 2.11 Conexión de receptáculos en la sala de rayos X No.1 conectados al tablero eléctrico (TAB Emergencia)<sup>15</sup>**

Receptáculo	Tipo de receptáculo	Trayectoria eléctrica	No. de conductores	Canalización	Tensión
RE1	Monofásico doble polarizado con puesta a tierra, grado comercial. Receptáculo de emergencia	Parte de un tablero existente <b>"TAB. Emergencia"</b> al receptáculo RE1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-10 AWG</li> <li>• 1-12 d</li> </ul>	Tubería conduit pared gruesa. subterránea de 16 mm (1/2")	127 V

**Tabla 2.12 Conexión de tensión regulada en la sala de rayos X No.1 conectados al tablero eléctrico (TAB ATR)<sup>16</sup>**

Receptáculo	Tipo de receptáculo	Trayectoria eléctrica	No. de conductores	Canalización	Tensión
RATR	Monofásico doble, polarizado con puesta a tierra aislada, color naranja	Parte de un tablero eléctrico <b>"TAB. ATR"</b> al receptáculo RATR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-10 AWG</li> <li>• 1-12 d</li> <li>• 1-10 TFV</li> </ul>	Tubería conduit pared gruesa. subterránea de 16 mm (1/2")	127 V

<sup>15</sup> Tabla de elaboración propia con datos del plano eléctrico No. 8 "Ingeniería eléctrica de receptáculos".

<sup>16</sup> Tabla de elaboración propia con datos del plano eléctrico No. 8 "Ingeniería eléctrica de receptáculos".

## Tableros eléctricos de la sala de rayos X No.1

En el pasillo del área de imagenología existen tres tableros eléctricos. El primero corresponde al tablero (**TAB. Existente**), el segundo al tablero de emergencia (**TAB. Emergencia**) mientras que el tercero al tablero (**TAB. ATR**). Es importante mencionar que los planos eléctricos que muestran los cuadros de cargas no fueron proporcionados por el Hospital Modelo. Por ende es necesario realizar el análisis con base en los planos No. 7, 8 y 9 del apéndice B. Considerando que cada circuito está conectado a una pastilla termomagnética ubicada dentro del tablero correspondiente.

Interpretando los planos eléctricos No. 7, 8 y 9, se encontró que el tablero existente (**TAB. Existente**), contiene los circuitos (A7) para luminarias y (A6) para receptáculos, en el tablero de emergencia existente (**TAB. Emergencia**), contiene los circuitos (AE11) para luminarias de emergencia y el circuito (AE2) para receptáculos de emergencia y finalmente se cuenta con el tablero de tensión regulada (**TAB. ATR**), que contiene al circuito (ATR2) para receptáculos de tensión regulada. En la figura 2.13 se muestra la ubicación física de los tableros mencionados.



Figura 2.13 Tableros eléctricos del área de radiodiagnóstico.

## 2.4 PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN LA SALA DE RAYOS X No.1.

La protección radiológica en una la sala de rayos X resulta de suma importancia para la seguridad de pacientes y trabajadores. Durante la verificación de la sala No. 1 se encontraron elementos que resultan necesarios para la preservación de la salud.

Los elementos presentes en el área que aseguran la protección de operarios y pacientes son: señalizaciones(ubicadas dentro de la sala de estudio), dispositivos externos que brindan una protección ante la radiación (mandiles, protectores de gónadas, protectores de tiroides, guantes, etc.), elementos estructurales conformados por los blindajes de la sala de rayos X, vidrio plomado y mampara. En conjunto contribuyen en la construcción de un área segura para la realización de estudios radiográficos.

### Acceso a la sala de rayos X No.1

El acceso a la sala de rayos X es a través de una puerta con recubrimiento de plomo, la cual evita que la radiación ionizante producida por el equipo atraviese hacia otras áreas. Evitando la contaminación del área de imagenología, así como la exposición innecesaria del personal hospitalario.

En la entrada de la sala No.1 de radiodiagnóstico se encontraron dos letreros:el primero con la leyenda de “RADIACIONES, zona controlada” y el segundo con la leyenda “Cuando la luz este encendida solo puede ingresar personal autorizado”. (Figura 2.14)



Figura 2.14 Puerta de acceso a la sala No. 1 de rayos X.

## Vidrio plomado

El vidrio plomado es un elemento esencial para cualquier sala de diagnóstico con rayos X, ya que proporciona protección contra la radiación ionizante y permite la visibilidad del paciente al operador del equipo durante la realización del estudio. Debe cumplir con el blindaje requerido para el tipo de barrera que represente, primaria o secundaria dependiendo de su ubicación dentro de la sala, así como de las características del tubo de rayos X, máximo voltaje y corriente de operación.

El vidrio instalado en el área de estudio posee las siguientes dimensiones: 35[cm] de largo, 35[cm] de ancho, con un espesor equivalente de 0.5 [mm] de plomo, medidas que resultan apropiadas para la visualización del paciente. El vidrio se encuentra empotrado sobre una mampara detablaroca y lamina de plomo, la cual constituye un elemento estructural de protección radiológica.

Cabe señalar que la mampara no se encuentra ubicada como se muestra en los planos proporcionados por el Hospital Modelo del apéndice B y su ubicación actual es frente a los vestidores, como se muestra en el plano No.1 "Plano arquitectónico" contenido en el apéndice A.(Figura 2.15)

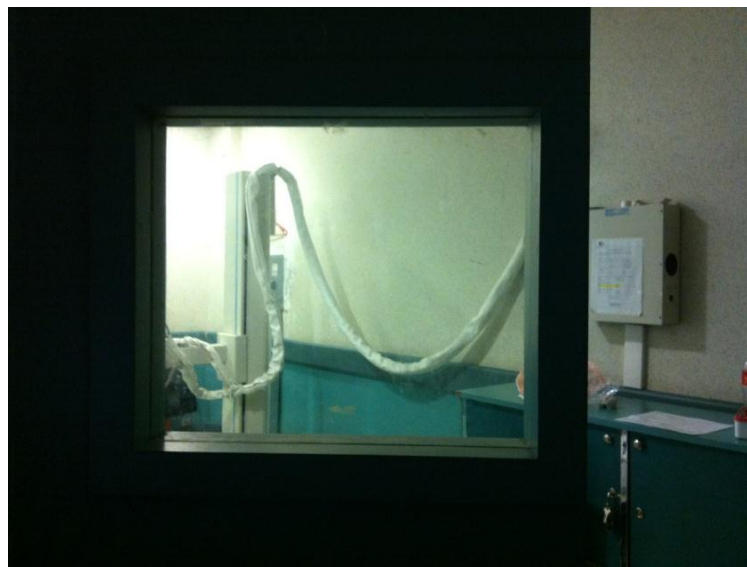


Figura 2.15 Vidrio plomado en la sala de rayos X No.1



### Interior de la sala

La sala está delimitada por cuatro muros de concretobaritado, que forman parte importante para la protección radiológica necesaria, mientras que las puertas de los vestidores y acceso a la sala se encuentran compuestas por tablaroca y lámina de plomo. Dentro del área se encontraron elementos que no pertenecen al equipo de rayos X, estos dificultan la correcta operación y funcionamiento del mismo.

### Señalizaciones

Las señalizaciones tienen como objetivo proporcionar información de fácil identificación mediante el uso de colores brillantes para prevenir accidentes o riesgos. Son empleadas para proporcionar la localización de refugios o salidas y señalar zonas de seguridad o de alto riesgo según sea el caso. La sala de rayos X No.1 del Hospital Modelo cuenta con las señalizaciones que se muestran en la tabla 2.13. La tabla contiene la ubicación de la señalización, el significado de la misma y la imagen que la representa.

**Tabla 2.13 Señalizaciones presentes en la sala de rayos X No.1**

Ubicación de la señalización en la sala de rayos X No.1	Significado de la señalización	Simbología
En los tableros eléctricos, (fuera de la sala de rayos X)	Señal de precaución ante un valor de alto voltaje	
En un muro fuera de la sala de rayos X	Señal de ruta de evacuación	
En un muro fuera de la sala de rayos X	Señal de ruta de evacuación ante derrame o exposición de residuos peligrosos biológico infecciosos	
En l puerta de entrada a la sala de rayos X	Símbolo internacional de precaución ante un área expuesta a radiación	
En la puerta de entrada la sala de rayos X	Señal de precaución ante un área expuesta a radiación	
No se encuentra instalado dentro de la sala de rayos X	Señal de precaución ante un área expuesta a radiación	
No se encuentra instalado dentro de la sala de rayos X	Señal de precaución ante un área expuesta a radiación	
En sala de espera	Señal de precaución ante un área expuesta a radiación	

## ***CAPÍTULO 3***

### ***ANÁLISIS DEL ÁREA CON BASE EN LA NORMATIVIDAD OFICIAL***

El objetivo del presente capítulo es exponer de forma clara y puntual las principales características que debe cumplir una sala de rayos X, según las Normas Oficiales Mexicanas. Para lo cual se ha realizado un análisis de los artículos de las normas que involucran a los equipos de rayos X y áreas de atención a la salud.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) integran los parámetros necesarios para la correcta construcción, operación y conservación de las instalaciones eléctricas, obra civil, operación de telecomunicación, entre otras muchas más, con la finalidad de mejorar la calidad en la infraestructura y la calidad de servicios en nuestro país.

Las normas oficiales se encuentran en constante actualización y en ocasiones se integran en una nueva norma después de cierto tiempo, como el caso de las NOM-156-SSA1-1996, NOM-146-SSA1-1996, NOM-147-SSA1-1996 que fueron integradas y sustituidas por la NOM-229-SSA-2002. Esta norma de la Secretaría de Salud reúne los requisitos técnicos, responsabilidades sanitarias, especificaciones técnicas para los equipos y protecciones radiológicas en establecimientos de diagnóstico médico con rayos X.

Por otra parte las instalaciones eléctricas se encuentran reguladas por la NOM-001-SEDE-2012, que señala las características con las que debe de contar cualquier instalación eléctrica y sus particularidades según su utilización. Esta Norma Oficial Mexicana es la actualización de la NOM-001-SEDE-2005.

Adicionalmente se consultaron las guías técnicas del IMSS y las Normas Básicas de Seguridad (NBS), emitidas por la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), con el propósito de obtener un panorama completo sobre la normatividad en las instalaciones de una sala de rayos X.

### 3.1 INSTALACIÓN ELÉCTRICA CON BASE EN LA NORMATIVIDAD OFICIAL

Para verificar la actual instalación eléctrica de la sala de rayos X es necesario basarnos en la NOM-001-SEDE-2012, ya que los artículos que la conforman proporcionan elementos para el cálculo de conductores eléctricos y protecciones, con el objetivo de minimizar los peligros ante el uso de energía eléctrica.

Para la verificación de la instalación eléctrica se realiza el cálculo de conductores eléctricos, conductor de puesta a tierra, interruptor termomagnético y canalizaciones para las luminarias instaladas, receptáculos instalados y según los requerimientos de alimentación para el equipo de rayos X. Lo anterior con la finalidad de comparar los resultados obtenidos con lo indicado en los planos eléctricos proporcionados por el Hospital Modelo.

#### 3.1.1 Cálculo de luminarias

##### Cálculo del conductor eléctrico para luminarias conectadas al sistema para equipos.

La sala cuenta con 5 luminarias conectadas al sistema para equipos, estas cuentan con lámparas de 26 [W] conectadas en el mismo circuito que las luminarias de la “sala de demostración”. Este dato resulta relevante, ya que el cálculo del conductor eléctrico depende de la potencia total del sistema conectado. A continuación se describen las luminarias que pertenecen a dicho sistema.

- 7 luminarias con 1 tubo de 26 [W]. (Sala de rayos X No.1 y sala de demostración).
- 1 luminaria con 2 tubos tipo “U” de 28 [W]. (Sala de demostración)
- 3 luminarias con 2 tubos de 28 [W]. (Sala de demostración)

Dicha información puede ser corroborada en el plano No.7 del apéndice B que muestra el plano eléctrico de alumbrado en el área de imagenología. Por lo tanto se cuenta con un total de 11 luminarias de las cuales 7 luminarias tienen una potencia total de  $(7) (26[W]) = 182 [W]$ , de la luminaria con lámparas tipo “U” tenemos  $(2) (28[W]) = 56 [W]$  y por último tenemos  $(3) (2) (28[W]) = 168 [W]$ . Así que la potencia total es

$$Potencia\ total = 182 + 56 + 168 = 406 [W]$$

Después de obtener la potencia total en luminarias obtenemos la corriente nominal ( $I_n$ ), esta corriente se puede definir como la corriente a la que están diseñados los equipos para su correcta operación. Para calcular ( $I_n$ ) es necesario conocer la tensión suministrada. En este caso se trata de un sistema monofásico, es decir 127[V] con un factor de potencia ( $fp$ ) de 0.9.

$$I_n = \frac{P}{(V_{fn})(fp)} \dots (3.1)$$

Sustituyendo en ecuación 3.1

$$I_n = \frac{406 [W]}{(127[V])(0.9)}$$

$$I_n = 3.55 [A]$$

Basándonos en el **artículo 210-19 (Conductores, Ampacidad y tamaños mínimos)** en el apartado **a) Circuitos derivados de hasta 600 [V]** dice que “Cuando un circuito derivado suministra cargas continuas o una combinación de cargas continuas y no-continuas, el tamaño mínimo del conductor del circuito derivado, antes de la aplicación de cualquier factor de ajuste o de corrección, deberá tener una ampacidad permisible no menos que la carga no-continua más el 125 por ciento de la carga continua.” (SENER, 2012). Por ende tendremos una corriente ( $I_1$ ), esta corriente involucra la corriente nominal y el 125 por ciento de la carga

$$I_1 = (I_n)(1.25) \dots (3.2)$$

Sustituyendo valores en ecuación 3.2

$$I_1 = (3.55 [A])(1.25)$$

Resultado

$$I_1 = 4.44 [A]$$

Debido a que la corriente ( $I_1$ ) es menor a 100 [A] como se expresa en el **artículo 110-14 (Conexiones eléctricas)** “Las terminales de equipos para circuitos de 100 amperes o menos o marcadas para conductores con tamaño 2.08 mm<sup>2</sup> a 42.2 mm<sup>2</sup> (14 AWG a 1 AWG), deben utilizarse solamente conductores con temperatura de operación de aislamiento de 60 °C” (SENER, 2012). Este dato se usa más adelante para el cálculo del conductor a utilizar.

De acuerdo al **artículo 310-15 (Ampacidad para conductores con tensión de 0 - 2000 V)** sabemos que los principales determinantes de la temperatura de operación de un conductor son: temperatura ambiente, calor generado en el interior del conductor, aislamiento térmico que rodea al conductor y los

conductores portadores de corriente. Debido a lo cual es necesario realizar un factor de corrección de temperatura que involucre la temperatura ambiente y la temperatura del recubrimiento. Este factor de corrección de temperatura se encuentra en la **tabla 310-15 (b) (2) (a). Factores de corrección basados en una temperatura ambiente de 30°C**. Como se mencionó la temperatura de aislamiento del conductor son 60°C y la temperatura ambiente es de 24°C, con estos datos en la **tabla 310-15(b) (2) (a)** se encuentra que el factor de corrección ( $F_C$ ) es de 1.08

$$F_C = 1.08$$

De la misma manera es necesario conocer el factor de agrupamiento, el cual depende de los conductores portadores de corriente. Este valor se obtiene de la **tabla 310-15(b) (3) (a). Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable**. En la sala de rayos X No. 1 contamos con 2 conductores portadores de corriente (fase y neutro); para la alimentación de luminarias debido a eso el factor de agrupamiento ( $F_A$ ) es 1.

$$F_A = 1$$

Para calcular el conductor adecuado para las luminarias se procede a calcular una segunda corriente ( $I_2$ ), esta corriente involucra el  $F_A$  y  $F_C$ .

$$I_2 = \frac{I_1}{(F_A)(F_C)} \dots (3.3)$$

Sustituyendo en ecuación 3.3

$$I_2 = \frac{4.44 [A]}{(1.08)(1)}$$

$$I_2 = 4.11 [A]$$

El resultado obtenido de  $I_2$  se compara en la **tabla 310-15(b) (16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30°C**. En la tabla nos situamos en la sección de cobre que es el conductor eléctrico presente y THHW-LS que corresponde al recubrimiento que tiene el conductor, de esta seleccionamos un calibre de 2.08mm<sup>2</sup> (14 AWG).

*Calibre seleccionado es = 14 AWG, THHW – LS*

Para corroborar este dato es necesario realizar el cálculo de caída de tensión, este lo podemos conocer con la siguiente fórmula.

$$e_{1\phi} = \frac{(2)(I_n)(L)(100)(R_{\cos\theta} + X_{\sin\theta})}{(V_{fn})(1000)} \dots (3.4)$$

Los datos necesarios para realizar el cálculo son los siguientes:

$e$ : Es el porcentaje de caída de tensión entre fase y neutro.

$I_n$ : Corriente nominal = 3.55 [A].

$L$ : Longitud total del cable = 16.5 [m].

$R_{\cos\theta}$ : R es la resistencia del conductor. El valor se encuentra en la tabla 9 de la NOM-001-SEDE-2012 "Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit".

$\cos\theta$ : Es el factor de potencia ( $fp$ ).

$X_{\sin\theta}$ : X es la reactancia del conductor, el valor se encuentra en la tabla 9 de la NOM-001-SEDE-2012 "Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit".

$\sin\theta$ : Se obtiene del resultado del ángulo ( $\cos^{-1} .90$ ) y después aplicando la función seno.

$V_{fn}$ : Es el voltaje fase-neutro el cual es un sistema monofásico esto quiere decir 127 [V].

**Nota:**

Por fines prácticos la longitud ( $L$ ) se tomó como el promedio del punto de inicio (**TAB. Existente**) a la última luminaria de la sala de demostración.

Sustituyendo en la ecuación 3.4

$$e_{1\phi} = \frac{(2)(3.55 [A])(16.5[m])(100)(10.20(0.9) + 0.190(0.43))}{(127[V])(1000)}$$

$$e_{1\phi} = .85$$

Con base al artículo **210-19 Conductores, ampacidad y tamaños mínimos** en el apartado **a) circuitos derivados de hasta 600 V** en la **nota 4** hace referencia a que "los conductores de circuitos derivados no deben tener una caída mayor del 3 por ciento y la caída máxima de tensión combinada de los circuitos alimentadores y de los circuitos derivados hasta el contacto más lejano no supere 5 por ciento." (SENER, 2012) Lo cual es prueba fehaciente de que el conductor a seleccionar es un conductor con calibre 14 AWG THHW-LS.

### Cálculo de la protección eléctrica para luminarias.

Para el cálculo de la protección eléctrica utilizaremos un interruptor termo magnético. Para conocer la capacidad del interruptor ( $I_{SC}$ ) es necesario retomar el valor de la corriente nominal  $I_n$  multiplicarlo por 1.25. Esto se encuentra establecido en el **artículo 210-20 protección contra sobre corriente** en el **apartado a) cargas continuas y no-continuas** nos dice “Cuando un circuito derivado alimenta cargas continuas o cualquier combinación de cargas continuas y no-continuas, la capacidad nominal del dispositivo de sobre corriente no debe ser menor a la carga no-continua más el 125 por ciento de la carga continua.”(SENER, 2012)

$$I_{SC} = (I_n)(1.25) \dots (3.5)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.5

$$I_{SC} = (3.55 [A])(1.25)$$

$$I_{SC} = 4.44 [A]$$

En base al **artículo 240-6 Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos** en el inciso **a) Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo**. Tenemos que el interruptor a seleccionar es un interruptor de 15 [A] que corresponde al interruptor normalizado y cubre perfectamente las necesidades de sobre corriente que es 6 o 7 veces el valor de  $I_{SC}$ .

$$\text{Interruptor termomagnético seleccionado} = 15 [A]$$

### Cálculo del conductor puesta a tierra para luminarias.

En base al **artículo 250-122 Tamaño de los conductores de puesta a tierra de equipos**. “Los conductores de puesta a tierra de equipos, de cobre, aluminio, o aluminio recubierto de cobre, del tipo alambre, no deben ser de tamaño menor a los mostrados en la **tabla 250-122 (Tamaño mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos)**, pero en ningún caso se exigirá que sean mayores que los conductores de los circuitos que alimentan el equipo”.(SENER, 2012) En la tabla 250-122 se encuentra el dispositivo de protección que en nuestro caso es de 15 [A], y en el conductor de puesta a tierra es cobre, de esta forma el conductor de puesta a tierra para luminarias es de 2.08 mm<sup>2</sup> o sea 14 AWG.

$$\text{Conductor de puesta a tierra} = 14 \text{ AWG.}$$



### Cálculo de canalización para luminarias

La canalización utilizada es tubería conduit debido a que la trayectoria eléctrica es aérea, debido al área y número de conductores que tenemos el uso de ductos o charolas constituye un gasto innecesario.

Para seleccionar la tubería correcta es necesario conocer el número de conductores, así como su área. Esta información la obtendremos de la **tabla 5. Dimensiones de los conductores aislados y cables para artefactos**. De esta forma tenemos para el conductor desnudo un área de  $2.08 \text{ mm}^2$  y para los conductores portadores de corriente (fase y neutro) un área de  $8.968 \text{ mm}^2$ . Por lo tanto en nuestra tubería tenemos 1 conductor desnudo y 2 portadores de corriente lo que hace un área total de  $20.016 \text{ mm}^2$ .

En el **capítulo 10** en la **tabla 1 Porcentaje de la sección transversal en tubo conduit y en tubería para los conductores** nos menciona que al llevar más de dos conductores utilizaremos el 40 por ciento del área como factor de relleno ( $f_r$ ) y en la **tabla 4 Dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit**. Por lo cual para esta instalación el tubo indicado es de 16 mm (1/2") ya que no supera los  $\text{mm}^2$  que se expresan con el factor de relleno de 40 por ciento.

$$\text{Tubería conduit seleccionada} = 16 \text{ mm (1/2")}$$

### Cálculo del conductor eléctrico para luminarias conectadas al sistema de emergencia.

De la misma forma que en el punto anterior se calcula el alumbrado de emergencia ya que se encuentra regido por los mismos artículos. En el caso de lámparas de emergencia visto en el plano no. 7 del apéndice B, se encuentran 7 luminarias conectadas al sistema de emergencia, 4 pertenecen a la sala de rayos X y 3 a la sala de demostración de esta forma tenemos que la potencia total en el sistema es la siguiente.

- 3 luminarias con 1 tubo de 26 [W]. (Sala de rayos X No.1).
- 1 foco con recubrimiento de porcelana rojo de 25 [W]. (entrada a la sala de rayos X No.1).
- 3 luminarias con 2 tubos de 28 [W]. (Sala de demostración).

De esta forma la potencia total de las 7 luminarias es de:

$$\text{Potencia total} = 78 + 25 + 168 = 271 \text{ [W]}$$

Con la potencia del sistema procedemos a calcular la corriente nominal ( $I_n$ ) mediante la siguiente expresión:

$$I_n = \frac{P}{(V_{fn})(fp)} \dots (3.1)$$

Sustituyendo en ecuación. 3.1

$$I_n = \frac{271 [W]}{(127[V])(0.9)}$$
$$I_n = 2.37 [A]$$

Basándonos en el **artículo 210-19** obtenemos la corriente ( $I_1$ )

$$I_1 = (I_n)(1.25) \dots (3.2)$$

Sustituyendo en ecuación 3.2

$$I_1 = (2.37)(1.25)$$
$$I_1 = 2.96 [A]$$

Debido a que  $I_1$  es menor a 100 [A] utilizamos un conductor con temperatura de aislamiento de 60 °C. De acuerdo al **artículo 310-15** en la **tabla 310-15 (b) (2) (a)** con una temperatura ambiente de 24 °C, obtenemos un factor de corrección por temperatura de 1.08.

$$F_C = 1.08$$

De la **tabla 310-15 (b) (3) (a)** con dos portadores de corriente obtenemos un factor de agrupamiento de 1.

$$F_A = 1$$

Ahora obtenemos  $I_2$  considerando tanto el factor de agrupamiento como el factor de corrección por temperatura.

$$I_2 = \frac{I_1}{(F_A)(F_C)} \dots (3.3)$$

Sustituyendo en ecuación 3.3

$$I_2 = \frac{2.96 [A]}{(1.08)(1)}$$
$$I_2 = 2.74 [A]$$

El resultado obtenido de  $I_2$  se compara en la **tabla 310-15(b)(16)**. En la tabla nos situamos en la sección de cobre ya que el conductor eléctrico es cobre con cubrimiento THHW-LS. Que corresponde a un cable de  $2.08\text{mm}^2$  (14 AWG).

*Calibre seleccionado es = 14 AWG, THHW – LS*

Para corroborar este dato es necesario realizar el cálculo de caída de tensión, el cual podemos obtener con la siguiente expresión:

$$e_{1\phi} = \frac{(2)(I_n)(L)(100)(R_{\cos\theta} + X_{\text{sen}\theta})}{(V_{fn})(1000)} \dots (3.4)$$

Los datos necesarios para el cálculo son:

$e$ : Es el porcentaje de caída de tensión entre fase y neutro.

$I_n$ : Corriente nominal = 2.37 [A].

$L$ : Longitud total del cable = 8 [m].

$R_{\cos\theta}$ : R es la resistencia del conductor. El valor se encuentra en la tabla 9 de la NOM-001-SEDE-2012 "Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit".

$\cos \theta$ : Es el factor de potencia ( $fp$ ).

$X_{\text{sen}\theta}$ : X es la reactancia del conductor. El valor se encuentra en la tabla 9 de la NOM-001-SEDE-2012 "Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit".

$\text{sen } \theta$ : Se obtiene del resultado del ángulo ( $\cos^{-1} .90$ ) y después aplicando la función seno.

$V_{fn}$ : Es el voltaje fase-neutro el cual es un sistema monofásico esto quiere decir 127 [V].

**Nota:**

Para la longitud ( $L$ ) por fines prácticos se tomó el promedio del punto de inicio (**TAB. Emergencia**) a la última luminaria de la sala de demostración.

Sustituyendo en la ecuación 3.4, obtenemos:

$$e_{1\phi} = \frac{(2)(2.37 [A])(8[m])(100)(10.20(0.9) + .19(.43))}{(127[V])(1000)}$$

$$e_{1\phi} = 0.27$$

De esta manera al resultar una caída de tensión menor al 3 por ciento el conductor adecuado corresponde a un conductor de cobre con calibre 14 AWG THHW-LS.

*Calibre seleccionado es = 14 AWG, THHW – LS*

#### Cálculo de la protección eléctrica para luminarias de emergencia.

Como protección eléctrica utilizaremos un interruptor termomagnético. Para conocer la capacidad del interruptor ( $I_{SC}$ ) es necesario retomar el valor de la corriente nominal  $I_n$  y multiplicarlo por 1.25 de acuerdo al **artículo 210-20**.

$$I_{SC} = (I_n)(1.25) \dots\dots (3.5)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.5

$$I_{SC} = (2.37 [A])(1.25)$$

$$I_{SC} = 2.96 [A]$$

Con base en el **artículo 240** tenemos que el interruptor a seleccionar es un interruptor de 15 [A].

*Interruptor termomagnético seleccionado = 15 [A]*

#### Cálculo del conductor puesta a tierra para luminarias de emergencia.

Con base en la **tabla 250-122** se encuentra que el dispositivo de protección, para nuestro caso es de 15 [A], mientras que el conductor de puesta a tierra corresponde a cobre de 2.08 mm<sup>2</sup> o sea 14 AWG.

*Conductor de puesta a tierra = 14 AWG*

#### Cálculo de canalización para luminarias de emergencia

La canalización utilizada es tubería conduit de la misma forma que las luminarias conectadas al sistema de equipos. Para seleccionar la tubería correcta es necesario conocer el número de conductores al igual que su área, esta información la obtendremos de la **tabla 5. Dimensiones de los conductores aislados y cables para artefactos**. De esta forma tenemos que para el conductor desnudo tenemos un área de 2.08 mm<sup>2</sup>, y para los conductores portadores de corriente (fase y neutro) el área es de 8.968 mm<sup>2</sup>. Por lo tenemos un conductor desnudo y dos portadores de corriente lo que hace un total de 20.016 mm<sup>2</sup>.

En el **capítulo 10** en la **tabla 1. Porcentaje de la sección transversal en tubo conduit y en tubería para los conductores** se establece que al llevar más de dos conductores utilizaremos el 40 por ciento del área como factor de relleno ( $f_r$ ) y en la **tabla 4 Dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit**. El tubo indicado es de 16 mm (1/2") ya que no supera los  $\text{mm}^2$  que se expresan con el factor de relleno de 40 por ciento.

*Tubería conduit seleccionada = 16 mm (1/2")*

Como resultado de los cálculos de luminarias se puede apreciar que lo instalado referente a conductores eléctricos y puesta a tierra no cumplen con lo establecido en la NOM-001-SEDE-2012. La canalización eléctrica y el interruptor termomagnético si son correctos pero no existe un documento que lo ampare.

Uno de los artículos que no se cumplen en la instalación de luminarias es el apartado **410-48 Alambrado de luminarias** "El alambrado sobre o dentro de las luminarias debe estar puesto y en forma ordenada y no debe estar expuesto a daños físicos. Se debe evitar el alambrado excesivo."(SENER, 2012). El artículo indica que se debe evitar el alambrado excesivo, en el plano No.7 "Ingeniería eléctrica de alumbrado" se aprecia el conexionado excesivo además de que la iluminación de dos salas está conectada a un solo interruptor termo magnético.

De acuerdo a las **Normas de Proyecto de Arquitectura del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS)** en el **Tomo 3, apartado 1. Imagenología** menciona que los vestidores del área de estudio, los sanitarios, e incluso la misma área deben contar con iluminación artificial además de un control de intensidad lumínica. Este prefacio de la norma no se cumple.

En la tabla 3.1 se muestra un resumen de los elementos instalados actualmente en contraste con los elementos correspondientes a los cálculos realizados para: conductores de alimentación, conductor de puesta a tierra, protección eléctrica y canalizaciones. Lo anterior para el sistema de luminarias conectadas al **TAB. Existente** y al **TAB de Emergencia**

**Tabla 3.1 Resumen de los dispositivos instalados en la sala de rayos X No.1 en contraste a los determinados según los cálculos.<sup>17</sup>**

Instalado	Sistema de iluminación actual basado en plano No.7	Sistema de iluminación basado en NOM-001-SEDE-2012	Sistema de emergencia para iluminación basado en plano No.7	Sistema de emergencia para iluminación basado en NOM-001-SEDE-2012
Alimentación eléctrica a luminarias	2-12 AWG	2-14 AWG	2-12 AWG	2-14 AWG
Conductor de puesta a tierra	1 -12 d	1 - 14 d	1 -12 d	1 - 14 d
Interruptor termo magnético	No es posible revisar el tablero eléctrico <b>(TABExiste nte)</b>	1 interruptor termo magnético de 1 polo con capacidad interruptora de 15 [A]	No es posible revisar el tablero eléctrico <b>(TAB de emergencia)</b>	1 interruptor termo magnético de 1 polo con capacidad interruptora de 15 [A]
Canalización eléctrica	Tubería conduit pared gruesa 16 mm (1/2'')	Tubería conduit 16 mm (1/2'')	Tubería conduit 16 mm (1/2'')	Tubería conduit 16 mm (1/2'')

### 3.1.2 Cálculo de receptáculos monofásicos doble polarizado con puesta a tierra

#### Cálculo del conductor eléctrico para receptáculos monofásicos doble polarizado con puesta a tierra

Para el cálculo de receptáculos es necesario conocer la carga, sin embargo sabemos que son receptáculos de uso general, por lo que nos basaremos en el **artículo 220-14 Otras cargas para todo tipo de construcciones** en el apartado **i) salidas para contactos** "Las salidas de contactos se deben considerar cuando menos de 180 voltamperes para cada contacto sencillo o

<sup>17</sup>Tabla propia basada en la *NOM-001-SEDE-2012* y el plano eléctrico No. 7 de la sala de rayos X No.1.

múltiple instalado en el mismo yugo.”(SENER, 2012). El cálculo para conocer la potencia es:

$$P = VA * fp \dots (3.6)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.6, obtenemos:

$$P = 180 [VA] * 0.9$$

$$P = 162 [W]$$

Por lo tanto consideramos 162 [W] como la carga mínima a conectar. En la sala se encuentran tres receptáculos, aunque en realidad existen otros dos conectados en serie con el mismo conductor, de esta forma se realiza el cálculo para cinco receptáculos. Lo anterior se puede verificar en el plano no. 8 del apéndice B.

$$P_{TOTAL} = (5 \text{ receptáculos})(162[W])$$

$$P_{TOTAL} = 810 [W]$$

Después de obtener la potencia en el sistema, calculamos la corriente nominal ( $I_n$ ). Para lo cual es necesario conocer la tensión suministrada. Dado que es un sistema monofásico, se tiene una tensión de 127[V] y un factor de potencia ( $fp$ ) de 0.9.

$$I_n = \frac{P}{(V_{fn})(fp)} \dots (3.1)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.1

$$I_n = \frac{810 [W]}{(127[V])(0.9)}$$

$$I_n = 7.08 [A]$$

Basándonos en el **artículo 210-19 (Conductores, Ampacidad y tamaños mínimos)** en el apartado **a) Circuitos derivados de hasta 600 [V]**.

$$I_1 = (I_n)(1.25) \dots (3.2)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.2, se obtiene:

$$I_1 = (7.08 [A])(1.25)$$

$$I_1 = 8.85[A]$$

Debido a que la corriente ( $I_1$ ) es menor a 100 [A] como se expresa en el **artículo 110-14 (Conexiones eléctricas)** deben utilizarse solamente

conductores con temperatura de operación de aislamiento de 60°C. De acuerdo al **artículo 310-15 (Ampacidad para conductores con tensión de 0 - 2000 V)** es necesario realizar un factor de corrección de temperatura que involucra a la temperatura ambiente y la temperatura del recubrimiento, este factor de corrección de temperatura se encuentra en la **tabla 310-15 (b) (2) (a). Factores de corrección basados en una temperatura ambiente de 30°C.** Como se mencionó se considera la temperatura de aislamiento del conductor de 60°C y la temperatura ambiente de 24°C. Por lo cual según la **tabla 310-15(b) (2) (a)** el factor de corrección ( $F_C$ ) es 1.08.

$$F_C = 1.08$$

Es necesario conocer el factor de agrupamiento, este depende de los conductores portadores de corriente, este valor se obtiene de la **tabla 310-15(b) (3) (a). Factores de ajuste para más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o cable.** En la sala de rayos X No. 1 contamos con dos conductores portadores de corriente (fase y neutro) para la alimentación de receptáculos debido a eso el factor de agrupamiento ( $F_A$ ) es 1

$$F_A = 1$$

Para calcular el conductor adecuado es necesario calcular una segunda corriente ( $I_2$ ), la cual involucra el  $F_A$  y  $F_C$ .

$$I_2 = \frac{I_1}{(F_A)(F_C)} \dots (3.3)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.3

$$I_2 = \frac{8.85 [A]}{(1.08)(1)}$$

$$I_2 = 8.20 [A]$$

El resultado obtenido de  $I_2$  se compara en la **tabla 310-15(b) (16) Ampacidades permisibles en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o directamente enterrados, basados en una temperatura ambiente de 30°C.** En la tabla nos situamos en la sección de cobre ya que el conductor eléctrico es cobre y THHW-LS que es el recubrimiento que tiene el conductor, a eso corresponde un cable de 2.08mm<sup>2</sup> esto significa 14 AWG.

*Calibre seleccionado es = 14 AWG, THHW – LS*



Para corroborar este dato es necesario realizar el cálculo de caída de tensión, el cual se obtiene con la siguiente expresión.

$$e_{1\phi} = \frac{(2)(I_n)(L)(100)(R_{\cos\theta} + X_{\text{sen}\theta})}{(V_{fn})(1000)} \dots (3.4)$$

Los datos necesarios para el cálculo son los siguientes:

$e$ : Es el porcentaje de caída de tensión entre fase y neutro.

$I_n$ : Corriente nominal = 7.08 [A].

$L$ : Longitud total del cable = 15 [m].

$R_{\cos\theta}$ : R es la resistencia del conductor, el valor se encuentra en la tabla 9 de la NOM-001-SEDE-2012 "Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit".

$\cos \theta$ : Es el factor de potencia ( $fp$ ).

$X_{\text{sen}\theta}$ : X es la reactancia del conductor, el valor se encuentra en la tabla 9 de la NOM-001-SEDE-2012 "Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit".

$\text{sen } \theta$ : Se obtiene del resultado del ángulo ( $\cos^{-1} .90$ ) y después aplicando la función seno.

$V_{fn}$ : Es el voltaje fase-neutro el cual es un sistema monofásico esto quiere decir 127 [V].

**Nota:**

Por fines prácticos la longitud ( $L$ ) se tomó como el promedio del punto de inicio (**TAB. Existente**) al último receptáculo de la sala de demostración. Sustituyendo en la ecuación 3.4

$$e_{1\phi} = \frac{(2)(7.08 [A])(15[m])(100)(10.20(0.9) + 0.19(.43))}{(127[V])(1000)}$$

$$e_{1\phi} = 1.54$$

Con base al **artículo 210-19 Conductores, ampacidad y tamaños mínimos** en el apartado **a) circuitos derivados de hasta 600 V** en la **nota 4** hace referencia a que los conductores de circuitos derivados no deben tener una caída mayor del 3 por ciento. De esta forma es necesario recalcar que el cálculo es correcto ya que se cumple con la caída de tensión menor al 3 por ciento. De esta manera probamos que el conductor seleccionado es 14 AWG.

*Calibre seleccionado es = 14 AWG, THHW – LS*

### Cálculo de la protección eléctrica para receptáculo doble polarizado con puesta a tierra

Para el cálculo de la protección eléctrica utilizaremos un interruptor termo magnético. Para conocer la capacidad del interruptor ( $I_{SC}$ ) es necesario retomar el valor de la corriente nominal  $I_n$  multiplicarlo por 1.25. Esto es expresado en el artículo **210-20 protección contra sobrecorriente en el apartado a) cargas continuas y no-continuas.**

$$I_{SC} = (I_n)(1.25) \dots (3.5)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.5

$$I_{SC} = (7.08 [A])(1.25)$$

$$I_{SC} = 8.85 [A]$$

En base al artículo **240-6 Capacidades estandarizadas de fusibles e interruptores automáticos** en el inciso **a) Fusibles e interruptores automáticos de disparo fijo.** Tenemos que el interruptor a seleccionar es un interruptor de 15 [A].

$$\text{Interruptor termomagnético seleccionado} = 15 [A]$$

### Cálculo del conductor puesta a tierra para receptáculo doble polarizado con puesta a tierra.

Con base en el artículo **250-122. Tamaño de los conductores de puesta a tierra de equipos** en la **tabla 250-122 (Tamaño mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos)**, basándonos en la tabla el conductor a seleccionar es 14 AWG.

$$\text{Conductor de puesta a tierra} = 14 \text{ A WG}$$

### Cálculo de canalización para receptáculos doble polarizado con puesta a tierra

Se utiliza tubería conduit de igual manera. Para seleccionar la tubería correcta es necesario conocer el número de conductores al igual que su área, esta información la obtendremos de la **tabla 5. Dimensiones de los conductores aislados y cables para artefactos.** De esta forma tenemos para el conductor desnudo un área de  $2.08 \text{ mm}^2$ , mientras que para los conductores portadores de corriente (fase y neutro) un área de  $8.968 \text{ mm}^2$ . Por lo tanto en nuestra

tubería tenemos un conductor desnudo y dos portadores de corriente lo que hace un total de 20.016 mm<sup>2</sup>.

En el **capítulo 10** en la **tabla 1. Porcentaje de la sección transversal en tubo conduit y en tubería para los conductores** nos dice que al llevar más de dos conductores utilizaremos el 40 por ciento como factor de relleno ( $f_r$ ) y en la **tabla 4 Dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit**. El tubo indicado es de 16 mm (1/2") ya que no supera los 78 mm<sup>2</sup> que se expresan un con factor de relleno de 40 por ciento.

$$\text{Tubería conduit seleccionada} = 16 \text{ mm (1/2")}$$

Cálculo del conductor del receptáculo doble polarizado con puesta a tierra conectado al sistema de emergencia.

Se procede a calcular el receptáculo de emergencia como se muestra en el plano No.8 del apéndice B, donde solo se tiene un receptáculo de emergencia, para el cálculo del calibre obtenemos la potencia del sistema.

$$P = VA * fp \dots (3.6)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.6

$$P = 180 [VA] * 0.9$$

$$P = 162 [W]$$

Al obtener la potencia del sistema podemos conocer la corriente nominal teniendo como dato que es un sistema monofásico.

$$In = \frac{P}{(V_{fn})(fp)} \dots (3.1)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.1, obtenemos:

$$In = \frac{162 [W]}{(127[V])(0.9)}$$

$$In = 1.41 [A]$$

Basándonos en el **artículo 210-19**

$$I_1 = (In)(1.25) \dots (3.2)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.2

$$I_1 = (1.41 [A])(1.25)$$

$$I_1 = 1.77[A]$$

La corriente ( $I_1$ ) es menor a 100 [A] utilizamos solamente conductores con temperatura de operación de aislamiento de 60°C". De acuerdo al **artículo 310-15** obtenemos un factor de corrección. Con una temperatura ambiente de 24°C con estos datos en la **tabla 310-15(b) (2) (a)** el factor de corrección ( $F_C$ ) es 1.08.

$$F_C = 1.08$$

Es necesario conocer el factor de agrupamiento, se cuentan con dos conductores portadores de corriente (fase y neutro) para la alimentación de receptáculos por lo tanto el factor de agrupamiento ( $F_A$ ) es 1.

$$F_A = 1$$

Para obtener el conductor adecuado se procede a calcular una segunda corriente ( $I_2$ ), la cual involucra  $F_A$  y  $F_C$ .

$$I_2 = \frac{I_1}{(F_A)(F_C)} \dots (3.3)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.3

$$I_2 = \frac{1.77 [A]}{(1.15)(1)}$$

$$I_2 = 1.54 [A]$$

El resultado obtenido de  $I_2$  se compara en la **tabla 310-15(b) (16)** ya que el conductor eléctrico es cobre con recubrimiento THHW-LS, que corresponde a un cable de 2.08mm<sup>2</sup> esto significa 14 AWG.

*Calibre seleccionado es = 14 AWG, THHW – LS*

Para corroborar este dato es necesario realizar el cálculo de caída de tensión este lo podemos conocer con la siguiente expresión.

$$e_{1\phi} = \frac{(2)(I_n)(L)(100)(R_{\cos\theta} + X_{\sin\theta})}{(V_{fn})(1000)} \dots (3.4)$$

Los datos necesarios para el cálculo son los siguientes:

$e$ : Es el porcentaje de caída de tensión entre fase y neutro.

$I_n$ : Corriente nominal = 1.41 [A].

$L$ : Longitud total del cable = 3 [m].

$R_{\cos\theta}$ : R es la resistencia del conductor, el valor se encuentra en la tabla 9 de la NOM-001-SEDE-2012 "Resistencia y reactancia en corriente alterna para los

cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit”.

$\cos \theta$ : Es el factor de potencia ( $fp$ ).

$X_{sen\theta}$ :  $X$  es la reactancia del conductor, el valor se encuentra en la tabla 9 de la NOM-001-SEDE-2012 “Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit”.

$\sin \theta$ : Se obtiene del resultado del ángulo ( $\cos^{-1} .90$ ) y después aplicando la función seno.

$V_{fn}$ : Es el voltaje fase-neutro el cual es un sistema monofásico esto quiere decir 127 [V].

### **Nota:**

Por fines prácticos para la longitud ( $L$ ) se tomó el promedio de la distancia del tablero de emergencia al único receptáculo de emergencia que hay en la sala.

Sustituyendo valores en la ecuación 3.4

$$e_{1\phi} = \frac{(2)(1.41 [A])(3[m])(100)(10.20(0.9) + 0.19(.43))}{(127[V])(1000)}$$

$$e_{1\phi} = 0.06$$

Con base al **artículo 210-19**, de esta forma es necesario recalcar que el cálculo es correcto ya que la caída de tensión es menor al 3 por ciento.

### **Cálculo de la protección eléctrica para receptáculo de emergencia doble polarizado con puesta a tierra**

Para el cálculo de la protección eléctrica utilizamos un interruptor termomagnético. Para conocer la capacidad del interruptor ( $I_{SC}$ ) es necesario retomar el valor de la corriente nominal  $I_n$  y multiplicarlo por 1.25. Esto es expresado en el **artículo 210-20**.

$$I_{SC} = (I_n)(1.25) \dots (3.5)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.5

$$I_{SC} = (1.41 [A])(1.25)$$

$$I_{SC} = 1.76 [A]$$

Con base en el **artículo 240-6**, tenemos que el interruptor a seleccionar es un interruptor de 15 [A].

$$\text{Interrupor termomagnético seleccionado} = 15 [A]$$

Cálculo del conductor puesta a tierra para receptáculo de emergencia doble polarizado con puesta a tierra.

Con base en el **artículo 250-122** ya la **tabla 250-122** el conductor a seleccionar es 14 AWG.

$$\text{Conductor de puesta a tierra} = 14 \text{ AWG}$$

Cálculo de canalización para receptáculos de emergencia doble polarizado con puesta a tierra.

Para seleccionar la tubería correcta es necesario conocer el número de conductores al igual que su área, esta información la obtenemos de la **tabla 5. Dimensiones de los conductores aislados y cables para artefactos**. Para el conductor desnudo tenemos un área de  $2.08 \text{ mm}^2$ , mientras que para los conductores portadores de corriente (fase y neutro) el área es de  $8.968 \text{ mm}^2$ . Por lo tanto tenemos un conductor desnudo y dos portadores de corriente lo que hace un área total de  $20.016 \text{ mm}^2$ .

En el **capítulo 10** en la **tabla 1. Porcentaje de la sección transversal en tubo conduit y en tubería para los conductores** Establece que al llevar más de dos conductores utilizaremos el 40 del área por ciento como factor de relleno ( $f_r$ ), mientras que en la **tabla 4 Dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit**, el tubo indicado es de 16 mm (1/2").

$$\text{Tubería conduit seleccionada} = 16 \text{ mm (1/2")}$$

Como conclusión se obtiene la tabla 3.2 donde se muestra un resumen de los cálculos realizados en contraste con los instalados, se incluye información de cables para alimentación eléctrica, canalizaciones, conductor de puesta a tierra y protección eléctrica para los dos sistemas existentes (**TAB. Existente y TAB Emergencia**).

**Tabla 3.2 Resumen de los dispositivos instalados en la sala de rayos X No.1 en contraste a los determinados según los cálculos.<sup>18</sup>**

Instalado	Sistema para receptáculos basado en plano No.8	Sistema para receptáculos basado en NOM-001-SEDE-2012	Sistema de emergencia para receptáculos basado en plano No.8	Sistema de emergencia para receptáculos basado en NOM-001-SEDE-2012
Alimentación eléctrica a receptáculos	2-10 AWG	2-14 AWG	2-10 AWG	2-14 AWG
Conductor de puesta a tierra	1 -12 d	1 - 14 d	1 -12 d	1 - 14 d
Interruptor termo magnético	No es posible revisar el tablero eléctrico <b>(TAB Existente)</b>	1 interruptor termo magnético de 1 polo con capacidad interruptora de 25 [A]	No es posible revisar el tablero eléctrico <b>(TAB de emergencia)</b>	1 interruptor termo magnético de 1 polo con capacidad interruptora de 15 [A]
Canalización eléctrica	Tubería conduit pared gruesa 16 mm (1/2´´)	Tubería conduit 16 mm (1/2´´)	Tubería conduit 16 mm (1/2´´)	Tubería conduit 16 mm (1/2´´)

### 3.1.3 Cálculo de receptáculos de tensión regulada doble polarizado con puesta a tierra aislada

Cálculo del calibre para receptáculo de tensión regulada doble polarizado con puesta a tierra aislada.

Como se muestra en el plano No. 9 del apéndice B, la sala solo cuenta con un receptáculo de tensión regulada conectado a otros receptáculos que pertenecen al área de imagenología y tienen como fin su llegada un tablero llamado **(TAB. ATR)**. De la misma manera que se calcularon los receptáculos anteriores se procede a calcular el receptáculo de tensión regulada, la única diferencia es que lleva un conductor de tierra física con recubrimiento verde (TFV), este tipo de receptáculos deben ser utilizados para la conexión de equipos electrónicos, con la finalidad de eliminar la interferencia electromagnética.

<sup>18</sup>Tabla propia basada en la NOM-001-SEDE-2012 y el plano eléctrico No. 8 de la sala de rayos X No.1.

$$P = VA * fp \dots (3.6)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.6

$$P = 180 [VA] * 0.9$$

$$P = 162 [W]$$

Recordando que tenemos tres receptáculos conectados al mismo circuito obtenemos una potencia total de 486 [W], de esta manera al obtener la potencia total del sistema podemos conocer la corriente nominal conociendo que es un sistema monofásico.

$$In = \frac{P}{(V_{fn})(fp)} \dots (3.1)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.1

$$In = \frac{486 [W]}{(127[V])(0.9)}$$

$$In = 4.25 [A]$$

Basándonos en el **artículo 210-19**

$$I_1 = (In)(1.25) \dots (3.2)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.2

$$I_1 = (4.25 [A])(1.25)$$

$$I_1 = 5.31[A]$$

Debido a que la corriente ( $I_1$ ) es menor a 100 [A] utilizaremos solamente conductores con temperatura de operación de aislamiento de 60°C".

Del **artículo 310-15** obtenemos un factor de corrección, considerando una temperatura ambiente de 24°C. Con estos datos en la **tabla 310-15(b) (2) (a)** el factor de corrección ( $F_C$ ) corresponde a 1.08

$$F_C = 1.08$$

Es necesario conocer el factor de agrupamiento, contamos con dos conductores portadores de corriente (fase y neutro) para la alimentación de receptáculos por lo tanto el factor de agrupamiento ( $F_A$ ) es 1.

$$F_A = 1$$

Para conocer el conductor adecuado se procede a calcular una segunda corriente ( $I_2$ ), la cual involucra  $F_A$  y  $F_C$ .



$$I_2 = \frac{I_1}{(F_A)(F_C)} \dots (3.3)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.3

$$I_2 = \frac{5.31 [A]}{(1.08)(1)}$$

$$I_2 = 4.92[A]$$

El resultado obtenido de  $I_2$  se compara en la tabla **310-15(b) (16)**, ya que el conductor eléctrico es cobre con recubrimiento THHW-LS corresponde un conductor de 2.08mm<sup>2</sup> de área o sea 14 AWG.

*Calibre seleccionado = 14 AWG, THHW – LS*

Para corroborar este dato es necesario realizar el cálculo de caída de tensión, mediante la siguiente formula.

$$e_{1\phi} = \frac{(2)(I_n)(L)(100)(R_{\cos\theta} + X_{\sen\theta})}{(V_{fn})(1000)} \dots (3.4)$$

Los datos necesarios para el cálculo son:

$e$ : Es el porcentaje de caída de tensión entre fase y neutro.

$I_n$ : Corriente nominal = 4.25 [A].

$L$ : Longitud total del cable = 8 [m].

$R_{\cos\theta}$ : R es la resistencia del conductor, el valor se encuentra en la tabla 9 de la NOM-001-SEDE-2012 "Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit".

$\cos \theta$ : Es el factor de potencia ( $fp$ ).

$X_{\sen\theta}$ : X es la reactancia del conductor, el valor se encuentra en la tabla 9 de la NOM-001-SEDE-2012 "Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit".

$\sen \theta$ : Se obtiene del resultado del ángulo ( $\cos^{-1} .90$ ) y después aplicando la función seno.

$V_{fn}$ : Es el voltaje fase-neutro el cual es un sistema monofásico esto quiere decir 127 [V].

**Nota:**

Por fines prácticos para la longitud ( $L$ ) se tomó el promedio del punto de inicio al último receptáculo de tensión regulada de la sala de demostración.

Sustituyendo en la ecuación 3.4

$$e_{1\phi} = \frac{(2)(4.25 [A])(8[m])(100)(10.20(0.9) + 0.19(0.43))}{(127[V])(1000)}$$

$$e_{1\phi} = 0.5$$

Con base en el **artículo 210-19**, se comprueba el cálculo es correcto ya que la caída de tensión es menor al 3 por ciento.

Cálculo de la protección eléctrica para receptáculo de tensión regulada doble polarizado con puesta a tierra aislada

Para el cálculo de la protección eléctrica utilizaremos un interruptor termomagnético. Para conocer la capacidad del interruptor ( $I_{SC}$ ) es necesario retomar el valor de la corriente nominal  $I_n$  y multiplicarlo por 1.25. Según el **artículo 210-20**.

$$I_{SC} = (I_n)(1.25) \dots (3.5)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.5

$$I_{SC} = (4.25 [A])(1.25)$$

$$I_{SC} = 5.31 [A]$$

Con base en el **artículo 240-6**, tenemos que el interruptor a seleccionar es un interruptor de 15 [A].

$$\text{Interruptor termomagnético seleccionado} = 15 [A]$$

Cálculo del conductor puesta a tierra para receptáculo de tensión regulada doble polarizado con puesta a tierra aislada.

Con base en el **artículo 250-122** y la **tabla 250-122** el conductor a seleccionar es 14 AWG

$$\text{Conductor de puesta a tierra} = 14 \text{ AWG}$$

Cálculo del conductor puesta a tierra física para receptáculo de tensión regulada doble polarizado con puesta a tierra aislada.

De la misma manera que el conductor de puesta a tierra se tiene un conductor de puesta a tierra física con forro color verde.

$$\text{Conductor de puesta (TFV)} = 14 \text{ AWG}$$

Cálculo de canalización para receptáculos de tensión regulada doble polarizado con puesta a tierra.

Para seleccionar la tubería correcta es necesario conocer el número de conductores y su área, esta información la obtendremos de la **tabla 5. Dimensiones de los conductores aislados y cables para artefactos.** Tenemos que para el conductor desnudo el área es de  $2.08 \text{ mm}^2$ , mientras que para los conductores portadores de corriente (fase y neutro) un área de  $8.968 \text{ mm}^2$ . Por lo tanto tenemos 1 conductor desnudo, 2 portadores de corriente y 1 conductor con forro de color verde lo que hace un total de  $28.984 \text{ mm}^2$ .

En el **capítulo 10** en la **tabla 1. Porcentaje de la sección transversal en tubo conduit y en tubería para los conductores** nos dice que al llevar más de dos conductores utilizaremos el 40 por ciento del área como factor de relleno ( $f_r$ ) y en la **tabla 4. Dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit**, el tubo indicado es de 16 mm (1/2").

$$\text{Tubería conduit seleccionada} = 16 \text{ mm (1/2")}$$

Para concluir de acuerdo a los cálculos realizados para los receptáculos en la sala de rayos X se encontró que los conductores de alimentación, puesta a tierra y canalizaciones no son correctos de acuerdo a la norma como se muestra en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3 Resumen de los dispositivos instalados en la sala de rayos X No.1 en contraste a los determinados según los cálculos.<sup>19</sup>**

Instalado	Sistema para receptáculos con tensión regulada basado en plano No.9	Sistema para receptáculos con tensión regulada basado en NOM-001-SEDE-2012
Alimentación eléctrica a receptáculos de tensión regulada	2-10 AWG	2-14 AWG
Conductor de puesta a tierra	1 -12 d	1 - 14 d
Conductor de puesta a tierra con forro verde	1 -10 TFV	1 -14 TFV
Interruptor termo magnético	No es posible revisar el tablero eléctrico ( <b>TAB ATR</b> )	1 interruptor termo magnético de 1 polo con capacidad interruptora de 15 [A]
Canalización eléctrica	Tubería conduit pared gruesa 16 mm (1/2'')	Tubería conduit 16 mm (1/2'')

### 3.1.4 Cálculo para el equipo de rayos X

Como se mencionó el Hospital Modelo no cuenta con algún documento donde muestre la cédula de cableado para la alimentación eléctrica del equipo de rayos X. Por lo tanto, es necesario realizar el cálculo de estos conductores basándonos en los datos de placas de los componentes del equipo de rayos X de la sala No.1.

#### Alimentación eléctrica al generador

En primera instancia se calcula el calibre de los conductores de alimentación eléctrica para el generador. Para calcular este conductor eléctrico es necesario conocer la tensión de operación del equipo y la potencia del mismo (tabla 2.4).

<sup>19</sup>Tabla propia basada en la NOM-001-SEDE-2012 y el plano eléctrico No. 9 de la sala de rayos X.

Para calcular el calibre de alimentación del generador es necesario conocer la corriente nominal sabiendo que es un sistema trifásico.

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3}(V_{ff})(fp)} \dots (3.7)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.7

$$I_n = \frac{80 [kW]}{\sqrt{3}(480[V])(0.9)}$$
$$I_n = 106.91 [A]$$

Basándonos en el **artículo 210-19**

$$I_1 = (I_n)(1.25) \dots (3.2)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.2

$$I_1 = (106.91 [A])(1.25)$$
$$I_1 = 133.64[A]$$

Debido a que la corriente ( $I_1$ ) es mayor a 100 [A] y de acuerdo al artículo **110-14** inciso b) utilizaremos solamente conductores con temperatura de operación de aislamiento de 75°C.

De acuerdo al **artículo 310-15** obtenemos un factor de corrección para una temperatura ambiente de 24°C. En la **tabla 310-15(b) (2) (a)** el factor de corrección ( $F_C$ ) corresponde a 1.05

$$F_C = 1.05$$

De la misma manera es necesario conocer el factor de agrupamiento, para la alimentación del generador se cuenta con 3 conductores portadores de corriente (fase-fase) debido a eso el factor de agrupamiento ( $F_A$ ) es 1.

$$F_A = 1$$

Para calcular el conductor adecuado es necesario la corriente ( $I_2$ ), la cual involucra  $F_A$  y  $F_C$ .

$$I_2 = \frac{I_1}{(F_A)(F_C)} \dots (3.3)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.3

$$I_2 = \frac{133.64 [A]}{(1.05)(1)}$$

$$I_2 = 127.28[A]$$

El resultado obtenido de  $I_2$  se compara en la **tabla 310-15(b) (16)** debido a que el conductor eléctrico es cobre con recubrimiento THHW-LS le corresponde un calibre de 42.4mm<sup>2</sup> esto decir 1 AWG.

*Calibre seleccionado es = 1 AWG, THHW – LS*

Para corroborar el dato es necesario realizar el cálculo de caída de tensión mediante la siguiente expresión.

$$e_{3\phi} = \frac{(\sqrt{3})(I_n)(L)(100)(R_{\cos\theta} + X_{\text{sen}\theta})}{(V_{ff})(1000)} \dots (3.4)$$

Los datos necesarios para el cálculo son:

$e$ : Es el porcentaje de caída de tensión entre fases

$I_n$ : Corriente nominal = 106.91 [A]

$L$ : Longitud total del cable = 25 [m].

$R_{\cos\theta}$ : R es la resistencia del conductor, el valor se encuentra en la tabla 9 de la NOM-001-SEDE-2012 "Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit"

$\cos \theta$ : Es el factor de potencia ( $fp$ ).

$X_{\text{sen}\theta}$ : X es la reactancia del conductor, el valor se encuentra en la tabla 9 de la NOM-001-SEDE-2012 "Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit"

$\text{sen } \theta$ : Se obtiene del resultado del ángulo ( $\cos^{-1} .90$ ) y después aplicando la función seno

$V_{ff}$ : Es el voltaje fase-fase el cual es un sistema trifásico a 480 [V].

Sustituyendo en la ecuación 3.4

$$e_{1\phi} = \frac{(\sqrt{3})(106.91 [A])(25[m])(100)(.49(0.9) + 0.151(.43))}{(480[V])(1000)}$$

$$e_{1\phi} = 0.48$$

Con base en el **artículo 210-19**, el cálculo es correcto ya que la caída de tensión es menor al 3 por ciento.

#### Cálculo de la protección eléctrica para el generador de rayos X.

Como protección eléctrica se utiliza un interruptor termomagnético. Para conocer la capacidad del mismo ( $I_{SC}$ ) es necesario retomar el valor de la corriente nominal  $I_n$  y multiplicarlo por 1.25. Lo anterior se encuentra expresado en el **artículo 210-20**.

$$I_{SC} = (I_n)(1.25) \dots (3.5)$$

Sustituyendo en la ecuación 3.5

$$I_{SC} = (106.91 [A])(1.25)$$

$$I_{SC} = 133.63 [A]$$

Con base en el **artículo 240-6**, tenemos que el interruptor a seleccionar es un interruptor de 150 [A]

$$\text{Interruptor termomagnético seleccionado} = 150 [A]$$

#### Cálculo del conductor puesta a tierra

Con base en el **artículo 250-122** y la **tabla 250-122** el conductor de puesta a tierra a seleccionar es 6 AWG.

$$\text{Conductor de puesta a tierra} = 6 \text{ AWG}$$

#### Cálculo de canalización para la alimentación eléctrica del generador de rayos X.

Para seleccionar la tubería correcta es necesario conocer el número de conductores así como su área, esta información la obtenemos de la **tabla 5. Dimensiones de los conductores aislados y cables para artefactos**. De esta forma para el conductor desnudo corresponde un área de 8.37 mm<sup>2</sup> mientras que para los conductores portadores de corriente (fases) el área es de 122.60 mm<sup>2</sup>. Por lo tanto en nuestra tubería tenemos 1 conductor desnudo y 3 portadores de corriente lo que hace un área total de 376.17 mm<sup>2</sup>.

En el **capítulo 10** en la **tabla 1. Porcentaje de la sección transversal en tubo conduit y en tubería para los conductores** nos dice que al llevar más de dos conductores en una canalización utilizaremos el 40 por ciento del área como factor de relleno ( $f_r$ ) y en la **tabla 4. Dimensiones y porcentaje disponible**

**para los conductores del área del tubo conduit.** El tubo indicado es de 35 mm (1 1/4")

*Tubería conduit seleccionada = 35 mm (1 1/4")*

En la tabla 3.4 se muestra la comparación entre lo instalado y lo calculado para los conductores que alimenta eléctricamente al generador de rayos X, protección eléctrica, conductor de tierra y canalización correspondiente

**Tabla 3.4 Resumen de los dispositivos instalados en la sala de rayos X No.1 en contraste a los determinados según los cálculos.**<sup>20</sup>

Instalado	Sistema actual basado en plano No.8	Sistema basado en NOM-001-SEDE-2012
Alimentación eléctrica al generador de rayos X	2 AWG	1 AWG
Conductor de puesta a tierra	1 - 6 d	1 - 6 d
Interruptor termo magnético	1 interruptor termo magnético 3 polos con capacidad interruptora de 100 [A]	1 interruptor termo magnético de 3 polos con capacidad interruptora de 150 [A]
Canalización eléctrica	No es posible verificar ya que es subterránea	Tubería conduit 35 mm (1 1/4")

El cableado para el resto de los componentes no se calcula ya que su alimentación eléctrica es con corriente directa suministrada por el generador de rayos X.

<sup>20</sup>Tabla propia basada en la *NOM-001-SEDE-2012* y el diagrama unifilar del plano No. 6 de la sala de rayos X.



## 3.2 PROTECCIÓN RADIOLÓGICA CON BASE EN LA NORMATIVIDAD

El objetivo principal de la NOM-229-SSA-2002 es establecer los criterios constructivos, de diseño, operación y conservación, necesarios para cualquier área que cuente con equipos de diagnóstico con rayos X; con la finalidad de garantizar la seguridad y operación del área de imagenología.

Para el presente proyecto se llevó a cabo la revisión de la NOM-229-SSA-2002 en conjunto con las normas básicas de seguridad de la OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica); así como las normas de diseño y arquitectura del IMSS, para realizar el análisis de la sala No. 1 del Hospital Modelo. En dicho análisis se seleccionaron los artículos aplicables al área y equipo de radiodiagnóstico correspondientes.

### 3.2.1 Diseño general del área

Tomando como base NOM-229-SSA-2002 Artículo 5. Los establecimientos que cuenten con equipo de rayos X para diagnóstico deben contar elementos estructurales y de diseño básicos para su operación, con el propósito de poder brindar un servicio de calidad a los pacientes. Los principales requisitos arquitectónicos son: sala de espera, sala de rayos X, área de consola de control, vestidores y sanitarios para pacientes, área de almacenamiento de película, área de interpretación y cuarto oscuro; este último desapareciendo debido a la evolución tecnológica. El artículo 5 también establece las señalizaciones básicas con las que debe contar la sala de rayos X y el área de imagenología.

A continuación se presentan los artículos que de nuestro interés incluyendo las normas antes mencionadas ya que engloban los elementos con los que debe contar una sala de rayos X. El objetivo de realizar el contraste de tres normas oficiales, es obtener una mejor evaluación del área estudiada.

**Artículo 5.1.1** “Los establecimientos deben contar con:” (SSA, 2002)

✓ **Art. 5.1.1.1** “Sala de espera.” (SSA, 2002)

El área de imagenología del Hospital Modelo cuenta con una sala de espera, ubicada fuera de las zonas controladas, con el objetivo de mantener a los pacientes y demás usuarios externos en un área segura.

✓ **Art. 5.1.1.3** “Área de consola de control.” (SSA, 2002)

En la sala de rayos X No.1 se encontró que la consola de control del equipo se encuentra delimitada por una mampara de protección radiológica con lámina de

plomo. La cual cumple la función de proteger al operador de la radiación ionizante producida durante el estudio, mientras delimita la zona de control.

✗ **Art. 5.1.1.4** establece que deben existir “Vestidores y sanitarios para pacientes.” (SSA, 2002).

“Vestidores: Es un espacio destinado para que el paciente cambie sus ropas y pueda someterse al estudio. Se ubicarán entre la Sala de Estudio y la Sala de Espera.” (IMSS, 1993)

En la sala No.1 se cuenta con dos vestidores para pacientes que también colindan con la sala de espera cumpliendo con lo establecido en las normas del IMSS. Sin embargo la sala no cuenta con sanitarios para pacientes por lo que en este rubro la sala no cumple con lo establecido en las normas del IMSS.

✓ **Art. 5.1.1.7** “Área de interpretación”.(SSA, 2002)

El área de interpretación cuenta con una capacidad para 10 personas, esta área esta designada para los médicos radiólogos y en ella se realizan las interpretaciones y reportes de los diferentes tipos de estudios que se realizan en el área de imagenología.

✓ **Art. 5.1.2** “Deben tenerse precauciones con pacientes del sexo femenino con sospecha de embarazo. Deben colocarse carteles en las salas de espera para alertar a las pacientes y solicitar que informen al médico”.(SSA, 2002)

Este artículo es de suma importancia debido al riesgo que representa la exposición a la radiación ionizante del feto es mucho mayor ya que pueden producirse efectos secundarios más graves; por lo cual es indispensable que el médico evalúe el tiempo de gestación y la dosis que se le suministrará a la paciente con el propósito de prevenir y evitar cualquier perjuicio en la salud de la madre y el producto. Lo anterior también se encuentra establecido en las Normas Básicas de Seguridad las cuales dictan **II.16 inciso e)** “Todo examen diagnóstico del abdomen o la pelvis de las mujeres capaces de procrear se planifique de forma que sea mínima la dosis causada a todo embrión o feto que pudiera hallarse presente.”(OIEA, 2010). Durante la verificación del área se corroboró la existencia de carteles en la sala de espera que advierten sobre el riesgo del estudio ante la posibilidad de embarazo y de la importancia de mencionarlo al médico o técnico radiólogo antes de su realización.

✓ **Art. 5.1.3** “Las áreas de vestidores y sanitarios anexos a las salas de rayos X de preferencia deben tener un blindaje calculado como zona supervisada, de lo contrario se considera como parte integrante de la sala de rayos X.” (SSA, 2002) Debido a que los vestidores pertenecen a la sala de rayos X se consideran como zona controlada en el cálculo de blindajes del capítulo 4.

✘ **Art. 5.1.4** “En el interior de las puertas de sanitarios y vestidores que dan ingreso a la sala de rayos X debe existir un cartel con la siguiente leyenda “no abrir esta puerta a menos de que lo llamen”.” (SSA, 2002) No se encontró en el interior de las puertas de los vestidores ninguna señalización que restrinja el acceso a la sala de rayos X. En el caso de los sanitarios el artículo no aplica, ya que estos se encuentran ubicados en una zona supervisada. La función de dichos carteles es evitar la exposición adicional e innecesaria de un paciente que se encuentra preparándose para su estudio. Esta exposición innecesaria se puede presentar al violar el blindaje que ofrece la puerta del vestidor, mientras esta se abre durante la realización del estudio a otro paciente.

✓ **Art. 5.2.1** “En las instalaciones la delimitación de la zona debe efectuarse mediante elementos estructurales. La sala de rayos X y la consola de control deben quedar dentro de la zona controlada.”(SSA, 2002)La delimitación de la sala No. 1 está efectuada como se establece en el artículo, mediante elementos estructurales, que consisten en muros de concreto baritado; tanto la sala de rayos X como la consola de control se encuentran consideradas como zona controlada para los cálculos de blindaje del capítulo 4, ya que en esta área existe la mayor cantidad de radiación ionizante primaria, secundaria y de fuga.

✓ **Art. 5.2.2** “En áreas donde se concentren más de una sala de rayos X, los pasillos colindantes con cada sala deben formar parte de la zona supervisada.”(SSA, 2002). Debido a la continuidad entre salas de rayos X, los pasillos colindantes entre salas están considerados como zona supervisada como se muestra en el capítulo 4. Ya que no fue posible corroborar dicha información en el documento oficial (verificación de blindajes).

✘ **Art. 5.2.3** “Las dimensiones y accesos de una sala de rayos X estarán de acuerdo a la guía mecánica del fabricante del equipo de rayos X y suficientes para manejar pacientes en camilla o silla de ruedas.”(SSA, 2002)Las dimensiones del área permiten la maniobra de pacientes en camilla y silla de ruedas. Sin embargo no cumplen con las dimensiones mínimas, ni con el doble acceso establecido en la norma de diseño y arquitectura del IMSS, la cual menciona“El diseño de la sala debe ser de tipo rectangular, en donde el lado más angosto no sea menor a 4.50 [m] libres y el más largo no menor de 5 [m]. Las alturas mínimas que se deberán considerar son: En las salas de fluroscopía y simples 2.30 [m] libre mínimo” (IMSS, 1993)actualmente las dimensiones de la sala son 2.90 [m] de ancho, 5.70 [m] de largo con 2.80 [m] de alto.

✓ **Art. 5.2.6** “El paciente debe ser observable en todo momento desde la consola de control por contacto visual directo a través de una ventana blindada.”(SSA, 2002) El diseño de la sala permite observar al paciente durante la realización del estudio a través de una mampara de protección radiológica

con vidrio plomado, el cálculo del blindaje para ambos elementos se presenta en el capítulo 4.

✓ **Art. 5.2.7** “La sala de rayos X debe estar diseñada de tal forma que exista comunicación directa o electrónica, desde la consola de control con el paciente.”(SSA, 2002) Durante la verificación se observó que la comunicación con el paciente se realiza de forma directa ya que las dimensiones de la sala así lo permiten y no es necesario un sistema de intercomunicación.

✓ **Art.5.2.8** “Se requiere que en el exterior de las puertas principales de acceso a las salas de rayos X exista un indicador de luz roja. Dicho dispositivo debe colocarse en un lugar y tamaño visible junto a un letrero con la leyenda “CUANDO LA LUZ ESTE ENCENDIDA SOLO PUEDE INGRESAR PERSONAL AUTORIZADO.”(SSA, 2002) En la puerta de acceso al área se verificó la existencia de una luminaria de 25 [W] con acrílico rojo y del letrero mencionado. El uso de estas dos señalizaciones ayuda a prevenir una exposición innecesaria del POE y del resto de los usuarios.

✓ **Art. 5.2.9** “Se requiere que en el exterior de las puertas de las salas de rayos X exista un letrero con el símbolo internacional de radiación ionizante con la leyenda siguiente “RADIACIONES ZONA CONTROLADA”.(SSA, 2002) Se verificó que en las puertas de acceso existe el letrero con la simbología y leyenda establecidas en el artículo. De esta forma se alerta a todos los usuarios del área de imagenología, sobre la existencia de radiación ionizante en el área evitando exposiciones innecesarias.

✗ **Art 5.2.10** “En el interior de la sala de rayos X debe colocarse en un lugar y tamaño visible para el paciente, un cartel con la siguiente leyenda “EN ESTA SALA SOLO PUEDE PERMANECER UN PACIENTE A LA VEZ.”.(SSA, 2002) Durante la verificación de la sala no se encontró el cartel mencionado u otro con una leyenda similar, el cual tiene la función de prevenir la exposición de los pacientes a la radiación ionizante generada en el área para otros estudios. Lo anterior forma parte de los objetivos principales de protección radiológica tal como se señala en las NBS en el punto **II.1** “Los titulares registrados y los titulares licenciados deberán cuidar de que: b) se asigne a los facultativos médicos, como misión y obligación primordial la de velar por la protección y seguridad total de los pacientes al prescribir y mientras administren, una exposición médica” (OIEA, 2010)

✗ **Art 5.2.11** “Para POE y para pacientes la instalación debe contar con dispositivos de protección tales como mamparas, mandiles, collarines protectores de tiroides, protectores de gónadas y todo aquel implemento que sea necesario de acuerdo con lo establecido en esta norma”.(SSA, 2002) Durante la verificación de la sala No. 1 no se encontraron los elementos de protección mencionados, por lo cual se pone en riesgo la salud del POE y de

los pacientes, de la misma forma se incumple con lo establecido en las NBS “Siempre que sea factible, se prevean blindajes protectores de los órganos radio sensibles tales como las gónadas, los cristalinos, las mamas y la tiroides, según corresponda.”(OIEA, 2010)

**XArt. 5.2.12** “En la sala de rayos X deben estar solamente los equipos y accesorios indispensables para los estudios programados.”(SSA, 2002). Durante la verificación de la sala se encontraron elementos adicionales ajenos al equipo que no contribuyen al buen funcionamiento del mismo, ni al óptimo flujo de trabajo de la sala de rayos X.

### **3.2.2 Blindajes y barreras de protección radiológica**

Para la completa verificación de la sala No. 1 de rayos X, es fundamental considerar la protección radiológica debido a la constante emisión de radiación ionizante primaria, secundaria y de fuga, así como a los efectos que puede llegar a causar en el organismo humano. Ya que no contamos con equipo de medición especializado para realizar la verificación de los blindajes, se tomó como hipótesis que existen y que fueron instalados durante la construcción de la sala. Otro documento que ayuda en la evaluación de las protecciones es la última verificación de blindajes realizada al área. Sin embargo no fue posible tener acceso a dicho documento por lo que se buscó complementar el análisis con cálculo de las principales barreras de protección con base en las características de la sala de diagnóstico y del equipo de rayos X. La propuesta de actualización de blindajes se presenta en el capítulo 4 del presente trabajo.

✓ **Art. 5.6.2** “La altura del blindaje para las paredes de una instalación no debe ser inferior a 2.1 [m] previa evaluación de las áreas colindantes”.(SSA, 2002)Debido a que la construcción de la sala está concluida y se encuentra en operación se considera que la sala cuenta con el blindaje correcto, ya que tiene una altura de 2.8 [m]. Este blindaje reduce principalmente la radiación secundaria y de fuga que puede salir de la sala de rayos Xy llegar a las áreas colindantes.

✓ **Art 5.6.4** “Los blindajes para una instalación deben construirse de manera que exista continuidad entre los diferentes elementos constructivos donde sean instalados, de tal manera que dicho blindaje no se vea interrumpido en ningún punto”.(SSA, 2002)De la misma forma que el artículo anterior no es posible verificar la continuidad del blindaje exterior de la sala, sin embargo en la mampara existe discontinuidad de la protección radiológica.

✓ **Art 5.6.5** “Las juntas constructivas que existieran entre los muros, columnas, tableros pre construidos u otro elemento de la instalación y que se ubiquen en la sala de rayos X, debe blindarse de tal forma que si se presentaran

movimientos normales de la estructura la protección no se vería afectada.” (SSA, 2002). Durante la verificación se pudo comprobar que los muros y columnas se encuentran en buenas condiciones estructurales a pesar del tiempo de construcción.

✓ **Art 5.6.9** “Toda instalación debe contar con una verificación de blindaje realizada y documentada por un asesor especializado en seguridad radiológica.”(SSA, 2002)El área cuenta con una verificación de blindajes, aunque no se tuvo el acceso al documento, el cual forma parte de la garantía de calidad de exposiciones médicas establecidas en la NBS ”Los programas de garantía de calidad en las exposiciones médicas deberán incluir: a) mediciones de los parámetros físicos de los generadores de radiación, los dispositivos de formación de imágenes y las instalaciones de irradiación en el momento de su puesta en servicio y periódicamente en lo sucesivo; b) la verificación de los factores físico y clínicos apropiados utilizados para el diagnóstico o el tratamiento de los pacientes; c) registro por escrito de los procedimientos significativos y sus resultados; d) la verificación de que la calibración y las condiciones de funcionamiento del equipo de dosimetría y vigilancia radiológica son las correctas”.(OIEA, 2010)

### 3.2.3 Calidad y garantía en el servicio

Todo establecimiento que cuente con equipo de diagnóstico con radiación ionizante tipo X, debe contar con un responsable de seguridad radiológica cuya principal función es la constante evaluación y verificación de la correcta operación del programa de seguridad radiológica en el área de imagenología tomando como base principal la normatividad vigente, de esta manera se busca brindar un servicio de mayor seguridad y calidad en el área. Además todo establecimiento debe contar con licencia sanitaria expedida por la Secretaría de Salud, la cual autoriza la puesta en operación de un establecimiento con equipo de diagnóstico médico con rayos X.

✓ **Art 6.2.1** “Los establecimientos de diagnóstico médico con rayos X deberán contar para su funcionamiento con licencia sanitaria expedida por la Secretaría de Salud.”(SSA, 2002)El área de imagenología del Hospital Modelo cuenta con la licencia sanitaria vigente expedida por la secretaria de salud. La cual acredita al área para su funcionamiento.

✓ **Art 6.4.1** “La licencia sanitaria y copia del permiso del responsable de la operación y funcionamiento que acreditan al establecimiento deben colocarse en un lugar visible al público.” (SSA, 2002) Ambos documentos se encuentran visibles a la entrada del área administrativa de imagenología.

✓ **Art 7.2.8** “El titular debe entregar a la Secretaría de Salud anualmente un informe de actividades relevantes en seguridad radiológica.” (SSA, 2002) El

informe es realizado por el responsable del área y comprende cualquier falla detectada en relación al diseño, procedimientos y funcionamiento del equipo, así como las medidas adoptadas por el área, para la mejora continua y calidad en el servicio, lo cual también se encuentra establecido en las NBS “Los titulares registrados y los titulares licenciados deberán, con respecto a toda investigación prescrita en el párrafo **II.29**: a) calcular o estimar las dosis recibidas y su distribución en el organismo del paciente; b) indicar las medidas correctoras necesarias para evitar la repetición de tal incidente; c) aplicar todas las medidas correctoras que les competan; d) presentar a la autoridad reguladora, lo antes posible una vez acabada la investigación o con arreglo a otros plazos especificados por la autoridad reguladora, un informe por escrito que exponga la causa del incidente e incluya la información especificada en los apartados a) al c) que sea procedente, así como cualquier otra información prescrita por la autoridad reguladora; e) informar del incidente al paciente y a su médico.” (OIEA, 2010)

✓ **Art 7.5.1** “El responsable de la operación y funcionamiento debe disponer de un manual de protección y seguridad radiológica del establecimiento en el que se fijen objetivos específicos para asegurar el cumplimiento de los límites de dosis.”(SSA, 2002) El área de imagenología cuenta con un manual de seguridad radiológica, así como la constancia de la última capacitación recibida por el POE. Para el cumplimiento de los límites de dosis se debe revisar constantemente los niveles orientativos aplicables debido a los avances presentados por la tecnología tal como se establece en la NBS. “Los titulares registrados y los titulares licenciados deberían velar por que los niveles orientativos aplicables a la exposición médica se determinen conforme a lo prescrito por las normas. Se revisen teniendo en cuenta los adelantos de la tecnología, y sea utilizados como orientación por los facultativos médicos, a fin de que: b) Se considere la conveniencia de efectuar exámenes si la dosis o las actividades exceden los niveles orientativos, como aporte para garantizar la protección optimizada de los pacientes y mantener los niveles apropiados de buena práctica;” (OIEA, 2010)

✗ **Art 7.6.1** “El técnico radiólogo debe seguir las indicaciones del manual de procedimientos técnicos, a fin de aplicar la técnica adecuada a cada tipo de estudio.”(SSA, 2002) Durante la verificación no se observó el uso de algún manual de procedimientos técnicos, además de que no se encontró físicamente en la sala de rayos X, lo anterior incumple con lo establecido por la SSA, así como en las NBS en el **artículo II.16** “El facultativo médico, el técnico radiólogo u otro personal encargado de la obtención de imágenes seleccionen los siguientes parámetros, cuando sean aplicables, de modo que su combinación produzca la mínima exposición de los pacientes compatible con una calidad aceptable de las imágenes y la finalidad clínica del examen, prestando especial atención a esta selección en el caso de radiología pediátrica y de la radiología

de intervención: i) la región a examinar, el número y el tamaño de las vistas por examen (por ejemplo el número de placas o de cortes tomográficos con computadora) o el tiempo por examen (por ejemplo el tiempo de examen fluoroscópico) ; ii) el tipo de receptor de imagen (por ejemplo pantallas de alta o de baja sensibilidad); iii) el empleo de rejillas anti difusoras; iv) la correcta colimación del haz de rayos X primario para que sea mínimo el volumen de tejido del paciente que se irradia y aumentar la calidad de las imágenes; v) los valores apropiados de los parámetros de funcionamiento (por ejemplo el potencial de generación del tubo, la intensidad de corriente).” (OIEA, 2010)

✓ **Art 8.3.1** “Debe establecerse un programa de vigilancia del funcionamiento y mantenimiento preventivo del sistema de rayos X de acuerdo a un calendario preestablecido. Debe aplicarse mantenimiento correctivo cuando se detecte una falla en el sistema.” (SSA, 2002) El servicio de ingeniería biomédica en coordinación con el área de imagenología cuenta con el registro en bitácora de las fallas presentadas por el equipo y los correctivos derivados de los mismos; así como con el calendario de mantenimiento preventivo programado. Ambas áreas supervisan el mantenimiento mientras se realiza. Lo cual cumple con lo establecido en la NBS **II.29** “Los titulares registrados y los titulares licenciados deberán investigar rápidamente los incidentes siguientes: c) todo fallo del equipo, accidente, error, contratiempo u otro suceso insólito que pueda ser causa de que un paciente sufra una exposición apreciablemente diferente a la prevista.”(OIEA, 2010) Y **NBS II.32** “Los titulares registrados y los titulares licenciados deberán mantener y hacer accesible, según se requiera, los resultados de las calibraciones y las comprobaciones periódicas de los parámetros significativos, físicos y clínicos, seleccionados en los tratamientos.”(OIEA, 2010).

### **3.2.4 Características de los equipos de rayos X para diagnóstico**

Debido a la constante evolución tecnológica día a día existen mejoras en el diseño y operación de los equipos médicos de distintas áreas, dichas mejoras pueden traducirse en beneficios médicos para los pacientes, personal operario y profesionales de la salud. En radiología existen beneficios como: mayor uniformidad de la radiación generada para diagnóstico y tratamiento, mejores instrumentos de protección radiológica, mayor precisión y aprovechamiento de la energía de los equipos médicos, mejoras en la calidad, almacenamiento y tratamiento de imágenes médicas. Lo anterior es posible debido a una constante vigilancia y evaluación de los equipos.

Un ejemplo claro en el área de imagenología es la técnica de digitalización de imágenes con la cual se reduce el tiempo de procesamiento, mejora la accesibilidad para su interpretación, permite su almacenamiento en una base de datos y la reducción de la exposición del personal operario a químicos tóxicos.



Actualmente las normas nos ayudan a evaluar las características básicas con las que deben de cumplir los equipos de diagnóstico con rayos X, con el propósito de mejorar la calidad en el servicio del sector salud.

✓ **Art. 9.1.1** “Solo se pueden adquirir sistemas para radiografía convencional con generadores de alta frecuencia.” (SSA, 2002) Los generadores de alta frecuencia suministran un haz de rayos X con mayor uniformidad, de esta manera se logra una reducción de radiación de baja energía que no ayuda a la producción de la imagen y que afecta la calidad. Tal como se establece en las NSB punto **II.14** “Los titulares registrados y los titulares licenciados, en cooperación específica con los suministradores deberán velar por que: a) los generadores de radiación y sus accesorios se diseñen y fabriquen de tal forma que se facilite la reducción de las exposiciones médicas al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse y sea compatible con la obtención de información suficiente para el diagnóstico” (OIEA, 2010) Actualmente en la sala No. 1 se encuentra instalado un equipo de rayos X, con generador de alta frecuencia Mca. CMR Mod. GMX 525.

✓ **Art. 9.11** “Los componentes principales del sistema (generador, consola de control, colimador y mesa) deben tener una identificación específica mediante etiqueta fija colocada en un lugar visible.”(SSA, 2002) Se verificó que los componentes del equipo contaran con sus especificaciones, las cuales se encuentran registradas en placas de aluminio fijas a cada uno de los componentes.

✗ **Art. 9.12** “La información que el fabricante, comercializador, o transferente debe entregar al destinatario del equipo de rayos X es: planos y especificaciones de instalación incluida (pre-instalación); Un manual de instalación; Un manual de operación y un manual de mantenimiento.”(SSA, 2002) Al realizar la verificación del presente artículo no se encontró la documentación completa mencionada, lo anterior debido al tiempo que lleva el equipo instalado y al constante flujo de trabajo. Lo anterior también incumple con lo establecido en la NBS **II.13** “En lo que respecta al equipo consistente en generadores de radiación y al que contenga fuentes selladas utilizadas para exposiciones médicas, los titulares registrados y los titulares licenciados, en colaboración específica con los suministradores deberán velar por que: b) se faciliten a los usuarios, en un idioma de uso internacional comprensible para ellos y en conformidad con las normas aplicables de la CEI o la ISO relativas a “documentación acompañante”, las especificaciones de comportamiento y las instrucciones de manejo y mantenimiento, incluidas instrucciones de protección y seguridad, y velar por que esta información sea traducida a idiomas de uso local cuando así proceda”.(OIEA, 2010)

✓ **Art. 10.3.1** “Indicación Visual. Los factores técnicos a fijar durante la exposición deben estar indicados en la consola de control del equipo y deben

ser visibles desde la posición del operador. Sus valores deben fijarse antes de iniciar la exposición.”(SSA, 2002) Los factores de kV, mA y mAs son visibles en la consola de control para el operador del equipo. Estos factores se muestran mediante una pantalla en la consola y en ellos se muestra la técnica radiológica cumpliendo con lo establecido por la NBS **II.11** “Los requisitos referentes a la seguridad de las fuentes especificados en otras partes de las Normas deberán aplicarse también a las fuentes utilizadas en exposición médica, cuando así proceda, y en particular, el equipo utilizado en exposición médica deberá diseñarse de modo que: b) sea mínima la incidencia del error humano en la administración de una exposición médica no planificada.”(OIEA, 2010)

✓ **Art. 10.3.2** “El equipo debe contar con medios para terminar una exposición después de que se cumpla cualquiera de las siguientes condiciones: Transcurrido el tiempo seleccionado, una combinación de corriente y tiempo, un determinado número de pulsos o automáticamente después de una determinada exposición en el receptor de la imagen.”(SSA, 2002) El equipo termina la exposición al cumplir con lo establecido en la técnica radiológica. El presente artículo también forma parte de las Normas Básicas de Seguridad en el punto **II.14** “Los titulares registrados y los titulares licenciados, en cooperación específica con los suministradores deberán velar por que: c) el equipo radiográfico esté dotado de dispositivos que pongan fin automáticamente a la irradiación tras un tiempo, un producto corriente del tubo-tiempo o una dosis prefijados” (OIEA, 2010)

✓ **Art. 10.3.3** “El equipo debe contar con un sistema que permita al operador terminar en cualquier momento una exposición.” (SSA, 2002) El equipo de rayos X ubicado en la sala No. 1 cuenta con un botón de paro general que interrumpe la alimentación del equipo y por lo tanto también la exposición, dicho botón forma parte del sistema de seguridad del equipo ante cualquier falla que pueda presentarse durante el procedimiento.

✓ **Art. 10.3.5.2.1** “Al cerrar los colimadores a su máximo, las dimensiones laterales del campo de radiación no deben ser mayores que 5[cm] a una distancia foco imagen de 100 [cm].”(SSA, 2002) Al cerrar los colimadores hasta el punto máximo el haz de radiación queda eliminado por las cortinillas de plomo, lo cual cumple con lo establecido en NOM-229-SSA-2002, lo anterior también se encuentra establecido en las NBS **II.13** “En lo que respecta al equipo consistente en generadores de radiación y al que contenga fuentes selladas utilizadas para exposiciones médicas, los titulares registrados y los titulares licenciados, en colaboración específica con los suministradores deberán velar por que: e) hasta donde sea factible, la exposición se limite a la región objeto de examen o tratamiento, utilizando dispositivos colimadores alineados con el haz de radiación”.(OIEA, 2010)

✓ **Art. 10.3.5.2.2** “El equipo debe contar con medios de iluminación para definir el perímetro del campo de rayos X.” (SSA, 2002) El área que ocupa el haz de rayos X se muestra mediante la luz del foco del colimador el cual ayuda a la realización del estudio para el mejor posicionamiento del paciente, antes de realizar la exposición, tal como se establece en las NBS **11.13** “En lo que respecta al equipo consistente en generadores de radiación y al que contenga fuentes selladas utilizadas para exposiciones médicas, los titulares registrados y los titulares licenciados, en colaboración específica con los suministradores deberán velar por que: d) se suministren mecanismos de control del haz de radiación, incluidos dispositivos que indiquen claramente y sin posibilidad de fallo la presencia o la ausencia del haz.” (OIEA, 2010)

✗ **Art. 10.3.5.3** “Perpendicularidad del haz de radiación. Los sistemas fijos deben contar con medios para indicar cuando el eje del haz de radiación se encuentra perpendicular al plano del receptor de imagen, para alinear el centro del campo de rayos X con respecto al centro del receptor de imágenes.” (SSA, 2002) Durante la revisión no se encontró un sistema que permita la verificación de la perpendicularidad del haz de radiación con el chasis receptor de imagen. La alineación del centro del campo de rayos X con el centro del receptor de imagen se realiza, con ayuda de las referencias trazadas en el bucky de pared y la guía visual del acrílico del colimador. El colimador puede moverse en dirección vertical, horizontal y transversal para conseguir el posicionamiento correcto del haz de radiación.

✓ **Art. 10.3.6** “Indicadores de haz. La consola del equipo debe tener una indicación visual que opere cuando se producen rayos X. Adicionalmente una señal audible debe indicar al operador cuando una exposición ha terminado.” (SSA, 2002) Durante el levantamiento se observó que el equipo cuenta con un indicador visual en la consola de control que consiste en un led color ámbar, Así como un indicador audible al momento de realizar la exposición.

✓ **Art. 16.3** “Ninguna persona menor de 18 años puede formar parte del POE.” (SSA, 2002) Se verificó que el equipo es operado únicamente por los técnicos radiólogos del área y que el personal operario está conformado en su totalidad por personas mayores de 18 años.

✓ **Art. 17.2** “El médico radiólogo, el técnico radiólogo, médicos especialistas, enfermeras y demás participantes en intervencionismo deben usar los dispositivos de protección con que cuenta el equipo de rayos X para atenuar la radiación dispersa (cortinillas plomadas, marco plomado alrededor de la pantalla, placas de plástico plomado, mamparas, filtros compensadores, entre otros).” (SSA, 2002) Durante la verificación se detectó que en su mayoría el personal operario del área emplea los elementos de protección radiológica con los que cuenta el equipo, dichos elementos ayudan a reducir la radiación dispersa.

✓ **Art. 17.10** “Los dosímetros personales deben portarse durante la jornada de trabajo y al término de esta deben permanecer almacenados en un lugar adecuado, fuera de la zona controlada.”(SSA, 2002)Se verificó satisfactoriamente que la mayoría del personal utiliza sus dosímetros de forma adecuada durante la jornada laboral y al finalizar los almacenan en sus casilleros personales los cuales se encuentran ubicados fuera de la zona controlada.

✓ **Art. 18.5** “Durante la operación del equipo de rayos X no deben permanecer personas ni pacientes en los vestidores anexos a la sala de exposición si no se cuenta con el blindaje adecuado para ello.”(SSA, 2002)Se verificó que de forma general ningún paciente o usuario permanece en los pasillos que interconectan a las salas de rayos X o bien en los vestidores, aunque estos últimos cuentan con el cálculo de blindaje adecuado para ello.

✗ **Art. 18.6** “Las puertas de acceso a la sala de rayos X, tanto la entrada principal como la de los vestidores, deben permanecer cerradas durante el estudio radiológico.”(SSA, 2002) Durante la verificación del procedimiento, se detectó que en la mayoría de los casos el encargado de la operación del equipo (técnico radiólogo o médico radiólogo) cierra la puerta de acceso a la sala de rayos X, sin embargo en ocasiones se observó que la puerta no se encontraba cerrada, lo cual compromete el blindaje de la sala y se clasifica como un error de procedimiento tal como se establece en las NBS **II.12** “Los titulares registrados y los titulares licenciados deberán: b) adoptar toda clase de medidas razonables para prevenir los fallos y errores, entre ellas la selección de personal suficientemente cualificado, el establecimiento de procedimientos adecuados de calibración, garantía de calidad y manejo del equipo diagnóstico y terapéutico, y la impartición al personal de capacitación adecuada y readiestramiento periódico en dichos procedimientos, incluidas las cuestiones de protección y seguridad” (OIEA, 2010)

✓ **Art. 18.7** “Los equipos de rayos X solo podrán ser operados por las siguientes personas: médicos radiólogos, técnicos radiólogos, personal del servicio técnico o personal encargado de realizar las pruebas de control de calidad del equipo.” (SSA, 2002)Se verificó satisfactoriamente que el equipo sólo es operado por el personal autorizado que en la mayoría de las ocasiones se trata de los técnicos radiólogos, lo que garantiza una reducción de fallas de procedimiento con pacientes ya que se trata de personal capacitado como se menciona en las NBS **II.1** “Los titulares registrados y los titulares licenciados deberán cuidar de que: c) se disponga del personal médico y paramédico necesario, constituido por profesionales del personal médico y paramédico necesario, constituido por profesionales de la salud o personas que hayan recibido capacitación apropiada para el desempeño adecuado de las tareas que tengan asignadas en la realización del procedimiento diagnóstico o terapéutico que prescriba el facultativo médico” (OIEA, 2010)

✓ **Art. 18.9** “El paciente debe ser observable en todo momento desde la consola de control por contacto visual directo a través de una mirilla o mediante dos sistemas que sean redundantes entre sí, por ejemplo, con espejos y por medio de un sistema de circuito cerrado de televisión. Debe existir comunicación oral.” (SSA, 2002) Gracias al uso de la mampara de protección radiológica la cual cuenta con un vidrio emplomado de 35[cm] por 35[cm] la sala cumple con lo establecido en el artículo en relación al contacto visual. Mientras que la comunicación se realiza de forma directa debido a que las dimensiones de la sala, así lo permiten.

✗ **Art. 18.10** “En todo estudio radiológico el haz de radiación debe limitarse al área de interés y ser siempre menor al tamaño de la película radiográfica o del intensificador de imagen utilizados, de manera que el área expuesta sea únicamente la indicada en el manual de procedimientos técnicos.”(SSA, 2002) Como ya se ha descrito no se encontró en el área un manual de procedimientos técnicos ni se pudo verificar su utilización. Dada esta situación no se puede garantizar el cumplimiento del presente artículo; como tampoco lo establecido por las NBS **II.16** “b) el facultativo médico, el técnico radiólogo u otro personal encargado de la obtención de imágenes seleccionen los siguientes parámetros, cuando sean aplicables, de modo que su combinación produzca la mínima exposición de los pacientes compatible con una calidad aceptable de las imágenes y la finalidad clínica del examen, prestando especial atención a esta selección en el caso de radiología pediátrica y de la radiología de intervención: i) la región a examinar, el número y el tamaño de las vistas por examen (por ejemplo el número de placas o de cortes tomográficos con computadora) o el tiempo por examen (por ejemplo el tiempo de examen fluoroscópico) ; ii) el tipo de receptor de imagen (por ejemplo pantallas de alta o de baja sensibilidad); iii) el empleo de rejillas anti difusoras; iv) la correcta colimación del haz de rayos X primario para que sea mínimo el volumen de tejido del paciente que se irradia y aumentar la calidad de las imágenes; v) los valores apropiados de los parámetros de funcionamiento (por ejemplo el potencial de generación del tubo, la intensidad de corriente). (OIEA, 2010)

✗ **Art. 18 .11** “En todo estudio radiológico en el que las gónadas del paciente queden a menos de 5 [cm] del campo de radiación, deben protegerse con un blindaje de espesor equivalente de al menos 0.5 [mm] de plomo.”(SSA, 2002) Con lo que se busca minimizar la exposición de zonas más sensibles a la radiación entre las que se encuentran las gónadas, cristalino, mamas y tiroides, lo que se encuentra establecido en las **NBS II.16** “En radiología con fines de diagnóstico, los titulares registrados y los titulares licenciados deberán cuidar de que: f) siempre que sea factible, se prevean blindajes protectores de los órganos radio sensibles tales como las gónadas, los cristalinos, las mamas y la tiroides, según corresponda.” (OIEA, 2010) Sin embargo durante la verificación

de los procedimientos no se detectaron elementos de protección para estas áreas sensibles ni se observó su utilización durante el procedimiento.

## ***CAPÍTULO 4***

### ***RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA SALA DE RAYOS X NO.1***

En este capítulo se busca cumplir dos objetivos. El primero está vinculado a la instalación eléctrica, mientras que el segundo se refiere a la protección radiológica presentando mejoras sobre lo que se tiene instalado en la sala de rayos X No.1, para poder clasificar el área como eficiente y segura.

El primer objetivo consiste en retomar los resultados de los cálculos de conductores eléctricos, conductores de puesta a tierra, protecciones eléctricas y canalizaciones con la finalidad de proponer planos eléctricos que cumplan con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012.

Un segundo objetivo es lograr que la sala de rayos X No. 1 se apegue a lo establecido en los artículos de la Norma Oficial Mexicana NOM-SSA-229-2002. Esto se logra realizando propuestas específicas incluyendo el documento que sustenta el cálculo para barreras de protección radiológica, con la finalidad de obtener una propuesta más completa para la sala de rayos X. Documento base para las propuestas de mejoras relacionadas con blindajes y barreras de protección radiológica.

Finalmente después de cumplir con estos dos objetivos se tendrá una sala de rayos X que se apegue a las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEDE-2012 y NOM-SSA-229-2002, de esta forma se cumple con el objetivo el cual consiste en proponer área más segura y eficiente para el personal operativo y pacientes.

#### 4.1 PROPUESTA DE MEJORA PARA LA ILUMINACIÓN EN LA SALA DE RAYOS X

Con base en la información obtenida en el capítulo tres se sabe que los conductores de alimentación eléctrica y conductores de puesta a tierra que están instalados en el Sistema actual y Sistema de emergencia (**TAB Existente** y **TAB Emergencia**) para luminarias, no son adecuados según la NOM-001-SEDE-2012. De esta manera en la tabla 4.1 se muestran las debilidades del Sistema actual y del Sistema de emergencia y se proponen las mejoras correspondientes.

**Tabla 4.1 Propuestas de mejora en el sistema de iluminación de la sala de rayos X No. 1.<sup>21</sup>**

Sistema de iluminación	Mejoras en el sistema de iluminación
<ul style="list-style-type: none"> <li>Existe un exceso de cableado, lo cual resulta contraproducente en caso de alguna falla eléctrica, ya que si esta existe es difícil rastrearla. Por ende no se cumple con el artículo <b>410-48Alambrado de luminarias</b> de la NOM-001-SEDE-2012.</li> <li>En caso de existir una falla en el sistema distintas salas del área de radiología quedan sin servicio de iluminación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar seccionamiento de alambrado. Nos referimos a tener una mejor proyección con respecto al alambrado en el área de radiodiagnóstico, esto se logra dividiendo el alambrado por salas y pasillos, esto quiere decir que cada sala tendrá su propia pastilla termomagnética y su alambrado exclusivo. Esto con la finalidad de que se cumpla el artículo 410-48 de la NOM-001-SEDE-2012 y que las fallas en caso de existir sean más sencillas de rastrear.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>El plano actual muestra los conductores de alimentación eléctrica, conductores de puesta a tierra y canalizaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Crear un nuevo plano eléctrico que muestre los conductores eléctricos, conductores de puesta a tierra, interruptor termo magnético y canalizaciones, contemplando las nueve luminarias que se encuentran en la sala No. 1</li> </ul>

<sup>21</sup>Tabla propia, propuestas de mejora en el sistema de iluminación de la sala de rayos X No. 1



<ul style="list-style-type: none"> <li>• El plano eléctrico actual no muestra los apagadores que controlan las luminarias de la sala No. 1</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el plano eléctrico No. 10 están contemplados dichos apagadores.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las lámparas de emergencia se encuentran mal distribuidas ya que el técnico radiólogo se encuentra en una esquina junto a los vestidores, en caso de una interrupción del sistema eléctrico existente el técnico carece en absoluto de iluminación.</li> <li>• No existen lámparas de emergencia en vestidores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se propone un reordenamiento del cableado con la finalidad de que una lámpara de emergencia se encuentre cerca del técnico y en caso de falla la lámpara de emergencia cumpla la función de proporcionar iluminación al técnico.</li> <li>• Colocar una lámpara de emergencia en uno de los vestidores.</li> </ul>

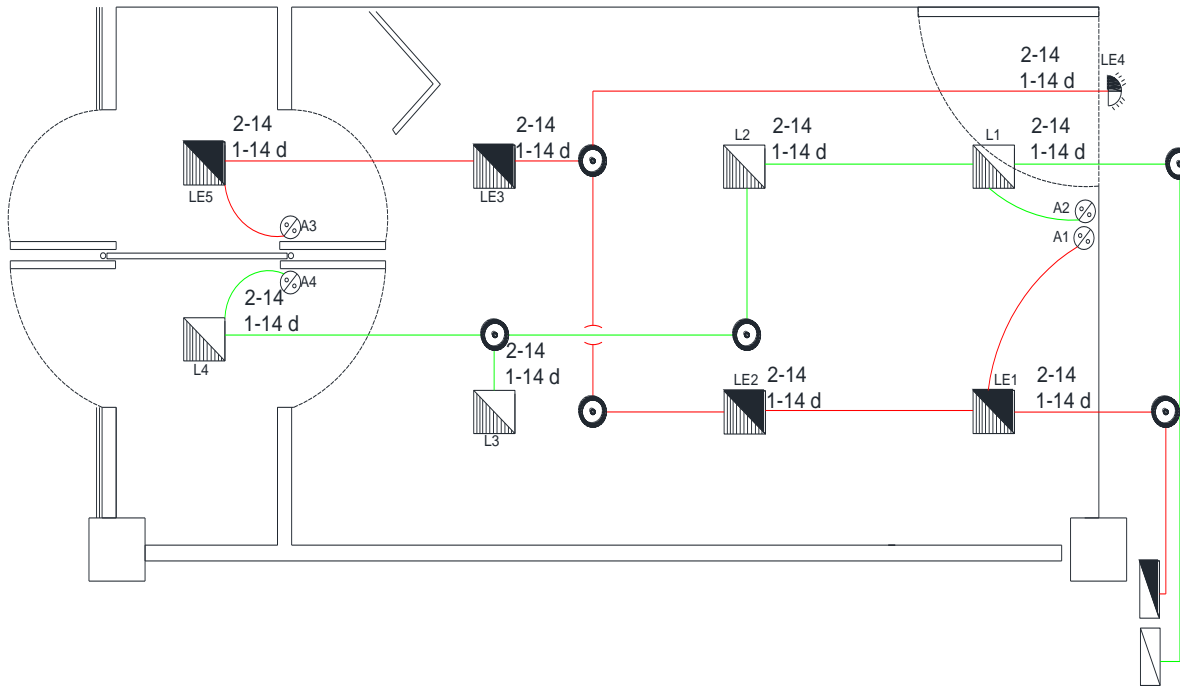
#### Luminarias conectadas al sistema actual según plano No.10

El sistema actual de luminarias cuenta con cuatro luminarias con lámparas fluorescentes compactas de 26 [W], alimentadas eléctricamente por dos conductores con calibre 14 AWG THW-LS y un conductor de puesta a tierra de 14 AWG desnudo. La canalización eléctrica es tubería conduit de 16 mm, mientras que la protección eléctrica es un interruptor termomagnético de 15 [A] en **TAB. Existente**










#### Luminarias conectadas al sistema de emergencia según plano No.10

El sistema actual de luminarias cuenta con cinco luminarias con lámparas fluorescentes compactas de 26 [W], alimentadas eléctricamente por dos conductores con calibre 14 AWG THW-LS y un conductor de puesta a tierra de 14 AWG desnudo. La canalización eléctrica es tubería conduit de 16 mm, mientras que la protección eléctrica es un interruptor termomagnético de 15 [A] en **TAB de Emergencia.**

## SALA DE RAYOS X No. 1 TORAX




### SIMBOLOGÍA

-  CONDUITS TIPO L y T
-  APAGADOR DE TECLA SENCILLOS 1 POLO, 1 TIRO, 15 Amp, 127 Vca.
-  LUMINARIO CON LÁMPARA FLUORESCENTE COMPACTA 1T-26 W, 4100 °K CON BALASTRO ELECTRÓNICO
-  LUMINARIO DE EMERGENCIA CON LÁMPARA FLUORESCENTE COMPACTA 1T-26 W, 4100 °K CON BALASTRO ELECTRÓNICO
-  LUMINARIO INCANDESCENTE DE 25 W COLOR ROJO CON DIFUSOR DE ACRILICO
-  TABLERO ELÉCTRICO DE EMERGENCIA
-  TABLERO ELÉCTRICO
-  TUBERÍA CONDUIT 16 mm. AÉREA PARA EL SISTEMA EXISTENTE.
-  TUBERÍA CONDUIT 16 mm. AÉREA PARA EL SISTEMA DE EMERGENCIA.

### NOTAS:

- EL APAGADOR A1 CONTROLA A LAS LUMINARIAS LE1, LE2 Y LE3
- EL APAGADOR A2 CONTROLA LAS LUMINARIAS L1, L2 Y L3
- EL APAGADOR A3 CONTROLA A LA LUMINARIA LE5.
- EL APAGADOR A4 CONTROLA A LA LUMINARIA L4

DIBUJO Y PROYECTO: ALONSO GARCÍA LILIANA NUÑEZ VÁZQUEZ ANTONIO REVISÓ Y APROBÓ: MARTÍNEZ ACOSTA JOSÉ ARTURO	 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA	DIBUJÓ: A.G.L. N.V.A. PROY: A.G.L. N.V.A. REVISÓ: M.A.J.A. APROBÓ: M.A.J.A.	REESTRUCTURACIÓN DE UNA SALA DE RAYOS X CON BASE A LA NORMATIVIDAD OFICIAL <h3>PLANO DE LUMINARIAS</h3>
DIBUJO ELABORADO EN: CIUDAD DE MÉXICO	FECHA: JUNIO 2013	ESC. S/E	ACOT. EN: S/A
		<b>PLANO 10</b>	

## 4.2 PROPUESTA DE MEJORA PARA RECEPTÁCULOS Y RECEPTÁCULOS DE TENSIÓN REGULADA

Se analizaron los planos que muestran el conexionado de los receptáculos monofásicos y los receptáculos de tensión regulada. Como se corrobora en el capítulo tres los conductores que actualmente alimentan eléctricamente a los receptáculos, al igual que los conductores de puesta a tierra son incorrectos. Por ende es necesario plantear mejoras, las cuales se muestran en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2 Propuestas para mejora en el sistema de receptáculos de la sala de rayos X No. 1<sup>22</sup>**

Sistema actual para receptáculos	Mejoras en el sistema actual de receptáculos
<ul style="list-style-type: none"> <li>La alimentación eléctrica de los receptáculos monofásicos con puesta a tierra y de tensión regulada se encuentran conectados a un solo circuito, nuevamente dos salas dependen del mismo conexionado, lo cual no resulta eficiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se propone evitar el exceso de alambrado por los motivos que se mencionaron con anterioridad.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>El plano actual muestra los conductores eléctricos, conductores de puesta a tierra y canalización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Introducir un nuevo plano eléctrico que muestre los conductores eléctricos, conductores de puesta a tierra, interruptor termo magnético y canalización evitando el exceso de alambrado.</li> </ul>

El plano No. 11 muestra las mejoras que se proponen en el área, como se mencionó los conductores son de un calibre mayor al que se necesita. En caso de una sobre corriente eléctrica el conductor no resultara dañado ya que su capacidad le permite conducir esa cantidad de corriente, sin embargo la carga si puede llegar a ser afectada.

Para realizar el seccionamiento de alambrado y evitar el alambrado excesivo, es necesario realizar el cálculo de los conductores eléctricos. Los conductores

<sup>22</sup>Tabla propia, propuestas de mejora en el sistema de receptáculos de la sala de rayos X No. 1.

de puesta a tierra, el interruptor termo magnético y la canalización ya que ahora los receptáculos monofásicos de puesta a tierra y los de tensión regulada contarán con una potencia menor. Los cálculos se realizan de la misma manera que en el capítulo 3, los receptáculos serán distribuidos de la siguiente manera.

#### Receptáculos monofásicos con puesta a tierra según plano No.11.

Se tienen tres receptáculos monofásicos con puesta a tierra, alimentados eléctricamente por dos conductores con un calibre 14 AWG THW-LS, un conductor de puesta a tierra 14 AWG desnudo. La canalización que los contiene es una tubería conduit de 16 mm y la protección eléctrica es un interruptor termomagnético de 15 [A] en **TAB. Existente**.

#### Receptáculos monofásicos con puesta a tierra de emergencia según plano No.11.

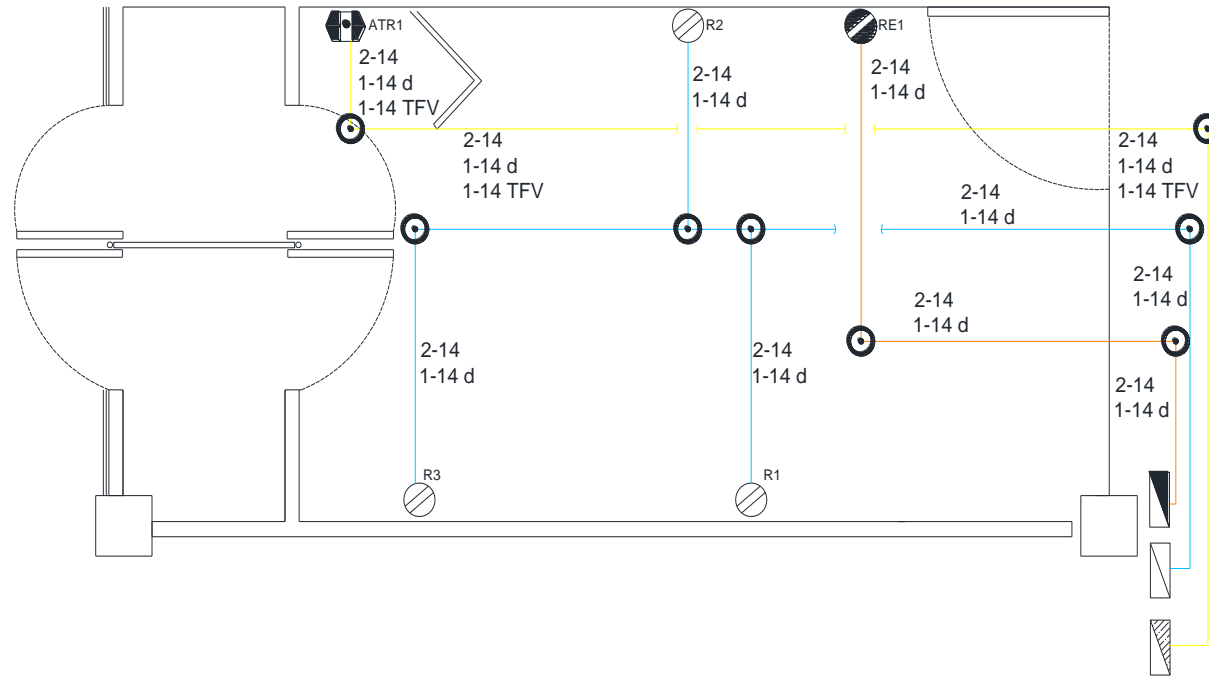
Se propone un receptáculo monofásico con puesta a tierra de emergencia, alimentado eléctricamente por dos conductores de calibre 14 AWG THW-LS, un conductor de puesta a tierra 14 AWG desnudo. La canalización que los contiene es una tubería conduit de 16 mm y la protección eléctrica es un interruptor termomagnético de 15 [A] en **TAB. Emergencia**,

#### Receptáculos monofásicos de tensión regulada según plano No.11.

Se propone un receptáculo monofásico de tensión regulada, alimentado eléctricamente por dos conductores de calibre 14 AWG THW-LS, un conductor de puesta a tierra 14 AWG desnudo, además de un conductor de tierra física, forro color verde con un calibre 14 AWG. La canalización que los contiene es una tubería conduit de 16 mm y la protección eléctrica es un interruptor termomagnético de 15 [A] en **TAB. ATR**

A continuación se muestra el plano No. 11 que muestra las mejoras en la sala de rayos X No. 1.

## SALA DE RAYOS X No. 1 TORAX



### SIMBOLOGÍA

- CONDULETS TIPO L y T
- RECEPTÁCULO MONOFÁSICO DOBLE POLARIZADO CON PUESTA A TIERRA
- RECEPTÁCULO DE EMERGENCIA MONOFÁSICO DOBLE POLARIZADO CON PUESTA A TIERRA
- RECEPTÁCULO MONOFÁSICO DOBLE POLARIZADO CON PUESTA A TIERRA ISLADA, COLOR NARANJA
- TABLERO ELÉCTRICO ATR
- TABLERO ELÉCTRICO DE EMERGENCIA
- TABLERO ELÉCTRICO
- TUBERÍA CONDUIT 16 mm. AÉREA PARA EL SISTEMA EXISTENTE.
- TUBERÍA CONDUIT 16 mm. AÉREA PARA EL SISTEMA DE EMERGENCIA.
- TUBERÍA CONDUIT 16 mm. AÉREA PARA EL SISTEMA DE TENSION REGULADA ATR.

DIBUJÓ Y PROYECTÓ: ALONSO GARCÍA JULIANA NUÑEZ VÁZQUEZ ANTONIO REVISÓ Y APROBÓ: MARTÍNEZ ACOSTA JOSÉ ARTURO	 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA	DIBUJÓ: A.G.L. N.V.A. PROY: A.G.L. N.V.A. REVISÓ: M.A.J.A. APROBÓ: M.A.J.A.	REESTRUCTURACIÓN DE UNA SALA DE RAYOS X CON BASE A LA NORMATIVIDAD OFICIAL <b>PLANO DE RECEPTÁCULOS</b>	<b>PLANO 11</b>
DIBUJO ELABORADO EN: CIUDAD DE MÉXICO		FECHA: JUNIO 2013	ESC: SE	ACOT. EN: S/A

### 4.3 PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE LA MEMORIA ANALÍTICA

El cálculo de los blindajes de la sala de rayos X No. 1, se realizó con base en lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-229-SSA-2002, con apoyo del NCRP49 con el objetivo de fundamentar lo establecido en el presente proyecto. Cabe mencionar que los cálculos determinan las características de los blindajes radiológicos deben ser realizados por un asesor especializado en seguridad radiológica para tener validez oficial, dicho asesor debe contar con permiso vigente de la secretaria de salud. Por lo cual los cálculos que se presentan a continuación forman parte de un ejercicio académico, para sustentar el presente trabajo.

#### Barreras primarias.

Para el cálculo de barreras primarias es necesario considerar los parámetros de kilovoltaje máximo y miliamperaje máximo al que puede operar el equipo de rayos X. Lo anterior se determinó según las especificaciones de la hoja de datos del tubo de rayos X tipo RAD 68 contenida en el apéndice C.

Para obtener la corriente máxima que puede circular por el tubo de rayos X, se consideraron las características del foco grueso (2.0) obteniendo lo siguiente:

$$P_{MAX} = 96.4 [kW]; V_{MAX} = 150[kV] \text{ teniendo en cuenta que } P_{MAX} = V_{MAX} * I_{MAX}$$

Calculamos

$$I_{MAX} = \frac{P_{MAX}}{V_{MAX}}; I_{MAX} = \frac{96.4 kW}{150 kV}; I_{MAX} = 642[mA] \dots (4.1)$$

Para el cálculo de barreras es necesario determinar varios parámetros uno de ellos es el factor de trabajo, el cual se obtiene del producto de la corriente máxima de operación del tubo, con el tiempo que el tubo pasa energizado en una semana.

$$W = I_{MAX} * \frac{\text{Minutos}}{\text{Semana}}; \dots (4.2) \text{ donde } W = (642[mA]) \left(4 \frac{\text{min}}{\text{sem}}\right);$$
$$W = [2,568 \frac{mA \cdot \text{min}}{\text{sem}}]$$

#### Barrera primaria 1. Bucky de pared.

El muro donde se encuentra montado el bucky se considera como la única barrera primaria, ya que la sala está destinada únicamente para estudios de tórax, una barrera primaria es aquella que recibe directamente el haz principal de rayos X. Para realizar el cálculo de barreras existen parámetros establecidos por la normatividad vigente como por los manuales NCRP49.

Para el caso de esta barrera consideraremos:

$H_e = 1.0$  [mSv]; límite de dosis equivalente semanal para POE.

$U = 1$ ; factor de uso en base al número de barreras primarias.

$D = 1.7$  [m]; distancia del tubo de rayos X, a la posición del POE detrás de la barrera conocido como punto de interés.

$T = 1.0$ ; factor de ocupación, en este caso, la ocupación es total.

Para poder calcular el espesor del blindaje es necesario obtener el factor de atenuación  $B$ , el cual para barreras primarias esta dado por la siguiente expresión:

$$B = \frac{H_e * d^2}{W * U * T}; \dots (4.3)$$

Sustituyendo

$$B = \frac{(1.0)(1.7 \text{ m})^2}{\left(2,568 \frac{\text{mAminutos}}{\text{semana}}\right) (1)(1)}; \text{obtenemos } B = 1.1253 \times 10^{-3}$$

Para obtener el blindaje correcto es necesario especificar con que material se va a realizar, ya que el espesor del mismo se determina con base a la ecuación (4.4) la cual emplea una constante según el tipo de material. Para este caso se propone la utilización de plomo ya que es un material comercial y eficiente en la construcción de blindajes radiológicos. Es muy común la utilización de láminas delgadas, las cuales ayudan a tener un mejor aprovechamiento del espacio.

Para obtener el espesor del blindaje utilizando plomo como material de atenuación se usa la siguiente expresión:

$$S = 0.99 * \log \frac{1}{B}; \dots (4.4) \quad \text{donde } S = (0.99) \left( \log \frac{1}{1.1253 \times 10^{-3}} \right);$$

$$S = 2.91 \text{ [mm] de Pb}$$

Lo que indica que el espesor del blindaje debe ser de 2.91 [mm] de plomo.

En el presente trabajo las barreras secundarias están consideradas como se presenta en el plano No.12 "Barreras radiológicas".

### Barreras secundarias

Para el cálculo de barreras secundarias es necesario realizar por separado el cálculo del blindaje para radiación por dispersión y el cálculo del blindaje para la radiación por fuga. Recordando que la radiación por dispersión es aquella que al pasar de un medio a otro cambia su dirección y su longitud de onda; durante el estudio la principal fuente de radiación dispersa es el paciente debido a que él interactúa directamente con el haz primario de rayos X. Por otra parte la radiación por fuga se refiere a la radiación generada en el tubo de rayos X y la cual no forma parte del haz principal, por lo que debe ser absorbida en su mayoría por la coraza del tubo de rayos X.

El espesor del blindaje para una barrera secundaria está determinado por la suma de los blindajes necesarios, para la atenuación de la radiación dispersa y radiación de fuga. A continuación se definen los factores para el cálculo de los blindajes:

$\alpha$ : La relación entre la radiación dispersa y la radiación incidente la cual se toma en base a lo establecido en la tabla B-2 del NCPR 49.

$S$ : El área máxima de exposición del paciente al haz de rayos X.

$U$ : El factor de uso para barreras secundarias.

$Dd$ : La distancia desde el elemento dispersor (paciente) a la fuente de radiación.

$Ds$ : La distancia que existe desde el blanco del tubo de rayos X, hasta el punto de interés.

$Bd$ : Factor transmisión de radiación dispersa.

$Bf$ : Factor de transmisión de radiación por fuga.

$He$ : Rapidez de dosis equivalente efectiva semanal.

$T$ : Factor de ocupación

$Ima$ : La corriente máxima a la que puede operar el tubo de rayos X.

### Barrera secundaria 1. Piso.

El piso es considerado como una barrera secundaria ya que el haz principal de rayos X no se dirige directamente hacia el ya que la sala está destinada para estudios de tórax.

Para el cálculo del blindaje del piso se considera el mismo valor de carga de trabajo ( $W$ ) y factor de uso ( $U$ ), considerado en la barrera primaria, mientras que el valor de la rapidez de dosis equivalente efectiva se considera para público general ( $He$ ).



Teniendo los siguientes datos:

$$\alpha = 0.0024$$

$$S = 3500 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$U = 1$$

$$Dd = 1 \text{ [m]}$$

$$Ds = 1.10 \text{ [m]}$$

$$He = 0.1 \text{ [mSv]} \text{ para público general}$$

$$W = 2,568 \text{ [mAmin/sem]}$$

$$T = 1 \text{ para ocupación total}$$

$$I_{max} = 642 \text{ [mA]}$$

El factor de atenuación de radiación dispersa está dado por:

$$Bd = \frac{400 * He * D_s^2 * D_d^2}{\alpha * S * W * T}; \dots (4.5)$$

$$B_d = \frac{(400)(0.1 \text{ mSv})(1.10 \text{ m})^2(1 \text{ m})^2}{(0.0024)(3,500 \text{ cm}^2)(2,568 \text{ mAmin/sem})(1)};$$

$$Bd = 2.243 \times 10^{-3}$$

Una vez calculado el factor de atenuación, se debe calcular el espesor del blindaje tal como se realizó para las barreras primarias.

$$S = 0.99 * \log \frac{1}{B}; \dots (4.4) \text{ donde } S = (0.99) \left( \log \frac{1}{2.243 \times 10^{-3}} \right);$$

$$S = 2.622 \text{ [mm]} \text{ de Pb}$$

Después de conocer el blindaje para la radiación por dispersión se procede a calcular el blindaje para la radiación por fuga

Donde

$$Bf = \frac{600 * He * D_s^2 * I_{max}}{W * T}; \dots (4.6);$$

$$Bf = \frac{(600)(0.1 \text{ mSv})(1.10 \text{ m})^2(642 \text{ mA})}{(2,568 \text{ mAmin/sem})(1)}$$

$$Bf = 18.15$$

Para el espesor del blindaje por fuga

$$S = 0.99 * \log \frac{1}{B}; \dots (4.4) \text{ donde } S = (0.99) \left( \log \frac{1}{18.15} \right);$$

$S < 1$  por lo que no necesita blindaje para radiación por fuga

Ya que no es necesario el blindaje para la radiación por fuga, el espesor del blindaje para la barrera secundaria 1, es:

$$S = 2.622 \text{ [mm] de Pb}$$

Barrera secundaria 2. Muro con colindancia a la sala de rayos X No.2.

$$\alpha = 0.0024$$

$$S = 3500 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$U = 1$$

$$D_d = 1 \text{ [m]}$$

$$D_s = 1.7 \text{ [m]}$$

$$H_e = 1.0 \text{ [mSv]} \text{ para POE}$$

$$W = 2,568 \text{ [mAmin/sem]}$$

$$T = 1 \text{ para ocupación total}$$

$$I_{max} = 642 \text{ [mA]}$$

Cálculo del factor de atenuación  $B$  para radiación dispersa:

$$B_d = \frac{400 * H_e * D_s^2 * D_d^2}{\alpha * S * W * T}; \dots (4.5)$$

$$B_d = \frac{(400)(1.0 \text{ mSv})(1 \text{ m})^2 (1.7 \text{ m})^2}{(0.0024)(3,500 \text{ cm}^2)(2,568 \text{ mAmin/sem})(1)};$$

$$B_d = 0.0535$$

Una vez calculado el factor de atenuación, se calcula el espesor del blindaje

$$S = 0.99 * \log \frac{1}{B}; \dots (4.4) \text{ donde } S = (0.99) \left( \log \frac{1}{0.0535} \right);$$

$$S = 1.25 \text{ [mm] de Pb}$$

Ya conocido el blindaje para la radiación por dispersión se calcula el blindaje para la radiación por fuga

Donde

$$B_f = \frac{600 * H_e * D_s^2 * I_{max}}{W * T}; \dots (4.6)$$

$$B_f = \frac{(600)(1.0 \text{ mSv})(1.7 \text{ m})^2 (642 \text{ mA})}{(2,568 \text{ mAmin/sem})(1)};$$

$$B_f = 433.5$$

El espesor del blindaje:

$$S = 0.99 * \log \frac{1}{B}; \dots (4.4) \text{ donde } S = (0.99) \left( \log \frac{1}{433.5} \right);$$

$S < 1$  por lo que no se necesita blindaje para radiación por fuga

El espesor necesario del blindaje para la barrera secundaria 2, será:

$$S = 1.25 \text{ [mm] de Pb}$$

Barrera secundaria 3. Muro con colindancia a vestidores.

$$\alpha = 0.0024$$

$$S = 3500 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$U = 1$$

$$D_d = 1 \text{ [m]}$$

$$D_s = 4.8 \text{ [m]}$$

$$H_e = 0.1 \text{ [mSv]} \text{ para público general}$$

$$W = 2,568 \text{ [mAmin/sem]}$$

$$T = 1 \text{ para ocupación total}$$

$$I_{max} = 642 \text{ [mA]}$$

Cálculo del factor de atenuación para radiación dispersa:

$$B_d = \frac{400 * H_e * D_s^2 * D_d^2}{\alpha * S * W * T}; \dots (4.5)$$

$$B_d = \frac{(400)(0.1 \text{ mSv})(4.8 \text{ m})^2(1 \text{ m})^2}{(0.0024)(3,500 \text{ cm}^2)(2,568 \text{ mAmin/sem})(1)}$$

$$B_d = 0.0427$$

El espesor del blindaje para radiación dispersa:

$$S = 0.99 * \log \frac{1}{B}; \dots (4.4) \text{ donde } S = (0.99) \left( \log \frac{1}{0.0427} \right); \quad S = 1.35 \text{ [mm] de Pb}$$

Cálculo del blindaje para la radiación por fuga

$$B_f = \frac{600 * H_e * D_s^2 * I_{max}}{W * T}; \dots (4.6)$$

$$B_f = \frac{(600)(0.1 \text{ mSv})(4.8 \text{ m})^2(642 \text{ mA})}{(2,568 \text{ mAmin/sem})(1)}; \quad B_f = 345.6$$

El espesor del blindaje para radiación por fuga:

$$S = 0.99 * \log \frac{1}{B}; \dots (4.4) \text{ donde } S = (0.99) \left( \log \frac{1}{345.6} \right);$$

$S < 1$  por lo que no se necesita blindaje para radiación por fuga

El espesor del blindaje para la barrera secundaria 3, es:

$$S = 1.35[\text{mm}] \text{ de Pb}$$

Barrera secundaria 4. Mampara de protección radiológica.

$$\alpha = 0.0024$$

$$S = 3500 [\text{cm}^2]$$

$$U = 1$$

$$D_d = 1 [\text{m}]$$

$$D_s = 3.35 [\text{m}]$$

$$H_e = 1.0 [\text{mSv}] \text{ para POE}$$

$$W = 2,568 [\text{mAmin/sem}]$$

$$T = 1 \text{ para ocupación total}$$

$$I_{max} = 642 [\text{mA}]$$

Cálculo del factor de atenuación para radiación dispersa:

$$B_d = \frac{400 * H_e * D_s^2 * D_d^2}{\alpha * S * W * T}; \dots (4.5);$$

$$B_d = \frac{(400)(1\text{mSv})(3.35\text{ m})^2(1\text{m})^2}{(0.0024)(3,500\text{ cm}^2)(2,568\text{ mAmin/sem})(1)}$$

$$B_d = 0.2081$$

El espesor del blindaje para radiación dispersa:

$$S = 0.99 * \log \frac{1}{B}; \dots (4.4) \text{ donde } S = (0.99) \left( \log \frac{1}{0.2081} \right); S = 0.674 [\text{mm}] \text{ de Pb}$$

Cálculo del factor de atenuación para la radiación por fuga

$$B_f = \frac{600 * H_e * D_s^2 * I_{max}}{W * T}; \dots (4.6)$$

$$B_f = \frac{(600)(1\text{ mSv})(3.35\text{m})^2(642\text{ mA})}{(2,568\text{ mAmin/sem})(1)};$$

$$B_f = 1,683.37$$

El espesor del blindaje para radiación por fuga:

$$S = 0.99 * \log \frac{1}{B}; \dots (4.4) \text{ donde } S = (0.99) \left( \log \frac{1}{1,683.37} \right);$$

$S < 1$  por lo que no necesita blindaje para radiación por fuga

Por lo que el espesor del blindaje para la barrera secundaria 4, es:

$$S = 0.674 [\text{mm}] \text{ de Pb}$$

### Barrera secundaria 5. Colindancia con sala de interpretación.

Actualmente la sala de interpretación no se encuentra continua de la sala de rayos X No. 1, tal como se muestra en el Plano 7 del apéndice B, debido a las remodelaciones realizadas en el área por lo cual se tomara el límite de dosis equivalente efectiva para público en general.

$$\alpha = 0.0024$$

$$S = 3500 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$U = 1$$

$$D_d = 1 \text{ [m]}$$

$$D_s = 1.8 \text{ [m]}$$

$$H_e = 0.1 \text{ [mSv]} \text{ para público general}$$

$$W = 2,568 \text{ [mAmin/sem]}$$

$$T = 1 \text{ para ocupación total}$$

$$I_{max} = 642 \text{ [mA]}$$

Cálculo del factor de atenuación para radiación dispersa:

$$B_d = \frac{400 * H_e * D_s^2 * D_d^2}{\alpha * S * W * T}; \dots (4.5);$$

$$B_d = \frac{(400)(0.1 \text{ mSv})(1.8 \text{ m})^2 (1 \text{ m})^2}{(0.0024)(3,500 \text{ cm}^2)(2,568 \text{ mAmin/sem})(1)};$$

$$B_d = 6.008 \times 10^{-3}$$

El espesor del blindaje para radiación dispersa:

$$S = 0.99 * \log \frac{1}{B}; \dots (4.4) \text{ donde } S = (0.99) \left( \log \frac{1}{6.008 \times 10^{-3}} \right);$$

$$S = 2.19 \text{ [mm]} \text{ de Pb}$$

Cálculo del factor de atenuación para la radiación por fuga

$$B_f = \frac{600 * H_e * D_s^2 * I_{max}}{W * T}; \dots (4.6) \quad B_f = \frac{(600)(0.1 \text{ mSv})(1.8 \text{ m})^2 (642 \text{ mA})}{(2,568 \text{ mAmin/sem})(1)};$$

$$B_f = 48.6$$

El espesor del blindaje para radiación por fuga:

$$S = 0.99 * \log \frac{1}{B} \dots (4.4); \text{ donde } S = (0.99) \left( \log \frac{1}{48.6} \right);$$

$S < 1$  por lo que no necesita blindaje para radiación por fuga

El espesor del blindaje para la barrera secundaria 5, es:

$$S = 2.19[\text{mm}] \text{ de Pb}$$

### Barrera secundaria 6. Techo

$$\alpha = 0.0024$$

$$S = 3500 [\text{cm}^2]$$

$$U = 1$$

$$D_d = 1 [\text{m}]$$

$$D_s = 2 [\text{m}]$$

$$H_e = 0.1 [\text{mSv}] \text{ para público general}$$

$$W = 2,568 [\text{mAmin/sem}]$$

$$T = 1 \text{ para ocupación total}$$

$$I_{max} = 642 [\text{mA}]$$

Cálculo del factor de atenuación para radiación dispersa:

$$B_d = \frac{400 * H_e * D_s^2 * D_d^2}{\alpha * S * W * T}; \dots (4.5);$$

$$B_d = \frac{(400)(0.1\text{mSv})(2\text{m})^2(1\text{m})^2}{(0.0024)(3,500 \text{ cm}^2)(2,568 \text{ mAmin/sem})(1)};$$

$$B_d = 7.41 \times 10^{-3}$$

El espesor del blindaje para radiación dispersa:

$$S = 0.99 * \log \frac{1}{B}; \dots (4.4) \text{ donde } S = (0.99) \left( \log \frac{1}{7.41 \times 10^{-3}} \right);$$

$$S = 2.10 [\text{mm}] \text{ de Pb}$$

Cálculo del factor de atenuación para la radiación por fuga

$$B_f = \frac{600 * H_e * D_s^2 * I_{max}}{W * T}; \dots (4.6) B_f = \frac{(600)(0.1 \text{ mSv})(2\text{m})^2(642 \text{ mA})}{(2,568 \text{ mAmin/sem})(1)};$$

$$B_f = 60$$

El espesor del blindaje para radiación por fuga:

$$S = 0.99 * \log \frac{1}{B} \dots (4.4); \text{ donde } S = (0.99) \left( \log \frac{1}{60} \right);$$

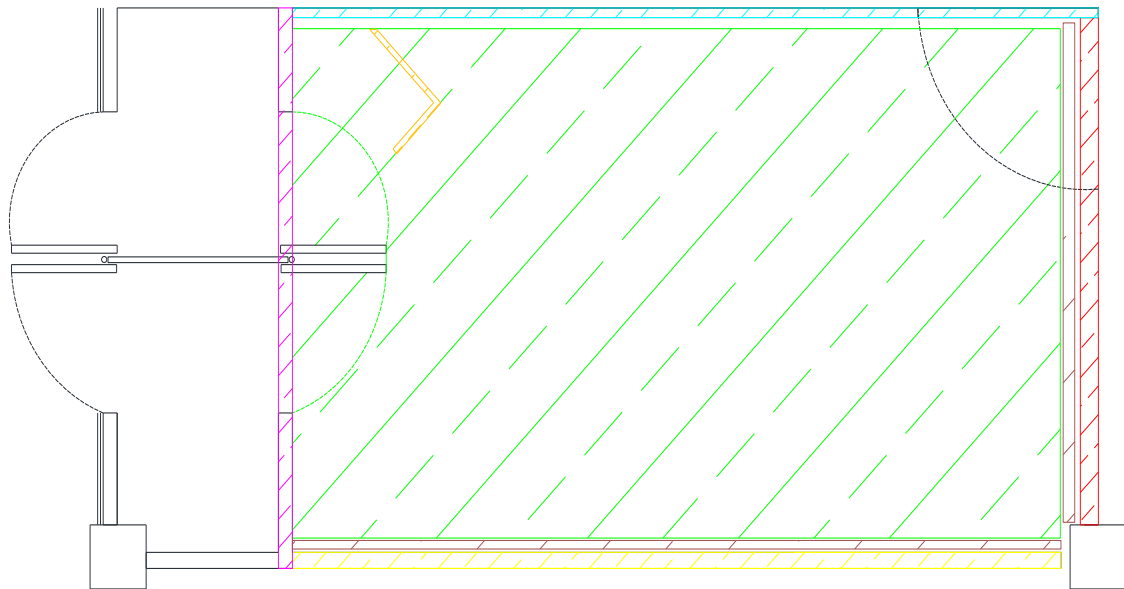
$S < 1$  por lo que no necesita blindaje para radiación por fuga

El espesor del blindaje para la barrera secundaria 5, es:

$$S = 2.10[\text{mm}] \text{ de Pb}$$

A continuación se muestra el plano No. 12 Barreras Radiológicas.

**SALA DE RAYOS X No. 1**  
**TORAX**




**SIMBOLOGÍA**

-  BARRERA PRIMARIA 1 "ACCESO PRINCIPAL"
-  BARRERA SECUNDARIA 1 "PISO"
-  BARRERA SECUNDARIA 2 "PARED"
-  BARRERA SECUNDARIA 3 "PARED"
-  BARRERA SECUNDARIA 4 "MAMPARA"
-  BARRERA SECUNDARIA 5 "PARED"
-  BARRERA SECUNDARIA 6 "TECHO"

**NOTAS:**

LA BARRERA PRIMARIA 1 ES DONDE SE ENCUENTRA EL BUCKY DE PARED.  
 LA BARRERA SECUNDARIA 1 ES EL PISO DE LA SALA DE RAYOS X.  
 LA BARRERA SECUNDARIA 2 ES EL MURO CON COLINDANCIA A LA SALA DE RAYOS X NO.2.  
 LA BARRERA SECUNDARIA 3 ES EL MURO CON COLINDANCIA A VESTIDORES.  
 LA BARRERA SECUNDARIA 4 ES LA MAMPARA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.  
 LA BARRERA SECUNDARIA 5 ES EL MURO CON COLINDANCIA A LA SALA DE INTERPRETACIÓN.  
 LA BARRERA SECUNDARIA 6 ES EL TECHO DE LA SALA DE RAYOS X.

DIBUJO Y PROYECTO: ALONSO GARCÍA LUJANA NUÑEZ VÁZQUEZ ANTONIO REVISÓ Y APROBÓ: MARTÍNEZ ACOSTA JOSÉ ARTURO	 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA	DIBUJÓ:	A.G.L.	REESTRUCTURACIÓN DE UNA SALA DE RAYOS X CON BASE A LA NORMATIVIDAD OFICIAL <b>PLANO DE BARRERAS RADIOLÓGICAS</b>
			N.V.A.	
		PROY:	A.G.L.	
			N.V.A.	
		REVISÓ:	M.A.J.A.	<b>PLANO 12</b>
		APROBÓ:	M.A.J.A.	
	DIBUJO ELABORADO EN: CIUDAD DE MÉXICO	FECHA: JUNIO 2013	ESC. S/E	ACOT. EN : S/A

#### 4.4 PROPUESTA DE MEJORA PARA LA SALA DE RAYOS X NO.1

Como parte del proyecto se presenta la propuesta de mejora para la sala No. 1 de rayos X del Hospital Modelo, tomando en cuenta lo establecido en la NOM-229-SSA-2002 y el análisis del área realizado en el capítulo 3. Lo anterior con el objetivo de conseguir la mayor seguridad del paciente y el POE en la sala de imagenología, así como la mejor calidad en el procedimiento de diagnóstico médico con rayos X.

##### Áreas de oportunidad en el diseño general de la sala de rayos X No.1

El diseño de sala constituye una importante área de oportunidad para el proyecto, principalmente es necesaria la instalación de señalizaciones para la correcta protección radiológica del POE y pacientes. (Tabla 4.3)

**Tabla 4.3 Propuestas de mejora del diseño arquitectónico de sala de rayos X No. 1<sup>23</sup>**

Artículo incumplido	Propuesta de mejora
<p><b>Art. 5.1.1.4</b> establece que deben existir “Vestidores y sanitarios para pacientes.”</p>	<p>Se propone la construcción de un sanitario para pacientes utilizando parte del área adjunta a la sala o en su defecto la remodelación de uno de los dos vestidores para pacientes.</p>
<p><b>Art. 5.1.4</b> “En el interior de las puertas de sanitarios y vestidores que dan ingreso a la sala de rayos X debe existir un cartel con la siguiente leyenda “NO ABRIR ESTA PUERTA A MENOS DE QUE LO LLAMEN”.”</p>	<p>Instalar en el interior de ambos vestidores un cartel con la leyenda mencionada. El cartel debe ser por lo menos 20[cm] de cada lado y se sugiere respetar el diseño y color que el resto de las señalizaciones que se encuentran instaladas en el área de radiodiagnóstico.</p>
<p><b>Art. 5.2.3</b> “Las dimensiones y accesos de una sala de rayos X estarán de acuerdo a la guía mecánica del fabricante del equipo de rayos X y suficientes para manejar pacientes en camilla o silla de ruedas.”</p>	<p>Se propone la ampliación de la sala para una mejor movilidad dentro de la misma; para incluir además el doble acceso a la sala como lo marca la norma arquitectónica del IMSS.</p>

<sup>23</sup> Tabla propia propuestas de mejora del diseño arquitectónico de la sala de rayos X No. 1.



<p><b>Art 5.2.10</b> “En el interior de la sala de rayos X, debe colocarse en un lugar y tamaño visible para el paciente, un cartel con la siguiente leyenda “EN ESTA SALA SOLO PUEDE PERMANECER UN PACIENTE A LA VEZ.”</p>	<p>Instalar en el interior de ambos vestidores un cartel con la leyenda mencionada. El cartel debe ser por lo menos 20[cm] de cada lado y se sugiere respetar el diseño y color que el resto de las señalizaciones que se encuentran instaladas en el área de imagenología.</p>
<p><b>Art 5.2.11</b> “Para POE y para pacientes la instalación debe contar con dispositivos de protección tales como mamparas, mandiles, collarines protectores de tiroides, protectores de gónadas y todo aquel implemento que sea necesario de acuerdo con lo establecido en esta norma”</p>	<p>Se propone el suministro de por lo menos un chaleco plomado, un par de guantes de protección, un collarín protector de tiroides y protectores de gónadas con un equivalente de 0.5 [mm] de plomo para uso en la sala No. 1. Así como su ubicación en un lugar visible dentro de la sala para su fácil identificación y acceso.</p>
<p><b>Art. 5.2.12</b> “En la sala de rayos X deben estar solamente los equipos y accesorios indispensables para los estudios programados.”</p>	<p>Se propone la eliminación de gavetas y muebles encontrados en el área con la finalidad de evitar el almacenamiento la acumulación de polvo que pueda obstruir las ranuras de ventilación del equipo.</p>

Áreas de oportunidad en la calidad y garantía en el servicio de imagenología.

La calidad del servicio de imagenología depende tanto de la tecnología con la que cuenta el área; como de la correcta operación de los equipos y las técnicas radiológicas empleadas. Debido a lo anterior resulta necesaria la elaboración y uso de un manual de procedimientos que permita establecer un protocolo dentro del área de imagenología. (Tabla 4.4)

**Tabla 4.4 Propuestas de mejora en la calidad de la sala No. 1 de rayos X**

Artículo incumplido	Propuesta de mejora
<p><b>Art 7.6.1</b> “El técnico radiólogo debe seguir las indicaciones del manual de procedimientos técnicos, a fin de aplicar la técnica adecuada a cada tipo de estudio.”</p>	<p>Se propone la elaboración de un manual de procedimientos técnicos con la participación conjunta del titular de área y los técnicos radiólogos, con el propósito de reunir la experiencia obtenida durante el manejo de los equipos, además de los conocimientos de radiología; para establecer un protocolo de operación dentro del área.</p>

Áreas de oportunidad en características del equipo.

Las principales mejoras que se pueden obtener con relación a las características del equipo, se basan en el uso correcto y aprovechamiento del mismo, por lo que es indispensable tener acceso al manual de operación del equipo en el idioma adecuado.

Ya que no es posible realizar modificaciones en la estructura y funcionamiento originales del equipo, en caso de detectarse alguna falla o limitación de diseño, es necesario registrarlo y reportarlo al titular del área, con el propósito de realizar la corrección de la misma e incluirla en el reporte anual que se entrega a la SSA, o en su caso tener un antecedente de las necesidades del área ante una nueva adquisición de equipo. (Tabla 4.5)

**Tabla 4.5 Propuestas para la mejora del manejo del equipo de rayos X**

Artículo incumplido	Propuesta de mejora
<p><b>Art. 9.12</b> “La información que el fabricante, comercializador, o transferente debe entregar al destinatario del equipo de rayos X es: Todos los planos y especificaciones de instalación incluida (pre-instalación); Un manual de instalación; Un manual de operación y un manual de mantenimiento.”</p>	<p>Se propone la obtención del manual de operación y mantenimiento del equipo de rayos X con la empresa encargada de realizar el servicio de mantenimiento preventivo.</p> <p>Adicionalmente para proyectos futuros se propone almacenar en una plataforma digital toda la documentación de los equipos con los que cuenta el instituto.</p>

<p><b>Art. 10.3.5.3</b> “Perpendicularidad del haz de radiación. Los sistemas fijos deben contar con medios para indicar cuando el eje del haz de radiación se encuentra perpendicular al plano del receptor de imagen, para alinear el centro del campo de rayos X con respecto al centro del receptor de imágenes.</p>	<p>Ya que el equipo carece de dicho sistema se propone obtener con ayuda del ingeniero de servicio la capacitación para el mejor manejo posible, y garantizar la perpendicularidad del haz de radiación. De ser necesario dicha información debe incluirse en el manual de procedimientos técnicos del área.</p>
<p><b>Art. 18.6</b> “Las puertas de acceso a la sala de rayos X, tanto la entrada principal como la de los vestidores, deben permanecer cerradas durante el estudio radiológico.”</p> <p><b>Art. 18.10</b> “En todo estudio radiológico el haz de radiación debe limitarse al área de interés y ser siempre menor al tamaño de la película radiográfica o del intensificador de imagen utilizados, de manera que el área expuesta sea únicamente la indicada en el manual de procedimientos técnicos.”</p>	<p>Se propone la elaboración de un manual de procedimientos técnicos con la participación conjunta del titular de área y los técnicos radiólogos, con el propósito de reunir la experiencia obtenida durante el manejo del equipo. Además de los conocimientos básicos de radiología; para el establecimiento de un protocolo de operación dentro del área. Deben realizarse revisiones aleatorias durante la realización de estudios para detectar que el personal este cumpliendo con el protocolo establecido</p>
<p><b>Art. 18.11</b> “En todo estudio radiológico en el que las gónadas del paciente queden a menos de 5 [cm] del campo de radiación, deben protegerse con un blindaje de espesor equivalente de al menos 0.5 [mm] de plomo.”</p>	<p>Se propone el suministro de chalecos y guantes plomados, protectores de gónadas y de tiroides con una equivalencia de 0.5 [mm] de plomo. Así como su ubicación dentro de la sala en un lugar visible para su fácil acceso.</p>

## ***CAPÍTULO 5***

### ***CONCLUSIONES***

Como conclusión del presente trabajo, se puede asegurar que se cumplió el objetivo principal, realizar un análisis minucioso sobre la instalación eléctrica además de la evaluación de los elementos de seguridad radiológica en la sala de rayos X. Ambos estudios son esenciales para garantizar seguridad y calidad en la sala de rayos X No.1 del Hospital Modelo. Este trabajo puede ayudar en futuras remodelaciones de la sala o incluso en el análisis de otras salas que empleen equipos de rayos X.

Mediante los conocimientos adquiridos en ingeniería eléctrica fue posible interpretar y evaluar los planos eléctricos de luminarias y receptáculos, diagramas unifilares del área de imagenología. Con la habilidad adquirida se pudo realizar una evaluación de la situación en la sala, sustentada por la Norma del Instituto Mexicano del Seguro Social (Normas Arquitectónicas del IMSS) y la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012. Como se mencionó a lo largo de este trabajo los planos eléctricos no son adecuados para la instalación hospitalaria ya que carecen de proyección lo cual se refleja en el exceso de alambrado, como en la inapropiada distribución y conexión de luminarias tanto del sistema convencional, como del sistema de emergencia. Lo cual tiene como consecuencia poca eficiencia de la iluminación del área además del deterioro en la instalación eléctrica causado por dispositivos eléctricos obsoletos que no se encuentran en operación.

El estudio de estas circunstancias es importante ya que pueden propiciar fallas en los equipos conectados a la instalación eléctrica e incluso tener repercusiones en el servicio que se proporciona a los pacientes, el cual no corresponde con la calidad que se busca en la Normatividad Oficial Mexicana.

En protección radiológica la principal observación es acerca del protocolo para la realización de un estudio radiográfico, debido a la omisión del uso de dispositivos de protección radiológica. Con lo que se expone al personal operativo y pacientes a recibir una dosis de radiación que bien se puede evitar implementando un protocolo basado en los criterios establecidos en la NOM-229-SSA-2002.

Por otra parte la protección radiológica también debe ser actualizada y verificada al realizar el cambio de equipo médico. Ya que los blindajes se calculan con base en las características del equipo de rayos X. Las mejoras propuestas en el capítulo 4, contemplan la infraestructura actual de la sala de

rayos X. Con la implementación de estas mejoras se logra hacer la sala No. 1 un lugar más eficiente y seguro.

Finalmente consideramos que el presente trabajo reúne las características de un proyecto de ingeniería y para su desarrollo fue indispensable aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Eléctrica Electrónica, así como el desarrollo de habilidades como la capacidad de análisis y solución de problemas esenciales en la vida profesional de todo ingeniero.

# **GLOSARIO**

**Absorción:** Eliminación de Rayos X del haz al atravesar un medio.

**Álcalis:** Sustancias que presentan propiedades alcalinas, comúnmente conocidas como bases y cuyo pH es superior a 7 son sustancias corrosivas.

**Ampacidad:** Capacidad de conducir y mantener la corriente en un cable. La corriente en amperes que un conductor puede conducir de manera continua sin exceder su temperatura nominal.

**Ánodo:** Lado positivo del tubo de Rayos X; contiene el blanco.

**Atenuación:** Reducción de la intensidad de radiación como resultado de la absorción y las fugas.

**Átomo:** Sistema dinámico constituido por un núcleo central con carga eléctrica positiva más un número determinado de partículas con carga negativa denominados electrones.

**Blanco:** Elemento del tubo de rayos X sobre el que chocan los electrones emitidos por el filamento.

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

**Cátodo:** Lado negativo del tubo de rayos X; contiene el filamento.

**Capa decirreductora:** 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.

**Capa hemirreductora:** 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.

**Coca:** Vuelta de un cable o hilo enredado. Deformación de un conductor eléctrico debido a la torsión.

**Coefficiente de absorción:** Esta determinado para cada elemento o material en función de su densidad.

**Colimador:** Dispositivo que limita el campo del haz principal de rayos X.

**Conduit:** Tipo de canalización que consiste en una sección circular o tubería diseñada para alojar alambres o cables.

**Contraste:** Relación entre el brillo de las diferentes partes de una imagen.

**Coraza:** Cubierta o funda metálica que contiene al tubo de rayos X.

**Cuarto oscuro:** Área de la instalación en donde se lleva a cabo la preparación y el procesado de película o placas radiográficas; a fin de obtener las imágenes para los estudios de diagnóstico médico con rayos X.

**Diafragma:** Dispositivo para limitar el área del haz útil de rayos X.

**Diagrama unifilar:** Representación gráfica de una instalación eléctrica que indica mediante una sola línea las conexiones entre los diferentes tipos de dispositivos eléctricos.

**Difusor:** Dispositivo que sirve para modificar la distribución espacial del flujo de una fuente de luz, utilizando el fenómeno de difusión.

**Difusor de rejilla:** Dispositivo que actúa como pantalla antideslumbrante y difusor al mismo tiempo logrando un mayor confort visual.

**Dúctil:** Propiedad física de un material que permite su deformación sin presentar ruptura o resistencia.

**Elemento:** Sustancia constituida por átomos de la misma estructura que reaccionan químicamente de la misma forma.

**Emisión termoiónica:** Emisión de electrones a partir de una superficie caliente.

**Energía:** Capacidad para realizar un trabajo, se puede presentar bajo diferentes formas y se mide en (J)

**Energía potencial:** Capacidad de realizar un trabajo en virtud de la posición que se ocupa.

**Energía cinética:** Capacidad de realizar un trabajo debido al movimiento que posee un objeto.

**Energía térmica:** Capacidad de realizar un trabajo debido a la energía cinética de las moléculas de una sustancia u objeto.

**Espectro:** Representación gráfica del alcance de una cantidad.

**Estator:** Constituye la parte fija del motor. El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor

**Escariar:** Proceso de eliminación de viruta o agrandado de un agujero hecho en un metal.

**Exposición (X):** En protección radiológica es el valor absoluto de la carga total de los iones de un signo producidos en el aire, cuando todos los electrones liberados por fotones en una masa de aire (dm) son frenados completamente.

**Exposición:** En radiología es la generación de radiación ionizante durante un periodo de tiempo, para la realización de un estudio de diagnóstico.



**Filamento:** Elemento del tubo de rayos X en forma de espiral constituido generalmente de tungsteno, que constituye la fuente de electrones para la generación de radiación X.

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

**Fotón:** Unidad mínima de radiación electromagnética. Paquete de ondas cuyo contenido energético es proporcional a la frecuencia de la radiación.

**IF:** Corriente de fusión o de ruptura de un fusible.

**IESNA:** De las siglas en inglés de Illuminating Engineering Society of North America, es una asociación fundada con el objetivo de mejorar la calidad del ambiente iluminado, es reconocida a nivel mundial en la industria de la iluminación.

**Irradiación:** Exposición de un objeto u elemento a la radiación ionizante.

**Lumen:** Unidad del flujo luminoso de una fuente de luz, es una unidad derivada en el S.I. Se puede definir como el flujo luminoso emitido por una fuente puntual con intensidad de una candela dentro de un ángulo sólido de una unidad.

**Luminaria:** Dispositivo que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas; contiene todos los accesorios para fijar, sostener y conectar el circuito de alimentación.

**Lux:** Cantidad de flujo luminoso por unidad de área.

**Mampostería:** Es la unión de bloques o ladrillos de arcilla o de concreto con un mortero para lograr conformar elementos estructurales tipo muro.

**Memoria analítica:** Documento que certifica los requerimientos de blindaje de la instalación de rayos X para diagnóstico médico, realizado por un asesor especializado en seguridad radiológica.

**Molibdeno:** Elemento químico de número atómico 42.

**Pantalla:** Protección que impide la visión directa de las lámparas y que pueden actuar incluso como difusores.

**Pantalla antideslumbrante:** Ejerce un tipo de protección parecida a la pantalla de protección pero desde un ángulo determinado y está constituida por elementos lucidos u opacos.

**Personal ocupacionalmente expuesto (POE):** Persona que en el ejercicio y con motivo de su ocupación está expuesta a la radiación ionizante.

**Radiactividad:** Conjunto de cambios nucleares espontáneos que implican la redistribución de los componentes de núcleo, tendiendo a buscar una estructura más estable.

**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.

**Radiología:** En términos globales es la ciencia que estudia y usa las propiedades de las radiaciones ionizantes: Rayos X, gamma, radioisótopos.

**Rapidez de exposición:** Es el cociente del incremento de la exposición ( $dX$ ) entre el intervalo de tiempo ( $dt$ ).

**Reflector:** Dispositivo que sirve para modificar la distribución espacial del flujo luminoso de una fuente de luz, utilizando principalmente el fenómeno de reflexión.

**Reflexión:** Cambio de dirección y descomposición de una onda electromagnética al pasar de un medio a otro.

**Rejilla de protección:** Es el elemento que protege una lámpara o luminaria mecánicamente, principalmente contra golpes o caídas.

**Relé o relevador:** Es un dispositivo electromagnético que funciona como un interruptor eléctrico, abriendo o cerrando uno o varios contactos mediante la excitación de una bobina y un electroimán.

**Vidrio de protección:** Es la parte de una luminaria destinada a protegerla contra la entrada de polvo, agua, vapores o gases pero no posee ninguna función óptica.

**Mampara:** Elemento estructural que ayuda a delimitar o dividir una estancia; las mamparas de protección radiológica están conformadas por materiales que impiden el paso de la radiación ionizante.

**Materia:** Es cualquier cosa que ocupa un espacio; la sustancia material de la que están compuestos todos los objetos físicos. La materia está constituida por elementos básicos denominados átomos que se asocian en formas complejas.

**Masa:** Es la cantidad de materia, permanece invariable en su entorno pero puede cambiar su forma y tamaño (R).

**Micrón:** Unidad de longitud equivalente a la milésima parte de un milímetro o a la millonésima parte de un metro.

**Radiación ionizante:** Radiación de energía suficiente para generar efectos de ionización en la materia.

**Radiación X parasita:** Radiación ionizante tipo X, que no participa en la generación de la imagen radiológica.

**Radiolúcido:** Tejido o material que no absorbe los rayos X; aparece oscuro una radiografía.

**Radiopaco:** Tejido o material que absorbe los rayos X; se observa en tono claro en la radiografía.

**Rectificación:** Conversión de corriente alterna en corriente continua.

**Sulfatación:** Es un proceso químico en el cual la formación de sulfatos de plomo va limitando el flujo de corriente eléctrica a través de un elemento conductor, este fenómeno se presenta principalmente en baterías.

**SMII:** Sociedad Mexicana de Ingenieros en Iluminación.

**Verificación de blindajes:** Documento que avala la adecuada protección radiológica de los blindajes de la sala de radiodiagnóstico, empleando medidores de radiación.

**Técnica radiológica:** Combinación de kilo voltaje y mAs para la obtención de una imagen radiográfica determinada por la talla del paciente y la estructura anatómica que se desea observar.

**Tiempo de exposición:** Periodo durante el cual el paciente se encuentra sometido a la radiación X.

**Trefilado:** Operación de conformación en frío que consiste en la reducción de la sección de un alambre o varilla haciéndolo pasar a través de un orificio cónico practicado en una herramienta llamada hielera o dado.

**Tungsteno:** Elemento químico con número atómico 74, también conocido como Wolframio.

**Vóxel:** Pixel tridimensional. Unidad cubica que conforma un elemento tridimensional.

**Zona controlada:** Zona sujeta a supervisión y controles especiales con fines de protección radiológica.

**Zona supervisada:** Área en la cual existe vigilancia de las condiciones de exposición ocupacional aunque normalmente no sean necesarias medidas protectoras ni disposiciones de seguridad concretas.

## BIBLIOGRAFÍA

Azorin, N. J., & Azorin Vega, J. C. (2010). Protección radiológica. En *Protección radiológica* (pág. 90). México: K ediciones e impresos.

Dillenseger, J. P., & Moerschel, E. (2012). Manual para técnicos radiólogos. En *Manual para técnicos radiólogos* (pág. 6). Buenos Aires: Ediciones journal.

Dillenseger, J. P., & Moerschel, E. (2012). Manual para técnicos radiólogos. En *Manual para técnicos radiólogos* (pág. 6). Buenos Aires : Ediciones journal.

Dillenseger, J. P., & Moerschel, E. (2012). Manual para técnicos radiólogos. En *Manual para técnicos radiólogos* (pág. 7). Buenos Aires: Ediciones journal.

Dillenseger, J. P., & Moerschel, E. (2012). Manual para técnicos radiólogos. Buenos Aires : Ediciones journal.

Dillenseger, J. P., & Moerschell, E. (2012). Manual para técnicos radiólogos. Cuando. En *Manual para técnicos radiólogos* (pág. 3). Buenos Aires : Ediciones journal .

Dillenseger, J.-P., & Moerschel, E. (2012). Manual para técnicos radiólogos. En *Manual para técnicos radiólogos* (pág. 4). Buenos Aires: Ediciones journal.

Dillenseger, J.-P., & Moerschel, E. (2012). Manual para técnicos radiólogos. En *Manual para técnicos radiólogos* (pág. 5). Buenos Aires: Ediciones journal.

Enríquez, H. G. (1994). El abc de las instalaciones eléctricas industriales. En *El abc de las instalaciones eléctricas industriales* (pág. 88). México: Limusa.

Enríquez, H. G. (1994). El abc de las instalaciones eléctricas industriales. En *El abc de las instalaciones eléctricas industriales* (pág. 93). México: Limusa.

Enríquez, H. G. (1994). El abc de las instalaciones eléctricas industriales. En *El abc de las instalaciones eléctricas industriales* (pág. 126). México: Limusa.

Enríquez, H. G. (1994). El abc de las instalaciones eléctricas industriales. En *El abc de las instalaciones eléctricas industriales* (pág. 127). México: Limusa.

Enríquez, H. G. (1994). El abc de las instalaciones eléctricas industriales. En *El abc de las instalaciones eléctricas industriales* (pág. 128). México: Limusa.

Enríquez, H. G. (1994). El abc de las instalaciones eléctricas industriales. México: Limusa .

Enríquez, H. G. (1994). El abc de las instalaciones eléctricas industriales. México: Limusa.

Enríquez, H. G. (1994). El abc de las instalaciones eléctricas industriales. México: Limusa .

Enríquez, H. G. (1994). El abc de las instalaciones eléctricas industriales. México : Limusa.

Enríquez, H. G. (1994). El abc de las instalaciones eléctricas industriales. México : Limusa.

- Enríquez, H. G. (1994). El abc de las instalaciones eléctricas industriales. México: Limusa .
- Enríquez, H. G. (1994 ). El abc de las instalaciones eléctricas industriales. México: Limusa .
- IMSS, I. M. (1993). Normas de Proyecto y Arquitectura. Tomo III, Servicios Auxiliares de Diagnóstico y Tratamiento. . México.
- IMSS, I. M. (1993). Normas de Proyecto y Arquitectura. Tomo III, Servicios Auxiliares de Diagnóstico y Tratamiento. . México.
- IMSS, I. M. (1993). Normas de Proyecto y Arquitectura. Tomo III, Servicios Auxiliares de Diagnóstico y Tratamiento. En *Normas de Proyecto y Arquitectura. Tomo III, Servicios Auxiliares de Diagnóstico y Tratamiento.* (pág. 8). México.
- IMSS, I. M. (1993). Normas de Proyecto y Arquitectura. Tomo III, Servicios Auxiliares de Diagnóstico y Tratamiento. En *Normas de Proyecto y Arquitectura. Tomo III, Servicios Auxiliares de Diagnóstico y Tratamiento.* (pág. 9). México.
- Juan, A. N., & Azorin Vega, J. C. (2010). Protección radiológica. En *Protección radiológica* (pág. 89). Ciudad de México: K ediciones e impresos.
- Martínez, D. F. (2006). Instalaciones eléctricas de alumbrado e industriales . Madrid : Thomson Paraninfo .
- Martínez, D. F. (2006). Instalaciones eléctricas de alumbrado e industriales. En *Instalaciones eléctricas de alumbrado e industriales* (pág. 61). Madrid: Thomson Paraninfo.
- Martínez, D. F. (2006). Instalaciones eléctricas de alumbrado e industriales. En *Instalaciones eléctricas de alumbrado e industriales* (pág. 67). Madrid: Thomson Paraninfo.
- nucleares, i. n. (s.f.).  
<http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/ANTECEDENTES.pdf>. Recuperado el 24 de Septiembre de 2013, de <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/ANTECEDENTES.pdf>.
- OIEA, O. I. (2007). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad. En *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad.* (pág. 73). Viena .
- OIEA, O. I. (2007). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad. En *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad.* (pág. 74). Viena .
- OIEA, O. I. (2010). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad. En *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad.* (pág. 67). Viena.
- OIEA, O. I. (2010). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad. En *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad.* (pág. 60). Viena.



OIEA, O. I. (2011). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad. Viena.

OIEA, O. I. (2011). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad. Viena.

Ramírez, V. J. (1992). Instalaciones eléctricas interiores, Conductores, Instalaciones de enlace, Instalación de contadores. En *Instalaciones eléctricas interiores, Conductores, Instalaciones de enlace, Instalación de contadores* (pág. 44). Barcelona: Ediciones ceac.

Ramírez, V. J. (1992). Instalaciones eléctricas interiores, Conductores, Instalaciones de enlace, Instalación de contadores . Barcelona : Ediciones ceac.

Ramírez, V. J. (1992). Instalaciones eléctricas interiores, Conductores, Instalaciones de enlace, Instalación de contadores. En *Instalaciones eléctricas interiores, Conductores, Instalaciones de enlace, Instalación de contadores* (pág. 46). Barcelona: Ediciones ceac.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas . México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 46). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 26). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 47). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 48). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 140). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 345). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 61). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 46). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 26). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 47). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 48). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 140). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 351). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 345). México.

SENER, S. d. (2012). NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas. En *NOM-001-SEDE-2012 Instalaciones eléctricas* (pág. 61). México.

SSA, S. d. (2002). 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. En *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* (pág. 42). México.

SSA, S. d. (2002). 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. En *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* (pág. 43). México.

SSA, S. d. (2002). 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. En *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* (pág. 44). México.

SSA, S. d. (2002). 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. En *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* (pág. 45). México.

SSA, S. d. (2002). 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. En *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* (pág. 47). México.





SSA, S. d. (2002). 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. En *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* (pág. 64). México.

SSA, S. d. (2002). 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. En *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* (pág. 65). México.

SSA, S. d. (2002). 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. México.

SSA, S. d. (2002). 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. México.

SSA, S. d. (2002). 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. México.

SSA, S. d. (2002). 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. México.

SSA, S. d. (2002). 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. México.

SSA, S. d. (2002). 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. México.

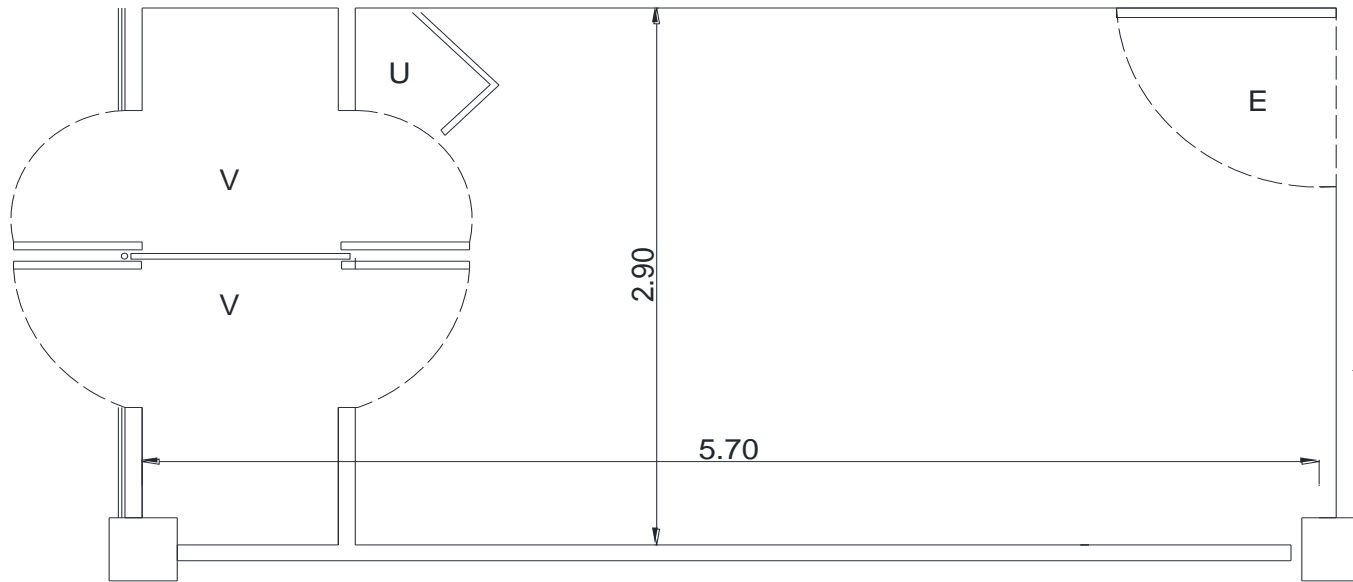
**APÉNDICE A**

**PLANOS DE LA SALA Y**

**COMPONENTES DEL**

**EQUIPO DE RAYOS X**

## SALA DE RAYOS X No. 1 TORAX



### SIMBOLOGÍA

- E ENTRADA A LA SALA
- U UBICACIÓN DEL TÉCNICO OPERARIO
- V VESTIDORES

### NOTA:

Las cotas están expresadas en m

DIBUJÓ Y PROYECTÓ:
ALONSO GARCÍA LILIANA NÚÑEZ VÁZQUEZ ANTONIO
REVISÓ Y APROBÓ:
MARTÍNEZ ACOSTA JOSÉ ARTURO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

DIBUJO ELABORADO EN: CIUDAD DE MÉXICO    FECHA: FEBRERO 2013

DIBUJÓ:	A.G.L.
	N.V.A.
PROY:	A.G.L.
	N.V.A.
REVISÓ:	M.A.J.A
APROBÓ:	M.A.J.A

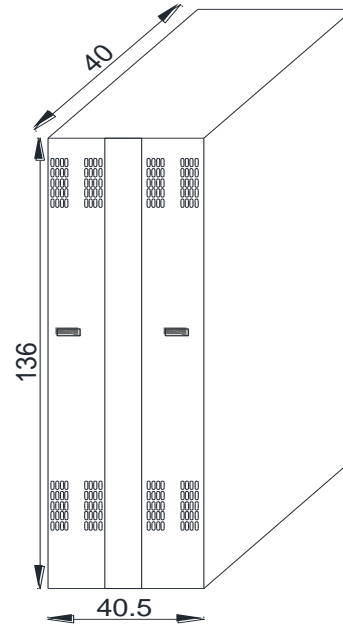
REESTRUCTURACIÓN DE UNA SALA DE RAYOS X CON  
BASE A LA NORMATIVIDAD OFICIAL

## PLANO ARQUITECTÓNICO DE LA SALA

**PLANO 1**

ESC: S/E    ACOT. EN : m

### Generador



**NOTA:**

Las cotas están expresadas en cm.

DIBUJO Y PROYECTO:
ALONSO GARCIA LILIANA NÚÑEZ VÁZQUEZ ANTONIO
REVISÓ Y APROBÓ:
MARTÍNEZ ACOSTA JOSÉ ARTURO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

DIBUJO ELABORADO EN: CIUDAD DE MÉXICO

FECHA: FEBRERO 2013

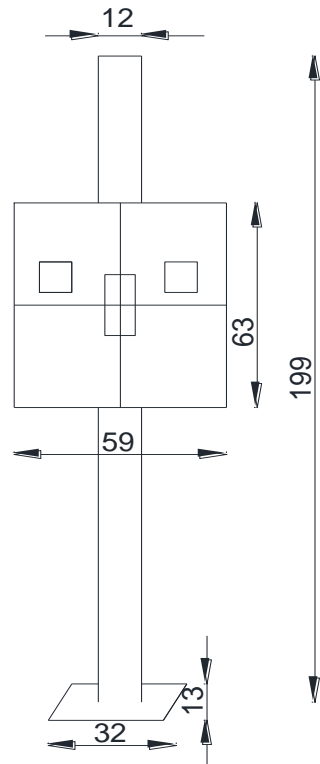
DIBUJÓ:	A.G.L. N.V.A.
PROY:	A.G.L. N.V.A.
REVISÓ:	M.A.J.A.
APROBÓ:	M.A.J.A.
ESC: S/E	ACOT. EN : cm

REESTRUCTURACIÓN DE UNA SALA DE RAYOS X  
CON BASE A LA NORMATIVIDAD OFICIAL

### **GENERADOR**

**PLANO 2**

### Bucky de pared

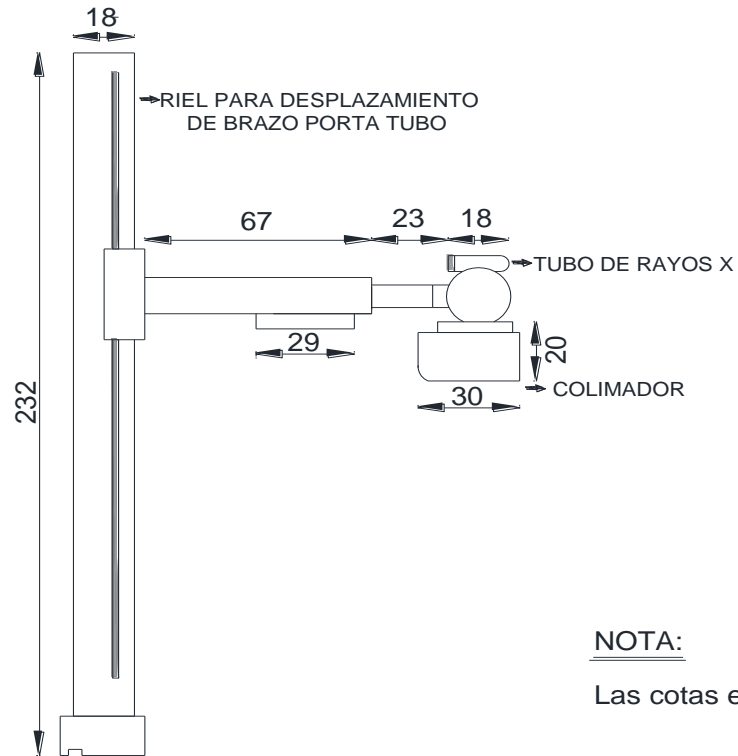


**NOTA:**

Las cotas están expresadas en cm.

DIBUJÓ Y PROYECTÓ: ALONSO GARCÍA LILIANA NÚÑEZ VÁZQUEZ ANTONIO REVISÓ Y APROBÓ: MARTÍNEZ ACOSTA JOSÉ ARTURO	 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA	DIBUJÓ:	A.G.L.	REESTRUCTURACIÓN DE UNA SALA DE RAYOS X CON BASE A LA NORMATIVIDAD OFICIAL <b>BUCKY DE PARED</b>	
			N.V.A.		
		PROY:	A.G.L.		
			N.V.A.		
		REVISÓ:	M.A.J.A.		
		APROBÓ:	M.A.J.A.		
	DIBUJO ELABORADO EN: CIUDAD DE MÉXICO	FECHA: FEBRERO 2013	ESC: S/E	ACOT. EN : cm	<b>PLANO 3</b>

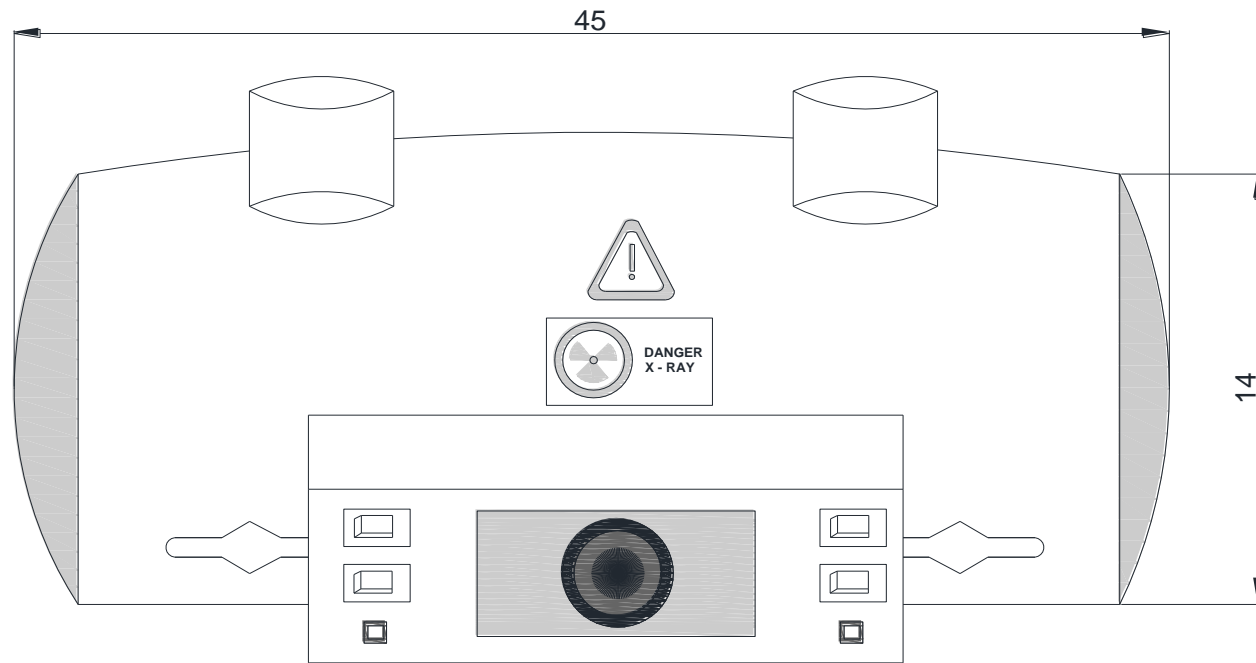
## Columna de Rayos X



**NOTA:**

Las cotas están expresadas en cm.

DIBUJÓ Y PROYECTÓ: ALONSO GARCÍA LILIANA NUÑEZ VÁZQUEZ ANTONIO  REVISÓ Y APROBÓ: MARTÍNEZ ACOSTA JOSÉ ARTURO	 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA	DIBUJÓ:	A.G.L.	REESTRUCTURACIÓN DE UNA SALA DE RAYOS X CON BASE A LA NORMATIVIDAD OFICIAL  <b>COLUMNA DE RAYOS X</b>	
			N.V.A.		
		PROY:	A.G.L.		
			N.V.A.		
		REVISÓ:	M.A.J.A.		
		APROBÓ:	M.A.J.A.		
DIBUJO ELABORADO EN: CIUDAD DE MÉXICO		FECHA: FEBRERO 2013	ESC: S/E	ACOT. EN : cm	PLANO 4



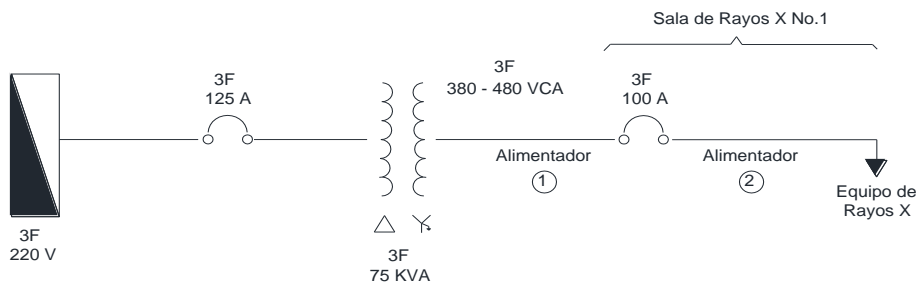
**NOTA:**

Las cotas están expresadas en cm.

DIBUJÓ Y PROYECTÓ: ALONSO GARCÍA LILIANA NÚÑEZ VÁZQUEZ ANTONIO REVISÓ Y APROBÓ: MARTÍNEZ ACOSTA JOSÉ ARTURO	 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA	DIBUJÓ:	A.G.L.	REESTRUCTURACIÓN DE UNA SALA DE RAYOS X CON BASE A LA NORMATIVIDAD OFICIAL <b>TUBO DE RAYOS X</b>	<b>PLANO 5</b>
			N.V.A.		
		PROY:	A.G.L.		
			N.V.A.		
		REVISÓ:	M.A.J.A.		
		APROBÓ:	M.A.J.A.		
	DIBUJO ELABORADO EN: CIUDAD DE MÉXICO	FECHA: FEBRERO 2013	ESC: S/E	ACOT. EN : cm	



## Diagrama Unifilar



### Simbología



### Nota

El alimentador 1 tiene las siguientes características:  
 3 - THW # 1/0  
 1 - THW # 6  
 El alimentador 2 tiene las siguientes características:  
 3 - THW # 2  
 1 - THW # 6

DIBUJÓ Y PROYECTÓ: ALONSO GARCÍA LILIANA NUÑEZ VÁZQUEZ ANTONIO REVISÓ Y APROBÓ: MARTÍNEZ ACOSTA JOSÉ ARTURO	 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA	DIBUJÓ: A.G.L. N.V.A. PROY: A.G.L. N.V.A. REVISÓ: M.A.J.A. APROBÓ: M.A.J.A.	REESTRUCTURACIÓN DE UNA SALA DE RAYOS X CON BASE A LA NORMATIVIDAD OFICIAL <b>DIAGRAMA UNIFILAR</b>
DIBUJO ELABORADO EN: CIUDAD DE MÉXICO		FECHA: FEBRERO 2013	ESC: S/E      ACOT. EN : S/A
			PLANO 6

**APÉNDICE B**

**PLANOS ELÉCTRICOS**  
**DEL ÁREA DE**  
**IMAGENOLOGÍA**







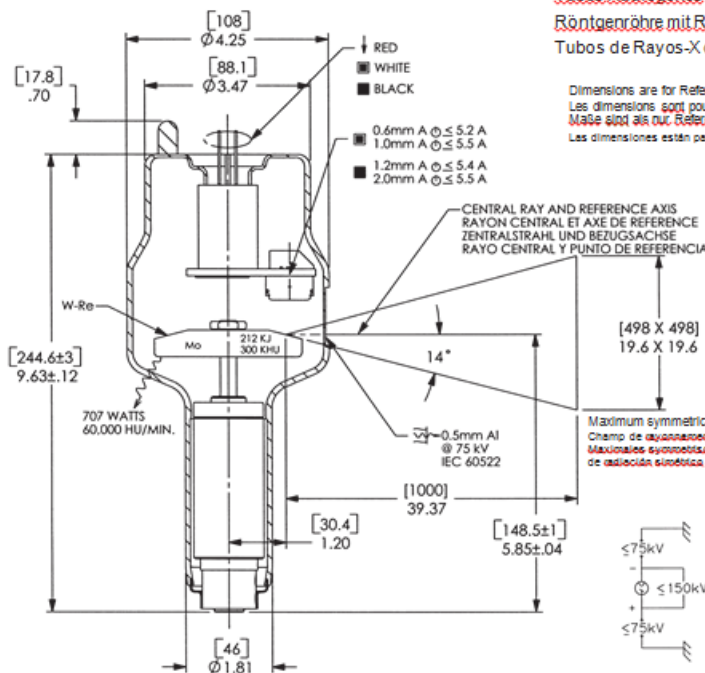
**APÉNDICE C**

**DATOS TÉCNICOS DEL**

**TUBO DE RAYOS X**

-  Common - Red  
Neutre - Rouge  
Neutral - Rot  
Común - Rojo
-  Large - Black  
Grand - Noir  
Gross - Schwarz  
Largo - Negro
-  Small - White  
Petit - Blanc  
Klein - Weiss  
Pequeño - Blanco
-  Stand - By  
Attente  
Bereitschaft  
En Espera
-  Frame or Chassis  
Masse  
Chassis  
Soporte o Chasis
-  X-Ray Tube  
Tube Radiogène  
Röntgenröhre  
Tubo de Rayos X
-  Radiation Filter or  
Filtration Filtre de  
rayonnement Filtering  
Filtración de Radiación

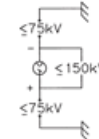
Note: Document originally drafted the English language.



Tubes Radiogènes à Anode Tournante  
 Röntgenröhre mit Rotierender Anode  
 Tubos de Rayos-X con Anodo Giratorio

Dimensions are for Reference only  
 Les dimensions sont pour la référence seulement  
 Maße sind als nur Referenz  
 Las dimensiones están para la referencia solamente

Maximum symmetrical radiation field  
 Champ de rayonnement symétrique maximum  
 Maximaler symmetrischer Strahlbereich  
 Campo de radiación simétrica máxima



Product Description	Description du Produit	Produktbeschreibung	Descripcion del Producto
<p>The RAD-68 is a 150 kV, 212 kJ (300 kWh) rotating anode insert specifically designed for general radiographic procedures. The insert features a 14°, 3" (80mm), tungsten-rhenium molybdenum target and is available in the following focal spot combinations:</p> <p>0.6 - 1.2 1.0 - 2.0 IEC 60336</p> <p><b>Nominal Anode Input Power (IEC 60613)</b>            Small (0.6) - 29.8 kW            Large (1.2) - 64.2 kW            Small (1.0) - 54.9 kW            Large (2.0) - 96.4 kW            For the equivalent anode input power of 80 Watts</p>	<p>RAD-68 est un tube à anode tournante de 150 kV et 212 kJ (300 kWh) pour usage spécifique en radiologie générale de grande puissance. Il contient une cible composite de 80 mm (3 po) en tungstène-rhénium et molybdène, à pente de 14° et est disponible avec les combinaisons de points focaux suivants:</p> <p>0,6 - 1,2 1,0 - 2,0 CEI 60336</p> <p><b>Puissance anodique nominale de l'anode (CEI 60613)</b>            Petit foyer (0,6) - 29,8 kW Grand foyer (1,2) - 64,2 kW Petit foyer (1,0) - 54,9 kW Grand foyer (2,0) - 96,4 kW Pour la puissance anodique d'équivalente thermique de 80 Watts</p>	<p>Die RAD-68 ist eine Röntgenröhre mit rotierender Anode von 150 kV, 212 kJ (300 kWh) mit einem Verbundtarget von 80 mm (3") aus Wolfram-Rhenium, Molybdän, und ein 14° Winkel. Die Einsatzmöglichkeiten sind vorwiegend in der allgemeinen Röntgenaufnahmetechnik. Folgende Brennpunktombinationen sind möglich:</p> <p>0.6 - 1.2 1.0 - 2.0 IEC 60336</p> <p><b>Nominale Anodenbezugsleistung (IEC 60613)</b>            Klein (0.6) - 29.8 kW            Gross (1.2) - 64.2 kW            Klein (1.0) - 54.9 kW            Gross (2.0) - 96.4 kW            Gilt bei einer Äquivalent-Anodenleistung von 80 Watt</p>	<p>RAD-68 es un tubo de ánodo giratorio de 150 kV, 212 kJ (300 kWh) diseñado específicamente para procedimientos radiográficos generales. Presenta un objetivo compuesto de tungsteno-rhenio, molibdeno de 80 mm (3") y con una inclinación de 14°. Es disponible en las siguientes combinaciones focales:</p> <p>0.6 - 1.2 1.0 - 2.0 IEC 60336</p> <p><b>Potencia nominal de entrada del ánodo (IEC 60613)</b>            Foco fino (0.6) - 29.8 kW            Foco grueso (1.2) - 64.2 kW            Foco fino (1.0) - 54.9 kW            Foco grueso (2.0) - 96.4 kW            Para una potencia equivalente del ánodo de 80 W</p>

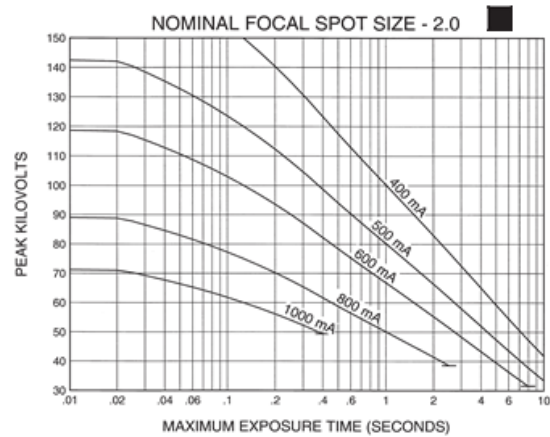
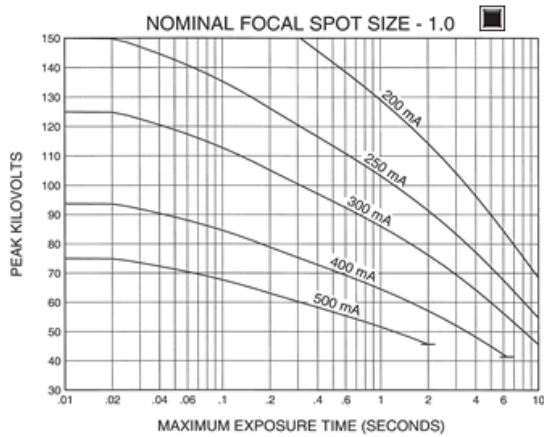
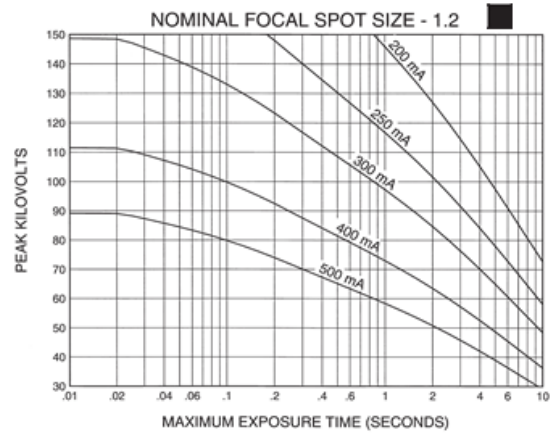
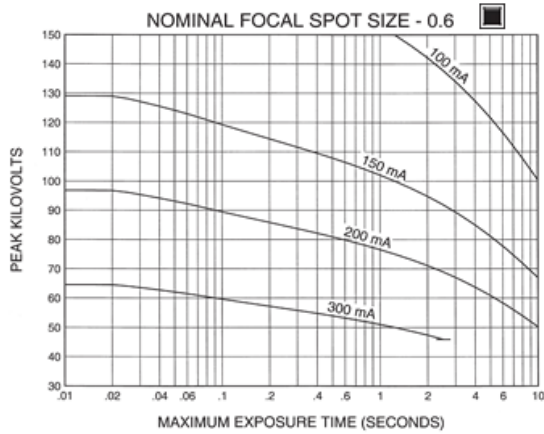
Manufactured by Varian Medical Systems  
 Fabrique par Varian Medical Systems  
 Hergestellt von Varian Medical Systems  
 Fabricado por Varian Medical Systems

Specifications subject to change without notice.  
 Specifications susceptibles d'être modifiées sans  
 préavis. Technische Daten ohne Gewähr.  
 Especificaciones sujetas a cambio sin previo aviso.

**3 Ø Constant Potential**

Abaques d'expositions Radiographiques CEI 60613  
Röntgenolische Belastungskurven IEC 60613  
Diagramas de Exposición Radiográfica IEC 60613

**50 HZ - 2,850 RPM**



For 1Ø and other applications, please consult the manufacturer.

Pour 1Ø et autres applications, prière de consulter le Fabricant.

Für 1Ø und andere Anwendungen, konsultieren mit dem Fabrikant bitte.

Para 1Ø y otras aplicaciones, por favor consulte a la Compañía.

Nominal anode input power for the anode heat content 40%. IEC 60613

Puissance calorifique nominale de l'anode: 40%, CEI 60613

Übermische Anodenbezugsleistung bei einer Wärmespeicherung von 40%, IEC 60613

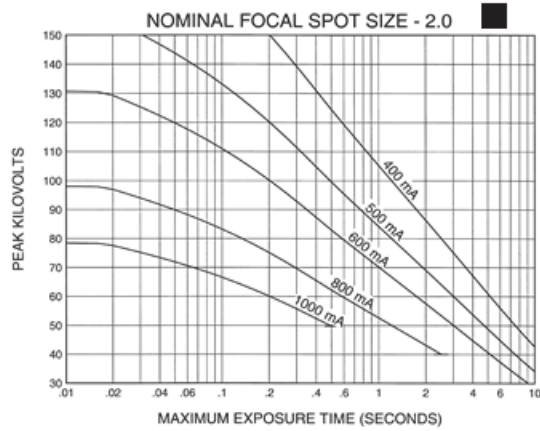
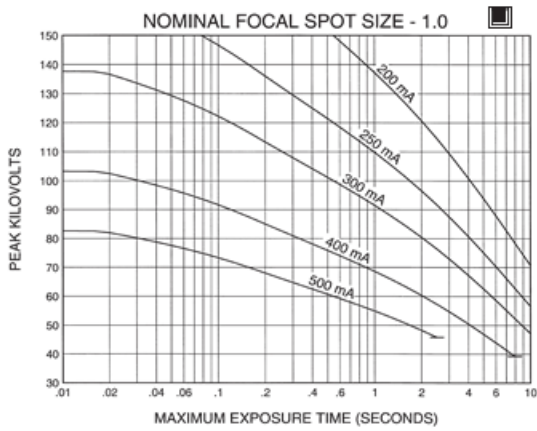
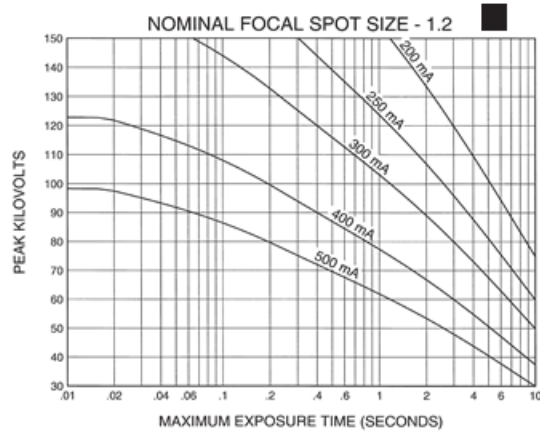
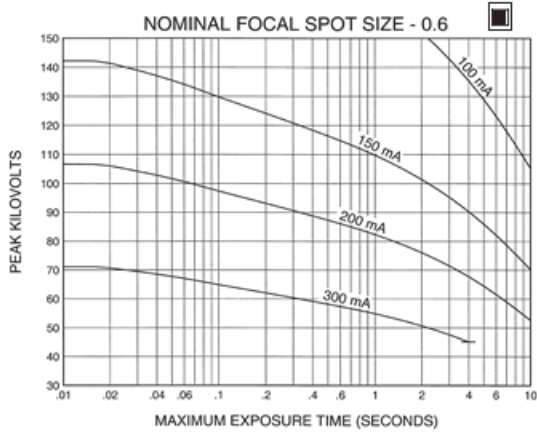
Aproximadamente el poder de penetración para obtener un almacenaje de calor del anodo de 40%. IEC 60613



**3 Ø Constant Potential**

Abaques d'expositions Radiographiques CEI 60613  
Röntgenologische Belastungskurven IEC 60613  
Diagramas de Exposición Radiográfica IEC 60613

**60 HZ - 3,450 RPM**



For 10 and other applications, please consult the manufacturer.

Pour 10 et autres applications, veuillez consulter le Fabricant.

Für 10 und andere Anwendungen, konsultieren mit dem Fabrikant bitte.

Para 10 y otras aplicaciones, por favor consulte a la Compañia.

Nominal anode input power for the anode heat content 40%. IEC 60613

Puissance cathodique nominale de l'anode à 40% de la capacité thermique de l'anode. IEC 60613

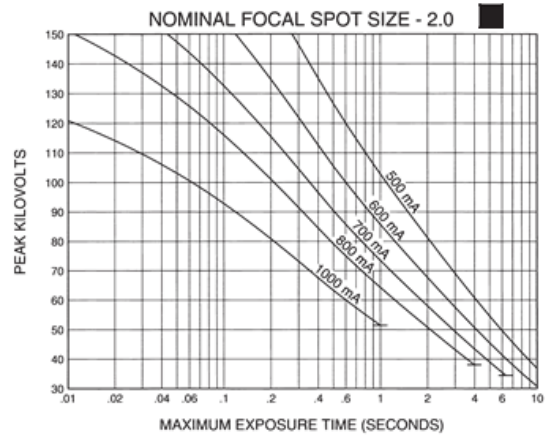
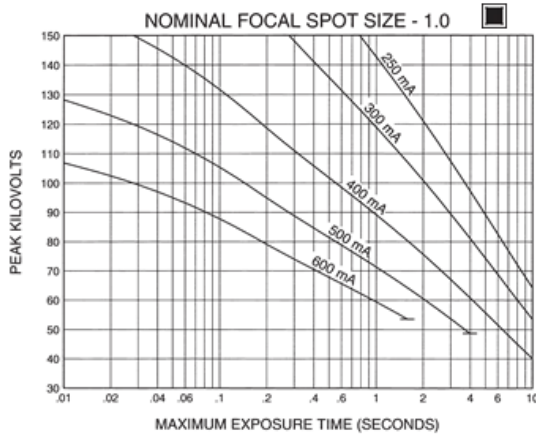
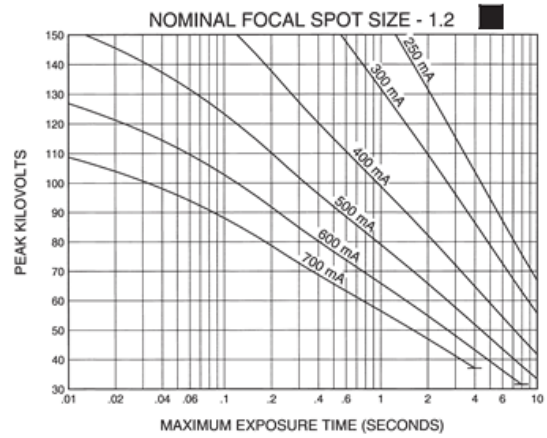
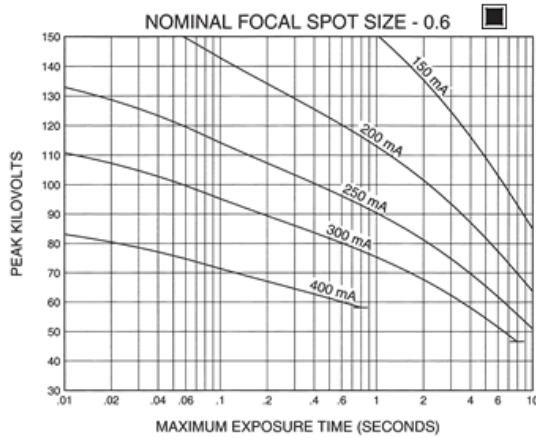
Übermische Anodenbezugsleistung bei 40% IEC 60613

Aproximadamente el poder de penetración para obtener un almacenaje de calor del ánodo de 40%. IEC 60613

**3 Ø Constant Potential**

Abaques d'expositions Radiographiques CEI 60613  
Röntgenische Belastungskurven IEC 60613  
Diagramas de Exposición Radiográfica IEC 60613

**150 HZ - 8,500 RPM**



For 1Ø and other applications, please consult the manufacturer.

Pour 1Ø et autres applications, prière de consulter le Fabricant.

Für 1Ø und andere Anwendungen, konsultieren mit dem Fabrikant, bitte.

Para 1Ø y otras aplicaciones, por favor consulte a la Compañía.

Nominal anode input power for the anode heat content 40%. IEC 60613

Puissance calorifique nominale de l'anode: 40%. CEI 60613

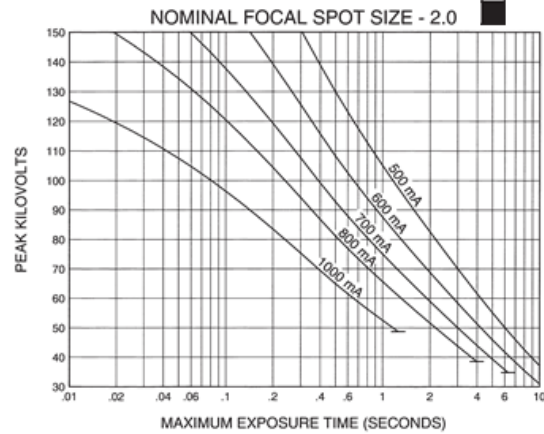
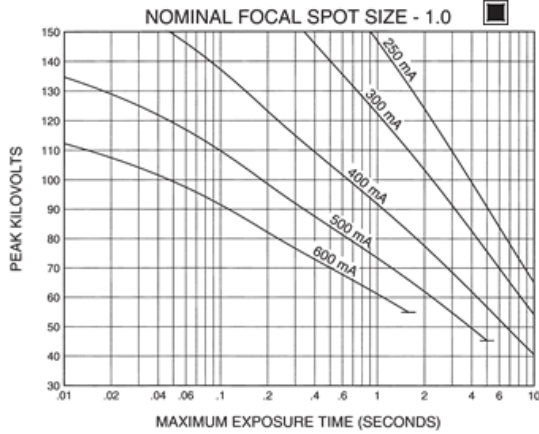
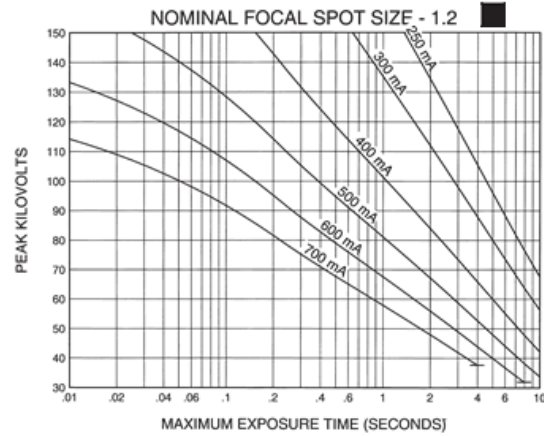
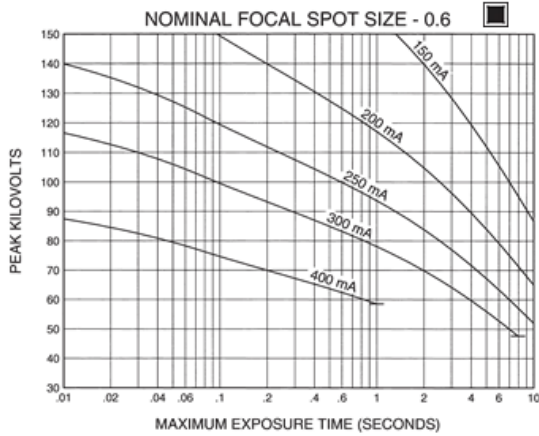
Thermische Anodenbezugleistung bei einer Wärmespeicherung von 40%. IEC 60613

Aproximadamente el poder de penetración para obtener un almacenaje de calor del ánodo de 40%. IEC 60613

**3 Ø Constant Potential**

Abaques d'expositions Radiographiques CEI 60613  
Röntgenische Belastungskurven IEC 60613  
Diagramas de Exposición Radiográfica IEC 60613

**180 HZ - 9,500 RPM**



For 1Ø and other applications, please consult the manufacturer.

Pour 1Ø et autre applications, prière de consulter le Fabricant.

Für 1Ø und andere Anwendungen konsultieren mit dem Fabrikant, bitte.

Para 1Ø y otras aplicaciones, por favor consulte a la Compañía.

Nominal anode input power for the anode heat content 40%. IEC 60613

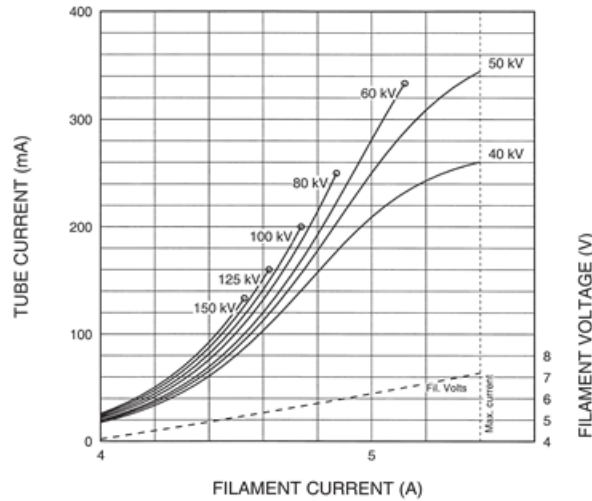
Puissance calorifique nominale de l'anode: 40%. CEI 60613

Thermische Anodenbelastung bei einer Wärmespeicherung von 40%. IEC 60613

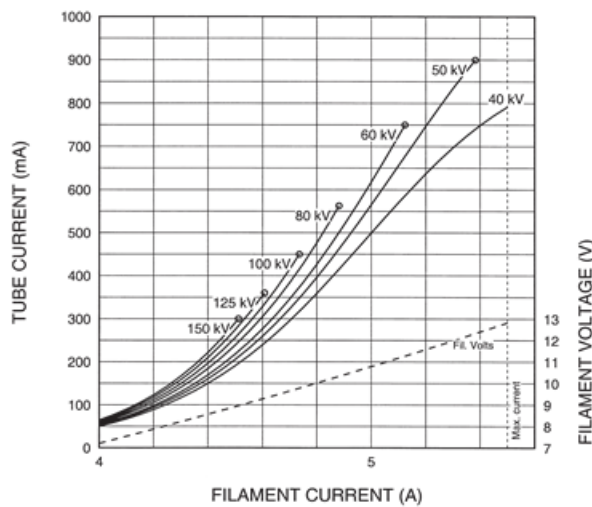
Aproximadamente el poder de penetración para obtener un almacenaje de calor del anodo de 40%. IEC 60613

**3 Ø Constant Potential**

Abaques d'Émissions des Filaments IEC 60613  
Heizfadenemissionsdiagramm IEC 60613  
Emisión de los Filamentos IEC 60613



Three Phase Emission (± 15A)  
RAD-68 0.6



Three Phase Emission (± 15A)  
RAD-68 1.2

**Note:** When using these emission curves for trial exposures, refer to the power rating curves shown for maximum kV, tube emission, filament current, exposure time, and target speed.

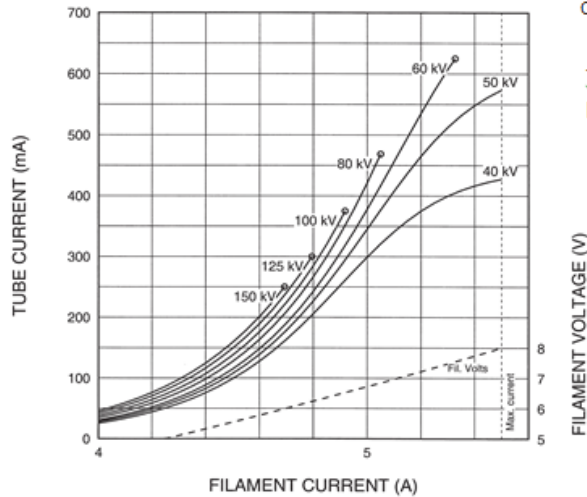
**Remarque:** Lors de l'utilisation de ces abaques pour des expositions d'essai référez-vous aux courbes maximales de kV d'émission du filament, de temps d'exposition et de vitesse de rotation.

**Anmerkung:** Wenn Sie diese Emissionskurven für Testaufnahmen verwenden, beziehen Sie sich hierbei auf die entsprechenden Nennleistungskurven für max. kV-Werte, Röhrenemission, Heizstrom, und Anodendrehzahl.

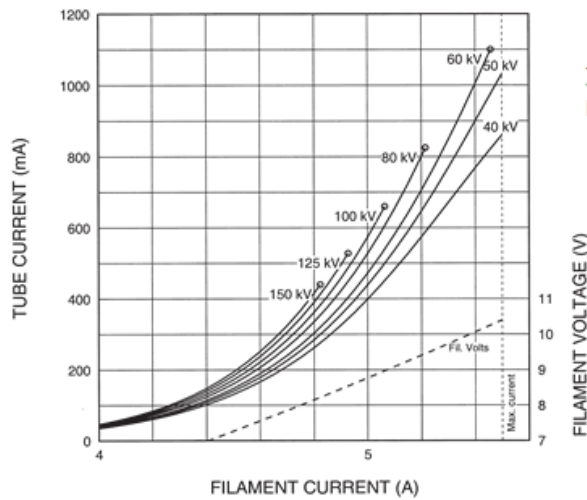
**Nota:** Si utiliza estas curvas de emisión para exposiciones de prueba, refiérase a las curvas de gradación de potencia para el máximo de kV, tubo de emisión, corriente en los filamentos, tiempo de exposición, y a las curvas de velocidad del objetivo.

**3 Ø Constant Potential**

Abaques d'Emissions des Filaments IEC 60613  
Heizfadenemissionsdiagramm IEC 60613  
Curvas de Emisión de los Filamentos IEC 60613



Three Phase Emission (+ 15A)  
RAD-68 1.0



Three Phase Emission (+ 15A)  
RAD-68 2.0

Note: When using these emission curves for trial exposures, refer to the power rating curves shown for maximum kV, tube emission, filament current, exposure time, and target speed.

Remarque: Lors de l'utilisation de ces abaques pour des expositions d'essai, référez-vous aux courbes maximales de kV, d'émission du filament, de temps d'exposition et de vitesse de rotation.

Anmerkung: Wenn Sie diese Emissionskurven für Testaufnahmen verwenden, beziehen Sie sich hierbei auf die entsprechenden Nennleistungskurven für max. kV-Werte, Röhrenemission, Heizstrom, und Anodendrehzahl.

Nota: Si utiliza estas curvas de emisión para exposiciones de prueba, refiérase a las curvas de gradación de potencia para el máximo de kV, tubo de emisión, corriente en los filamentos, tiempo de exposición, y a las curvas de velocidad del objetivo.

Abaques d'Échauffement et de Refroidissement de L'Anode  
Anodenerhitzungs und Kühlungsdiagramm  
Curvas de Calentamiento y Enfriamiento del Anodo

