



DEPARTAMENTO DE POSGRADOS

**Modelo para realizar el diagnóstico y la validación de
estrategias de Producción Más Limpia (PML) en centros de
diagnóstico por Imágenes**

Maestría en Gestión de Mantenimiento

Autor

Ing. Hernán Santiago Maldonado Fajardo

Director

Ing. Iván Coronel Coronel PhD

Cuenca, Ecuador

2016

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen María, que me brindaron la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo.

A mi esposa, Fernanda, quien me brindó su amor, su estímulo y su apoyo constante. Su cariño, comprensión y paciente espera para que pudiera terminar este trabajo son evidencia de su gran amor. ¡Gracias!

A mi hermosa hija Rafaela, quien me prestó el tiempo que le pertenecía para terminar y me motivó siempre con su sonrisa y su mirada maravillosa ¡Gracias, mi Rafi!

A mis padres, Hernán y Anita Lucía, quienes me enseñaron desde niño a luchar para alcanzar mis metas. Mi triunfo es el de ustedes.

A mis queridas hermanas, Ceci y Malí, que siempre me enviaron sus energías positivas para poder continuar y no desfallecer.

AGRADECIMIENTOS

A mi Director, el Ingeniero Iván Coronel Coronel PhD, por su gran ayuda y colaboración en cada momento de consulta y soporte en este trabajo de investigación, su apoyo me alentó a seguir adelante y no darme por vencido.

A mis jefes y amigos Ingeniero Edgar Puga e Ingeniero Luis Pesantez que me brindaron su apoyo incondicional para poder seguir esta Maestría.

A compañeros de la Maestría por la ayuda prestada durante el tiempo que estuvimos juntos en clase: Juan Carlos, Efrén, Patricio, Fabián y Rogelio.

A mis amigos que colaboraron conmigo en diferentes oportunidades: Adrián, Juan, José y Miguel.

A todos mis familiares y amigos que de una u otra forma colaboraron para que este sueño se haga realidad.

Modelo para realizar el diagnóstico y la validación de estrategias de Producción Más Limpia (PML) en centros de diagnóstico por Imágenes

RESUMEN

En el presente trabajo de grado, se realiza una investigación teórica-aplicada, que contiene marco teórico detallado sobre los principales temas a tratar y a su vez la aplicación del mismo, por medio del análisis de los sistemas de protección eléctrica y radiológica que están implementados en Centros de Diagnóstico por Imagen de la ciudad de Cuenca a través de fichas de observación estructurada. Con los datos obtenidos se presenta un formato de resultados y sugerencias aplicando técnicas de Producción más Limpia por medio de una aplicación móvil compatible con dispositivos móviles ANDROID para que exista un mejor manejo de los puntos verificados. Además, se propone un sistema de Gestión de Pacientes el cual informa de una manera clara y sencilla los procesos que se deben realizar durante un examen radiológico con el fin de reducir repeticiones innecesarias.

A través de la investigación bibliográfica, se obtuvieron los estándares de seguridad sugeridos tanto por las normas gubernamentales como los de la casa comercial GENERAL ELECTRIC fabricante de los equipos de Rayos X tomados para este estudio, de manera que se pueda tener una visión clara y precisa del nivel de protección que actualmente tienen implementado los centros de diagnóstico a evaluar.

Palabras clave: Radiación, Blindaje radiológico, Armónicos, Puesta a tierra, Exámenes Radiológicos, Android Studio, Aplicación móvil

Hernán Santiago Maldonado Fajardo

Maestría en Gestión en Mantenimiento

**MODEL FOR DIAGNOSIS AND VALIDATION OF CLEANER PRODUCTION
(CP) STRATEGIES IN DIAGNOSTIC IMAGING CENTERS**

ABSTRACT

This graduation work deals with a qualitative-based descriptive-analytic research carried out by means of the analysis of the electrical protection and radiation systems that are implemented in Diagnostic Imaging Centers of the city of Cuenca through structured observation tabs. With the data obtained, a format for results and suggestions is presented by applying Cleaner Production techniques through a compatible mobile application with ANDROID mobile devices, in order to improve the management of the verified points. In addition, a Patient Management system is proposed in order to report the processes to be performed during a radiological examination in a clear and simple manner, with the aim to reduce unnecessary repetitions. Through bibliographical research, safety standards suggested both by government standards as well as by GENERAL ELECTRIC Company, manufacturers of the X-ray equipment used for this study, were obtained. Therefore, it was possible to have a clear and precise view of the level of protection that the diagnostic centers to be evaluated have currently implemented.

Keywords: Radiation, Radiation Shielding, Harmonics, Grounding, Radiologic Examinations, Android Studio, Mobile Application



Translated by:
Lic. Lourdes Crespo

INDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	¡Error! Marcador no definido.
INDICE	iv
INDICE DE TABLAS, FIGURAS Y ANEXOS.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
RADIACIÓN Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.....	3
1.1 Introducción.....	3
1.2 Espectro Electromagnético	3
1.2.1 Bandas del espectro electromagnético	4
1.2.2 Espectros	4
1.3 Radiación no Ionizante.....	4
1.4 Radiación Ionizante.....	5
1.4.1 Radiación Alfa	5
1.4.2 Radiación Beta	5
1.4.3 Radiación Gamma.....	5
1.4.4 Rayos X.....	6
1.4.5 Rayos X y Rayos Gamma en el espectro electromagnético	6
1.4.6 Fuentes de Radiación Ionizante.....	7
1.4.6.1 Fuentes artificiales de radiación.....	8
1.4.6.2 Características de las Fuentes de Radiación	8
1.4.6.3 Fuentes Radiactivas.....	8
1.4.7 Generadores de Rayos X.....	9
1.4.7.1 Generación de Rayos X	9
1.4.7.2 Propiedades de los Rayos X.....	9
1.4.7.3 Componentes del Equipo de Rayos X	9
1.4.7.4 Calidad de Rayos X	12
1.4.7.5 Radiografía.....	13
1.4.7.6 Imágenes Rx	13
1.4.7.7 Imágenes CT.....	13
1.5 Protección Radiológica	14
1.5.1 Introducción.....	14
1.5.2 Reseña Histórica.....	14
1.5.3 Blindaje Radiológico en sitios con equipos de rayos X.....	16
1.5.3.1 Espacio físico	16
1.5.3.2 Cálculo de blindaje radiológico	17

1.5.3.2.1	Carga de trabajo (W).....	18
1.5.3.2.2	Factor de uso (U)	19
1.5.3.2.3	Factor de ocupación (T)	19
1.5.3.2.4	Rendimiento (R)	19
1.5.3.2.5	Fugas de tubos de rayos X (f).....	21
1.5.3.2.6	Dosis equivalente (H).....	21
1.5.3.2.7	Factor atenuación (A).....	21
1.5.3.3	Materiales para construcción del blindaje radiológico	22
1.5.3.3.1	Plomo	22
1.5.3.3.2	Hierro/Acero	23
1.5.3.3.3	Hormigón.....	23
1.5.3.3.4	Ladrillo de arcilla	24
1.5.3.4	Equivalencia de mm de Pb en otros materiales.....	24
1.5.3.5	Ejemplo de cálculo de blindaje radiológico	25
1.5.3.6	Componentes del blindaje.....	29
1.5.3.6.1	Paredes interiores	29
1.5.3.6.2	Puertas	30
1.5.3.6.3	Ventanas	31
1.5.3.6.4	Pisos.....	31
1.5.3.6.5	Techo	32
1.5.3.7	Protección Radiológica a Personal y público en general.....	32
1.5.3.7.1	Exposición operacional	32
1.5.3.7.2	Exposición Médica	32
1.5.3.7.3	Exposición Pública	33
1.5.3.7.4	Requisitos de seguridad de las fuentes	33
1.5.3.7.5	Límites de dosis	33
1.5.3.8	Reducción de la exposición a personal ocupacionalmente expuesto y del paciente ante riesgos para la salud.	34
1.5.3.8.1	Mandiles y faldones plomados.....	34
1.5.3.8.2	Guantes protectores.....	35
1.5.3.8.3	Lentes protectores	35
1.5.3.8.4	Protector de tiroides	35
1.5.3.8.5	Protección de gónadas	36
1.5.3.8.6	Protector craneal.....	36
1.5.3.9	Dosimetría Personal.....	37
1.6	Alternativas de Producción más limpia (PML) en Protección Radiológica	38
1.6.1	Alternativas de PML en espacios físicos con equipos de Rayos X	39
1.6.2	Alternativas de PML para protección de personal y pacientes	40
CAPITULO 2		41
SEGURIDAD ELÉCTRICA EN EQUIPOS MÉDICOS		41

2.1	Introducción.....	41
2.2	Red de alimentación trifásica	41
2.3	Perturbaciones en una red eléctrica	42
2.3.1	Transitorios o transientes.....	42
2.3.1.1	Transitorios impulsivos.....	42
2.3.1.2	Transitorios ondulatorios.....	43
2.3.2	Variaciones de voltaje de corta duración	44
2.3.2.1	Depresiones	44
2.3.2.2	Elevaciones de voltaje	45
2.3.2.3	Interrupciones.....	45
2.3.3	Variaciones de voltaje de larga duración	46
2.3.4	Desbalanceo de Voltajes	46
2.3.5	Ruido eléctrico.....	47
2.3.6	Distorsión de la forma de onda	47
2.3.6.1	Offset de DC.....	47
2.3.6.2	Armónicos	47
2.3.6.3	Interarmónicos.....	48
2.3.6.4	Hendiduras	48
2.3.7	Sistemas de protección para redes eléctricas	49
2.3.8	Sistemas de puesta a tierra	49
2.3.8.1	Diferencias entre tierra y neutro.....	50
2.3.8.2	Elementos de un sistema de puesta a tierra.....	50
2.3.8.2.1	Electrodos de puesta a tierra (TT)	50
2.3.8.2.2	Conductor de tierra (CT)	51
2.3.8.2.3	Borne principal de tierra (BT).....	51
2.3.8.2.4	Conductores de protección (CP).....	51
2.3.8.2.5	Conductores de equipotencialidad (CEP).....	51
2.3.8.3	Resistividad del terreno.....	51
2.3.8.4	Tipos de puesta a tierra	52
2.3.8.4.1	Barras o varillas	52
2.3.8.4.2	Placas.....	53
2.3.8.4.3	Anillos.....	53
2.3.8.4.4	Mallas.....	53
2.3.9	Medición de Calidad de Energía Eléctrica	54
2.3.10	Requerimientos eléctricos en equipos GENERAL ELECTRIC.....	58
2.3.11	Alternativas de PML en Seguridad Eléctrica.....	62
CAPITULO 3		63
GESTIÓN DE PACIENTES EN CENTROS DE RAYOS X.....		63
3.1	Introducción.....	63
3.2	Estudios de diagnóstico por imágenes	64

3.2.1	Tomografía computarizada	64
3.2.2	Imágenes por resonancia magnética	64
3.2.3	Mamografías	65
3.2.4	Ecografías (Ultrasonido)	65
3.2.5	Radiografías	65
3.2.5.1	Estudios radiográficos en Centros de Diagnóstico por RX de Cuenca	67
3.2.5.1.1	Estudios Radiológicos de Tórax	69
3.2.5.1.2	Estudios Radiológicos de Columna	70
3.2.5.1.3	Estudios Radiológicos de Rodilla.....	71
3.2.6	Técnicas de PML en estudios Radiográficos	71
CAPITULO 4		75
APLICACIÓN MÓVIL PARA VALIDAR TÉCNICAS DE PML EN EQUIPOS DE DIAGNÓSTICO POR IMAGEN		75
4.1	Introducción.....	75
4.2	Tipos de sistema operativo para equipos móviles	75
4.3	Herramienta de desarrollo integrado Android.	76
4.4	Desarrollo de la aplicación	77
4.4.1	Auditoría de Protección Radiológica	79
4.4.1.1	Protección espacio físico	80
4.4.1.2	Cálculo de Blindaje.....	81
4.4.1.3	Protección operadores y Pacientes	81
4.4.2	Auditoría en suministro eléctrico	82
4.4.2.1	Tablero de distribución	82
4.4.2.2	Mediciones en el equipo	84
4.4.2.3	Revisión de Transformador	87
4.4.3	Gestión Pacientes	88
4.4.4	Ejemplo de uso completo de la aplicación	89
CAPITULO 5		97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		97
BIBLIOGRAFÍA		99

INDICE DE TABLAS, FIGURAS Y ANEXOS

TABLAS

Tabla 1.1 Bandas del Espectro Electromagnético. Fuente: RADIOLOGÍA ODONTOLÓGICA (5th ed., Vol. 1).....	4
Tabla 1.2 Factor de ocupación. Fuente: NCRP. 2010	19
Tabla 1.3 Equivalencia de mm de Pm en otros materiales. NORMA DIN 6812.....	24
Tabla 1.4 Datos del equipo. Fuente: Manual restringido de servicio GEHC. Fuente: Autor .	25
Tabla 1.5 Identificación de zonas. Fuente: Autor	26
Tabla 1.6 Cálculo de W. Fuente: Autor	27
Tabla 1.7 Dosis por unidad de carga vs Kvp. Fuente: Autor	27
Tabla 1.8 Cálculo de dosis primaria real. Fuente: Autor	27
Tabla 1.9 Cálculo de dosis dispersa. Fuente: Autor	28
Tabla 1.10 Cálculo de dosis de fuga. Fuente: Autor	28
Tabla 1.11 Cálculo de Atenuación. Fuente: Autor	29
Tabla 1.12 Equivalente de mm Pb para el ejemplo. Fuente: Autor	29
Tabla 1.13 Protección de vidrios plomados. Lirquen.....	31
Tabla 1.14 Límites de dosis. Fuente: MEER.2008	34
Tabla 1.15 Peso de chalecos plomados. Fuente: IAEA. 2002	34
Tabla 1.16 PML en sitios con equipos Rayos X. Fuente: Autor	39
Tabla 1.17 Alternativas de PML en sitio con equipo de Rayos X. Fuente: Autor	40
Tabla 2. 1 Características de los transitorios impulsivos. Fuente: IEEE (1159-1999).....	43
Tabla 2. 2 Características de los transitorios oscilatorios. Fuente: IEEE (1159-1999)	43
Tabla 2. 3 Límites de Variación de Voltaje en Red Eléctrica. Fuente CONELEC 2001	46
Tabla 2. 4 Tabla de resistividad. Fuente IEEE 1986	52
Tabla 2. 5 Tabla AWG vs Resistencia. Fuente: GEHC, 1991	58
Tabla 2. 6 Estándares GEHC generador 50kw. Fuente: PIM 2014.....	62
Tabla 2. 7 Calibre del cable vs Distancia. Fuente: PIM 2014	62
Tabla 2. 8 Alternativas PML Seguridad Eléctrica. Fuente: Autor.....	63
Tabla 3. 1 Número de exámenes mensuales por Centro. Fuente: Autor	68
Tabla 3. 2 Frecuencias Acumuladas. Fuente: Autor	68
Tabla 3. 3 Técnicas PML en exámenes de Columna. Fuente: Autor. Ilustraciones Maldonado 2015	72
Tabla 3. 4 Técnicas de PML para exámenes de columna. Fuente: Autor Ilustraciones Maldonado 2015	73
Tabla 3. 5 Técnicas de PML para exámenes de Rodilla. Fuente: Autor Ilustraciones Maldonado 2015	74
Tabla 3. 6 Recomendaciones Generales para Exámenes Radiológicos	74

FIGURAS

Figura 1. 1 Penetración de energías ionizantes. Fuente: MEER, Curso Básico de Protección Radiológica (6th ed., Vol. 1).....	6
Figura 1. 2 Espectro Electromagnético. Fuente: IAEA. (2010). Recuperado de www.pub.iaea.org	7
Figura 1. 3 Tubo de Rayos X. Fuente: Manual restringido de servicio GEHC. (2010).....	10
Figura 1. 4 Partes del Cátodo del Tubo de Rayos X. Fuente: Manual restringido de servicio GEHC. (2010)	11
Figura 1. 5 Partes del Ánodo del tubo de Rayos X. Fuente: Manual restringido de servicio GEHC. (2010)	11
Figura 1. 6 Generación de Rayos X .Fuente: Manual restringido de servicio GEHC. (2010)	12
Figura 1. 7 Radiografía. Fuente: Autor	13
Figura 1. 8 Imagen CT. Fuente: Autor	13
Figura 1. 9 Distribución de Exposiciones. Fuente: UNSCEAR (2010). Gráfico Autor	15
Figura 1. 10 Fuentes principales de Radiación. Fuente: Autor.....	18
Figura 1. 11 Rendimiento de Tubo de Rayos X. Fuente: NORMA DIN 6812. s.f.	20
Figura 1. 12 Atenuación vs Espesor de Plomo. NORMA DIN 6812	22
Figura 1. 13 Láminas de Plomo. Dosimetría y Blindaje. (n.d.). Fuente: http://www.proteccionradiologica.cl/dosimetria-blindaje.php	23
Figura 1. 14 Instalación de Acero en Paredes. Dosimetría y Blindaje. (n.d.). Fuente: http://www.proteccionradiologica.cl/dosimetria-blindaje.php	23
Figura 1. 15 Paredes de Hormigón. Fuente: Autor	23
Figura 1. 16 Ladrillo de Arcilla. Fuente: Autor.....	24
Figura 1. 17 Equipo de rayos X estacionario XR6000. Fuente: Manual restringido de servicio GEHC	25
Figura 1. 18 Plano de instalación. Fuente: Autor.....	26
Figura 1. 19 Blindaje en puertas. Fuente: MEER.2010	30
Figura 1. 20 Blindaje de puertas. Fuente: Autor	30
Figura 1. 21 Vidrios plomados. Lirquen. Fuente: http://www.proteccionradiologica.cl/vidrios-plomados.php	31
Figura 1. 22 Tipos de mandiles plomados. Infab. (n.d.). Fuente: http://www.infabcorp.com/products/	35
Figura 1. 23 Tipos de guantes protectores. Infab. Fuente: http://www.infabcorp.com/products/	35
Figura 1. 24 Tipos de lentes protectores. Infab. (n.d.). Fuente: http://www.infabcorp.com/products/	35
Figura 1. 25 Tipos de protectores de tiroides. Infab. (n.d.). Fuente: http://www.infabcorp.com/products/	36
Figura 1. 26 Tipos de protectores de gónadas. Infab. (n.d.). Fuente: http://www.infabcorp.com/products/	36

Figura 1. 27 Protector craneal. Infab. (n.d.). Fuente: http://www.infabcorp.com/products/ ...	36
Figura 1. 28 Carcasa protectora de dosímetro. Fuente: Autor	37
Figura 1. 29 Reporte de dosimetría. Fuente: DOSISRAD 2015	38
Figura 1. 30 Protección en paredes de ocupación total. Fuente: Autor	40
Figura 2. 1 Sistema Trifásico. Fuente: Autor	42
Figura 2. 2 Transitorio Impulsivo a causa de descargas eléctricas en la red. Fuente: F2 ticpgdea 2011.....	43
Figura 2. 3 Transitorio ondulatorio. Fuente IEEE (1995)	44
Figura 2. 4 Depresión de Voltaje SAG o DIP. Fuente: Thompson 2007	45
Figura 2. 5 Elevación de Voltaje SWELL. Fuente: Thompson 2007	45
Figura 2. 6 Interrupción de energía eléctrica. Fuente: Thompson 2007	46
Figura 2. 7 Distorsión de la forma de onda por el tercer armónico. Fuente: Thompson 2007	48
Figura 2. 8 Hendidura o Notching de Tensión. Fuente: Thompson 2007	48
Figura 2. 9 Elementos de una puesta a tierra. Fuente: Adaptación de ilustración de leonardo- energy.gob	50
Figura 2. 10 Varillas Verticales. Fuente OTIC-MINEDU 2015	52
Figura 2. 11 Varillas Horizontales. Fuente OTIC-MINEDU 2015.....	53
Figura 2. 12 Placas de puesta a tierra. Fuente: Autor	53
Figura 2. 13 Anillos en puesta a tierra. Fuente: GARCÍA 2015	53
Figura 2. 14 Mallas de tierra. Fuente: CONCHA 2014	54
Figura 2. 15 Analizador de Calidad de Energía HIOKI. Fuente: CEDESA	55
Figura 2. 16 Análisis de Red Eléctrica. Fuente: Autor	56
Figura 2. 17 Análisis de corriente en fase 1. Fuente: Autor.....	56
Figura 2. 18 Análisis de transientes. Fuente: Autor	56
Figura 2. 19 Demanda de potencia. Fuente: Autor	57
Figura 2. 20 Medición de tierra. Fuente: Autor	58
Figura 2. 21 Ejemplo de conexión segura de tierra. Fuente: GEHC 1991	60
Figura 2. 22 Tablero de Distribución. Fuente: Autor	61
Figura 3. 1 Chasis o armadura. Fuente: San Martín 2011)	66
Figura 3. 2 Bucky de Pared. Fuente: GEHC 2014.....	67
Figura 3. 3 Diagrama de Pareto. Fuente: Autor.....	69
Figura 3. 4 Tipos de exámenes de tórax. Fuente: Felson. Principios de Radiografía Torácica Lawrence, 2009.....	70
Figura 3. 5 Vértebras de la Columna Vertebral. Fuente: http://healthcare.utah.edu	71
Figura 4. 1 Entorno Android Studio. Fuente: Autor	77
Figura 4. 2 Pantalla de Inicio y Menú Principal. Fuente: Autor	78
Figura 4. 3 Diagrama de Bloques sintetizada de la aplicación. Fuente: Autor	79
Figura 4. 4 Menú Protección Radiológica. Fuente: Autor	80
Figura 4. 5 Menú Espacio Físico. Fuente: Autor	80

Figura 4. 6 Evaluación Espacio Físico. Fuente: Autor	81
Figura 4. 7 Cálculo de Blindaje Radiológico. Fuente: Autor	81
Figura 4. 8 Protección operadores y Pacientes. Fuente: Autor	82
Figura 4. 9 Auditoría de Suministro Eléctrico. Fuente: Autor	82
Figura 4. 10 Tablero de Distribución GE. Fuente: Autor	83
Figura 4. 11 Revisión de Tablero de Distribución. Fuente: Autor	83
Figura 4. 12 Mediciones en el equipo. Fuente: Autor	84
Figura 4. 13 Ejemplo de Verificación de datos obtenidos. Fuente: Autor	85
Figura 4. 14 Verificación de voltajes entre fases y neutro. Fuente: Autor	85
Figura 4. 15 Mediciones de corriente. Fuente: Autor	86
Figura 4. 16 Ventanas de Resumen de Mediciones. Fuente: Autor	87
Figura 4. 17 Revisión del Transformador. Fuente: Autor	87
Figura 4. 18 Verificación de datos de transformador. Autor: Autor	88
Figura 4. 19 Menú Exámenes Radiológicos. Fuente: Autor	89
Figura 4. 20 Ejemplos de Estudios Radiográficos. Fuente: Autor	89
Figura 4. 21 Ingreso al Menú Protección Radiológica. Fuente: Autor	90
Figura 4. 22 Submenú Protección Espacio Físico. Fuente: Autor	90
Figura 4. 23 Cálculo de Blindaje. Fuente: Autor	91
Figura 4. 24 Protección Operadores y Pacientes. Fuente: Autor	92
Figura 4. 25 Menú Auditoría Eléctrica. Fuente: Autor	92
Figura 4. 26 Verificación del Tablero de Distribución. Fuente: Autor	93
Figura 4. 27 Opción de Voltaje de alimentación. Fuente: Autor	93
Figura 4. 28 Mediciones de Voltaje y Corriente. Fuente: Autor	94
Figura 4. 29 Cuadros de Resumen de Mediciones. Fuente: Autor	94
Figura 4. 30 Revisión del Transformador. Fuente: Autor	95
Figura 4. 31 Navegación en Submenú Gestión Pacientes. Fuente: Autor	96

ANEXOS

ANEXO 1 Extracto del Reglamento de Seguridad Radiológica (IESS)	101
--	-----

Modelo para realizar el diagnóstico y la validación de estrategias de Producción Más Limpia (PML) en centros de diagnóstico por Imágenes

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, por el avance tecnológico en el área médica, el realizar diagnósticos por medio de exámenes en los que se involucre equipos que generan radiación ionizante se ha tornado fundamental para llegar a una prescripción precisa en toda la amplia gama de especialidades de la medicina. Es por esto, que un número elevado de pacientes, día a día son enviados a Centros de diagnóstico por imágenes a realizarse estudios tanto de rayos X, tomografías Multicorte, mamografías, fluoroscopías, etc., o en otros casos recibir intervenciones quirúrgicas en los que se vean involucrados equipos como Intensificadores de imagen (Arco en C) o en intervenciones vasculares equipos de Angiografía.

En otro ámbito, en muchos de los Centros de Diagnóstico por imágenes, no cuentan con las protecciones necesarias tanto en la parte eléctrica como en la seguridad radiológica, lo que implica altos riesgos de que un equipo pueda ser afectado en alguna variación brusca de alimentación eléctrica, generando paras imprevisas de producción y a su vez pérdidas económicas elevadas. De igual manera, en la parte de seguridad radiológica, no se cuenta con la información necesaria en sitio, lo que origina que tanto el personal operacional expuesto como los pacientes que van a ser sometidos a estudios radiológicos, corran ciertos riesgos para su salud.

La importancia de realizar con precisión y con altos estándares de calidad, cualquier proceso dentro de una empresa o industria, ha llegado a ser vital para el crecimiento y supervivencia de las mismas, es por esto que la aplicación de técnicas y estrategias que sean amigables con el medio ambiente, hace que los procesos, productos y servicios mejoren su calidad y a su vez se generen beneficios al consumidor final, propietario de la empresa y al propio medio ambiente.

Para realizar el diagnóstico y poder validar estrategias de Producción más Limpia, en los centros de Diagnóstico por imagen, se tomarán en cuenta 3 áreas elementales: Área Seguridad Eléctrica, Área Seguridad Radiológica y Área Gestión de pacientes.

- **Área seguridad eléctrica.-** En esta sección se revisarán todos los aspectos eléctricos que los equipos instalados deben cumplir para asegurar su óptimo funcionamiento, así como también las protecciones necesarias para impedir que tengan desperfectos al momento de presentarse algún problema en suministro de energía eléctrica.
- **Área seguridad radiológica.-** En este punto, se tomarán como referencia los valores establecidos por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del

Ecuador y de los organismos internacionales, enfocándose en las protecciones tanto de la parte física en donde están instalados los equipos como en los elementos de protección personal que deben poseer para salvaguardar al personal y público en general.

- **Área Gestión de pacientes.-** En esta área se desarrollarán instructivos de los principales estudios radiológicos con los cuales los pacientes puedan guiarse antes de ser sometidos a un estudio, para evitar repeticiones innecesarias de los exámenes y mejorar el tiempo entre estudios.

Los resultados de los diagnósticos en las tres áreas antes mencionadas, se realizarán de forma automática por medio de la Herramienta de desarrollo integrado ANDROID, en la que se podrá encontrar toda la información compactada brindando facilidades visuales al usuario para poder navegar en ella sin tener problemas en su utilización.

CAPÍTULO 1

RADIACIÓN Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

1.1 Introducción

Durante el estudio de los rayos catódicos en 1895, el físico alemán Wihelm Roentgen de manera accidental observó que cuando realizaba sus estudios, una pantalla de platino-cianuro de bario que estaba a corta distancia, emitía una luz fluorescente. Tras llevar a cabo experimentos adicionales determinó que la fluorescencia se debía a una radiación más penetrante que la radiación ultravioleta. Gracias a su naturaleza desconocida, Roentgen denominó a estos rayos invisibles “Rayos X”. El primer tubo de rayos X fue el tubo de Crookes, inventado por el químico y físico británico William Crookes; conformado por una ampolla de vidrio bajo vacío parcial con dos electrodos (ARTES MÉDICAS, 2002).

Tras el descubrimiento de la radiación ionizante, hace aproximadamente 100 años, se ha ido aprovechando sus beneficios, a través de aplicaciones provechosas para el campo médico. Dentro del cual se han podido perfeccionar técnicas para el diagnóstico y fines terapéuticos, siendo una parte significativa en la radiología.

En el campo médico entre las áreas que se han podido desarrollar gracias a la radiación, destacan la radiología convencional, la tomografía computarizada, la radiología intervencionista, las técnicas de medicina nuclear, la tomografía por emisión de positrones y la radioterapia con fuentes radiactivas y aceleradores de partículas son procedimientos frecuentes en la medicina moderna.

1.2 Espectro Electromagnético

Es la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Referido a un objeto se denomina espectro a la radiación electromagnética que emite o absorbe una sustancia. Los espectros se pueden contemplar mediante espectroscopios que, además de permitir observar el espectro, permiten realizar medidas sobre el mismo, (longitud de onda, la frecuencia e intensidad de la radiación).

El espectro electromagnético cubre un amplio rango de longitudes de onda. La energía electromagnética en una particular longitud de onda λ (en el vacío) tiene una frecuencia “ f ” asociada y una energía de fotón “ E ”. Pudiendo expresar el espectro electromagnético en cualquiera de esos términos. Quedando definidos por las ecuaciones:

$$\lambda = \frac{c}{f} \qquad E = \frac{hc}{\lambda}$$

Donde:

Velocidad de la luz $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s

Constante de Planck $h \approx 6,626069 \cdot 10^{-34} \cdot s \approx 4,13567 \mu eV/GHz$.

En consecuencia, las ondas electromagnéticas de alta frecuencia tienen una longitud de onda corta y alta energía, mientras las ondas de baja frecuencia tienen longitudes de onda grandes y poca energía. Pueden ser clasificadas en función a su longitud de onda y en

función de ello también depende su comportamiento. Cuando la radiación electromagnética interactúa con átomos y moléculas puntuales, su comportamiento también depende de la cantidad de energía por quantum que lleve.

1.2.1 Bandas del espectro electromagnético

Para su estudio, el espectro electromagnético se divide en segmentos o bandas, aunque esta división es inexacta se la puede observar en la tabla 1.1.

Banda	longitud de onda (m)	Frecuencia	
		(Hz)	Energía (J)
Rayos gamma	< 10 pm	> 30,0 EHz	> $20 \cdot 10^{-15}$ J
Rayos X	< 10 nm	> 30,0 PHz	> $20 \cdot 10^{-18}$ J
Ultravioleta extremo	< 200 nm	> 1,5 PHz	> $993 \cdot 10^{-21}$ J
Ultravioleta cercano	< 380 nm	> 789 THz	> $523 \cdot 10^{-21}$ J
Luz Visible	< 780 nm	> 384 THz	> $255 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo cercano	< 2,5 μ m	> 120 THz	> $79 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo medio	< 50 μ m	> 6,00 THz	> $4 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo lejano	< 1 mm	> 300 GHz	> $200 \cdot 10^{-24}$ J
Microondas	< 30 cm	> 1 GHz	> $2 \cdot 10^{-24}$ J
Ultra alta F - Radio	< 1 m	> 300 MHz	> $19,8 \cdot 10^{-26}$ J
Muy alta F - Radio	< 10 m	> 30 MHz	> $19,8 \cdot 10^{-28}$ J
Onda corta - Radio	< 180 m	> 1,7 MHz	> $11,22 \cdot 10^{-28}$ J
Onda media - Radio	< 650 m	> 650 kHz	> $42,9 \cdot 10^{-29}$ J
Onda Larga - Radio	< 10 km	> 30 kHz	> $19,8 \cdot 10^{-30}$ J
Muy baja F - Radio	> 10 km	< 30 KHz	> $19,8 \cdot 10^{-30}$ J

Tabla 0.1 Bandas del Espectro Electromagnético. Fuente: RADIOLOGÍA ODONTOLÓGICA (5th ed., Vol. 1).

1.2.2 Espectros

Dentro de los espectros, aquel que puede observar el ser humano es pequeño y se lo conoce convencionalmente como luz; en este espectro se pueden apreciar los colores del arcoíris, con una longitud de onda en el intervalo de 0,38 a 0,76 micrómetros. Si la radiación tiene una frecuencia en la región visible del espectro electromagnético, puede ser reflejada en un objeto, por ejemplo una fruta.

Las ondas o radiaciones electromagnéticas se pueden clasificar en radiación no ionizante y radiación ionizante.

1.3 Radiación no ionizante

Compuestas por las ondas de radio, tv, microondas, luz visible, que no tienen la suficiente energía acumulada como para romper los enlaces que unen los átomos del medio que irradian.

1.4 Radiación Ionizante

Entre los tipos de radiación ionizante se encuentran las partículas Alfa, partículas Beta, Rayos gamma, Rayos X y los neutrones.

La exposición a radiación ionizante puede ocasionar directamente lesiones sobre los tejidos, o en manera indirecta puede producir la descomposición de la molécula de agua (formado radicales libres que dañan la célula) tendiendo a incrementar la probabilidad de aparición cuando se incrementa la dosis de radiación.

Las células son más sensibles a la radiación cuando es mayor su actividad reproductiva, o su porvenir cariocinético y cuanto menor diferenciadas estén sus funciones (BAYO, 2001).

Las principales variaciones que ocurren a nivel celular, se manifiestan en la molécula de DNA y los cromosomas, creando roturas de la cadena y alterando los azúcares y bases.

- Al producirse la ruptura de los cromosomas, al repararse pueden obtenerse cromosomas anómalos.
- Al producirse alteraciones en la molécula de DNA, se puede generar mutaciones que se pueden heredar si estas mutaciones se producen en las células germinales.

1.4.1 Radiación Alfa

Se hallan conformadas por dos protones y dos neutrones, (el núcleo de un átomo de helio), expulsadas del núcleo de un átomo radiactivo. Este efecto se produce en átomos pesados (uranio, torio o radio), debido a que el núcleo está conformado mayoritariamente por neutrones, permitiendo que sean inestables.

Al emitir una partícula alfa, se produce una alteración en la composición de su núcleo, y queda transformado en otro núcleo con dos protones y dos neutrones menos.

Debido a su gran rapidez para repartir energía, se le clasifica como una radiación poco penetrante, que puede ser detenida con una hoja de papel, pero es una radiación de carácter ofensiva, puesto que puede actuar en los lugares que ha sido depositado ya sea por sedimentación o inhalación.

1.4.2 Radiación Beta

Se caracteriza por ser partículas compuestas por una carga negativa y una masa pequeña, son menos reactivas que las partículas alfa, motivo por el cual tienen un rango mayor de penetración (en el rango de 100 veces mayor penetración) en este caso, se puede parar su penetración con la distancia utilizando simplemente el aire, o también se puede utilizar una lámina de aluminio o incluso unos pocos centímetros de agua.

Al igual que las partículas alfa, las partículas beta son partículas radiactivas con átomos conformados en su mayoría por neutrones y generadas por reacciones nucleares, principalmente en las plantas de energía nuclear bajo ambientes controlados.

1.4.3 Radiación Gamma

Existe una relación directa entre las partículas alfa y beta con la emisión gamma, puesto que la radiación gamma tiene su origen en el núcleo excitado tras emitir una partícula alfa o beta (el núcleo tiene exceso de energía, que se disipa como ondas electromagnéticas de alta frecuencia). Los rayos gamma no poseen carga ni masa, motivo por el cual no existe

cambios a nivel del núcleo, interacciona con la materia al colisionar capas electrónicas de átomos manifestando una pérdida de energía radiante, lo que le permite ser aún más penetrante que las partículas beta. En el aire, puede desplazarse varios cientos de metros, se puede detener su avance únicamente con capas grandes de hormigón, agua o plomo.

En la figura 1.1 se puede observar el alcance de penetración de las partículas Alfa, Beta y Rayos Gamma.

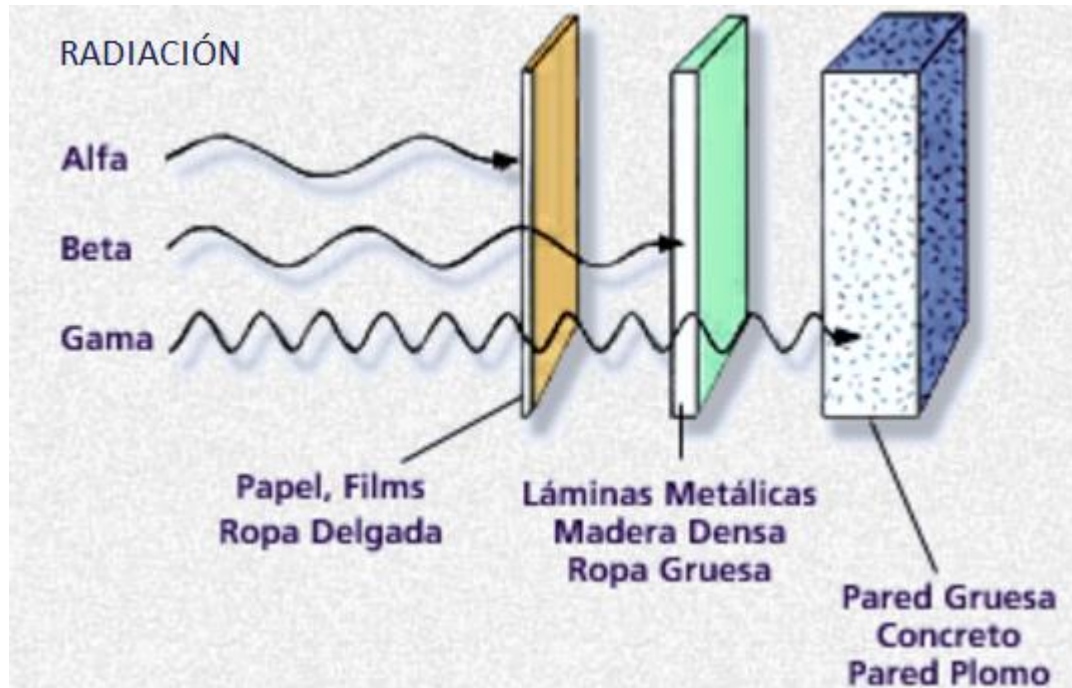


Figura 1. 1 Penetración de energías ionizantes. Fuente: MEER, Curso Básico de Protección Radiológica (6th ed., Vol. 1).

1.4.4 Rayos X

Radiación electromagnética, invisible, capaz de atravesar cuerpos opacos y de impresionar las películas fotográficas, su longitud de onda está entre 10 a 0,01 nanómetros, correspondiendo a frecuencias en el rango de 30 a 30.000 PHz (de 50 a 5.000 veces la frecuencia de la luz visible). Se pueden disipar solamente con blindaje de plomo.

1.4.5 Rayos X y Rayos Gamma en el espectro electromagnético

Los Rayos X y los Rayos Gamma se encuentran en el rango de longitud de onda muy corta, permitiéndoles alcanzar niveles muy elevados de energía (el nivel de energía es inversamente proporcional a la longitud de onda) como se puede observar en la figura 1.2.

- **Ondas de Baja Energía:** Conformados por las radiaciones no ionizantes, tales como la luz y el espectro de ondas visibles por el ser humano, los rayos infrarrojos y las ondas de televisión y radio.
- **Ondas de Alta Energía:** Conformados por las radiaciones ionizantes, tales como los Rayos X y los Rayos Gamma, pueden penetrar objetos densos.

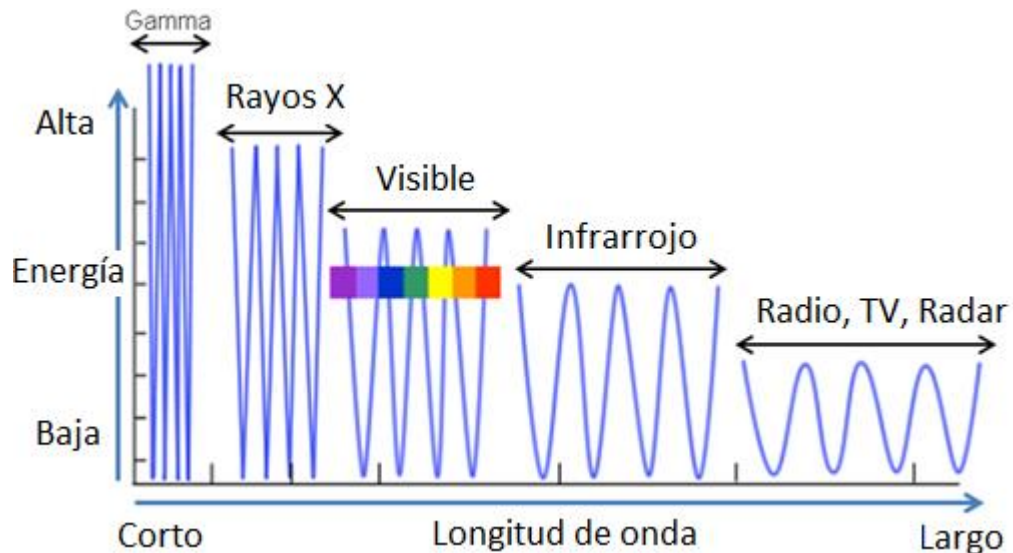


Figura 1. 2 Espectro Electromagnético. Fuente: IAEA. (2010). Recuperado de www.pub.iaea.org.

Los Rayos X que se obtienen de las ondas de alta energía se emplean tanto en el diagnóstico como en el tratamiento. Radiación que puede ser obtenida de materiales radiactivos naturales, o también de reactores nucleares, ciclotrones, aceleradores lineales, fuentes de cobalto y cesio y demás materiales radiactivos aptos para fines médicos.

1.4.6 Fuentes de Radiación Ionizante

Dependiendo de su origen, se tienen fuentes de radiación natural y artificial. La radiación natural está constituida por la radiación cósmica, terrestre y el radón, mientras que la radiación artificial está compuesta por una gran cantidad de materiales radiactivos que reciben un procesamiento que permite aprovechar sus características. (MEER, 2012)

- **Radiación Cósmica:** Conformada por procesos energéticos que ocurren fuera de la atmósfera terrestre (galaxias y erupciones del sol), a nivel molecular está constituida en su mayoría por protones, partículas alfa y electrones, conteniendo una energía elevada. En la superficie terrestre, presenta características distintas debidas a la interacción de las partículas con la atmósfera, a la altitud y latitud. Cambios que se producen debido al blindaje de la capa atmosférica y al campo magnético terrestre.
- **Radiación Terrestre:** Constituida por una radiación primordial existente desde el origen de la Tierra, una radiación cosmogénica producto del ingreso de la radiación cósmica en la atmósfera terrestre y por la radiación de fuentes terrestres (uranio, torio, potasio-40, radio radón), empleada en la industria, investigación y medicina.
- **Radón:** Es un gas noble inerte, producto del decaimiento radiactivo del Ra-226, se difunde a través del suelo y los cimientos de las casas adicional a ello es un emisor alfa, responsables de la exposición humana a la radiación alfa.

1.4.6.1 Fuentes artificiales de radiación

Asociada a materiales y procesos nucleares que libera una gran cantidad de energía conjuntamente con materiales radiactivos y radiaciones, partículas en las cuales pueden realizarse procesos físicos, químicos y biológicos.

La interacción entre la estructura de una radiación y un objeto material modifica el haz de la radiación y altera las propiedades del objeto irradiado. Al interactuar un cuerpo con el haz de radiación, se puede obtener alguna característica sobre dicho objeto (estructura molecular, humedad, espesor o densidad), información que puede traducirse en una imagen que puede ser de tipo estático (registros en placas radiográficas) o dinámicas.

1.4.6.2 Características de las Fuentes de Radiación

Las fuentes de radiación son diseñadas tecnológicamente dependiendo del tipo de aplicación a la cual se desee asignar (industrial, energética, médica, investigación). El entorno en el cual se alberga la fuente depende de sus características.

- **Irradiación Interna o Externa:** Equipos de Rayos X, Aceleradores de Partículas, Fuentes Gamma y Fuentes de neutrones conforman la Irradiación Externa. La radiación de materiales desde su interior necesita de fuentes radiactivas.
- **Fuentes Selladas o Abiertas:** “Para irradiar un objeto desde su interior se pueden utilizar cavidades del medio a irradiar, introduciendo fuentes radiactivas selladas. Por el contrario si se desea aprovechar procesos metabólicos para lograr la acumulación de material radiactivo en ciertos tejidos, deben emplearse fuentes radiactivas abiertas” (MEER 2012).
- **Tipo de Radiaciones y Energía:** La energía varía dependiendo del grado de penetración que se desea obtener de un objeto, al igual que el tipo de radiación (Gamma, Rayos X, Beta, Alfa), siendo las radiaciones Gamma las de mayor penetración y las Alfa para acciones superficiales.

1.4.6.3 Fuentes Radiactivas

A diferencia de los Rayos X, las fuentes radiactivas cuentan con autonomía energética (no necesitan una fuente de energía adicional para funcionar), motivo por el cual no pueden ser desactivadas. De esta manera se potencia su empleo en una gran cantidad de aplicaciones, con la desventaja de que se puede producir radiaciones accidentales que pueden provocar severos graves daños a su alrededor.

Inicialmente se empleaban como material radiactivo radioisótopos naturales (Ra-226, Th-232), pero el desarrollo de reactores nucleares y aceleradores de partículas permitió utilizar radioisótopos a partir de reacciones de fisión (Cs-137) o activación (Co-60). Actualmente se emplea principalmente radioisótopos de origen artificial (MEER, 2012).

El empleo de los materiales radiactivos se da de dos maneras, como fuentes abiertas o como fuentes selladas, (siendo necesario encapsular el material radiactivo en las fuentes selladas). “El encapsulamiento debe satisfacer estrictas condiciones que garanticen la

resistencia mecánica, la estanqueidad, la resistencia a altas temperaturas y presiones, adecuada señalización del carácter peligroso y radiactivo del material”(MEER, 2012).

1.4.7 Generadores de Rayos X

Gracias a las características de onda, dentro del espectro electromagnético, es conocido que los Rayos X y la Radiación Gamma tienen una capacidad muy elevada de penetración (puede atravesar espesores considerables y conservar la intensidad suficiente para posibilitar su detección y conformar imágenes) dependiendo de la energía que se emplee durante la radiación. “A diferencia de la radiación Gamma, la energía de fotones de los Rayos X, son valores discretos característicos de cada radioisótopo, conformando espectros continuos cuyos valores máximos pueden ajustarse mediante los controles del equipo” (MEER, 2012).

1.4.7.1 Generación de Rayos X

Los Rayos X son producidos de manera artificial por medio de una instalación y dispositivos apropiados, siendo necesarios entre los elementos principales un generador de alta tensión, un tubo con una fuente de electrones libres y un blanco en el cual los electrones puedan impactar y finalmente una consola de comando.

Al acelerar los electrones dentro del campo eléctrico generado por los electrodos del tubo, estos se impactan con suficiente energía contra el ánodo o blanco y como efecto de ello se produce radiación electromagnética, conocida como Rayos X.

Al cambio brusco que se produce por parte de los electrones durante la colisión con el blanco se le conoce como “Radiación de Frenamiento”, provocando como resultado una corriente variable que genera los Rayos X. La máxima energía de los fotones depende de la diferencia de potencial aplicada a los electrodos del tubo. Dependiendo de la aplicación se calibra la energía de los fotones, que pueden ser relativamente bajas (algunos KeV) o energías elevadas (varios cientos de KeV). Sabiendo que a mayor energía utilizada para generar los Rayos X, mayor es la penetración en la materia.

1.4.7.2 Propiedades de los Rayos X

Las propiedades principales de los Rayos X son las siguientes:

- Pueden producir Fluorescencia en ciertas sales metálicas.
- Ennegrecen las placas fotográficas.
- Radiaciones electromagnéticas de alta energía.
- Producen radiaciones secundarias en todos los cuerpos que atraviesan.
- Se propagan en línea recta hacia todas las direcciones.
- Transforman gases en conductores eléctricos (ionización).

1.4.7.3 Componentes del Equipo de Rayos X

Generador de Rayos X.- El tubo de Rayos X recibe de manera externa un diferencial de potencial a partir de un generador de alto voltaje (entre 30kV a 150kV), conformado por un transformador y un sistema de rectificación a para proveer corriente DC entre el cátodo y ánodo del tubo.

Tubo de Rayos X.- El tubo de rayos X es una válvula de vacío, dentro de la cual se generan los Rayos X mediante la aceleración de electrones que tras un breve tiempo son frenados bruscamente para poder obtener fotones (radiación ionizante empleada en radiodiagnóstico).

La parte en la que se genera una nube de electrones gracias a las elevadas temperaturas que se obtienen de un filamento metálico es conocido como cátodo (efecto termoiónico), al introducir una diferencia de potencial elevada (Kv) se puede acelerar dichos electrones, mismos que se los hace chocar contra el ánodo, lugar en el cual son frenados bruscamente lo que permite liberar una gran cantidad de energía cinética como fotones que constituyen los Rayos X. En la figura 1.3 se puede observar los componentes internos del tubo de Rayos X, (Cubierta, Sistema de Enfriamiento Generador de Alto Voltaje, Cátodo, Ánodo, Filamento, Blindaje de plomo, líquido termoaislante)

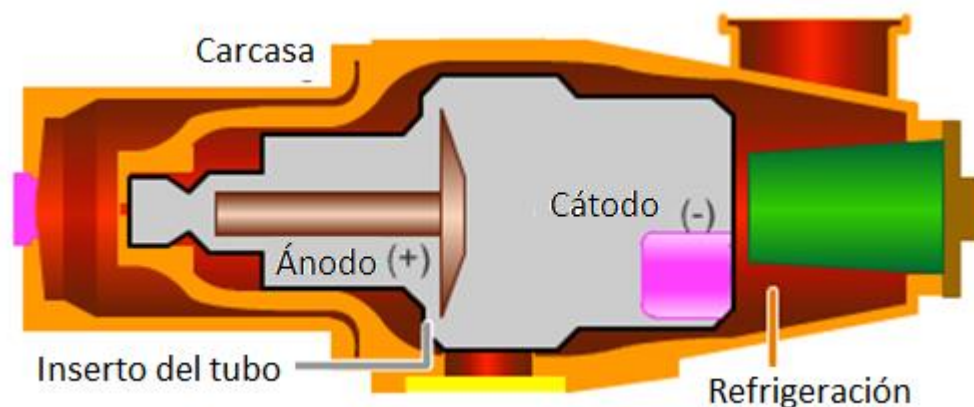


Figura 1. 3 Tubo de Rayos X. Fuente: Manual restringido de servicio GEHC. (2010)

Cubierta: La inserción del Tubo está montada dentro de una cubierta protectora. La cubierta está hecha de Aluminio y forrada de plomo. Permite controlar la dispersión y fugas de radiación. Brinda aislamiento de Alto Voltaje.

Enfriamiento: Solamente del 1 % al 3 % de la energía producida en un Tubo genera Rayos X, el resto es disipado como calor. Las temperaturas internas del Tubo pueden alcanzar hasta 1200 grados Celsius. Aceite alrededor del tubo brinda aislamiento al tubo y disipa el calor, mediante un termocambiador. El programa de adquisición de las exposiciones del Tubo de Rayos X previene que el tubo se sobrecaliente.

Cátodo del Tubo de Rayos X: Provee de la corriente de electrones cuando se producen Rayos X. Como se puede observar en la figura 1.4, el cátodo está compuesto por:

- Filamentos que producen la corriente de electrones.
- Un punto de enfoque para concentrar los electrones

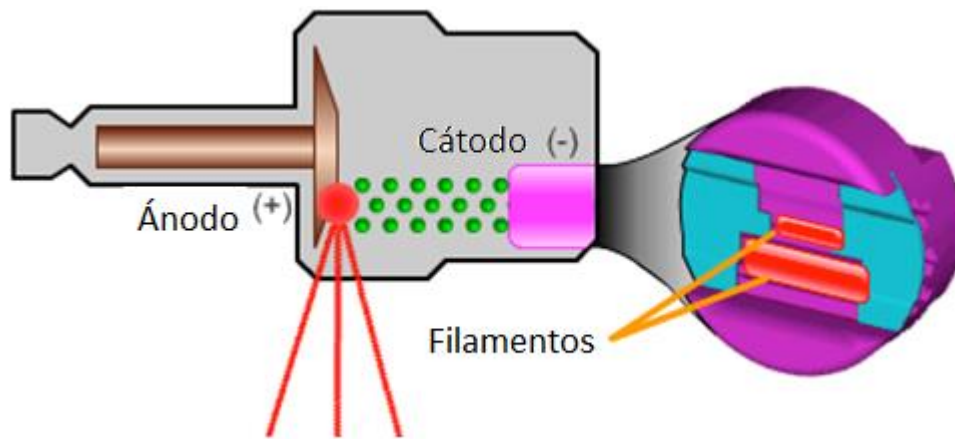


Figura 1. 4 Partes del Cátodo del Tubo de Rayos X. Fuente: Manual restringido de servicio GEHC. (2010)

Ánodo del Tubo de Rayos X: Los Rayos X son producidos cuando una corriente de electrones provenientes del cátodo, chocan al ánodo. La superficie del ánodo es angulada generalmente alrededor de 15°, para proteger al paciente de los Rayos X. Se rota al ánodo durante una exposición, como producto de varios sub-componentes que se pueden observar en la figura 1.5.

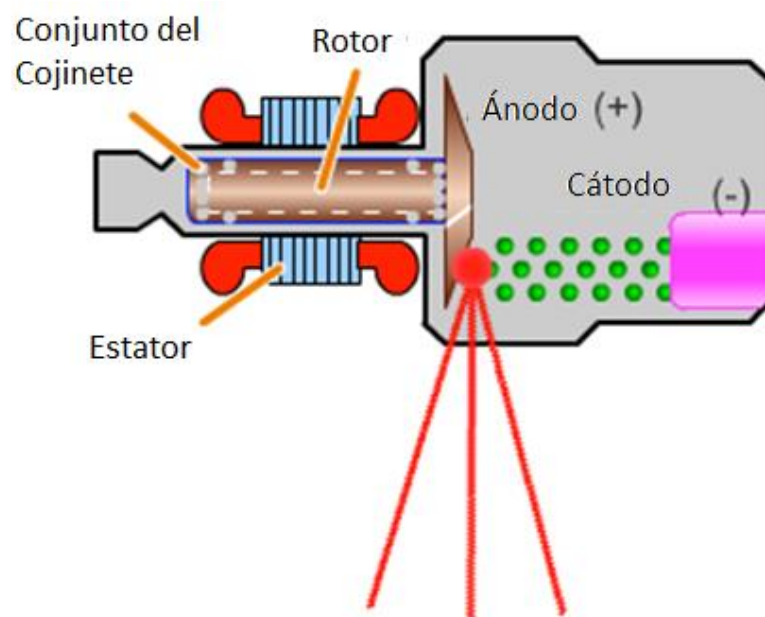


Figura 1. 5 Partes del Ánodo del tubo de Rayos X. Fuente: Manual restringido de servicio GEHC. (2010)

- **Rotor:** soporta al ánodo.
- **Bobina del Estator:** Maneja la rotación del ánodo (cuando está energizado).
- **Conjunto de Cojinete:** Soporta tanto al ánodo como al rotor y provee de una rotación suave al ánodo.
- **Filamento de los Rayos X y corriente del Tubo:** A la corriente que calienta el filamento de Tungsteno, se le conoce como corriente del Filamento, se encuentra

en un punto focal, en el cual se determina el número de electrones a producir. El número de electrones que fluyen del filamento del cátodo hacia el ánodo es conocido como la corriente del tubo y determina la cantidad de Rayos X generada. En la figura 1.6, se resalta el principio de funcionamiento para generar los Rayos X.

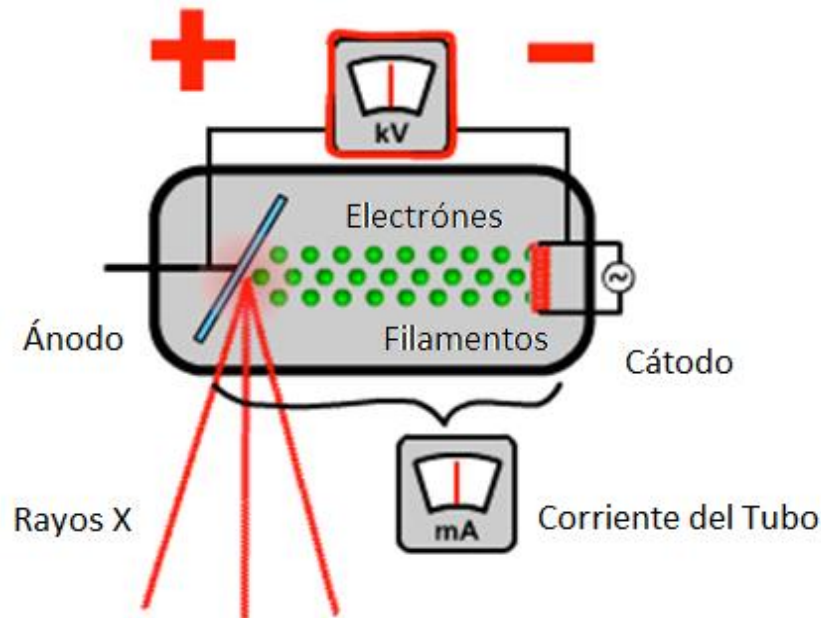


Figura 1. 6 Generación de Rayos X .Fuente: Manual restringido de servicio GECH. (2010)

El diseño del ánodo es importante, puesto que permite limitar su calentamiento, incrementar la intensidad del haz de electrones y reducir el foco o área de impacto en el ánodo, mejorando así las características de los rayos X emitidos.

Consola de Comando: El lugar desde el cual se configura los parámetros para la adquisición de la imagen (características del haz y el tiempo de irradiación) y desde donde se realiza el disparo se conoce como consola, se mantiene en una posición distanciada del tubo. Las características que se pueden controlar desde la consola son:

- El diferencial de potencial que llega al tubo (Kv), de esta manera se puede obtener mayor o menor energía con el fin de obtener un haz de capacidad penetrante acorde con el grosor de la región del cuerpo a radiografiar.
- Intensidad de corriente en el tubo (mA), para regular la cantidad de fotones de Rayos X que se emiten por unidad de tiempo.
- Intensidad del haz de rayos X, está dada por la energía que transporta el haz por unidad de tiempo y por unidad de sección transversal, dependiendo de la cantidad de fotones/tiempo que atraviesen la sección transversal.

1.4.7.4 Calidad de Rayos X

Dependiendo del diferencial de potencial y la cantidad de corriente que configure en el equipo, se puede incrementar o disminuir la penetración. A un valor de kV y mA más alto, se

obtiene una mayor penetración, a esta capacidad de penetración se le conoce como calidad de Rayos X, siendo conocido una configuración de gran penetración como de alta calidad o duro, mientras uno de baja penetración es conocido como de baja calidad o blando.

1.4.7.5 Radiografía

La radiografía es el proceso mediante el cual se obtiene imágenes utilizando energía de radiación con Rayos-X (figura 1.7)

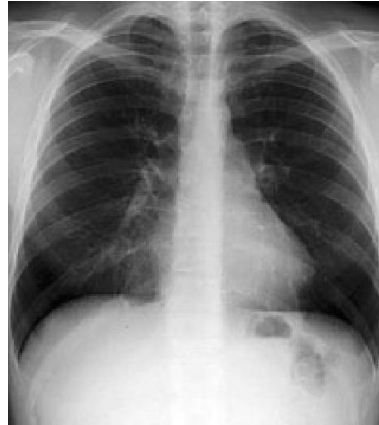


Figura 1. 7 Radiografía. Fuente: Autor

En un sistema radiológico convencional, al aplicar kilovoltios (kV) a un tubo de Rayos X, se produce el haz de Rayos X. Cuanto mayor sea el Kilovoltaje aplicado al tubo, mayor es la penetración del haz de Rayos X a su paso por áreas de tejidos densos en el paciente.

1.4.7.6 Imágenes Rx

Las imágenes de Rayos X son representaciones visuales en dos planos de la densidad del tejido interno del cuerpo (figura 1.7)

1.4.7.7 Imágenes CT

Tomografía Computarizada (CT) combina el principio de la radiografía con el proceso de la adquisición por computadora. Las imágenes son reconstruidas para crear rebanadas de sección transversal (figura 1.8)



Figura 1. 8 Imagen CT. Fuente: Autor

1.5 Protección Radiológica

1.5.1 Introducción

La protección radiológica es la disciplina que tiene como objetivo el ofrecer a las personas involucradas en el medio médico radiológico, los conocimientos necesarios sobre los efectos nocivos de la radiación ionizante al igual que los beneficios de tratamientos realizados mediante la exposición de los pacientes.

Se conoce como “práctica” al hecho de exponer a una persona durante un tiempo determinado a radiación ionizante en una aplicación médica, con fines beneficiosos para dicha persona. Si se mantiene una protección adecuada durante la práctica, se garantiza el valor mínimo necesario de dosis para los pacientes acorde a los objetivos médicos.

1.5.2 Reseña Histórica

El Organismo Internacional de Energía Atómica fue creado en 1957 y su objetivo principal es la cooperación científica y técnica en la utilización de la tecnología nuclear con fines pacíficos. Ecuador ha sido un Estado miembro de la AIEA desde 1958 y tiene identificadas cinco áreas prioritarias (IAEA.org):

Salud Humana.- los bancos de tejidos, servicios médicos, la nutrición y el tratamiento del cáncer.

Seguridad Alimentaria.- lucha contra las enfermedades de los cultivos, la aplicación de técnicas de irradiación de alimentos, la fertilización del cultivo óptimo y el cuidado del suelo.

Medio ambiente.- gestión de los recursos hídricos, la mejora de la calidad del aire, el seguimiento y control de la contaminación.

Energía e Industria.- formación en diversos temas relacionados con la energía, la evaluación de uranio, torio y otros depósitos minerales.

Seguridad Radiológica.- el fortalecimiento de las actividades de la autoridad reguladora, el apoyo a la actualización de la legislación nacional en materia de seguridad, así como la gestión de residuos, y la respuesta a las emergencias radiactivas.

El 23 de marzo de 1979 se publica en el registro oficial la disposición que la política de energía atómica será ejecutada por el Estado a través de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEa) y contempla la responsabilidad jurídica y funciones de la comisión, su estructura orgánica, directorio, presidencia, dirección ejecutiva, personal y régimen económico.

Mediante Decreto Ejecutivo 978 el 8 de abril del 2008 en Registro Oficial 311, se lleva a cabo la fusión de la Comisión de Energía Atómica al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable como unidad dependiente de este Ministerio.

Actualmente es conocida como la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) y es la dependencia que controla y regula el uso pacífico de las radiaciones ionizantes en el Ecuador.

La SCAN ejerce sus funciones basada en reglamentación nacional y en las recomendaciones emitidas desde el Organismo Internacional de Energía Atómica, fomentando siempre el mantenimiento de altos estándares de protección radiológica y seguridad física en las instalaciones donde se operan fuentes de radiación ionizante.

Como parte de las actividades de control, la SCAN emite Licencias a personas e instituciones, así como también autorizaciones para importación de fuentes de radiación ionizante.

La SCAN asesora a las instituciones que utilizan fuentes de radiación ionizante para prevenir sus riesgos y vigilar que durante el desarrollo de sus actividades, se cumpla con las disposiciones legales y reglamentarias pertinentes. Adicionalmente brinda servicios técnicos de apoyo a la seguridad radiológica, como es el caso de: servicio de dosimetría personal, calibración de detectores de radiación, determinación de niveles de radiactividad en diversas matrices, entre otros. (MEER)

Otro organismo reconocido a nivel mundial y que trabaja conjuntamente con la IAEA es el Consejo Nacional de Protección y Medición de Radiación (NCRP) reconocida por el Congreso de Estados Unidos en 1964 y según la ley pública 88-376, establece como objetivos difundir la información de interés público y recomendaciones sobre la protección contra la radiación, desarrollar conceptos básicos acerca de las cantidades de radiación, unidades y medidas, sobre la aplicación de estos conceptos, y sobre la protección radiológica; cooperar con la Comisión Internacional de Protección Radiológica, el Consejo Federal de la radiación, la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de la Radiación, y otras organizaciones nacionales e internacionales, gubernamentales y privadas, preocupado por la cantidad de radiación, unidades y medidas, y con la protección radiológica.

De acuerdo a las estadísticas más recientes presentadas por la OIEA en Viena 2010, el número aproximado de exposiciones con fines de diagnóstico en el mundo sobre los 2500 millones y con fines terapéuticos, sobre los 5500 millones.

En el universo de los 2500 millones de exposiciones, se tiene una distribución de acuerdo a la figura 1.9



Figura 1. 9 Distribución de Exposiciones. Fuente: UNSCEAR (2010). Gráfico Autor

De igual manera, se tiene un estimado en dosis colectiva anual producida en función de la figura 1.1, en próximo a 2500 millones de Sv hombre, en relación a escala mundial mantiene un promedio de 0,4 mSv/hombre al año.

Con la observación de que las prácticas radiológicas difieren entre país y país, en función a los valores anuales per cápita medios atribuibles a los Estados situados en los niveles superior e inferior de atención médica son 1,3 mSv y 0,02 mSv, respectivamente. (PROTECCIÓN RADIOLÓGICA Y SEGURIDAD DE LAS FUENTES DE RADIACIÓN: NORMAS BÁSICAS INTERNACIONALES DE SEGURIDAD, 2010).

Las aplicaciones con fines terapéuticos, ocupan dosis de radiación muy elevadas (20Gy a 60Gy), motivo por el cual no han sido considerados para obtener las estadísticas presentadas anteriormente. (UNSCEAR, 2010)

1.5.3 Blindaje Radiológico en sitios con equipos de rayos X

1.5.3.1 Espacio físico

Existen muchos tipos de centros de diagnóstico por imágenes en los que se instalan equipos que emiten radiación ionizante y que utilizan fuentes selladas, entre los que podemos citar:

- **Centros de Imágenes radiográficas en general.-** sitios en los que se realizan exámenes de rutina para diagnósticos generales en las que el haz del rayo incide sobre el paciente, camilla radiográfica y Bucky de pared, en su gran mayoría los tubos rotan por lo que el blindaje debe ser en varias paredes del sitio.
- **Estudios de flouroscopía.-** un equipo de flouroscopía trabaja en el rango de 60 a 120kvp y normalmente la barrera primaria viene incorporada en el intensificador de imágenes del equipo, permitiendo que el resto del blindaje en la sala sea secundario. Si el equipo tiene un tubo radiográfico, se tendrá que realizar el diseño de blindaje tomando en cuenta las dos opciones.
- **Instalaciones para intervención.-** en este tipo de salas pueden estar instalados varios equipos con diferentes propósitos como angiografía, cateterismo cardiaco, neurocirugía, lo que indica que se debe considerar el uso de todos los tubos al mismo tiempo al momento de realizar los cálculos de blindaje.
- **Sitios para Rayos X de Tórax dedicada.-** este tipo de estudios utilizan técnicas mayores a 100kvp para obtener una buena imagen y dependerá de la contextura física del paciente. La protección principal en este tipo de salas es en la pared donde está colocado el receptor de imagen.
- **Instalaciones para mamografías.-** debido al Kvp bajo que se utilizan en estos equipos, regularmente no se necesita protección adicional en las paredes de la sala, ya que la dosis en casi su totalidad es absorbida por el paciente y por el receptor de imágenes.
- **Salas de Tomografía.-** en este tipo de equipos el Kvp y el mA es muy superior a radiología y flouroscopía y utilizan haces colimados muy delgados que interceptan al paciente y a los detectores por lo que las protecciones en paredes se reducen.

El objetivo principal del blindaje en una sala de rayos X es proteger al personal operacionalmente expuesto, personal que trabaje en salas contiguas, pacientes antes de ser expuestos, visitantes y público cercano al sitio. Es importante que el diseño de blindaje se base en el principio de ALARA (adoptado por la ICRP en 1977) que significa “As Low As Reasonably Achievable” o su traducción “tan bajo como sea razonablemente posible” y se compone de tres partes principales:

- **Distancia.-** a mayor distancia de la fuente radioactiva menor la exposición recibida.
- **Blindaje.-** elaborar un buen diseño de blindaje optimiza costos y asegura reducción de dosis a niveles bajos.
- **Tiempo.-** a menor tiempo de exposición, menor dosis recibida

Un punto muy importante a tomar en cuenta para el correcto blindaje de un sitio donde se instalan equipos que emiten radiación ionizante, son las salas adyacentes, pasillos, veredas, salas en pisos inferiores y superiores, colocación y direccionamiento del equipo, posición de rejillas anti difusoras (Bucky), número de tubos de rayos X.

1.5.3.2 Cálculo de blindaje radiológico

Para el cálculo del blindaje se debe considerar:

- Carga de trabajo
- Factor de uso
- Factor de ocupación
- Factor de fugas.

Se recomienda utilizar las suposiciones más desfavorables para el cálculo, es decir, las situaciones más extremas de exposición ya que aunque el resultado sea el doble del requerido, únicamente demanda unas décimas más de plomo en la implementación del apantallamiento total. Es importante tomar en cuenta al momento de realizar el cálculo para blindaje radiológico en sitios donde se instalen equipos con radiaciones ionizantes las tres fuentes principales de radiación (Figura 1.10):

Radiación primaria.- es la radiación que sale del tubo de rayos X y atraviesa el cuerpo humano, pasa por la rejilla del bucky y llega en línea recta a la placa.

Radiación dispersa.- es la radiación que se dispersa en múltiples direcciones al interactuar con el paciente, es considerada la causa principal de irradiación al personal operacionalmente expuesto, trabajadores y público en general. Además, es también una de las causas por las que una imagen pierde su contraste. Los factores que influyen en la Radiación dispersa son:

- **Kilovoltaje:** Mientras mayor sea el Diferencial de Potencial, se obtiene una mayor cantidad de radiación secundaria.
- **Tamaño del campo de Radiación:** A menor campo de radiación, menor es la cantidad de fotones y por ende, la cantidad de radiación secundaria disminuye.

- **Espesor del Paciente:** A mayor espesor del paciente, mayor cantidad de fotones interaccionan con el paciente, por ende se incrementa la cantidad de radiación secundaria.

Radiación de fuga.- es la radiación que sale a través de la carcasa o coraza de plomo que encapsula al tubo de rayos X.

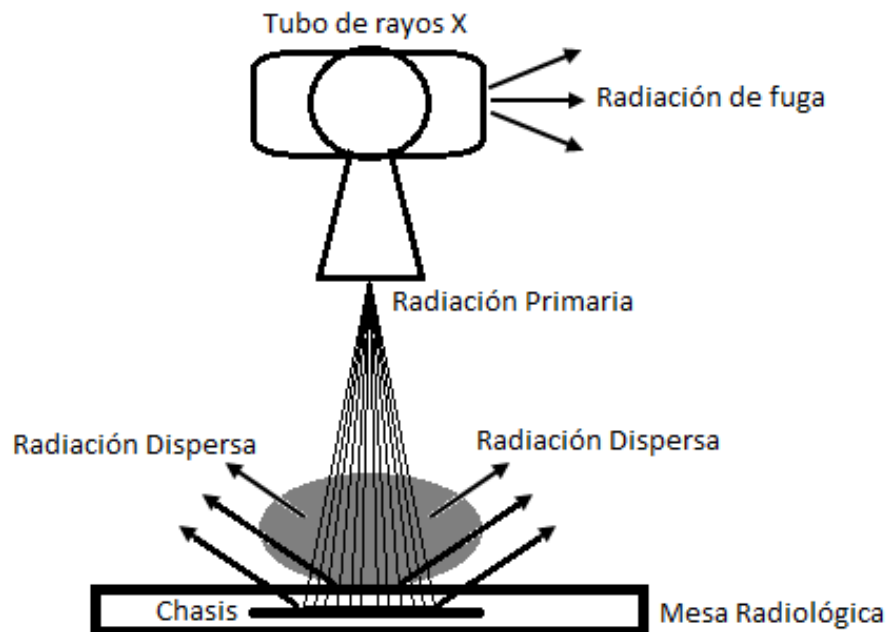


Figura 1. 10 Fuentes principales de Radiación. Fuente: Autor

1.5.3.2.1 Carga de trabajo (W)

Es una medida de la cantidad de radiación que se emite desde el equipo por el lapso de una semana y se mide en mAmin (miliamperios por minuto). Esta carga de trabajo varía mucho entre centros de diagnóstico, ya que dependen del número de pacientes diarios y del Kilovoltaje que pueda emitir el tubo de rayos X de cada equipo. La fórmula del cálculo de la carga de trabajo se establece de la siguiente manera:

$$W = \frac{\sum_i (Ixt)i}{ta}$$

Donde,

(Ixt) = es el resultado de la intensidad de corriente por el tiempo de exposición para cada examen i. Se expresa en mAmin

ta = intervalo de tiempo en la suma de los estudios (generalmente 1 semana)

Cada estudio requiere un valor de Kvp y mAs diferente, ya que depende mucho de la zona del cuerpo en la que se va a realizar el estudio, de la contextura del paciente y la predisposición del mismo.

Si se utiliza el valor máximo de Kvp para realizar el cálculo, la atenuación de la radiación será mucho mayor para valores menores a este, logrando una protección idónea en el sitio (SIMPKIN, 1997).

1.5.3.2.2 Factor de uso (U)

Es la fracción de tiempo que el haz primario está en una dirección determinada, este factor puede variar dependiendo del tipo de equipo instalado, en algunos casos, si el tubo tiene una sola dirección, el factor de uso en el resto de direcciones será 0.

Los valores para el cálculo son:

Suelo	U= 1
Paredes	U= ¼
Techo	U= DEPENDE DE BARRERAS SECUNDARIAS

1.5.3.2.3 Factor de ocupación (T)

Es la fracción de tiempo en que la zona estudiada está ocupada por personal del centro, pacientes o público (ponderado en 8 horas de trabajo). La NCRP en su declaración N° 10 del 2004, designa el factor de ocupación como se indica en la tabla 1.2:

ÁREAS	FACTOR DE OCUPACIÓN (T)
Oficinas, laboratorios, farmacias, áreas de recepción, salas de espera, área de juegos para niños, salas de lectura, estaciones de enfermería, cuartos de rayos X, cuartos de interpretación, cuartos de control de equipos	1
Cuarto de exposición y cuarto de tratamiento	1/2
Corredores, cuartos de pacientes, baños de empleados	1/5
Puertas de los pasillos	1/8
Baños públicos, salas traseras, áreas al aire libre con sillas	1/20
Áreas al aire libre, parqueaderos, elevadores sin vigilancia, armarios de limpieza	1/40

Tabla 0.2 Factor de ocupación. Fuente: NCRP. 2010

Se puede considerar áreas de ocupación total a la pared donde está ubicado el Bucky, al piso donde está la camilla de exploración (en caso de tener salas debajo del equipo) y a la pared donde esté un segundo Bucky en caso de tenerlo. Áreas de ocupación parcial se las designa a los pasillos de tránsito de personal y pacientes, áreas ocasionales a salas de espera y parqueaderos y áreas esporádicas a zonas de servicio del centro de diagnóstico.

1.5.3.2.4 Rendimiento (R)

Es la energía cinética liberada por unidad de masa en el aire (kerma) que produce un haz a 1 metro de distancia, por cada mAmin de carga y se mide en mGy. Se expresa de la siguiente manera:

$$R = \frac{mGy \times m^2}{mAmin}$$

Depende del kilovoltaje utilizado, el tipo de alimentación eléctrica, filtraciones y material del que está hecho el ánodo. A continuación se ilustra la tabla donde se puede obtener este coeficiente (NORMA DIN 6812) de un tubo de rayos X con ánodo de Wolframio con filtración total desde 1mm Be hasta 3mm Cu para voltajes desde 50 hasta 200 kvp (Figura 1.11).

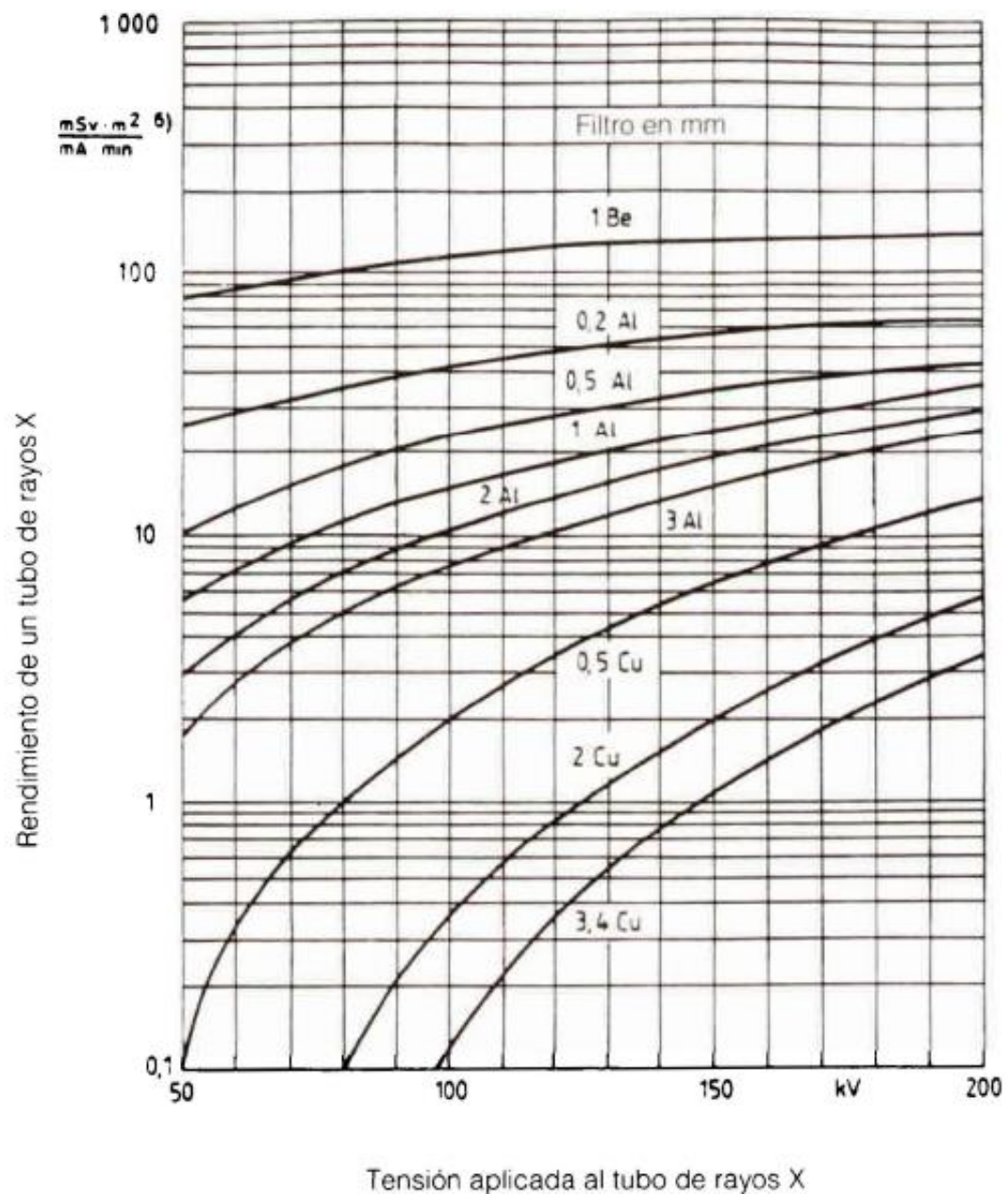


Figura 1. 11 Rendimiento de Tubo de Rayos X. Fuente: NORMA DIN 6812. s.f.

La gran mayoría de los ánodos de los tubos de rayos X son contruidos de wolframio, por su extrema dureza y densidad, tiene el punto de fusión más alto de todos los metales y el punto de ebullición más alto de todos los elementos conocidos, lo que lo hace ideal para este tipo de aplicaciones, en algunos casos para tubos de pequeña potencia se sustituye este elemento por el molibdeno.

1.5.3.2.5 Fugas de tubos de rayos X (f)

Dado que en los encapsulados de la gran mayoría de los tubos solo tienen de 2 a 3mm de Plomo en su encapsulado, producen una fuga de radiación pequeña. Según la ICPR, este valor se limita en la mayoría de países a 1 mGy/h a un metro de distancia.

1.5.3.2.6 Dosis equivalente (H)

En las zonas que se requieran obtener la dosis equivalente se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$H = \frac{R \times W \times U \times T}{d^2} \left(\frac{mGy}{sem} \right)$$

Donde,

R= es el rendimiento

W= carga de trabajo

U= factor de uso

T= factor de ocupación

d= distancia desde el foco del tubo a la zona a proteger

Para obtener el valor del factor de atenuación necesario para una zona determinada, es necesario fijar el tope de dosis semanal (Hw) expresado en mGy/sem (SIMPKIN, 1997).

1.5.3.2.7 Factor atenuación (A)

Se define como el cociente entre la dosis equivalente sin blindaje y con este, expresado en fórmula se tiene:

$$H = \frac{R \times W \times U \times T}{d^2 \times Hw} \left(\frac{mGy}{sem} \right)$$

La inversa del factor de atenuación se define como factor de Transmisión (T) y con este dato se puede obtener el espesor de plomo en mm de las tablas tomadas de la norma DIN 6812 (Figura 1.12)

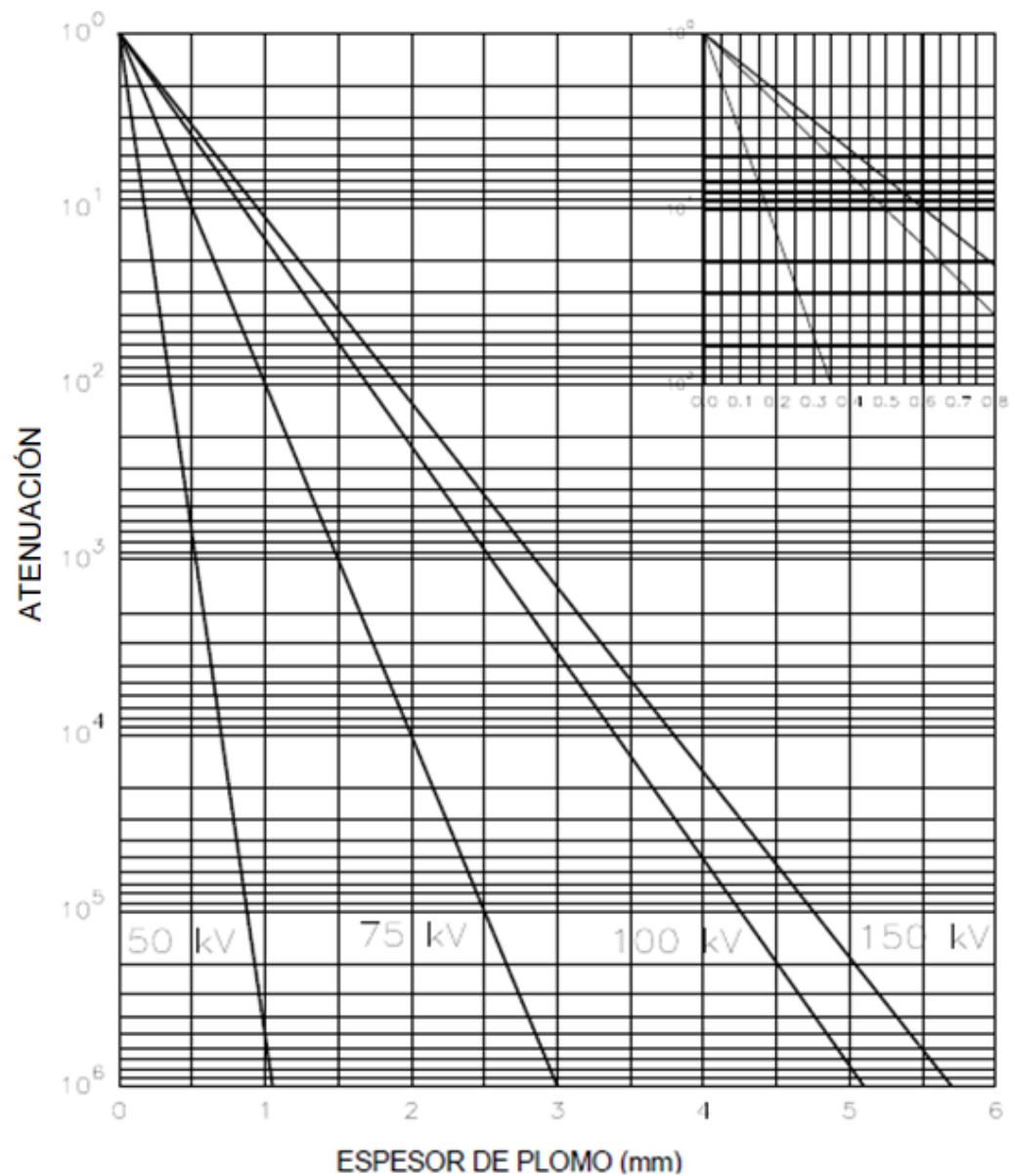


Figura 1. 12 Atenuación vs Espesor de Plomo. NORMA DIN 6812

1.5.3.3 Materiales para construcción del blindaje radiológico

Existen varios materiales con los que se puede realizar el blindaje en las paredes donde se instala un equipo de rayos X, entre los más usados tenemos

1.5.3.3.1 Plomo

Tiene alta densidad física y es idóneo para sitios pequeños, su costo es muy elevado, para poder instalarlas se necesita atornillarlas a dos placas de yeso para poder colocarlas sobre una pared. En el mercado existen láminas de plomo con 99% de pureza y con dimensiones de 2,10m de ancho y 1,10 de largo (Figura 1.13).

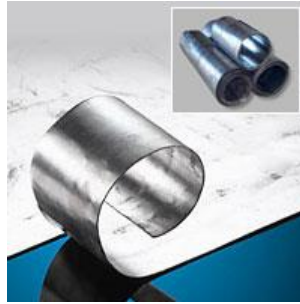


Figura 1. 13 Láminas de Plomo. Dosimetría y Blindaje. (n.d.). Fuente: <http://www.proteccionradiologica.cl/dosimetria-blindaje.php>

El espesor varía desde los 0,79mm hasta los 6,35mm y su peso puede alcanzar hasta las 16 libras por pie cuadrado. Una desventaja de este material es la dificultad al momento de su instalación, las posibles fugas entre uniones de placas y los tornillos de sujeción al yeso.

1.5.3.3.2 Hierro/Acero

Este tipo de material tiene una densidad relativamente alta y su estructura auto soportada hace que sea muy fácil de instalar, la desventaja principal de este elemento es su alto costo (Figura 1.14).



Figura 1. 14 Instalación de Acero en Paredes. Dosimetría y Blindaje. (n.d.). Fuente: <http://www.proteccionradiologica.cl/dosimetria-blindaje.php>

1.5.3.3.3 Hormigón

Es una mezcla de cemento con piedra (Figura 1.15), su costo es bajo y su instalación es muy fácil en construcciones nuevas, las desventajas de este material es el grosor de las paredes para obtener una correcta atenuación y su densidad puede variar en diferentes partes de una pared, ya que normalmente los constructores eligen como opción levantar paredes de bloque relleno y esto ocasiona que la densidad a lo largo de la pared no sea la misma.



Figura 1. 15 Paredes de Hormigón. Fuente: Autor

1.5.3.3.4 Ladrillo de arcilla

Este tipo de material es muy usado en las construcciones por su costo bajo y su fácil instalación, en sitios que se han levantado paredes de ladrillo suelen colocarlos acostados para incrementar el ancho de las paredes, su densidad no es constante a lo largo de la pared por las uniones con el cemento (Figura 1.16).



Figura 1. 16 Ladrillo de Arcilla. Fuente: Autor

1.5.3.4 Equivalencia de mm de Pb en otros materiales

Existen tablas de equivalencias para valores en mm de Plomo de los materiales antes mencionados que se pueden usar y reducir costos en el blindaje como se indica en la Tabla 1.3:

Material	Densidad del material (Kg.m ³)	Espesor del material (mm)	Equivalencia en mm de plomo según Kv aplicados			
			50	75	100	150
ladrillo de arcilla	1600	100	0,6	0,8	0,9	0,8
		200	1,4	1,7	1,9	1,7
		300	2,2	2,7	3,1	2,6
		400	-	3,8	4,5	3,7
		500	-	-	-	4,8
Hormigón o yeso baritado	3200	10	0,9	1,5	1,8	0,9
		20	1,8	2,7	3,3	1,8
		25	2,3	3,3	4,0	2,2
		50	-	-	-	4,3
		75	-	-	-	5,9
		100	-	-	-	-
		125	-	-	-	-
Acero	7800	1	-	0,1	0,2	0,1
		2	-	0,3	0,3	0,2
		3	-	0,5	0,5	0,3
		4	-	0,7	0,7	0,4
		5	-	0,9	0,9	0,5
		10	-	-	-	0,9
		20	-	-	-	1,7
		30	-	-	-	2,5
		40	-	-	-	3,3
		50	-	-	-	4

Tabla 0.3 Equivalencia de mm de Pb en otros materiales. NORMA DIN 6812

1.5.3.5 Ejemplo de cálculo de blindaje radiológico

A modo de ejemplo, se realizará el cálculo del blindaje necesario para la instalación de un equipo de rayos X en una planta baja con las características indicadas en la Tabla 1.4:

DATOS DE EQUIPO	
Modalidad	XR
Modelo	XR6000
Marca	GE
Voltaje del tubo	40-150 kv
Corriente del tubo	10 mA - 630mA
mAs (sin AEC)	0, 5 - 630 mA
mAs (con AEC)	0, 5 - 600 mA

Tabla 0.4 Datos del equipo. Fuente: Manual restringido de servicio GEHC. Fuente: Autor

Los datos fueron extraídos del manual de servicio restringido de preinstalación 5275600-100 Rev 8 del equipo de Rayos X estacionario modelo XR6000 (Figura 1.17).



Figura 1. 17 Equipo de rayos X estacionario XR6000. Fuente: Manual restringido de servicio GEHC

En el plano del sitio de la figura 1.18 de instalación del equipo figuran todas las zonas adyacentes. Se estima que se atenderá a 40 pacientes al día de distintas partes del cuerpo.

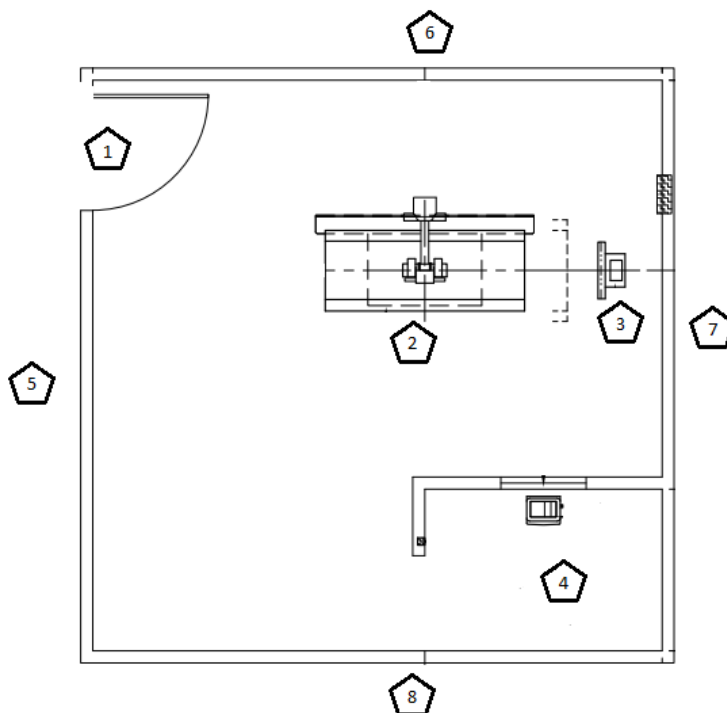


Figura 1. 18 Plano de instalación. Fuente: Autor

Las partes identificadas se presentan en la tabla 1.6:

Identificación de zona	Distancia al punto focal (m)
1. Puerta de acceso al equipo	NA
2. Tubo de rayos x	NA
3. Bucky de pared	NA
4. Cuarto de control	4,5
5. Sala de interpretación	5,5
6. Sala de espera	4,5
7. Pasillo del hospital	3,5
8. Pared al parqueadero	6,5

Tabla 0.5 Identificación de zonas. Fuente: Autor

Debido a que el equipo del ejemplo tiene la capacidad de girar el tubo de rayos X tanto hacia la camilla de exploración como al portachasis o Bucky de pared, la zona 7 debería ser considerada como primaria y al resto como secundarias. Por ser planta baja, no se considera para el cálculo el blindaje en el piso.

En la tabla 1.6 se calcula el valor de W para toda la sala:

DATOS	VALORES
N° PACIENTES DIARIOS	40
Días de la semana	7
mA promedio	50
W (mAs por semana)	14000
W (mAmin por semana)	233,33

Tabla 0.6 Cálculo de W. Fuente: Autor

El informe NCRP49 (Consejo Nacional de Protección Radiológica y mediciones) sugiere los valores de dosis por unidad de carga según el kilovoltaje pico presentados en la tabla 1.7:

Kvp	Dosis/unidad de carga
100	4.72 mGy/mAmin
125	7.17 mGy/mAmin

Tabla 0.7 Dosis por unidad de carga vs Kvp. Fuente: Autor

La dosis primaria del sitio se obtiene multiplicando el valor de la carga de trabajo por la dosis por unidad de carga. Para obtener la dosis primaria real se considera la siguiente fórmula:

$$D_{pr} = \frac{D_p \times U \times T}{d^2}$$

Los valores obtenidos para el ejemplo se presentan en la tabla 1.8:

Identificación de zona	Distancia al punto focal (m)	Dosis primaria	U	T	Dosis Primaria Real
Pasillo del hospital	3,5		0,25	1	22,48
Sala de interpretación	5,5		0,25	1	9,10
Sala de espera	4,5	1101,32	0,25	1	13,60
Cuarto de control	4,5		0,25	1	13,60
Pared al parqueadero	6,5		0,25	0,1	0,33

Tabla 0.8 Cálculo de dosis primaria real. Fuente: Autor

La dosis dispersa como se explicó anteriormente, es la que se produce al interactuar con el paciente, para su cálculo se puede utilizar la dosis primaria ajustando la distancia entre el tubo de rayos X y el paciente a 80cm, se debe considerar la “fracción dispersa” que depende del ángulo de dispersión y del Kvp aplicado, siendo este 0.0025 (125Kvp a 135°) como valor máximo (SIMPKIN, 1997). Depende también del tamaño del campo del haz y se tiene como valor estándar 400cm². La fórmula de Dosis dispersa para el caso más extremo quedaría expresada así:

$$D_{disp} = \frac{D_p \times T \times f d \times d c^2}{d c s^2 \times d^2 \times d f^2}$$

Donde,

Dp = Dosis primaria

- f_d = factor de dispersión (0,0025 como estándar)
 dc^2 = tamaño del campo máximo del equipo
 dcs^2 = tamaño del campo estándar
 df^2 = distancia foco-paciente (80cm como constante)

El equipo utilizado en el ejemplo, tiene un campo de abertura de colimación de 31,5 cm máximo. La tabla 1.9 quedaría de la siguiente manera:

Identificación de zona	Dosis primaria	d al punto focal (m)	d al paciente (m)	f disp	T	campo máximo	Dosis dispersa
Pasillo del hospital		3,5	0,8		1		0,88
Sala de interpretación		5,5	0,8		1		0,36
Sala de espera	1101,318	4,5	0,8	0,0025	1	1000	0,53
Cuarto de control		4,5	0,8		1		0,53
Pared al parqueadero		6,5	0,8		0,1		0,01

Tabla 0.9 Cálculo de dosis dispersa. Fuente: Autor

La dosis de fuga se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$D_{fuga} = \frac{W \times f_{max} \times T}{I \times hts \times d^2}$$

Donde,

- t_f = tiempo de funcionamiento del tubo por semana
 f_{max} = fuga máxima permitida 1mGy/h
 I = Intensidad máxima de trabajo
 hts = horas de trabajo por semana

Para continuar con los cálculos, se considera 40 horas de trabajo por semana y 2mA como corriente máxima, de esta manera se obtiene los valores de dosis de fuga en la tabla 1.10:

Identificación de zona	W	d al punto focal (m)	h trabajo semanal	fuga máx	T	Dosis de fuga
Pasillo del hospital		3,5			1	0,24
Sala de interpretación		5,5			1	0,10
Sala de espera	233,33	4,5	40	1	1	0,14
Cuarto de control		4,5			1	0,14
Pared al parqueadero		6,5			0,1	0,003

Tabla 0.10 Cálculo de dosis de fuga. Fuente: Autor

La dosis total es la suma de las dosis calculadas anteriormente y con este dato se puede encontrar la atenuación requerida (Tabla 1.11), siendo esta la relación entre la dosis de diseño y la dosis real. Las recomendaciones del NCRP para áreas controladas, los límites máximos son 5mGy al año y 0,1 mGy semanal, mientras que para áreas no controladas los valores son 1mGy anual y 0,02mGy semanal.

Identificación de zona	Dosis Primaria	Dosis Dispersa	Dosis fuga	Dosis total	Dosis de diseño	A
Pasillo del hospital	22,48	0,88	0,24	23,6	0,02	0,000847
Sala de interpretación	9,1	0,36	0,1	9,56	0,1	0,01046
Sala de espera	13,6	0,53	0,14	14,27	0,02	0,001402
Cuarto de control	13,6	0,53	0,14	14,27	0,1	0,007008
Pared al parqueadero	0,33	0,01	0,003	0,34	0,02	0,058309

Tabla 0.11 Cálculo de Atenuación. Fuente: Autor

Calculado el valor de Atenuación en todas las zonas requeridas en un sitio, se obtiene el coeficiente de Transmisión, equivalente en mm de Pb por deducción de gráfica con curva logarítmica y el espesor en otros materiales (figura 1.12). Para el caso del ejemplo tenemos los resultados reflejados en la tabla 1.12:

Área	A	T	mm Pb	Ladrillo de arcilla (mm)	Hormigón o Yeso Baritado (mm)	Acero (mm)
Pasillo del hospital	0,00085	1,18E+03	2,6	300	20	NA
Sala de interpretación	0,01046	9,56E+01	1,6	200	10	NA
Sala de espera	0,0014	7,13E+02	2,3	300	20	NA
Cuarto de control	0,00701	1,43E+02	1,7	200	10	NA
Pared al parqueadero	0,05831	1,72E+01	0,8	100	10	5

Tabla 0.12 Equivalente de mm Pb para el ejemplo. Fuente: Autor

1.5.3.6 Componentes del blindaje

1.5.3.6.1 Paredes interiores

Se pueden construir o reforzar con los materiales antes mencionados, en muchas ocasiones, se derriban paredes anteriormente construidas y se eliminan sitios adyacentes antiguos para preparar el sitio de instalación del equipo.

Hay que tener en consideración algunos aspectos al momento de realizar la protección en una pared, entre las que podemos mencionar:

- Si se utiliza plomo, revisar la unión entre placas para asegurarse que exista solapamiento entre ellas (10 a 15mm) y utilizar el pegamento adecuado para prevenir posibles desprendimientos a corto plazo. Controlar que los tornillos estén bien ajustados y no exista fuga por los mismos.
- Al utilizar bloque, asegurarse de rellenar completamente cada espacio del mismo y utilizar hormigón de alta densidad para las uniones entre bloques.

- Con respecto al ladrillo, utilizar cemento de alta densidad para las uniones, ya que pese al revestimiento que se le aplica, la densidad a lo largo de la pared puede variar debido a posibles espacios huecos entre sus uniones.

1.5.3.6.2 Puertas

Con respecto a las puertas, se debe considerar tanto la estructura de la puerta, como el marco y las bisagras utilizadas en la colocación de la misma, de manera que al cerrarla

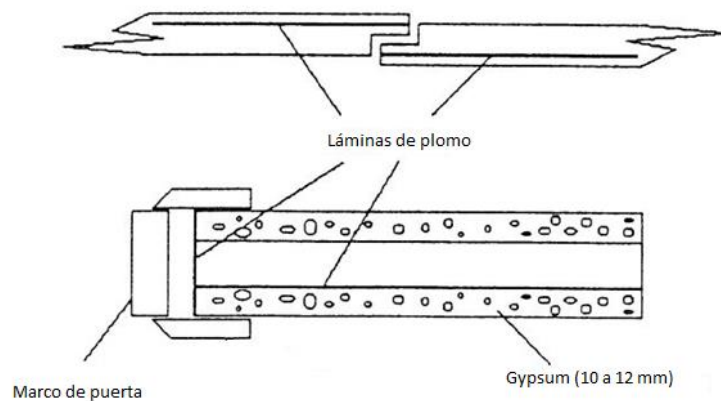


Figura 1. 19 Blindaje en puertas. Fuente: MEER.2010

quede completamente protegida en sus esquinas para evitar que la radiación secundaria pueda escapar por uno de estos lados. Las puertas pueden ser fabricadas de diferentes formas dependiendo del proveedor, en algunos casos se coloca la lámina de plomo en el interior de uno de los tableros de Gypsum y se deja una cámara de aire de unos 20 cm entre placas, tomando en cuenta que el plomo debe estar solapado entre el marco para evitar filtraciones a los costados (Figura 1.19).

Otro método para construcción de puertas con blindaje plomado, es colocar la lámina de plomo entre dos tableros de MDF o Gypsum y esto adherido a madera de densidad alta o también llamada madera dura de 5 cm de espesor (figura 1.20), obviamente este tipo de puertas son más pesadas.



Figura 1. 20 Blindaje de puertas. Fuente: Autor

1.5.3.6.3 Ventanas

El vidrio normal no es aceptable como material de blindaje debido a que su atenuación es variable e impredecible. Para sitios en los que se trabaja con radiación, se recomienda utilizar vidrio plomado con alto índice de refracción y a la vez ofrece una excelente visibilidad y transparencia.

La protección depende también del fabricante de los vidrios, la siguiente tabla proporciona las características de protección según el espesor del vidrio plomado por la compañía Vidrios Lirquen ubicada en Chile (Tabla 1.13):

Espesor mm	Voltaje en tubo de Rayos X					
	100Kv	110Kv	150Kv	200Kv	250Kv	300Kv
3.5 - 5.0	1.2	1.2	1	0.9	0.9	0.9
5.0 - 6.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.3	1.3
7.0 - 8.5	2.3	2.3	2.1	1.8	1.8	1.8
8.5 - 10.0	2.8	2.8	2.5	2.2	2.2	2.2
10.0 - 12.0	3.2	3.2	2.9	2.5	2.5	2.5
11.0 - 13.0	3.6	3.6	3.3	2.7	2.8	2.8
14.0 - 16.0	4.6	4.6	4.3	3.5	3.6	3.6

Tabla 0.13 Protección de vidrios plomados. Lirquen

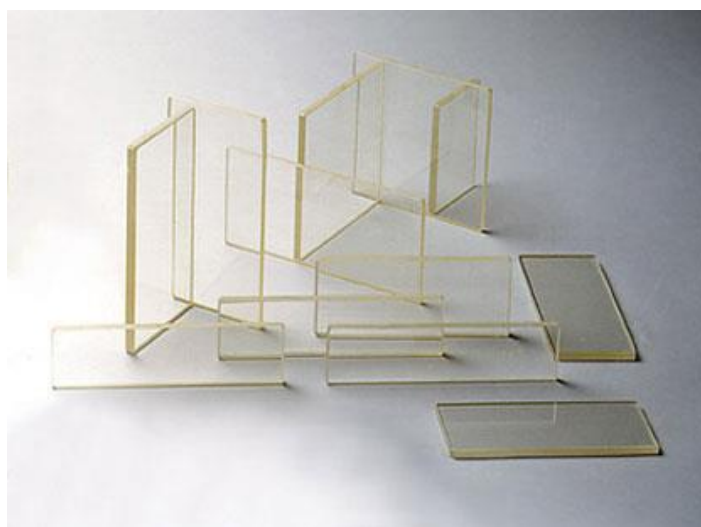


Figura 1. 21 Vidrios plomados. Lirquen. Fuente: <http://www.proteccionradiologica.cl/vidrios-plomados.php>

Una alternativa al uso del vidrio o cristal plomado, es el uso del plexiglás plomado, tiene la desventaja que con el paso del tiempo tiende a opacarse y cambiar su tonalidad a color amarillo.

1.5.3.6.4 Pisos

La recomendación general es utilizar hormigón común de densidad aproximada de $2.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ o en su defecto hormigón armado dependiendo del peso del equipo, cabe recalcar que en caso de tener parqueaderos, bodegas o lugares donde exista movimiento de personal debajo, es necesario realizar los cálculos de protección antes mencionados.

1.5.3.6.5 Techo

La protección se utiliza dependiendo del tipo de equipo que se vaya a instalar y si existe zonas no controladas en la parte superior del sitio. La altura recomendada normalmente es de tres metros y en caso de que el equipo cuente con rieles a lo largo de la sala, esta dimensión puede variar para acoplarse a los movimientos del tubo de rayos x.

1.5.3.7 Protección Radiológica a Personal y público en general

El Reglamento de Seguridad Radiológica, publicado mediante Decreto Ejecutivo N° 3640, Registro Oficial N° 891 en agosto de 1979, tiene como objetivo establecer los requisitos fundamentales para la protección contra la exposición a la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación que causan dicha exposición.

La finalidad es garantizar la protección del personal trabajador, público y del medio ambiente, contra los riesgos indebidos originados por la exposición a radiaciones ionizantes. Su alcance comprende a todas las prácticas e intervenciones que determine la Autoridad Nacional y conforme se especifica en el reglamento. Las disposiciones del reglamento son complementarias y no sustitutorias de otras regulaciones que se consideren aplicables a otros riesgos no radiológicos asociados a las prácticas y fuentes de radiación (MEER, 2008).

1.5.3.7.1 Exposición operacional

El reglamento tiene en este apartado los artículos del 19 al 34 (ver Anexo1) entre los que se pueden destacar para la presente investigación los siguientes aspectos:

- Los titulares de la Licencia institucional son responsables de la protección radiológica de sus trabajadores.
- Cuando una trabajadora esté en período de gestación, el empleador debe modificar sus condiciones de trabajo para no afectar al feto.
- Menores de 16 años no pueden trabajar bajo exposición ocupacional.
- El Lugar donde esté instalado equipos que utilicen fuentes de radiaciones deben estar debidamente delimitados y controlados en todo aspecto para proteger al personal y público en general.
- El empleador debe otorgar un empleo sustitutivo al empleado en caso de que la Autoridad Nacional lo determine a causa de la exposición ocupacional.

1.5.3.7.2 Exposición Médica

Los artículos numerados del 35 al 52 destacan la protección a pacientes con fines diagnósticos o terapéuticos (ver Anexo 1), entre los que destacan los siguientes puntos:

- Las exposiciones médicas se justifican solo si los beneficios son mayores a las afectaciones que pueda causar la exposición a fuentes radioactivas.
- No se podrán realizar exámenes radiológicos si no se presenta una indicación clínica para proporcionar información sobre la salud del paciente.
- Los proveedores de los equipos que utilizan fuentes de radiaciones tiene la obligación de proporcionar información detallada de la fuente, parámetros de funcionamiento y de operación de los mismos.

- Los equipos deben ser sometidos a mantenimiento y calibraciones periódicas por un ente acreditado.
- En cada examen se debe utilizar la dosis mínima establecida por la Autoridad Nacional y deben ser realizados por personal calificado.

1.5.3.7.3 Exposición Pública

Los artículos numerados del 53 al 58 establecen las normativas de protección radiológica con respecto a la exposición pública (ver Anexo 1) destacándose lo siguiente:

- Los titulares de la Licencia Institucional debe contar con un programa de vigilancia radiológica operacional y ambiental acorde a la magnitud de la fuente.
- No se autoriza las exposiciones que incrementen la actividad de sustancias radiactivas en productos o artículos.

1.5.3.7.4 Requisitos de seguridad de las fuentes

En este apartado, se establecen las normas principales a seguir con respecto a la protección de las fuentes de radiación que se utilizan para los diagnósticos o terapias en pacientes, los artículos están numerados del 64 al 78 (ver Anexo 1) entre los que se pueden destacar:

- La instalación, ubicación, montaje, puesta en servicio, mantenimiento y clausura de fuentes radioactivas, deben cumplir con las normas especificadas por la Autoridad Nacional.
- Se debe aplicar un sistema de barreras múltiples de protección y seguridad acorde a la magnitud de la fuente.
- Se debe exigir a los proveedores de los equipos un programa de garantía de calidad en concordancia con la magnitud de la fuente.

1.5.3.7.5 Límites de dosis

El reglamento establece los límites de dosis total en el periodo de un año, es decir, tomando en cuenta las dosis por exposición externa a radiación de factores externos antes señalados en la tabla 1.14:

Clasificación	Dosis efectiva	Cristalino	Piel y extremidades
Trabajadores expuestos ocupacionalmente	20 mSv, como promedio, en un período de 5 años consecutivos 50 mSv, siempre que no sobrepase 100 mSv en 5 años consecutivos	150 mSv	500 mSv
Aprendices de 16 a 18 años	6 mSv	50 mSv	150 mSv
Exposición al público	1 mSv	15 mSv	50 mSv
Personas que presten asistencia voluntaria a pacientes	5 mSv durante el periodo de tratamiento		

Niños que visiten a pacientes sometidos a tratamientos	1 mSv durante el periodo de tratamiento
---	--

Tabla 0.14 Límites de dosis. Fuente: MEER.2008

1.5.3.8 Reducción de la exposición a personal ocupacionalmente expuesto y del paciente ante riesgos para la salud.

La Organización Internacional del Trabajo en su publicación del año 1987, presenta las recomendaciones prácticas para la protección de los trabajadores contra radiaciones ionizantes entre las cuales para el caso de uso radiológico considera los aspectos señalados en los puntos a continuación. (OIT, 1987)

1.5.3.8.1 Mandiles y faldones plomados

En su mayoría son elaborados con vinil impregnado de plomo, la OIT recomienda como mínimo ser equivalentes al menos a 0.25 mm Pb si los equipos de Rayos X operan hasta 100 kV y a 0.35 mm Pb si operan por encima de este Kilovoltaje.

Existen varios tipos de mandiles en el mercado que a mayor equivalencia de Pb en su interior mayor es su peso (Tabla 1.15), por lo que podría dificultar la movilidad del operador, médico o paciente al momento de un examen.

Equivalente mmPb	Peso en libras	50 Kvp	75 Kvp	100 Kvp
0,25	3 a 10	97%	66%	51%
0,50	6 a 15	99,9%	88%	75%
1,00	12 a 25	99,9%	99%	94%

Tabla 0.15 Peso de chalecos plomados. Fuente: IAEA. 2002

La combinación chaleco - falda distribuye 70% de peso total sobre caderas dejando solo un 30% de peso total sobre hombros lo cual ayuda a la mejor movilidad de la persona que utiliza el elemento de protección. En la figura 1.22 se puede observar los tipos de chalecos que existen en el mercado



Figura 1. 22 Tipos de mandiles plomados. Infab. (n.d.). Fuente: <http://www.infabcorp.com/products/>

1.5.3.8.2 Guantes protectores

Los guantes plomados son utilizados en casos apropiados ya que dificulta mucho el movimiento de las manos (Figura 1.23). Existe otro tipo de guantes no son reusables y en algunos caso permiten una transmisión mayor al 50% del total de la dosis.



Figura 1. 23 Tipos de guantes protectores. Infab. Fuente: <http://www.infabcorp.com/products/>

1.5.3.8.3 Lentes protectores

Dependiendo del procedimiento en el que se va a exponer al operador, los lentes pueden variar entre 0,5 y 1 mm Pb con un peso aproximado de 80 a 100 gramos (Figura 1.24).



Figura 1. 24 Tipos de lentes protectores. Infab. (n.d.). Fuente: <http://www.infabcorp.com/products/>

1.5.3.8.4 Protector de tiroides

Es de suma importancia contar con protección tiroidea y su tiempo de vida útil depende del uso manejo y conservación apropiado (Figura 1.25).

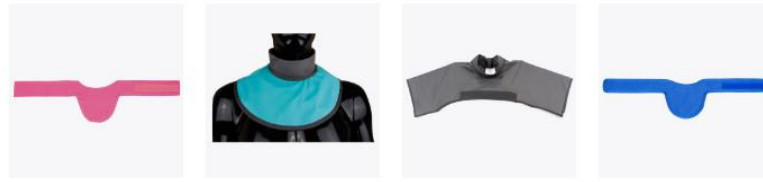


Figura 1. 25 Tipos de protectores de tiroides. Infab. (n.d.). Fuente: <http://www.infabcorp.com/products/>

1.5.3.8.5 Protección de gónadas

Este tipo de protectores son usados en pacientes pediátricos, pacientes menores a 40 años o en etapa de reproducción, sin embargo, es recomendable utilizarlo solo en casos en los que no produzca interferencias en la obtención de la imagen requerida (Figura 1.26).



Figura 1. 26 Tipos de protectores de gónadas. Infab. (n.d.). Fuente: <http://www.infabcorp.com/products/>

1.5.3.8.6 Protector craneal

Este tipo de protección las utilizan el personal ocupacionalmente expuesto durante cualquier procedimiento de intervencionismo (Figura 1.27).



Figura 1. 27 Protector craneal. Infab. (n.d.). Fuente: <http://www.infabcorp.com/products/>

Los exámenes pediátricos deben requerir especial consideración al momento de justificar un examen, ya que los efectos estocásticos son mayores en los niños (IAEA 2002). Se deben considerar los siguientes puntos con respecto a estos pacientes:

- Utilizar inmovilizadores apropiados
- El haz debe estar correctamente centrado

- La colimación debe ser la apropiada para el área requerida
- Blindar el resto del cuerpo
- En caso de no colaboración, se requerirá la ayuda de los padres o acompañantes con su debida protección y en casos extremos la colaboración de personal ocupacionalmente expuesto.

1.5.3.9 Dosimetría Personal

Un elemento esencial para la protección del personal operacionalmente expuesto es el dosímetro personal, con el que se puede medir, evaluar y registrar la dosis recibida en un tiempo determinado, con esto, se puede llevar una estadística y controlar que se cumplan los márgenes de limitación de dosis establecidos.

Los dosímetros más utilizados son los de película TLD (Termoluminiscencia), siendo este un trozo de película similar a la empleada en radiografía dental, colocado entre dos filtros de Aluminio o cobre, dentro de una carcasa de plástico como se observa en la figura 1.28.

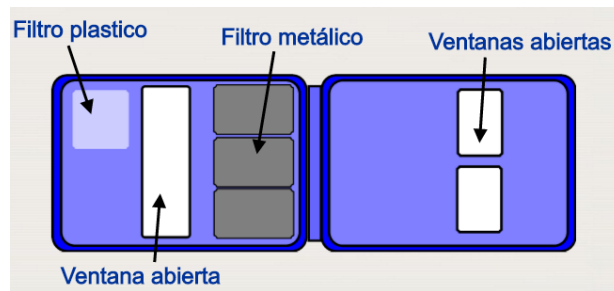


Figura 1. 28 Carcasa protectora de dosímetro. Fuente: Autor

En Ecuador una de las compañías encargadas del registro de la actividad ocupacional es la empresa DOSISRAD S. A., la cual trimestralmente recepta los dosímetros del personal y envía los reportes con los valores obtenidos como se puede verificar en la figura 1.29:

REGISTROS DOSIMETRICOS PERIODICO

PERIODO:

DICIEMBRE 2015-FEBRERO 2016

NOMBRE	DOSIS CE CUERPO ENTERO mSv	DOSIS AL ANILLO mSv	FIRMA	OBSERVACIONES
PESANTEZ JACOME LUIS DARIO	0,18			
NIOLA VALAREZO MIGUEL ANGEL	0,11			
CARRION BARREIROS PABLO ERNESTO	0,13			
ESTACIO ALMEIDA FABRICIO SEBASTIAN	0,19			
FONSECA LOPEZ FABIAN EDUARDO	0,20			
BENAVIDES ROMERO ADRIAN DAVID	0,11			
CARPIO DELGADO JASON JHON	0,11			
MALDONADO FAJARDO HERNAN SANTIAGO	0,17			
SALCEDO FERNANDEZ ALEX FRANCISCO	0,16			
ESCOBAR TUCTA EDGAR ROBERTO	0,12			
BACULIMA JAPON JUAN JOSE	0,20			
CORDOVA CRUZ DIEGO DAVID	0,19			
ZHUNIO MALDONADO DANIEL ALBERTO	0,11			
BENITEZ RUANO DIEGO FERNANDO	0,23			
RUIZ SANTANDER JOSE ALEJANDRO	0,14			
QUINDE CERCADO JOSE ISRAEL	0,07			<LD
PESANTEZ JACOME LUIS DARIO		0,23		
NIOLA VALAREZO MIGUEL ANGEL		0,19		
BENAVIDES ROMERO ADRIAN DAVID		0,18		
ESTACIO ALMEIDA FABRICIO SEBASTIAN		0,61		
CORDOVA CRUZ DIEGO DAVID		0,59		
ESCOBAR TUCTA EDGAR ROBERTO		0,52		
ZHUNIO MALDONADO DANIEL ALBERTO		0,20		
RUIZ SANTANDER JOSE ALEJANDRO		0,39		

Firma del responsable asignado

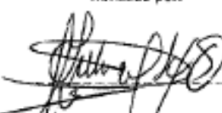
Revisado por: 	Aprobado por: 	Fecha: 02/03/2016
--	--	----------------------

Figura 1. 29 Reporte de dosimetría. Fuente: DOSISRAD 2015

1.6 Alternativas de Producción más limpia (PML) en Protección Radiológica

El presente apartado plantea alternativas de producción más limpia formulado a partir de un estudio preliminar de los sitios en donde están instalados equipos de rayos X en la ciudad de Cuenca de la marca GENERAL ELECTRIC. El objetivo es identificar, evaluar, verificar el estado de los sitios antes mencionados y así adoptar soluciones convenientes que reduzcan costos de producción, incrementen productividad del centro de diagnóstico y disminuyan impactos ambientales nocivos para el personal operacionalmente expuesto y los pacientes. Actualmente existen 15 equipos instalados en la ciudad de Cuenca que trabajan con radiaciones ionizantes y están distribuidos en 5 Centros de Diagnóstico, todos ellos están sometidos a control de mantenimiento preventivo y correctivo a cargo de VIAT CIA LTDA.

1.6.1 Alternativas de PML en espacios físicos con equipos de Rayos X

A continuación se presenta la tabla 1.16 de alternativas de PML en sitios donde se encuentran instalados equipos de Rayos X:

LOCALIZACIÓN	ALTERNATIVAS	IMPLEMENTACIÓN	RESULTADOS/BENEFICIO	
			ECONÓMICO	AMBIENTAL
ESPACIO FÍSICO	Realizar un mapa real de las zonas adyacentes al sitio de instalación	Área del equipo		Protección Radiológica en todas la áreas adyacentes
	Realizar el cálculo del blindaje con personal capacitado	Área del equipo	Eliminar gastos posteriores para protecciones no consideradas	
	Solapamiento de las láminas de Pb de 15 mm	Paredes		Eliminar posibles fugas de radiación por aberturas entre láminas
	Circuito cerrado de televisión	Paredes	Reducir costos en compra de vidrios blindados	Protección uniforme en toda la pared
	Puertas con blindaje adecuado, utilizar madera dura	Puertas	Eliminar posibles cambios por parte de la SCAN	Proteger las áreas adyacentes
	Pegamento elaborado a base de polímeros sintéticos	Láminas de plomo	Suprimir posibles costos de reconstrucción	Eliminar posibles desprendimientos de las láminas

Tabla 0.16 PML en sitios con equipos Rayos X. Fuente: Autor

La construcción de la pared en la que está instalado el Bucky o portachasis debe tener una consideración especial, ya que en muchos casos los constructores colocan las láminas de plomo a ras del piso sin considerar que la radiación primaria traspasa el piso y parte de esta se dirige hacia la otra habitación como radiación secundaria como muestra la figura 1.30 (a). Si la protección de plomo se coloca varios centímetros dentro del piso, la radiación secundaria disminuye pero sigue pasando en un porcentaje considerable como se puede ver en la figura 1.30 (c), en cambio, al colocar protección en forma de L, la radiación secundaria hacia otras habitaciones prácticamente es anulada como indica la figura 1.30(B).

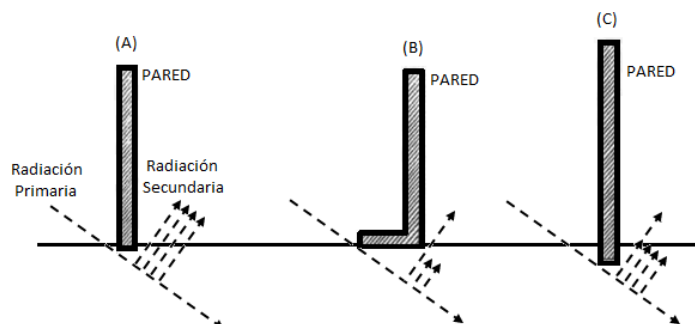


Figura 1. 30 Protección en paredes de ocupación total. Fuente: Autor

1.6.2 Alternativas de PML para protección de personal y pacientes

Para la protección a personal ocupacionalmente expuesto y pacientes en general, se propone las siguientes alternativas de PML en la tabla 1.17:

LOCALIZACIÓN	ALTERNATIVAS	RESULTADO BENEFICIO
PROTECCIÓN A PERSONAL Y PACIENTES	Contar con al menos 2 mandiles plomados en cada sala	Protección completa para paciente y operador
	Poseer un collarín de protección de tiroides	
	Protector de gónadas pediátrico adecuado	
	Almohadillas y elementos de sujeción propios del equipo	Eliminación de repeticiones de disparos
	Contar con adiestramiento certificado en el equipo	Optimización de técnicas de disparo
	Proteger correctamente al acompañante del paciente	Eliminación de irradiación innecesaria
	Contar con lentes protectores y gorro plomado	Proteger a personal de intervencionismo

Tabla 0.17 Alternativas de PML en sitio con equipo de Rayos X. Fuente: Autor

CAPITULO 2

SEGURIDAD ELÉCTRICA EN EQUIPOS MÉDICOS

2.1 Introducción

Los equipos médicos en la actualidad, cuentan con sistemas electrónicos muy sensibles a los cambios bruscos de flujo eléctrico o a las perturbaciones en la alimentación o a fenómenos eléctricos transitorios que se presentan en los sistemas interconectados. Pese a las protecciones internas existentes en los equipos, en muchos casos no son suficientes debido a que el rango de tolerancia configurada desde fábrica es menor a las variaciones que se presentan en la red de alimentación a la que están conectados.

Los problemas que se originan en la red eléctrica, pueden ocasionar fallas temporales o permanentes a un equipo, generando grandes pérdidas económicas por tiempos de para y molestias a los usuarios finales por falta de atención a sus requerimientos.

Para contar con un adecuado sistema de seguridad eléctrica en este tipo de equipos, se debe considerar todo el camino hacia los tableros de distribución del mismo, es decir, un correcto dimensionamiento en el cableado, colocación de un transformador de acuerdo a las especificaciones técnicas sugeridas por el fabricante del equipo, sistema de tierra certificada, pozos de revisión en el tramo de los conductores, protectores térmicos apropiados, etc.

En la provincia del Azuay, la empresa encargada de suministrar energía eléctrica a zonas domiciliarias, comerciales, industriales y rurales es la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A., la cual tiene más de 50 años al servicio de la comunidad y su ente regulador es la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL).

En el presente capítulo, se analizará los aspectos generales de la alimentación eléctrica que utilizan los equipos de Rayos X, perturbaciones existentes, sistemas de protección, análisis de red y los requerimientos eléctricos del fabricante de los equipos de Rayos X de la marca GENERAL ELECTRIC.

2.2 Red de alimentación trifásica

Un sistema trifásico está formado por tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y magnitud con un desfase entre ellas de 120° como se puede observar en la figura 2.1:



Figura 2. 1 Sistema Trifásico. Fuente: Autor

Las principales razones por las que se utiliza la red trifásica son (Bakshi, 2013):

- La potencia en un sistema monofásico cae tres veces por ciclo mientras que en un sistema trifásico la potencia enviada a la carga siempre es la misma.
- La producción de las máquinas trifásicas es mayor en 1,5 veces a la de las máquinas monofásicas.
- Necesitan menos cobre o material conductor para su transmisión.
- Los sistemas monofásicos dan una salida estable.
- El factor de potencia de los motores trifásicos son más elevados que de los monofásicos.

2.3 Perturbaciones en una red eléctrica

Los problemas existentes en una red eléctrica son los principales causantes de pérdida de datos en comunicación y mal funcionamiento en elementos y dispositivos de distinta índole conectados a ella. El poder identificar qué tipo de problema existe en el suministro de energía ayudará a futuro a realizar los correctivos necesarios y adquirir los aparatos de protección existentes en el mercado para obtener una calidad idónea en el sistema con la finalidad de prevenir posibles daños. Según el estándar de la IEEE (1159-1999) las perturbaciones en una red eléctrica por fenómenos electromagnéticos pueden ser por tres causas principales:

- Perturbaciones transitorias
- Variación en el valor eficaz (RMS) en voltaje y corriente.
- Deformaciones en la forma de onda

2.3.1 Transitorios o transientes

Las perturbaciones transitorias o transientes, son considerados los más perjudiciales en una red de energía eléctrica y pueden ser de tipo impulsivo u oscilatorio.

2.3.1.1 Transitorios impulsivos

Un transitorio impulsivo es un cambio brusco de voltaje y/o corriente de su estado estable y de la frecuencia distinta a la frecuencia del sistema de red de alimentación. Tienen onda moderada y elevada magnitud pero de corta duración (Tabla 2.1). La principales causas por la que se generan este tipo de perturbaciones son las descargas atmosféricas, puestas a tierra deficientes, descargas electrostáticas y encendido de cargas inductivas.

Transientes Impulsivos	Contenido Espectral	Duración
Nanosegundos	5 ns subida	< 50 ns
Microsegundos	1µs subida 0,1	50ns - 1ms ms >1ms

Milisegundos subida

Tabla 2. 1 Características de los transitorios impulsivos. Fuente: IEEE (1159-1999)

En la figura 2.2 se puede visualizar un ejemplo de transitorio impulsivo negativo de corriente con una duración de 120 μ s.

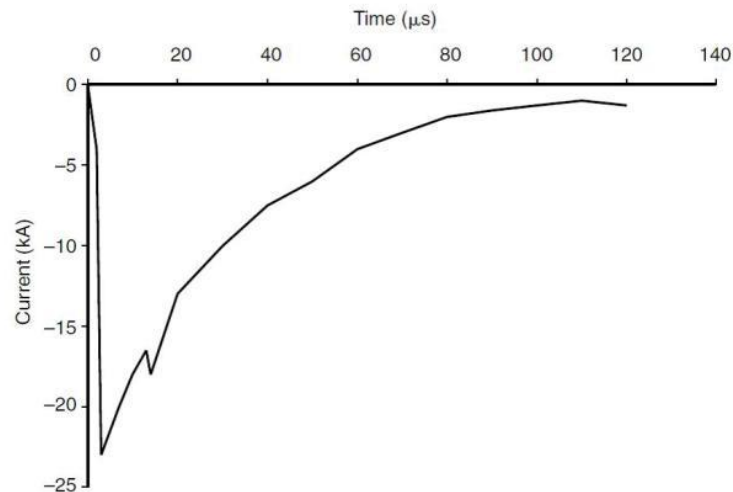


Figura 2. 2 Transitorio Impulsivo a causa de descargas eléctricas en la red. Fuente: F2 ticpgdea 2011

2.3.1.2 Transitorios ondulatorios

Consiste en el cambio rápido de polaridad de la señal de suministro, es decir, un aumento de tensión y una bajada de tensión de forma abrupta. Se describe por su contenido espectral, duración y magnitud (Tabla 2.2).

Transientes Oscilatorios	Contenido Espectral	Duración	Magnitud de voltaje
Baja Frecuencia	< 5 KHz	0.3- 50 ms	0 - 4 pu
Media Frecuencia	5-500 KHz	20 μ s	0 - 8 pu
Alta Frecuencia	0,5 a 5 Mhz	5 μ s	0 - 4 pu

Tabla 2. 2 Características de los transitorios oscilatorios. Fuente: IEEE (1159-1999)

Regularmente se dan al conmutar cargas inductivas o capacitivas ya que esta se resiste al cambio. Para solucionar este tipo de inconvenientes se puede instalar en la red reactores o amortiguadores de línea combinados con sistemas UPS para reducir al máximo los problemas generados por estas perturbaciones (IEEE, 1995).

En la figura 2.3 se puede visualizar el transitorio oscilatorio que se presentan regularmente en los niveles de subtransmisión y distribución y que puede ser causado por conmutación de cargas capacitivas.

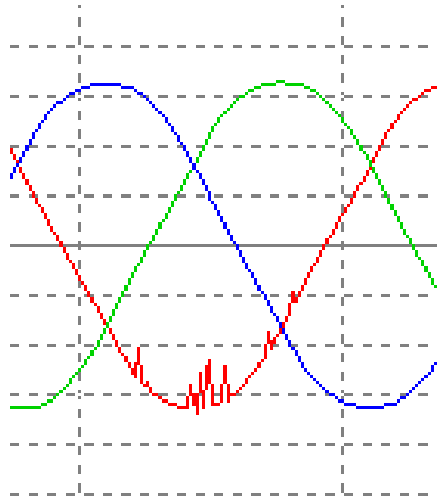


Figura 2. 3 Transitorio ondulatorio. Fuente IEEE (1995)

2.3.2 Variaciones de voltaje de corta duración

Las variaciones de voltaje de corta duración pueden ocasionarse debido a problemas en el cableado de la red eléctrica, desconexiones o consumo alto de corriente por energización de cargas grandes y pueden generar los siguientes problemas:

- Depresiones de voltaje (Sags o DIP)
- Elevaciones de voltaje (swells)
- Interrupciones

2.3.2.1 Depresiones

Los Sags o DIPs son causados generalmente por variaciones de larga duración, son conocidos también como valles o huecos de voltaje (Figura 2.4). Los efectos producidos por este tipo de variaciones en un elemento dependen de su duración y de su profundidad.

La solución más sencilla para poder solventar este tipo de problemas son los acondicionadores de red que regulan permanentemente la tensión, realizan filtrado de armónicos generados por cargas externas y pueden proteger micro cortes de energía.

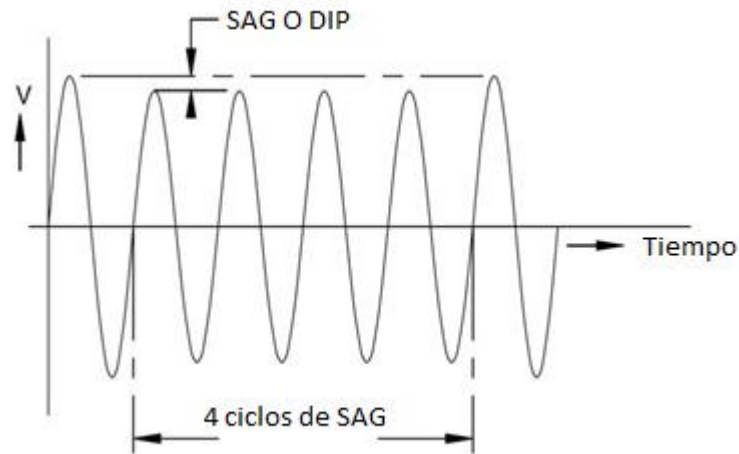


Figura 2. 4 Depresión de Voltaje SAG o DIP. Fuente: Thompson 2007

2.3.2.2 Elevaciones de voltaje

Las elevaciones de voltaje son también conocidas como Swells (Figura 2.5), generalmente son producidas por la desconexión de grandes cargas o por la elevación de las fases que no fallan frente a una fase que falle entre línea y tierra (Thompson, 2007).

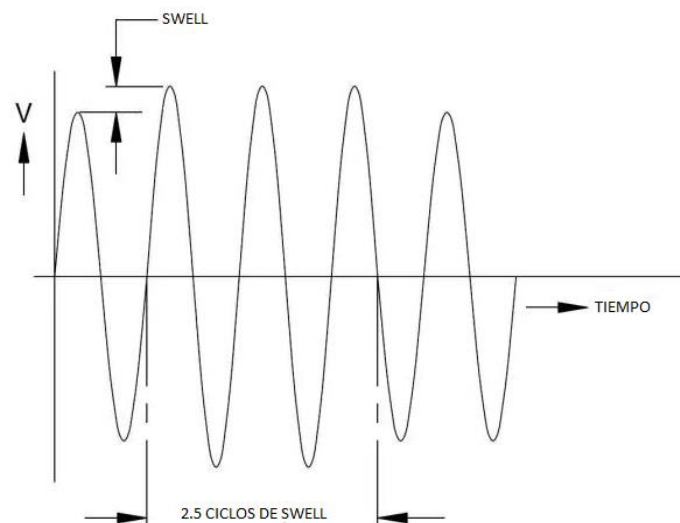


Figura 2. 5 Elevación de Voltaje SWELL. Fuente: Thompson 2007

2.3.2.3 Interrupciones

Las interrupciones de voltaje pueden ser producidas por fallas en la red eléctrica, fallas en el equipo o mal manejo de los equipos de control. En la figura 2.6 se puede visualizar una interrupción de 0,17 segundos en el valor eficaz de un sistema de red eléctrica.

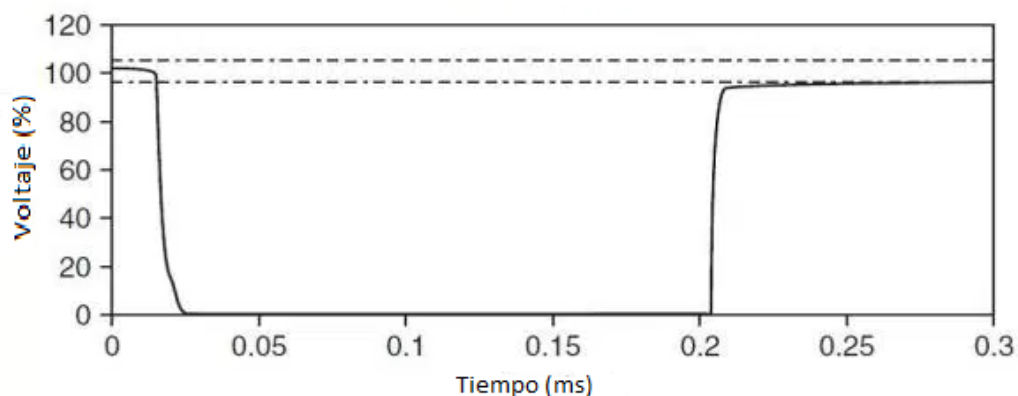


Figura 2. 6 Interrupción de energía eléctrica. Fuente: Thompson 2007

2.3.3 Variaciones de voltaje de larga duración

La Norma ANSI C84.1 1999 considera como variaciones de voltaje de larga duración a aquellas que su tiempo de duración es mayor a un minuto. En Ecuador los límites de variación están definidos por la Resolución No. CONELEC – 004/01 Calidad de Servicio Eléctrico de Distribución con los valores indicados en la tabla 2.3 a continuación:

Tipo de voltaje		Rango de variación
Alto Voltaje		5,00%
Medio Voltaje		8,00%
Bajo Urbanas	Voltaje.	8,00%
Bajo Rurales	Voltaje.	10,00%

Tabla 2. 3 Límites de Variación de Voltaje en Red Eléctrica. Fuente CONELEC 2001

Las variaciones de voltaje de alta duración pueden clasificarse en (IEEE, 1995):

- Sobretensión cuando su incremento es mayor al 110% con duración mayor a un minuto. Este problema se produce regularmente cuando se utiliza un TAP incorrecto en el transformador de alimentación.
- Baja tensión se considera cuando el valor eficaz decae menos del 90% y su duración es mayor a 1 minuto. Una de las causas para que se produzca esta variación son las sobrecargas.
- Interrupción sostenida se la denomina cuando la pérdida de voltaje en la red supera el minuto y necesita ser restablecida manualmente.

2.3.4 Desbalanceo de Voltajes

Este fenómeno se encuentra cuando los voltajes entre las 3 líneas de una red trifásica no son iguales, siendo las principales causas de esto la conexión en triángulo abierto en los

transformadores, fallas de aislamiento en conductores y cargas monofásicas conectadas a la red trifásica (IEEE, 1995).

En el manual de servicio restringido Power Quality & Environment Team de la casa comercial GENERAL ELECTRIC en su sección de equipos médicos HealthCare, establece que el desbalance entre líneas no debe ser mayor al 2% para satisfacer el correcto funcionamiento de toda su gama de equipos de diagnóstico por imágenes.

2.3.5 Ruido eléctrico

El ruido eléctrico son señales no deseadas dentro de una red trifásica de alimentación, que pueden ser generadas por los mismos elementos conectados a la red eléctrica, dispositivos de electrónica de potencia, soldadoras, cargas rectificadoras de estado sólido, etc. Este tipo de problema afecta directamente a microcontroladores y tarjetas electrónicas que trabajan con señales de alta precisión. Una mala conexión de tierra incrementa el ruido en todo el sistema.

En el caso de los equipos de diagnóstico por imágenes, el ruido eléctrico puede ocasionar artefactos en las imágenes radiológicas que podrían ser mal interpretadas por los médicos que las revisan.

Los elementos para mitigar este tipo de problema son principalmente filtros, transformadores de aislamiento y acondicionadores de línea que son utilizados dependiendo del equipo que se quiera proteger o del nivel de ruido existente en la red de alimentación.

2.3.6 Distorsión de la forma de onda

Es una desviación de la forma de onda de tensión o corriente a la frecuencia del sistema, en caso de Ecuador 60Hz. Las formas de distorsión de la forma de onda son:

- Offset de DC
- Armónicos
- Interarmónicos
- Hendiduras

2.3.6.1 Offset de DC

Es la presencia de voltaje o corriente continua en la red trifásica de corriente alterna. Afectan principalmente al núcleo de los transformadores disminuyendo su tiempo de vida útil, además este tipo de problema puede ocasionar corrosión en conectores, conductores y electrodos de puesta a tierra.

2.3.6.2 Armónicos

Son tensiones o corrientes sinusoidales cuya frecuencia es un múltiplo integral de la frecuencia del sistema (Thompson, 1997), se generan debido a las características no lineales de dispositivos de electrónica de potencia, transformadores y dispositivos de arco como soldadoras (Figura 2.7). Entre los principales problemas que se generan a causa de los armónicos se pueden mencionar:

- Vibraciones y ruido acústico en transformadores.
- Interferencias en sistemas de comunicación entre tarjetas electrónicas y circuitos de control.

- Producen calentamiento en condensadores.
- Generan problemas en tiristores electrónicos.
- Sobrecargas en transformadores y cables eléctricos.

Para reducir el problema de armónicos en una red es importante dimensionar de manera correcta el transformador y diámetro de cables conductores en el sistema.

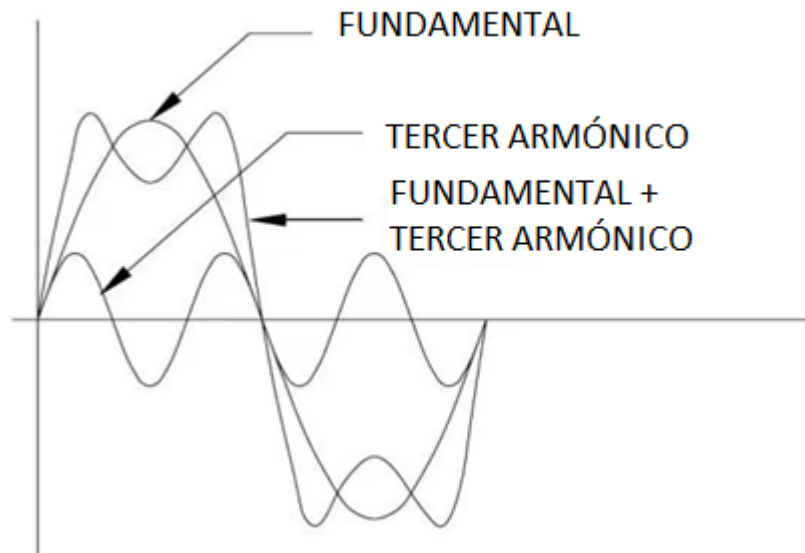


Figura 2. 7 Distorsión de la forma de onda por el tercer armónico. Fuente: Thompson 2007

2.3.6.3 Interarmónicos

Son voltajes o corrientes que tienen componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia del sistema (Thompson, 2007). Los principales causantes de este fenómeno son dispositivos de arco, convertidores estáticos de frecuencia, hornos de inducción y los motores asíncronos. Al igual que los armónicos, presentan calentamiento en cables conductores y transformadores.

2.3.6.4 Hendiduras

Las hendiduras son distorsiones periódicas en la forma de onda de tensión, causadas por la operación de los elementos de electrónica de potencia cuando la corriente es conmutada de una fase a otra (Figura 2.8).

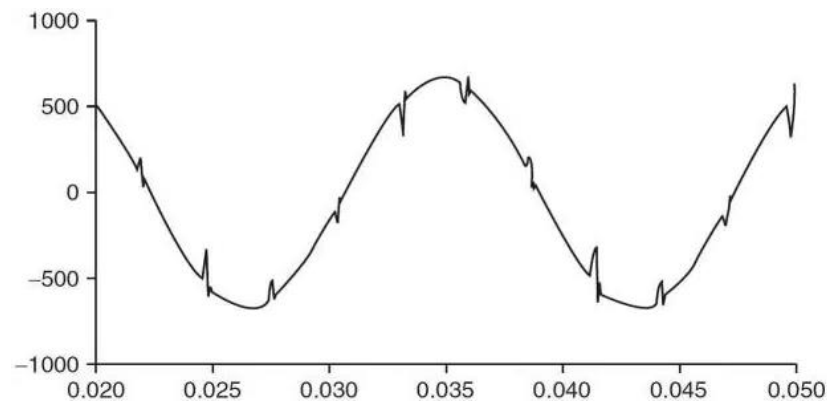


Figura 2. 8 Hendidura o Notching de Tensión. Fuente: Thompson 2007

2.3.7 Sistemas de protección para redes eléctricas

Es de suma importancia contar con un sistema de protección en la red eléctrica que suministra energía a los equipos y aparatos en un sitio determinado, con la finalidad de a más de las protecciones internas existentes en cada aparato, poseer varios elementos de detección temprana frente a las distorsiones en la red mencionadas anteriormente.

Para realizar un correcto sistema de protección en la red, es necesario contemplar los siguientes aspectos:

- Configuración del sistema a proteger
- Grado de protección requerido
- Estudio de fallas o calidad de la red
- Valores pico de carga de los elementos conectados al transformador principal

Las protecciones existentes en los equipos de Rayos X de la marca GENERAL ELECTRIC, son calculadas y mejoradas continuamente por fábrica por medio de control estadístico del comportamiento de los mismos a nivel mundial, más adelante se revisará los requerimientos eléctricos y de seguridad estándares de la casa comercial antes mencionada.

Aunque los equipos conectados a una red eléctrica cuentan con un sistema de protección interno en cada una de sus partes, se debe contar también con un circuito de protección en el tablero de alimentación principal con los siguientes elementos:

- **Disyuntores**, encargados de interrumpir el suministro de energía al sobrepasar el valor de corriente de cortocircuito soportado. Generalmente se utilizan relés de diferentes características dependiendo del sistema a proteger.
- **Fusibles**, que interrumpen el paso de la corriente al llegar a su punto de fusión por el exceso de calor producido por un cortocircuito.
- **Seccionadores**, que se encargan de aislar una parte de la instalación a otra, con la finalidad de poder trabajar en ciertas secciones de un sistema sin comprometer otras.
- **Contactores**, encargados de comparar las corrientes de las tres fases y actuando si estas no son iguales.
- **Supresores de transientes**, son dispositivos de desvío y captura de energía, recortan los valores pico de la forma de onda de la tensión y desvían el exceso de energía para proteger a los equipos sensibles que estén conectados.
- **Filtros de armónicos**, elimina la mayoría de problemas de calidad de energía, limita las fluctuaciones de tensión, dependiendo de las necesidades, pueden ser filtros pasivos para rangos concretos de armónicos, filtros activos que controlan el nivel de armónicos y baterías de corrección de factor de potencia.

2.3.8 Sistemas de puesta a tierra

Es un sistema de seguridad que debe poseer todo circuito eléctrico, el mismo que se encarga de enviar desvíos de la corriente hacia la tierra protegiendo los equipos y elementos conectados a la red de suministro de energía eléctrica.

Los factores por los cuales se justifica el tener un sistema de puesta a tierra en sitios donde estén instalados equipos de alta complejidad y sensibles, pueden ser entre otros:

- Brindar al sistema un impedancia lo suficientemente baja para facilitar el desvío de la corriente no deseada.
- Proteger a personal y personas en general de posibles descargas no controladas.
- Mantener los voltajes del sistema en los parámetros requeridos por el mismo en condiciones de falla.
- Estabilizar los voltajes fase a tierra en líneas eléctricas.
- Eliminar problemas de transientes persistentes.
- Eliminar el ruido eléctrico en el sistema
- Proporcionar una plataforma equipotencial para que equipos electrónicos puedan funcionar.

2.3.8.1 Diferencias entre tierra y neutro

La diferencia principal entre estos dos elementos es que el neutro se utiliza como retorno de la corriente hacia el transformador, mientras que la tierra sirve para eliminar corrientes no deseadas en el circuito hacia tierra.

2.3.8.2 Elementos de un sistema de puesta a tierra

Los elementos principales de un sistema de puesta a tierra se pueden visualizar en la figura 2.9 y son:

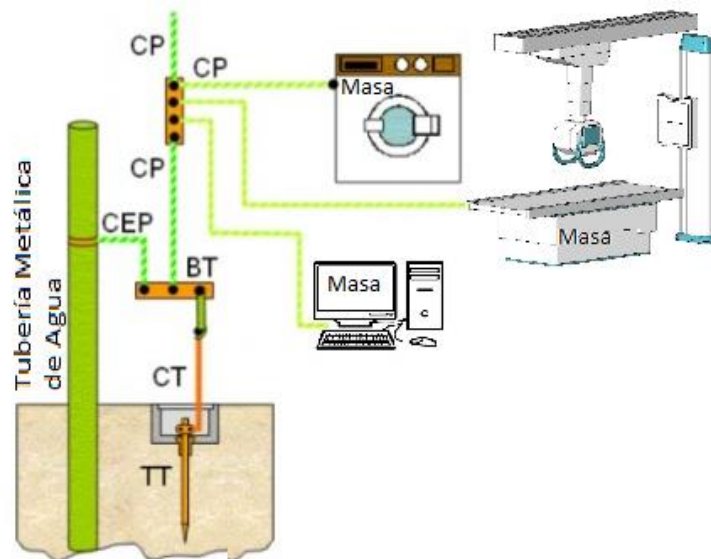


Figura 2. 9 Elementos de una puesta a tierra. Fuente: Adaptación de ilustración de leonardo-energy.gob

2.3.8.2.1 Electrodo de puesta a tierra (TT)

Son objetos metálicos con los que se establece una conexión directa a tierra. Existen varios tipos de electrodos permitidos para un sistema de puesta a tierra los cuales se pueden mencionar (ANSI/NEMA, 2007):

- **Tubería metálica subterránea para Agua**, debe tener contacto directo con la tierra al menos 3 m y debe ser eléctricamente continuo entre uniones y codos.
- **Marco metálico de la edificación**, para ser considerado como válido, debe tener al menos 3 m de un solo miembro metálico estructural en contacto directo con la tierra.
- **Electrodo embebido en concreto**, consiste en al menos 6 m de un conjunto de varillas desnudas de 13 mm de diámetro en una distancia constante y si se utiliza cable conductor debe ser menor a 4 AWG.

2.3.8.2.2 Conductor de tierra (CT)

Es el cable que une los electrodos al borne principal de tierra, normalmente de cobre y puede ser sólido o cableado, con o sin aislamiento, sin uniones ni empalmes.

2.3.8.2.3 Borne principal de tierra (BT)

Es el borne o barra que asegura la conexión entre los conductores de tierra, conductores de protección, de unión equipotencial etc. El borne cuenta con una varilla donde se conectan los conductores y un seccionador al que va conectado únicamente el conductor de tierra.

2.3.8.2.4 Conductores de protección (CP)

Sirven para unir eléctricamente las masas de los elementos de un sistema hacia tierra, deben tener una sección determinada por el consumo de cada equipo. Pueden utilizarse cables multi conductores, conductores aislados o desnudos.

Todas las masas de los diferentes equipos de una red deben conectarse directamente al borne principal sin intercalar ningún elemento en su trayecto.

2.3.8.2.5 Conductores de equipotencialidad (CEP)

Este tipo de conductores se encargan de poner al mismo potencial a partes conductoras simultáneamente accesibles. Una unión equipotencial es la unión permanente de las partes metálicas para formar una trayectoria eléctricamente conductora y es esencial para asegurar la operación del dispositivo de protección en el sistema.

2.3.8.3 Resistividad del terreno

Es la resistencia que presenta el terreno en un metro cúbico de área, la cual puede variar según los siguientes aspectos:

- **Tipo de terreno**, la resistividad varía dependiendo de la composición del terreno como se puede apreciar en la tabla 2.4.
- **Compactación**, es muy importante al momento de realizar un sistema de puesta a tierra, ya que cuando un terreno no está bien compactado, los espacios de aire existentes impiden que la corriente se esparza correctamente en el suelo.
- **Humedad**, un terreno mayormente húmedo tendrá menos resistividad, por esto, en algunos casos en la elaboración de sistemas de puesta a tierra se instala un sistema de riego para mejorar la humedad de terrenos normalmente secos.
- **Temperatura**, en este caso, a menor temperatura mayor es la resistividad del suelo, lo que hace de este un factor relevante al momento de elegir el terreno donde se va a implementar un sistema de puesta a tierra.

Naturaleza del terreno	Resistividad en Ω .metro
Pantanosos	< 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Arcilla plástica	50
Arena arcillosa	50 a 500
Suelo pedregoso con césped	300 a 5000
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas Blandas	100 a 300
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granito	1500 a 10000

Tabla 2. 4 Tabla de resistividad. Fuente IEEE 1986

2.3.8.4 Tipos de puesta a tierra

Existen varios de formas para realizar la implementación de un sistema de puesta a tierra, entre las cuales tenemos:

- Barras o varillas
- Placas
- Anillos
- Mallas

2.3.8.4.1 Barras o varillas

Pueden ser de dos tipos:

- **Varillas verticales**, electrodo de cobre relleno con varios tipos de componentes iónicos para dispersar iones libres en el terreno que lo rodea mediante un condensador de humedad, reduciendo la resistividad del terreno de forma gradual (Figura 2.10).

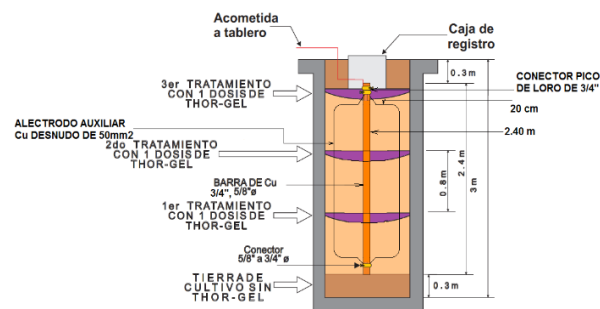


Figura 2. 10 Varillas Verticales. Fuente OTIC-MINEDU 2015

- **Varillas Horizontales**, su conexión es más complicada y a la vez más costosa, se componen de cintas de cobre que tienen un mejor comportamiento en frecuencias altas y conductores retorcidos (Figura 2.11).

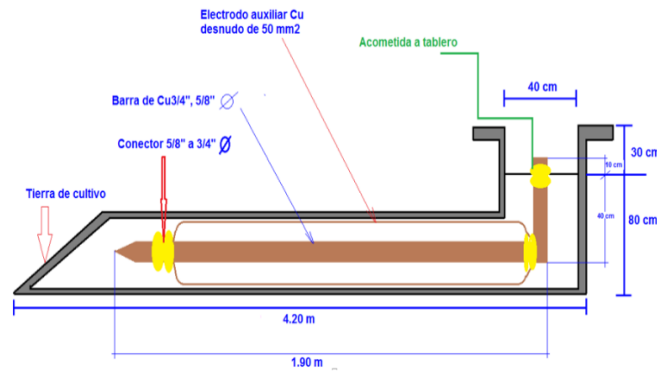


Figura 2. 11 Varillas Horizontales. Fuente OTIC-MINEDU 2015

2.3.8.4.2 Placas

Deben exponer al menos 2m² del suelo y su espesor mínimo es de 6mm en caso de ser de hierro desnudo o con recubrimiento conductivo, si son electrodos sólidos y sin recubrimiento el espesor mínimo se considera de 1,5mm (Figura 2.12).

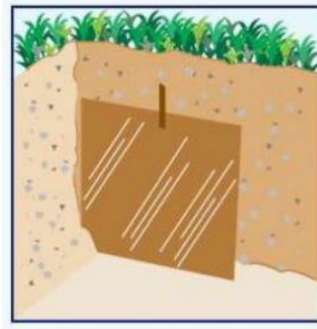


Figura 2. 12 Placas de puesta a tierra. Fuente: Autor

2.3.8.4.3 Anillos

Rodea al sitio donde se quiere proteger, consta de un conductor de cobre desnudo menor a 2 AWG enterrado a 800 metros por una distancia no menos de 6 metros (Figura 2.14).



Figura 2. 13 Anillos en puesta a tierra. Fuente: GARCÍA 2015

2.3.8.4.4 Mallas

Se utiliza cuando se requiere controlar la equipotencialidad de la superficie del terreno, están compuestas por varillas verticales uniformemente espaciadas y en direcciones espaciadas, además de contar también con varillas horizontales en sus vértices.

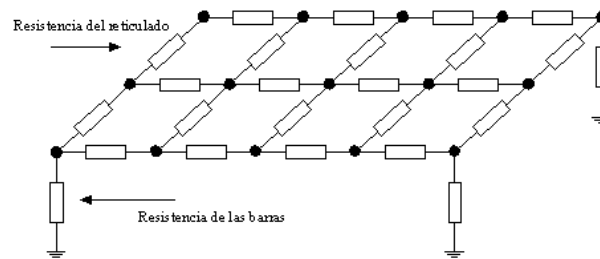


Figura 2. 14 Mallas de tierra. Fuente: CONCHA 2014

2.3.9 Medición de Calidad de Energía Eléctrica

Como se analizó en apartados anteriores, la medición de la calidad de energía eléctrica suministrada hacia el cliente final, debe ser de óptima calidad para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos que estén conectados a su sistema.

En este punto, se analizará el caso concreto de un Hospital de la ciudad de Cuenca, en el cual en los meses de octubre y noviembre del año 2015 fue instalado un equipo dedicado a intervención quirúrgica, conocido como Angiógrafo modelo IGS 530 de la marca GENERAL ELECTRIC, que emite radiación por medio de un tubo de Rayos X y trabaja en conjunto con un intensificador de imágenes de alta precisión. El equipo necesita 480v de alimentación trifásica sin neutro con tierra independiente, alcanza una potencia máxima de 120kva (Manual restringido de servicio GE Healthcare).

Al momento de las calibraciones y puesta a punto recomendadas por fábrica el equipo no presentó ningún problema, sin embargo, una vez puesto en operación se produjeron apagones inesperados y fallas en las imágenes conocidas como artefactos. El proceso de revisión realizado no evidenció problemas en el equipo, por lo que fue necesario realizar un estudio de la calidad de energía eléctrica que llegaba al MDP (Module Distribution Panel).

El Analizador de calidad de energía modelo HIOKI 3197-01+5000PRO (figura 2.15) se puede utilizar para medir la calidad de sistemas tanto monofásicos como trifásicos, el cual puede monitorear la intensidad de corte, sobre voltajes, caídas de tensión, transitorios e interrupciones. Las características de fábrica de este equipo son:

- Rango de voltaje de 600 v AC
- Rango de corriente de 500mA a 5000kA (dependiendo del sensor usado)
- Análisis sobre el armónico 50
- Cálculo del factor de desbalanceo de voltajes



Figura 2. 15 Analizador de Calidad de Energía HIOKI. Fuente: CEDESA

La conexión de este Analizador al MDP del equipo se realiza de acuerdo a lo especificado por el manual de usuario del mismo y es recomendable dejarlo instalado al menos 7 días en los que el equipo funcione en condiciones normales.

Los resultados que obtuvo el HIOKI se detallan a continuación:

- Bajones considerables de voltaje en la red eléctrica
 253V 11:15 26/11/2015 L1/L2/L3
 270V 12:15 27/11/2015 L1/L2
 272V 13:30 01/12/2015 L1/L2/L3
- Pérdida de corriente en la red eléctrica
 0A 12:45 30/11/2015 L1/L2/L3
- Una cantidad considerable de transientes en la red eléctrica
 Un total de 16 transientes durante el período que el equipo estuvo colocado en sitio.
- Voltaje muy bajo que sucede durante la realización de un estudio, que puede afectar ocasionando artefactos en las imágenes o incluso un apagado del equipo.
 246V 11:15 26/11/2015 L1/L2/L3

En la figura 2.16 se puede visualizar el resultado gráfico del análisis del voltaje durante los días de monitoreo, resaltando el DIP de 246v antes mencionado

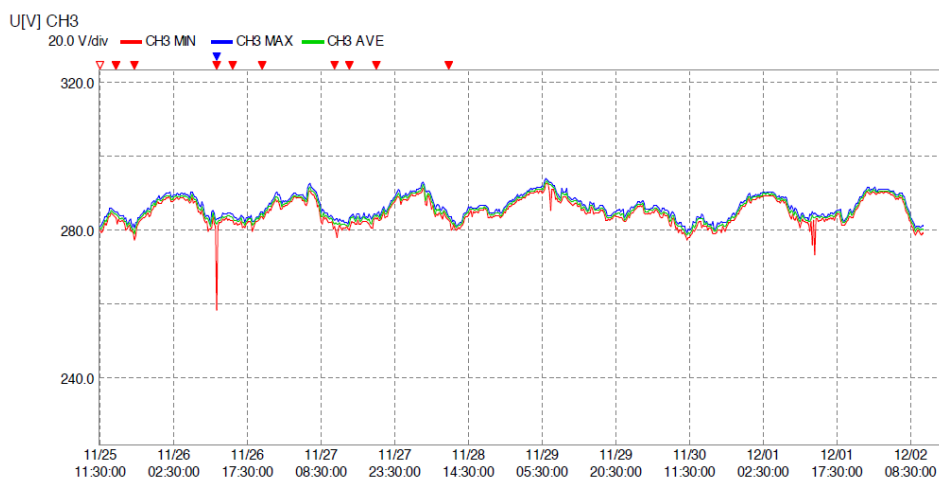


Figura 2. 16 Análisis de Red Eléctrica. Fuente: Autor

En la figura 2.17 se puede visualizar el comportamiento de la corriente en la fase 1 del sistema, evidenciando los picos en los instantes en el que el equipo realizaba estudios.

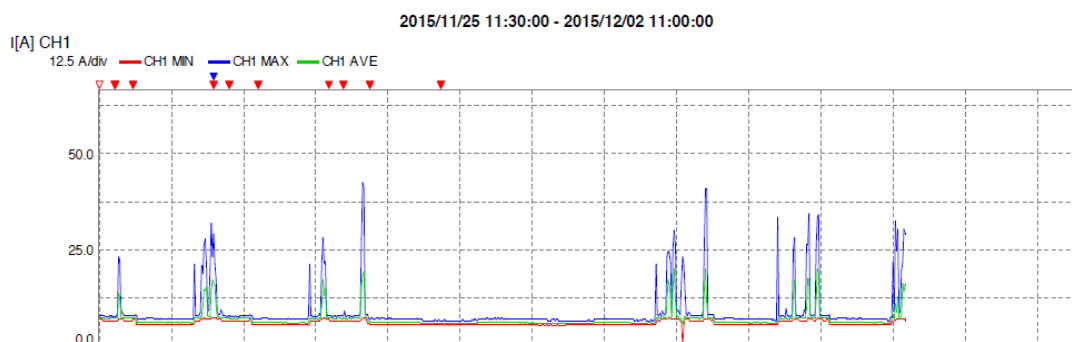


Figura 2. 17 Análisis de corriente en fase 1. Fuente: Autor

En la figura 2.18 se presenta los primeros 5 transientes detectados por el equipo, en este análisis se presentaron 16 en total.

No. 1:	2015/11/25 11:13:19.068, Ext (Start)					
	Date	Time	Event Category	CH	IN/OUT	Data
	2015/11/25	11:13:19.068	Ext (Start)			
No. 2:	2015/11/25 14:39:04.153, Transient, IN					
	Date	Time	Event Category	CH	IN/OUT	Data
	2015/11/25	14:39:04.153	Transient		IN	
No. 3:	2015/11/25 14:39:04.154, Transient, OUT					
	Date	Time	Event Category	CH	IN/OUT	Data
	2015/11/25	14:39:04.154	Transient		OUT	00:00:00.000
No. 4:	2015/11/25 14:39:15.075, Transient, IN					
	Date	Time	Event Category	CH	IN/OUT	Data
	2015/11/25	14:39:15.075	Transient		IN	
No. 5:	2015/11/25 14:39:15.154, Transient, OUT					
	Date	Time	Event Category	CH	IN/OUT	Data
	2015/11/25	14:39:15.154	Transient		OUT	00:00:00.000
No. 6:	2015/11/25 18:24:40.910, Transient, IN					
	Date	Time	Event Category	CH	IN/OUT	Data
	2015/11/25	18:24:40.910	Transient		IN	

Figura 2. 18 Análisis de transientes. Fuente: Autor

La figura 2.19 muestra un extracto de la demanda en potencia en kw del equipo mientras está en uso.

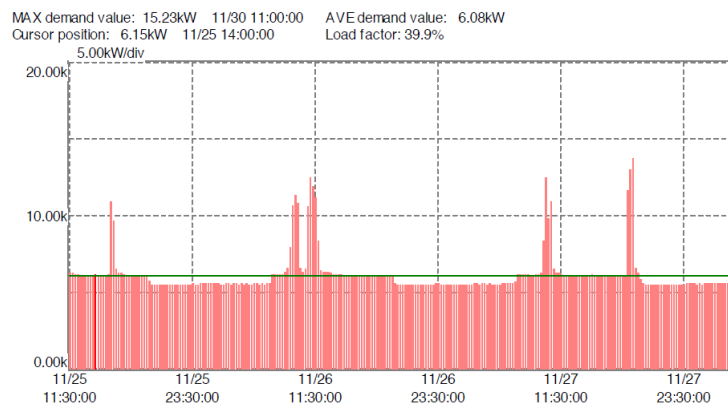


Figura 2. 19 Demanda de potencia. Fuente: Autor

Luego del análisis se pudo comprobar que los apagones súbitos del equipo y de los artefactos en las imágenes durante los estudios se debían a problemas de voltaje en la alimentación principal, considerando que el manual de fábrica indica que el equipo soporta un máximo de 10 transientes sin sufrir alteraciones o fallos en su funcionamiento.

Las recomendaciones en este tipo de casos son las siguientes:

- Comprobar el TAP de alimentación al transformador de 480v en el devanado primario
- Instalar supresores de transientes en el sistema que alimenta al MDP del equipo de Rayos X.
- Monitorear la red con supervisores de fase.
- Revisar conexiones, cableado y conectores del sistema principal de alimentación hacia el MDP.

Un aspecto importante que también influye en el funcionamiento incorrecto de este tipo de equipos es el sistema de puesta a tierra al que está conectado. Los requerimientos por parte de GENERAL ELECTRIC estipulan un sistema de tierra independiente con una impedancia menor a 2 ohmios.

Al momento de medir la tierra entregada por el Hospital, se pudo verificar que el valor de impedancia no era el adecuado, para este proceso se utilizó un medidor de tierra CLAMP o de gancho.



Figura 2. 20 Medición de tierra. Fuente: Autor

Como se puede observar en la figura 2.20, la medición de impedancia supera los 100 ohmios, valor no aceptado para trabajar con normalidad. El problema se daba en una malla de tierra adyacente al equipo que fue cortocircuitada a la misma y elevaba la impedancia de manera abrupta.

Una vez realizados los cambios sugeridos al personal de mantenimiento del Hospital, el equipo se estabilizó y hasta el momento no ha generado problema alguno en su funcionamiento.

2.3.10 Requerimientos eléctricos en equipos GENERAL ELECTRIC

El manual restringido de servicio Electrical Safety – Equipment Grounding revisión 5 impreso en 1991 del fabricante GENERAL ELECTRIC, presenta los estándares de seguridad para conductores y aislantes en la instalación de equipos de Rayos X y los parámetros necesarios de puesta a tierra.

La base de los requisitos de puesta a tierra establecidos por la norma de diseño 806-1 es el Código Eléctrico Nacional (NEC) NFPA 70-1984, Normas UL para la Seguridad, la NFPA 99-1984, y las prácticas hospitalarias aceptables establecidos, e IEC 601-1.

En la tabla 2.5 se puede visualizar los valores estándar entre el calibre de cable desnudo utilizado y la resistencia del cable de cobre trabajando a 25 grados Celsius:

Diámetro AWG	Conductor cobre
18	6.51
16	4.10
14	2.57
12	1.62
10	1.018
8	0.6404
6	0.410
4	0.259
3	0.205
2	0.162
1	0.129
0	0.102

Tabla 2. 5 Tabla AWG vs Resistencia. Fuente: GEHC, 1991

Los requerimientos generales que recomienda fábrica en conexiones de puesta a tierra son los siguientes:

- Las partes que no carguen corriente dentro de un cuarto de equipos, deberán estar conectados a la tierra del sistema.
- Sólo conductores de cobre o partes estructurales metálicos fijos se utilizarán para poner a tierra los elementos del equipo que puedan energizarse desde dentro.
- Los sujetadores o terminales utilizados para unir el conductor a tierra de los equipos serán utilizados únicamente para la puesta a tierra y no dependerá de una soldadura.
- El aislamiento de todos los conductores de puesta a tierra deberá ser de color verde con una franja amarilla en toda su longitud.
- Un conductor de puesta a tierra no deberá soldarse.
- El terminal de puesta a tierra deberá ser convenientemente ubicado cerca de bornes el suministro principal de torio.
- Los medios de sujeción del terminal de conexión a tierra deberán estar fijados de manera adecuada contra el aflojamiento accidental, y no deberán ser posible aflojar sin la ayuda de una herramienta.

Para los equipos conectados permanentemente a la red de energía eléctrica se debe considerar (GEHC, 1991):

- La resistencia entre cualquier superficie conductora expuesta y el terminal de tierra de la unidad de equipo no será superior a 0,1 ohmios.
- En caso de tener más de una fuente de alimentación y mallas de tierra, estas deben ser unidas entre sí mediante un conductor de 10 AWG como mínimo y la resistencia no superior a 0,1 ohmios.

Las recomendaciones para cables conductores son:

- El cable de línea incluirá un conductor de puesta a tierra de cobre aislado, debidamente identificados, que será al menos igual en la sección transversal de los conductores de potencia.
- En ningún caso, el conductor de tierra debe ser menor a #18 AWG para cables de hasta 4,5 metros y #16 AWG para cables mayores a esta distancia (PIM 2014).
- El enchufe de conexión será de un tipo de conexión a tierra adecuado aprobado para la aplicación.
- Para aplicaciones de 120V hasta 20 amperios, el tapón será de grado Hospital. Para aplicaciones de mayor que 120 V y/o de 20 amperios, el tapón será especificación NEMA.
- Un punto de prueba se proporciona en el equipo para la verificación de la continuidad del sistema de puesta a tierra.

La figura 2.22 Muestra un ejemplo de los requerimientos a cumplir en una instalación de puesta a tierra en un equipo de Rayos X.

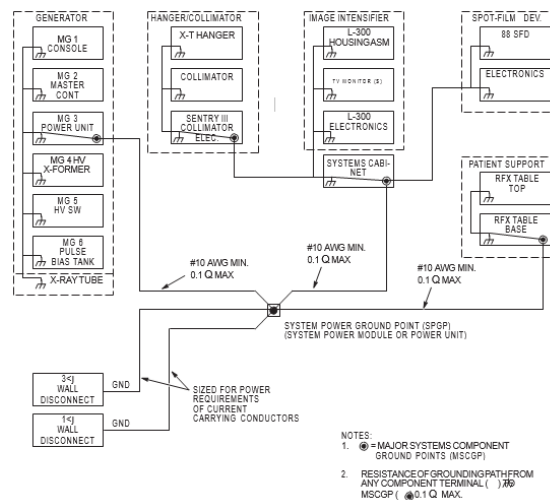


Figura 2. 21 Ejemplo de conexión segura de tierra. Fuente: GEHC 1991

El manual de servicio Electrical Safety- Leakage Currents Revisión 6 impreso en 2006, presenta los requerimientos estándares de fábrica para el correcto funcionamiento de los equipos de Rayos X con respecto a las corrientes de fuga que puedan existir durante las operaciones normales de un equipo.

La base de los requisitos indicados en el manual mencionado anteriormente, se basan en El Código Eléctrico Nacional NEC 517 (1996), Norma UL 544, NPPA 99 (1993), ANSI / AAMI estándar SCL 12/78. Los puntos a destacar de esta sección son:

- Las corrientes en conductores cercanos al paciente no deben exceder de 300 microamperios con el equipo encendido y apagado para equipos portátiles y 500 microamperios para equipos estacionarios.
- Una vez finalizada la instalación de un equipo de Rayos X, se deben realizar inspecciones de corrientes de fuga en todo el sistema, además, el dueño del equipo tendrá que realizar medición de calidad de energía.

El tablero de distribución o MDP de todos los equipos de Rayos X, deben contener un botón de encendido y apagado, así como también una palanca de desconexión manual para impedir que la tapa principal se pueda abrir cuando el equipo esté en funcionamiento (PIM 2014). En la figura 2.22 se puede visualizar la posición sugerida para los botones antes mencionados, además, la distribución idónea dentro del tablero de los elementos necesarios para una protección correcta los cuales son:

- Breaker principal conectado a la palanca de desconexión
- Fusibles de línea
- Contactor de línea trifásico
- Sistema de supervisión de fase

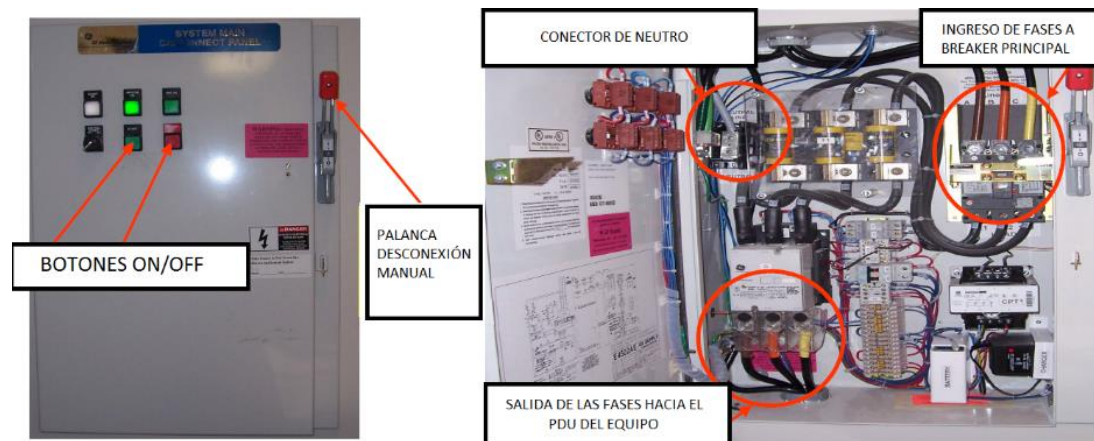


Figura 2. 22 Tablero de Distribución. Fuente: Autor

En la tabla 2.6 se presenta los estándares de fábrica para equipos con un generador de 50kw:

PARÁMETROS	GENERADOR JEDI 50kW	
Voltaje de entrada	380/400/440/480 V AC trifásico con tierra sin neutro	
Tipo de conexión	Delta-Estrella, tres cargas conectadas a un solo punto neutro	
Variación de voltaje	$\pm 10\%$ (V AC)	
Impedancia	rango de voltaje (v)	Impedancia (Ω)
	380	0,15
	415	0,18
	440	0,2
	480	0,24
Distancia del cable de alto voltaje	8 metros	
Tipo de cable HV	$\leq 165\text{pF/m}$	
Conductor de tierra	#8 AWG	
Corriente de interrupción	600 A	
Frecuencia normal	50/60 Hz	
Variación de frecuencia	47 ~ 63 Hz	
Corriente de línea instantánea	110 - 88 A	

Corriente de línea nominal	7 - 5.5 A
Potencia	70

Tabla 2. 6 Estándares GEHC generador 50kw. Fuente: PIM 2014

Los diámetros del conductor requeridos por fábrica según la distancia que debe recorrer el cable se señalan en la tabla 2.7 a continuación:

DISTANCIA (m)	380 v	400 v	440 v	480 v
15	#8 AWG	#8 AWG	#8 AWG	#8 AWG
30	#6 AWG	#6 AWG	#6 AWG	#6 AWG
46	#5 AWG	#5 AWG	#5 AWG	#5 AWG
60	#3 AWG	#3 AWG	#3 AWG	#3 AWG

Tabla 2. 7 Calibre del cable vs Distancia. Fuente: PIM 2014

2.3.11 Alternativas de PML en Seguridad Eléctrica

Luego de revisar todos los aspectos teóricos sobre la seguridad eléctrica exterior e interior de un sitio donde se encuentren instalados equipos que generen radiación ionizante, las alternativas de PML se forman de la combinación de la teoría y de la experiencia en la instalación y mantenimiento de este tipo de equipos. La tabla 2.8 resume las alternativas planteadas por el autor:

LOCALIZACIÓN	ALTERNATIVAS	BENEFICIO
Alimentación principal	Revisar las condiciones del transformador alimentador previo a la instalación de un equipo	Se prevé posibles problemas en alimentación y costos en cambio de transformador
	Solicitar estudio de Calidad de Energía Eléctrica	Dimensionar de mejor manera las protecciones requeridas en el sistema Saber con exactitud el número de transientes en la red y poder eliminarlos
	Revisar los conectores y uniones que estén correctas en instalación de transformador nuevo	Evitar el calentamiento en cables y pérdidas de voltaje
	Utilizar los diámetros requeridos por fábrica para conductores en el sistema	Evitar problemas de impedancia y calentamiento en conductores
	Revisar anualmente la alimentación principal de la red	Evitar deterioro en tarjetas de equipos conectados
Puesta a tierra	Colocar tierra independiente en cada equipo pero interconectadas entre ellas Revisar las mallas de tierras antes de interconectarlas	Mejorar la calidad de energía suministrada al equipo y evitar problemas o cortes abruptos en su funcionamiento

Tablero de distribución	Realizar mantenimiento periódico de la puesta a tierra	
	Utilizar materiales recomendados en el manual de instalación del fabricante del equipo	
	Mantener la impedancia óptima de funcionamiento según parámetros de fábrica	Evitar posible voltajes parásitos entre neutro y tierra
	Contener todos los sistemas de protección solicitados por el manual de instalación de fábrica, dimensionados de acuerdo al voltaje de alimentación y potencia requerida del equipo que se vaya a comandar	Mantener protegido al equipo y evitar problemas en módulos o tarjetas
	Poseer botón de paro de emergencia en varios puntos de la red de alimentación	Suspender la alimentación en caso de emergencia, para proteger al paciente, operador y equipo
	Poseer un supervisor de voltaje trifásico	
	Instalar filtros supresores de armónicos	Prevenir interrupciones de funcionamiento debido a daños en las tarjetas electrónicas del equipo
	Poseer supresores de transientes de línea	

Tabla 2. 8 Alternativas PML Seguridad Eléctrica. Fuente: Autor

CAPITULO 3

GESTIÓN DE PACIENTES EN CENTROS DE RAYOS X

3.1 Introducción

Las imágenes radiológicas se han tornado esenciales para poder realizar diagnósticos tempranos y efectivos en los pacientes que lo requieran, sin embargo, existe un problema de información de los mismos, que conlleva a realizar repeticiones innecesarias de los estudios provocando irradiación excesiva al paciente, gasto ineficiente de insumos para realizar las placas, pérdida de tiempo entre pacientes y gasto de tubo de Rayos X.

Existen muchos tipos diferentes de estudios radiológicos y a su vez también muchas posiciones en las que el paciente debe colocarse para obtener una imagen óptima. Pocas veces se puede obtener la imagen ideal al primer intento debido al desconocimiento del paciente, la edad, el estado físico y predisposición del mismo a realizarse dicho estudio. Esto genera que en cada repetición el paciente se irradie innecesariamente.

Al repetirse los estudios por las razones antes mencionadas, también se ven afectados otros puntos tales como el receptor de imagen o chasis, que disminuyen su tiempo de vida útil por estos disparos erróneos, el tiempo de vida útil de los tubos de Rayos X, ya que estos

regularmente se miden por número de disparos, incrementan los costos de consumo de energía eléctrica y demoran el tiempo de atención entre pacientes.

En el presente capítulo se realizará un análisis de los principales exámenes que se realizan en los Centros de Diagnóstico por Imágenes de la ciudad de Cuenca, se propondrá técnicas aplicables en los pacientes para reducir los problemas antes mencionados y optimizar los recursos utilizados en la realización de estos estudios.

3.2 Estudios de diagnóstico por imágenes

Los tipos de estudios de diagnóstico por imágenes se pueden resumir en los siguientes:

- Tomografía computarizada
- Imágenes por resonancia magnética
- Mamografías
- Ecografía
- Radiografías

3.2.1 Tomografía computarizada

La tomografía computarizada (TAC) son imágenes obtenidas por la combinación de detectores y emisión de Rayos X y muestra un corte transversal del cuerpo, por ser imágenes producidas por un computador, son manipulables y por ende muestran huesos, tejidos blandos y órganos con mayor claridad que una radiografía convencional. Este tipo de estudios ayudan al médico a realizar biopsias de posibles tumores con el fin de estudiarlos y poder ofrecer al paciente el mejor tratamiento para su problema.

Los requerimientos para un estudio tomográfico dependen de la zona del cuerpo que se quiera estudiar, en algunos casos no es necesaria una preparación previa, depende del médico y del grado de visualización que requiera el estudio. En caso de suministrar al paciente medio de contraste, es necesario que esté al menos 5 horas en ayunas y se lo suministra por medio de enemas, ingestión de medio de contraste o vía intravenosa. En algunos casos pueden observarse reacciones alérgicas al medio de contraste por lo que es necesario firmar una orden de aprobación para utilizarlos (RADIOLOGYINFO.ORG 2015).

Para evitar interferencias en la imagen, el paciente se debe despojar de todo elemento metálico, prótesis dentales, joyas, etc.

3.2.2 Imágenes por resonancia magnética

Se obtienen imágenes transversales de los órganos internos de un paciente de igual forma que un estudio tomográfico, con la diferencia de que en este tipo de estudios no interviene radiación ionizante.

El proceso para adquisición de imágenes MR se obtiene por medio de la alineación de los átomos de hidrógeno del cuerpo humano sometido a un imán de gran potencia. El equipo envía una ráfaga de ondas electromagnéticas que son receptadas por una bobina y dependiendo del cambio de dirección que los átomos de hidrógeno sufrieron a esta ráfaga, se crean imágenes en blanco y negro.

La ingesta de medios de contraste hace que los tejidos respondan a mayor velocidad a las ondas electromagnéticas y de radio, como resultado se obtienen imágenes más claras para su interpretación.

Los inconvenientes de este tipo de estudios es principalmente para pacientes que sufren de claustrofobia y aquellos que tienen marcapasos, grapas de aneurisma, implantes metálicos en general, que imposibilitan su ingreso a un imán de gran potencia ya que estos elementos pueden ser atraídos y por ende generar lesiones graves en el paciente.

3.2.3 Mamografías

Este tipo de estudios se utilizan para detectar posibles indicios de cáncer de mama de manera temprana en mujeres, principalmente se enfoca en la detección de calcificaciones y masas anormales. Son imágenes obtenidas por emisión de radiación ionizante en dosis más bajas que una radiografía convencional y se necesita comprimir la mama para que los Rayos X puedan penetrar los tejidos de forma exitosa (GEHC 2012).

Los requerimientos para realizar este tipo de estudios es que la paciente no utilice desodorante, cremas, talcos, perfumes, etc., que puedan interferir con la imagen adquirida. El inconveniente de este estudio es la compresión de cada seno en posición cráneo-caudal (CC) y Medio Lateral Oblícuo (MLO) que tiene segundos de duración. Es importante para las pacientes almacenar las imágenes de cada examen para compararlos con los estudios periódicos que se realice.

3.2.4 Ecografías (Ultrasonido)

Las imágenes son obtenidas por la emisión de ondas sonoras de alta frecuencia que chocan contra el cuerpo humano y se crean ecos que se convierten en imágenes en tiempo real. Se utilizan para el estudio de tejidos blandos que no se observan con claridad en una imagen radiológica, son eficaces al momento de distinguir quistes llenos de líquido frente a tumores sólidos por la diferencia del eco que emiten. En las ecografías se utilizan transductores superficiales e intracavitarios dependiendo del estudio que se desee realizar. La preparación del paciente depende del tipo de estudio a realizarse, puede solicitarse estar en ayunas, tomar algún tipo de enema o llenar vejiga en caso de estudios abdominales.

3.2.5 Radiografías

Las radiografías son utilizadas para detectar problemas óseos, las imágenes son obtenidas por la emisión de un haz de Rayos X controlado. Al pasar el haz por los huesos y tejidos, cae sobre una película que impregna la imagen dependiendo de la zona que se irradió, los tejidos que bloquean mayormente la radiación (huesos), se presentan como áreas blancas en un fondo negro y los tejidos blandos que bloquean menos la radiación aparecen en la imagen en tono de grises. La preparación de un paciente para un estudio radiográfico no requiere más que despojarse de todo elemento metálico cercano al área donde se va a irradiar y permanecer inmóvil (GEHC, 2012).

Para realizar las radiografías se utilizan los siguientes elementos:

- **Chasis o armadura**, caja metálica o de plástico que contiene la película radiográfica sensible a los rayos luminosos, pueden ser reveladas por medio de cámaras oscuras realizando un proceso manual, automático o digital (Figura 3.1).



Figura 3. 1 Chasis o armadura. Fuente: San Martín 2011)

El proceso manual consiste en sumergir la película extraída del chasis en una solución reveladora a una temperatura de 20° Celsius durante 5 minutos, luego pasa por un baño de agua y se coloca por 10 minutos en solución fijadora. Finalmente se lleva a un baño de agua fría en circulación. La suma de estos procesos produce que la imagen se impregne en la película y pueda ser llamada radiografía, la desventaja de este proceso es el tiempo de duración extenso (San Martín, 2011)

El proceso automático reduce el tiempo de revelado a 90 segundos, mediante un conjunto de rodillos, bandas transportadoras, sistemas de inyección de soluciones, control de temperatura y secado automático. La principal ventaja de este tipo de revelado es no estar en contacto con las soluciones que se utilizan para el proceso. (San Martín, 2011)

El proceso digital es el más utilizado en la actualidad, el chasis digital ingresa a una máquina digitalizadora que lo abre automáticamente y expone la película a un efector láser que genera a su vez una imagen analógica, la cual es captada por un fotoreceptor que la convierte en una imagen digital que puede ser guardada en un computador para su manipulación o impresión.

- **Bucky de mural o de pared**, es una base de metal sobre un pedestal que regularmente se coloca junto a una pared, consta de tres partes como se puede observar en la Figura 3.2:

Base, pegada a la pared y es la que termina de frenar los Rayos X.

Tablero, de forma cuadrada que es donde se apoya el paciente.

Bandeja o Portachasis, lugar donde se coloca el chasis, está dentro del tablero.

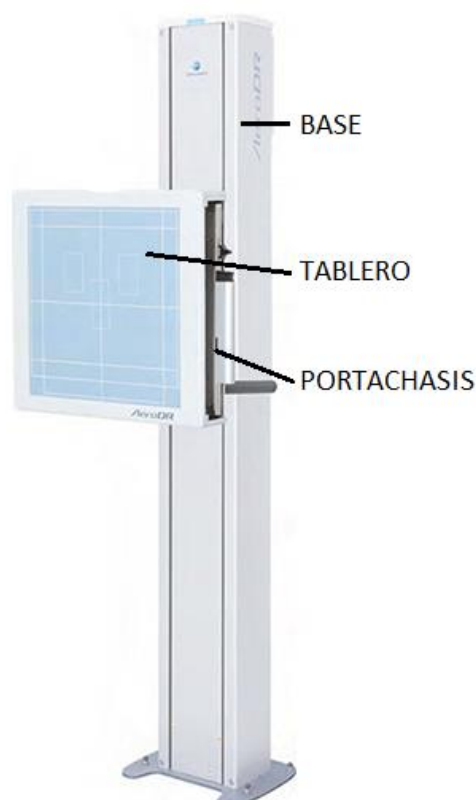


Figura 3. 2 Bucky de Pared. Fuente: GEHC 2014

3.2.5.1 Estudios radiográficos en Centros de Diagnóstico por RX de Cuenca

En este apartado se revisará los tipos de estudios radiológicos más solicitados en cuatro Centros de Diagnóstico por Imágenes de la ciudad de Cuenca, con la finalidad de utilizar el Principio de Pareto y encontrar los estudios más relevantes para su posterior análisis y presentar las alternativas de optimización de los mismos.

El principio de Pareto o regla del 80/20, es aplicable a todos los ámbitos de la vida cotidiana y se ha convertido en una herramienta esencial para generar estrategias de mejora en el ámbito que se aplique. El principio dice que el 20% de una acción producirá el 80% de los efectos, mientras que el 80% restante de acciones producirán el 20% faltante de efectos. Sirve para analizar causas, determinar la importancia de las mismas y con esto tomar acciones de mejora.

En la tabla 3.1 se visualiza el número de exámenes realizados en el lapso de un mes en cada Centro de diagnóstico por imágenes, cabe recalcar que estos números se mantienen constantes salvo los meses de julio y agosto que la demanda baja debido a la temporada de vacaciones. La diferencia en el número y tipo de exámenes entre Centros, es debido a su situación geográfica y a los especialistas que interpretan los mismos.

Tipos de exámenes	Centro	Centro	Centro	Centro	Total
	A	B	C	D	
Columna	32	60	100	80	272
Tórax	245	212	120	144	721

Hombro	40	38	40	12	130
Rodilla	17	54	80	15	166
Cráneo	4	8	15	5	32
Senos Paranasales	18	60	60	5	143
Otros	10	8	20	7	45
Total pacientes diarios	366	440	435	268	1509

Tabla 3. 1 Número de exámenes mensuales por Centro. Fuente: Autor

Para obtener el diagrama de Pareto, es necesario realizar los cálculos de la frecuencia normalizada, siendo esta el porcentaje de cada ítem a evaluar del total, ordenar estos porcentajes y luego obtener la frecuencia acumulada que es la suma consecutiva de las frecuencias de cada factor hasta llegar a 100%. En la tabla 3.2 se puede visualizar el resultado de la frecuencia acumulada de los tipos de exámenes radiológicos antes mencionados.

Tipo de Exámenes	Frecuencia	Frec.	
		Normaliz	Frec. Acumulada
Tórax	721	48%	48%
Columna	272	18%	66%
Rodilla	166	11%	77%
Senos Paranasales	143	9%	86%
Codo	130	9%	95%
Otros	45	3%	98%
Cráneo	32	2%	100%

Tabla 3. 2 Frecuencias Acumuladas. Fuente: Autor

Con los datos obtenidos, se puede observar la figura 3.1 que es equivalente al diagrama de Pareto para este caso.

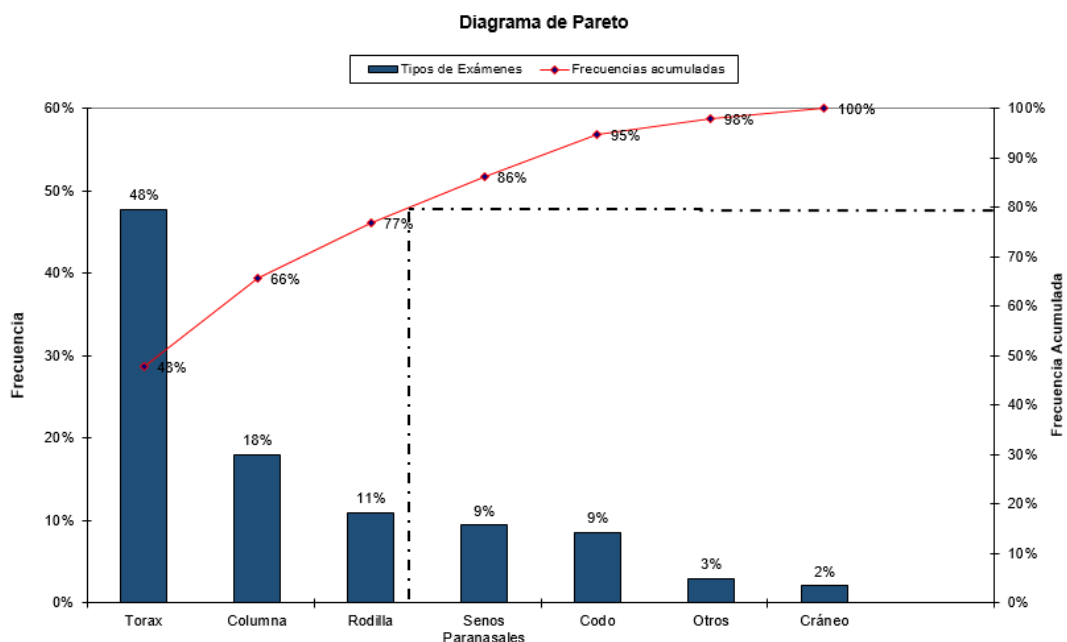


Figura 3. 3 Diagrama de Pareto. Fuente: Autor

Mediante este análisis se puede verificar que los estudios de Tórax, columna y Rodilla son los más relevantes entre los solicitados por los pacientes en el total de los cuatro Centros de Diagnóstico. Aplicando técnicas de PML en estos tres tipos estudios se logrará una notable mejoría en tiempos de demora entre pacientes, optimización del Tubo de Rayos X, menor radiación emitida, entre otras, que se analizará más adelante.

3.2.5.1.1 Estudios Radiológicos de Tórax

Es el tipo de estudio más solicitado, ya que al tomar una imagen del tórax en dos dimensiones, se puede obtener información de pulmones, estructuras óseas, arterias de gran tamaño, corazón y el diafragma. El médico tratante solicita este tipo de estudios si el paciente tiene los siguientes síntomas:

- Tos persistente.
- Dolor torácico por lesión en costillas, problemas pulmonares o cardíacos.
- Dificultad al respirar.
- Fiebre o tuberculosis

En la imagen obtenida se pueden visualizar los huesos en color blanco, los órganos en escala de grises y en los lugares donde exista aire color negro.

El nivel de penetración que se aplique sobre la superficie de una placa por medio de la técnica utilizada por el operador del equipo es muy importante, ya que si se usa de manera excesiva la imagen presentará bifurcaciones, por el contrario, si se utiliza una técnica muy baja, la imagen será muy blanca o blanda lo que origina que se pierda información valiosa para el diagnóstico (BERQUIST, 2004).

Existen varios tipos de radiografía de tórax, entre los destacados se puede mencionar:

- **Tórax AP**, antero posterior utilizado en pacientes que no pueden mantenerse de pie o en niños pequeños, se consigue una imagen frontal del tórax, con el corazón en el medio y los pulmones a cada lado (Figura 3.2 (A)).
- **Tórax PA**, posterior anterior, los rayos ingresan por la espalda y regresan por el frontal. Se realiza con el paciente de pie con su parte anterior en contacto con el Bucky de pared (Figura 3.2 (B)).
- **Lateral**, los rayos X atraviesan de forma lateral al tórax. En este tipo de exámenes se puede visualizar mejor el corazón que en la posición PA. El paciente debe estar de pie con el lado izquierdo apoyado en el Bucky (Figura 3.2 (C)).
- **Espirada**, en este tipo de exámenes a diferencia de los otros, el paciente debe eliminar todo el aire de los pulmones para poder tomar la placa.

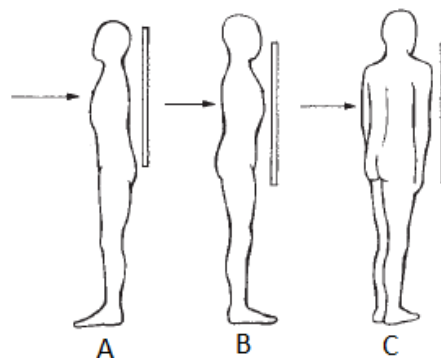


Figura 3. 4 Tipos de exámenes de tórax. Fuente: Felson. Principios de Radiografía Torácica Lawrence, 2009

3.2.5.1.2 Estudios Radiológicos de Columna

Este tipo de estudios se realizan para diagnosticar las causas de los dolores de espalda y cuello, detectar fisuras o fracturas en huesos, artritis, vértebras desviadas, curvatura de columna, anomalías congénitas, tumores, etc. Los tipos de exámenes radiológicos de columna más comunes son:

- **Columna Cervical AP**, se utiliza para observar de la tercera a la séptima vértebra cervical, apófisis, espacios discales y base del cráneo. Para este tipo de estudios es necesario las placas de tamaño 18x24 cm o 24x30 cm, se realiza de pie o recostado en caso de que el paciente no pueda hacerlo (Fenton JJ, 2007).
- **Columna Cervical Lateral**, se utiliza el mismo tamaño de película que los estudios anteriores, con la diferencia que en este estudio se debe visualizar desde la primera a la séptima vértebra cervical, apófisis espinosa, espacio discal intervertebral, etc. El estudio se realiza de pie con el hombro en contacto con el Bucky.
- **Columna dorsal AP**, en este estudio se deben observar todas las vértebras dorsales, regularmente se extiende la imagen hasta la última vértebra cervical o a la segunda lumbar. El tamaño de chasis utilizado es regularmente de 35x43 cm por el área a abarcar.

- **Columna dorsal Lateral**, en este tipo de exámenes se pueden visualizar agujeros y espacios intervertebrales, posterior de costillas, vertebrales dorsales y segunda lumbar (Fenton JJ, 2007).
- **Columna Lumbar AP**, se utiliza chasis de 35x43 cm, se realiza regularmente acostado sobre la camilla, el paciente no debe respirar durante el estudio.
- **Columna Lumbar Lateral**, de la misma manera, se utiliza chasis de 35x43 cm, el paciente debe estar acostado de forma lateral.

En la Figura 3.5 se puede visualizar la clasificación de las vértebras de la columna vertebral:

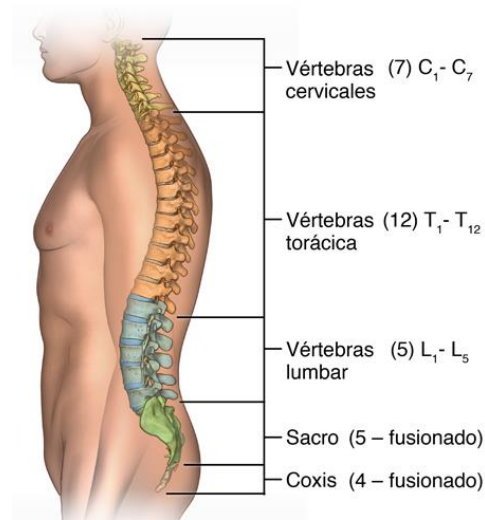


Figura 3. 5 Vértebras de la Columna Vertebral. Fuente: <http://healthcare.utah.edu>

3.2.5.1.3 Estudios Radiológicos de Rodilla

Los estudios radiológicos de rodilla sirven para evaluar el ancho de las articulaciones, lesiones o fracturas, enfermedades articulares degenerativas, etc. (Hricak, 2005). Los tipos de radiografías de rodilla más usados en el medio son:

- **Rodilla AP**, pueden ser tomadas con o sin Bucky, se utiliza una técnica máxima de 65kv a una distancia mínima de 100 cm. El paciente debe estar acostado y direccionar los pies ligeramente hacia adentro.
- **Rodilla lateral**, se utiliza para ver las articulaciones de la rodilla, base y vértice de la rótula y superficie de la tibia.

3.2.6 Técnicas de PML en estudios Radiográficos

Una vez analizado los tipos de estudios más comunes en los Centros de Diagnóstico por Imágenes, en el presente apartado se proponen técnicas de PML para la optimización de los mismos. Estas técnicas se colocarán en una aplicación móvil que abarcará todos los temas tratados en este documento y será explicada más adelante. El objetivo de elaborar estos procesos dedicados al paciente es optimizar los puntos señalados a continuación:

- El paciente al conocer los procesos a los que va a ser sometido, tiene menos ansiedad lo que origina que la colaboración con el técnico radiólogo que opera el equipo sea más óptima.

- Se reduce a su máxima expresión la repetición de exámenes, con lo cual la radiación emitida hacia el paciente y la radiación secundaria disminuye.
- Se optimiza el tiempo de vida útil del Tubo de Rayos X disparando solo lo necesario, esto hace que el consumo de energía eléctrica también se reduzca.
- Los receptores de imagen digitales (chasis) tendrán un rendimiento máximo, ya que su tiempo de vida útil se mide por el número de disparos recibidos, al disminuir a una exposición por paciente en el mejor de los casos, se duplicaría su tiempo de servicio.
- Si el revelado es por medio de un cuarto oscuro, la disminución de repeticiones optimizará el uso de placas radiográficas y soluciones utilizadas para su revelado, bajando los costos operativos en el Centro aplicado.
- El tiempo de espera entre exámenes será menor y debido a esto se podrá elevar el número de pacientes atendidos aumentando los ingresos del Centro de Diagnóstico.

En la Tabla 3.3 se presenta las técnicas para la realización de estudios radiográficos de tórax que el paciente debe conocer previas a un estudio, siendo estas sugerencias sencillas para que sean fáciles de llevar a cabo y con esto la colaboración del mismo sea óptima y no se tenga que repetir el estudio.

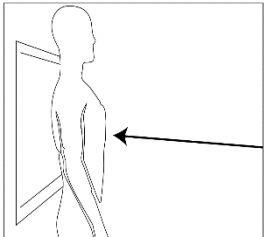
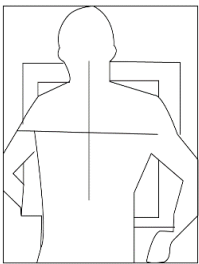
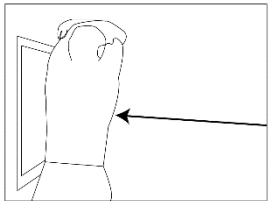
TIPO DE EXAMEN	ILUSTRACIÓN	TÉCNICAS	BENEFICIOS
TÓRAX AP		Espalda pegada al Bucky de Pared Mentón elevado Hombros hacia adelante Tomar aire y no soltarlo hasta que indique el operador	Menor N° de repeticiones Menor radiación Menor gasto de Tubo de Rayos X Menor gasto de chasis
TÓRAX PA		Torso reposado en el bucky de pared Mentón elevado Hombros hacia adelante Codos flexionados y parte posterior de las manos en la cintura Colocar las manos detrás del bucky Tomar aire y no soltarlo hasta que indique el operador	Mejora la visión de los pulmones y evita repeticiones innecesarias Evita movimientos involuntarios y por ende repeticiones
TÓRAX LATERAL		Apoyar el lado izquierdo sobre el Bucky Codos flexionados Antebrazos sobre la cabeza	No se magnifica el corazón y evita repeticiones Evita movimientos involuntarios

Tabla 3. 3 Técnicas PML en exámenes de Columna. Fuente: Autor. Ilustraciones Maldonado 2015

La tabla 3.4 presenta las técnicas de PML sugeridas para la optimización en la realización de exámenes radiológicos de columna de una manera sencilla para el lector:

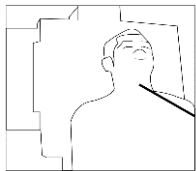
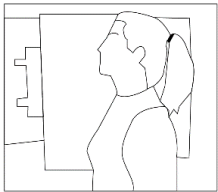
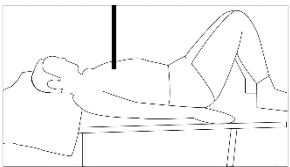
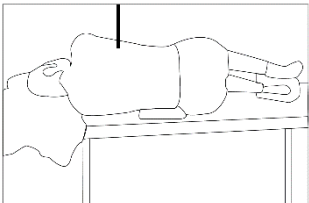
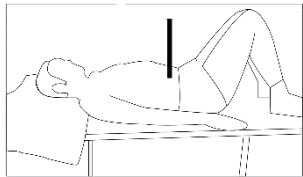
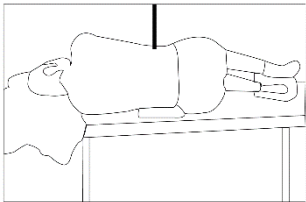
EXM	ILUSTRACIÓN	TÉCNICAS	BENEFICIOS
Columna Cervical AP		Hombros sueltos Barbilla levantada Mantenerse de pie sin moverse No respirar hasta que el operador lo diga	Mejor imagen Sin interrupciones Evita repeticiones por movimiento Evita repeticiones por aspiración
Columna Cervical Lateral		Hombro apegado al bucky Hombros sueltos Barbilla ligeramente elevada Soltar el aire lentamente y al final contener	Mejora la imagen y evita repeticiones Se asegura la toma de imagen ideal en estos casos, sin aire en pulmones
Columna Dorsal AP		Acostarse con la espalda apegada a la mesa Hombros apegados a la mesa Piernas flexionadas No respirar hasta que se realice el disparo	Mejora la imagen y evita repeticiones Evita cansancio y movimiento Evita repeticiones por aspiración
Columna Dorsal Lateral		Acostarse en la camilla apoyado de lado izquierdo Piernas flexionadas Codos por delante del cuerpo flexionados a 90° Apoyo de almohadilla en la cabeza Soporte en la parte lumbar y la mesa Soporte en rodillas y tobillos	Disminuye silueta cardíaca Evita movimiento Mejora comodidad del paciente durante el examen
Columna Lumbar AP		Apoyar totalmente la espalda a la mesa Hombros apegados a la mesa Piernas flexionadas No respirar hasta que se realice el disparo	Mejora adquisición de la imagen y evita repeticiones innecesarias Evita cansancio y movimiento
Columna Lumbar Lateral		Acostarse en la camilla apoyado de lado izquierdo Piernas flexionadas Codos por delante del cuerpo flexionados a 90° Apoyo de almohadilla en la cabeza Soporte en la parte lumbar y la mesa Soporte en rodillas y tobillos	Disminuye silueta cardíaca Evita movimiento Mejora comodidad del paciente durante el examen

Tabla 3. 4 Técnicas de PML para exámenes de columna. Fuente: Autor Ilustraciones Maldonado 2015

Las técnicas de PML para la optimización de los estudios radiográficos de rodilla se pueden visualizar en la tabla 3.5.

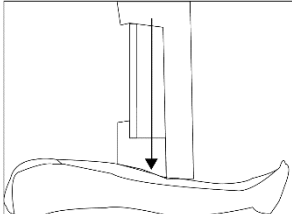
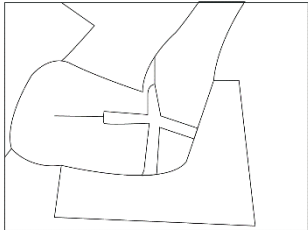
TIPO DE EXAMEN	ILUSTRACIÓN	TÉCNICAS	BENEFICIOS
Rodilla AP		Acostarse en la camilla de exploración con el cuerpo relajado Rotar un poco el pie que se va a examinar hacia adentro No moverse durante el proceso de exploración	Mejor imagen de las partes diagnosticables en la rodilla Evita repeticiones por movimiento
Rodilla Lateral		Acostarse en la camilla de exploración del lado de la rodilla a ser revisada Rodilla apegada totalmente en la camilla y flexionada a 45° La otra rodilla colocarla hacia el lado de la otra con el pie apoyado en la camilla No moverse durante el proceso de exploración	Mejora adquisición de la imagen y evita repeticiones innecesarias

Tabla 3. 5 Técnicas de PML para exámenes de Rodilla. Fuente: Autor Ilustraciones Maldonado 2015

Además de las técnicas sugeridas para los exámenes específicos antes mencionados, es importante tomar en cuenta las siguientes sugerencias generales al momento de ingresar a la toma de una imagen radiológica presentadas en la tabla 3.6.

Recomendaciones Generales	Beneficio
Despojarse de todo objeto metálico del cuerpo y bolsillos	Disminuye el tiempo de examen
Dieta ligera horas antes del examen	en cada paciente
Estar relajado y presto a colaborar	Elimina repeticiones
Mantener una respiración normal y constante	innecesarias

Tabla 3. 6 Recomendaciones Generales para Exámenes Radiológicos

CAPITULO 4

APLICACIÓN MÓVIL PARA VALIDAR TÉCNICAS DE PML EN EQUIPOS DE DIAGNÓSTICO POR IMAGEN

4.1 Introducción

Los aparatos móviles de alta tecnología como las tabletas o teléfonos móviles de alta gama, se han convertido en una herramienta esencial en todos los ámbitos laborales y de la vida diaria, ya que el sinnúmero de aplicaciones y utilidades que se pueden instalar en estos equipos simplifican de una manera extraordinaria las tareas que normalmente se podían hacer exclusivamente desde un ordenador de escritorio o una portátil.

Desde hace ya casi una década, los grandes fabricantes de equipos móviles se han centrado en mejorar continuamente su sistema operativo con la finalidad de brindar más comodidad al usuario al momento de interactuar con el equipo, además de convertirlos en herramientas de respuesta rápida a las exigencias del mundo actual.

Existen varios sistemas operativos en el mercado los cuales se diferencian básicamente en las utilidades que pueden brindar cada uno. Los sistemas cerrados son los que no permiten realizar cambios en su configuración original o código base sin autorización del desarrollador del software, mientras que los sistemas abiertos dan oportunidad a que desarrolladores externos puedan realizar cambios y mejoras en el mismo.

En el presente capítulo, se detalla las funcionalidades desarrolladas en una aplicación móvil capaz de validar las técnicas de producción más limpia en Seguridad Radiológica, Seguridad Eléctrica y en Gestión de Pacientes aplicado a Centros de Diagnóstico por Imagen que se detallaron en los capítulos anteriores.

La ventaja principal de contar con una aplicación móvil de estas características, es la facilidad de acceso a la información necesaria para supervisar instalaciones nuevas o ya en uso de equipos que trabajan con radiaciones ionizantes, brindando al propietario del mismo resultados inmediatos del estado de sus instalaciones y las recomendaciones necesarias para mejorarla y cumplir con las normas establecidas por los organismos de control existentes.

Al contar con la información detallada desde su equipo móvil, el personal técnico encargado de la revisión del sitio optimizará su tiempo de respuesta y de entrega de resultados finales.

4.2 Tipos de sistema operativo para equipos móviles

Entre los principales sistemas operativos para equipos móviles se pueden mencionar los siguientes (AMATE, 2014):

- **iOS**, es un sistema operativo cerrado, ya que no se permite acceder al código principal y solo se pueden realizar los cambios existentes en el menú de ajustes, es decir, no existe la posibilidad de utilizar la base de un iOS para realizar un entorno propio para un determinado teléfono. La ventaja de este tipo de sistema operativo es su estabilidad y seguridad. Los equipos que lo utilizan son los iPhone exclusivamente ya que Apple no vende su licencia a terceros.
- **Windows Phone**, desarrollado por Microsoft y basado en el núcleo Windows Embedded CE 6.0, presenta como ventaja principal el menú de inicio totalmente

personalizable. Actualmente tiene aceptación del 2,5% a nivel mundial y su principal desventaja es el menor número de aplicaciones existentes frente a otros sistemas operativos, la versión Windows Phone 8 desaparecerá por completo para ser reemplazada por Windows 10 Mobile disponible para todo tipo de plataformas.

- **Firefox OS**, basado en HTML5 con núcleo Linux, es un código abierto bajo los estándares HTML5, CSS3 y JavaScript. Su característica principal está en las aplicaciones que corren vía web y necesitan internet para acceder a las mismas.
- **Blackberry 10**, sistema operativo casi por desaparecer, es un sistema operativo cerrado y cuenta con un interfaz fluido y un teclado inteligente y más depurado que los SO antes mencionados.
- **Ubuntu Touch**, es un sistema basado en Linux bajo la firma de Ubuntu, la ventaja principal es que utiliza la misma tecnología de las versiones de escritorio, mejorando el tema de compatibilidad en sus aplicaciones.
- **Tizen**, es basado en Linux y es aplicado especialmente en relojes inteligentes bajo la licencia de Samsung.
- **WebOS**, sistema operativo utilizado en televisores inteligentes de la marca LG.
- **Android**, basado en el núcleo Linux y su versión básica es conocida como Android Open Source Project (AOSP), es abierto y disponible para cualquier dispositivo móvil. La mayoría de sus aplicaciones se desarrollan bajo la plataforma JavaScript. Incluye un emulador de dispositivos, herramientas de depuración de memoria y análisis de rendimiento de software.

Por ser Android el sistema operativo con una cuota en el mercado cercana al 85% a nivel mundial, poseer herramientas de desarrollo de abiertas, la aplicación móvil para validar los temas mencionados en capítulos anteriores se desarrollará bajo esta plataforma.

4.3 Herramienta de desarrollo integrado Android.

La herramienta oficial de desarrollo integrado es actualmente Android Studio (Figura 4.1), basado en el software IntelliJ IDEA de JetBrains y se puede obtener en la web de forma gratuita bajo la licencia Apache 2.0 el cual es compatible con plataformas Microsoft Windows, Mac OS X y GNU/Linux.

Las características principales de Android Studio son:

- Compatible para programar aplicaciones para dispositivos corporales tales como relojes o pulseras inteligentes.
- Herramienta Lint, para detectar problemas de rendimiento y compatibilidad de versiones.
- Cuenta con ProGuard que optimiza el código de la aplicación para poder ser usada en dispositivos de gama baja.
- Integra la herramienta Gradle que gestiona y automatiza la construcción de proyectos de una manera rápida y efectiva.
- Permite compilar proyectos desarrollados en el entorno Eclipse, desarrollador antiguamente utilizado para programación.

- Alertas en tiempo real de errores de sintaxis y de código antes de compilar.
- Vista previa de diferentes dispositivos y resoluciones.

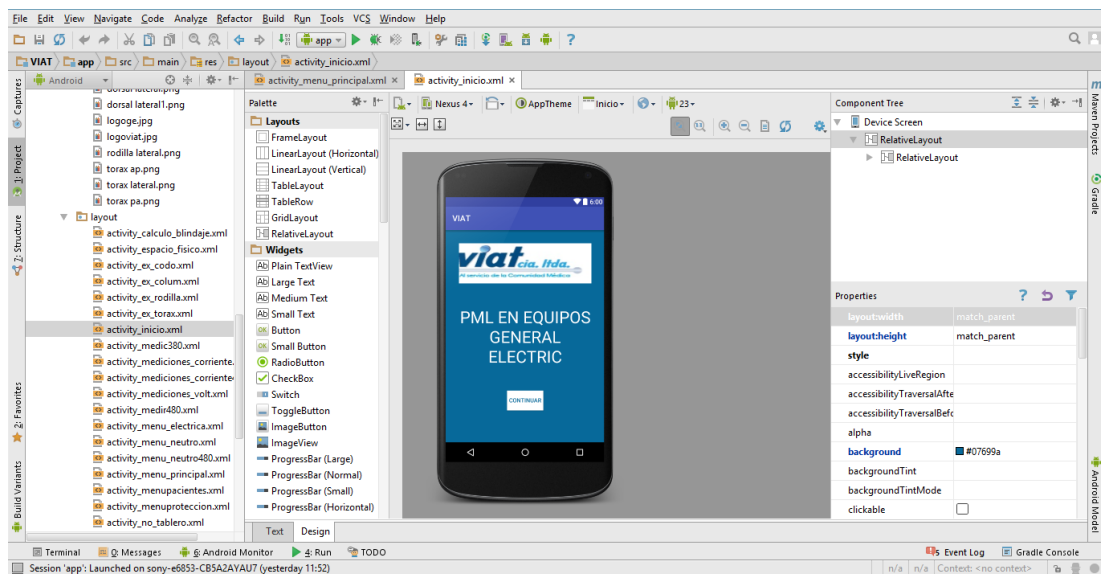


Figura 4. 1 Entorno Android Studio. Fuente: Autor

4.4 Desarrollo de la aplicación

En esta aplicación se podrá encontrar toda la información compactada de los capítulos desarrollados a lo largo de este documento, brindando facilidades visuales al usuario para poder navegar en ella sin tener problemas en su utilización.

Luego de la pantalla de inicio de la aplicación en donde se visualiza el logo de la compañía autorizada por fábrica a realizar auditorías o supervisiones de sitios en donde están instalados equipos de diagnóstico por imágenes de la marca GENERAL ELECTRIC (Figura 4.2 (A)), se presenta el menú en el cual se podrá elegir el campo a revisar cómo se puede observar en la figura 4.2 (B).



Figura 4. 2 Pantalla de Inicio y Menú Principal. Fuente: Autor

En el siguiente diagrama de bloques, se presenta de forma sintetizada la información de la lógica de programación de la aplicación (Figura 4.3).

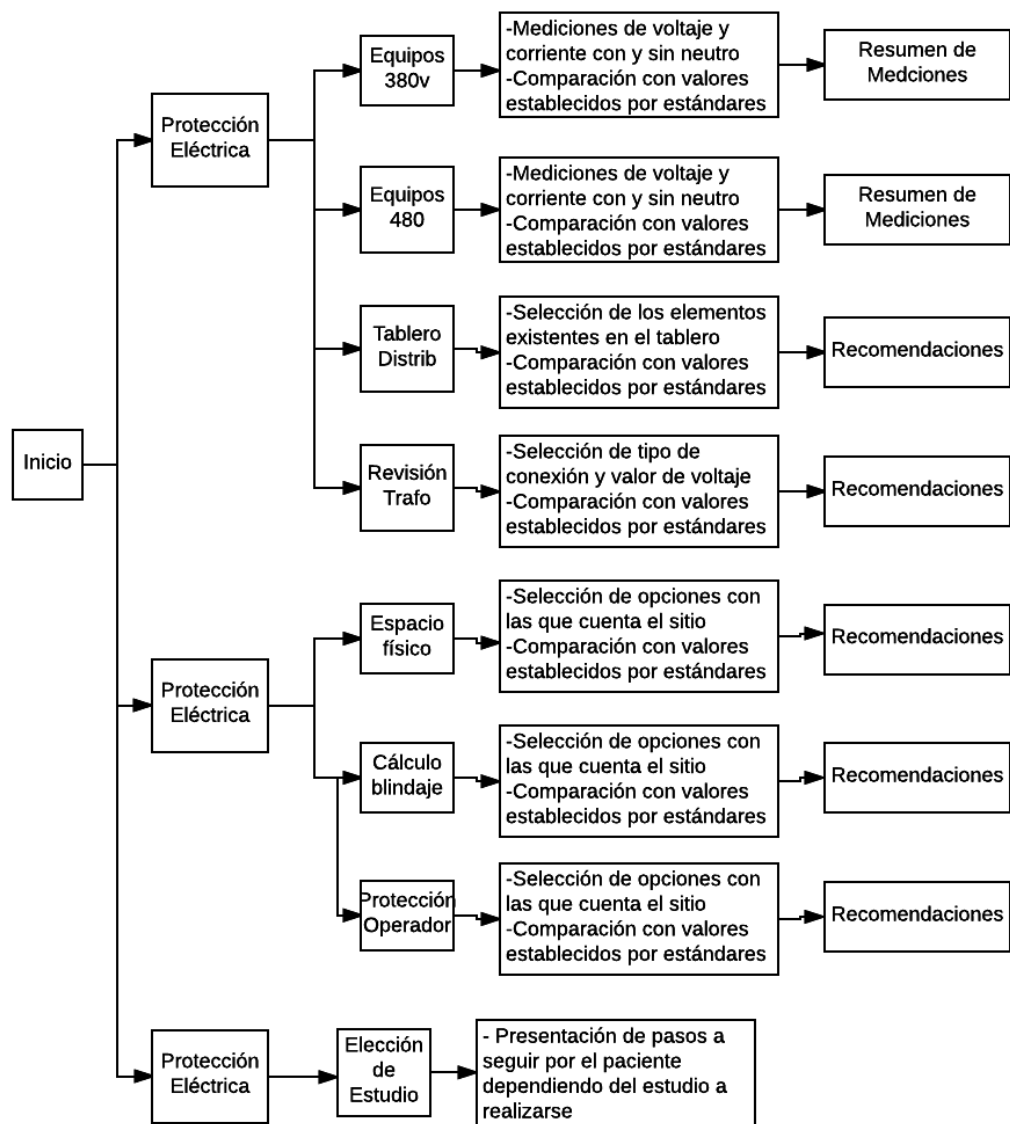


Figura 4. 3 Diagrama de Bloques sintetizada de la aplicación. Fuente: Autor

4.4.1 Auditoría de Protección Radiológica

En esta sección se visualiza el menú con las opciones que pueden ser supervisadas en el campo de la protección radiológica (Figura 4.4).



Figura 4. 4 Menú Protección Radiológica. Fuente: Autor

4.4.1.1 Protección espacio físico

Al seleccionar esta opción, el usuario o técnico detrás de la aplicación podrá elegir de manera táctil en la pantalla del dispositivo móvil las opciones que se pueden visualizar en la figura 4.5 a continuación:

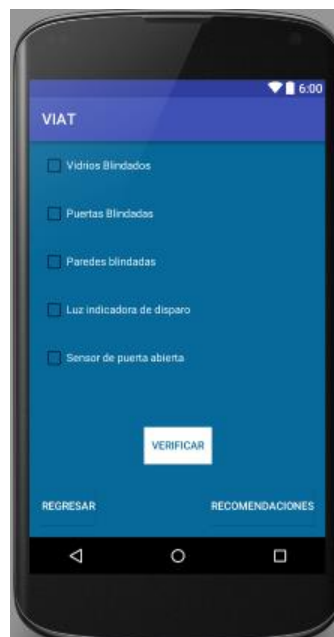


Figura 4. 5 Menú Espacio Físico. Fuente: Autor

Una vez seleccionadas las opciones con las que cuenta el sitio revisado, se procede a seleccionar el botón VERIFICAR, el cual presenta un cuadro de diálogo por 10 segundos reafirmando lo elegido y notificando las partes carentes en el sitio (Figura 4.6(A)). Al presionar el botón RECOMENDACIONES, se presenta en pantalla las sugerencias necesarias para que el sitio cuente con la protección óptima requerida señaladas en la tabla 1.16 del Capítulo uno como se muestra en la Figura 4.6 (B).

Figura 4. 6 Evaluación Espacio Físico. Fuente: Autor

4.4.1.2 Cálculo de Blindaje

En esta sección de la aplicación, se lleva a cabo todos los cálculos para encontrar el coeficiente de Transmisión necesario para obtener el equivalente de plomo equivalente para que el sitio cuente con la protección radiológica óptima. Los elementos necesarios para el cálculo se pueden encontrar en el Capítulo 1 apartado 1.5.3.5 del presente documento.

En la figura 4.7(A) se puede visualizar los campos que se requieren llenar para realizar el cálculo del coeficiente de Transmisión y tomando los valores del pasillo del hospital del ejemplo antes mencionado la figura 4.7 (B) presenta los datos obtenidos coincidiendo con los realizados en la tabla 1.11 de la página 28 del presente documento.

Figura 4. 7 Cálculo de Blindaje Radiológico. Fuente: Autor

4.4.1.3 Protección operadores y Pacientes

En esta opción se puede verificar los elementos con los que el sitio cuenta con respecto a protección radiológica tanto para operadores como para los pacientes que se realizan los estudios (Figura 4.8 (A)).

Luego de elegir los elementos existentes y presionar el botón VERIFICAR, durante 10 segundos aparece un cuadro de diálogo informando las opciones escogidas y los elementos que no se registran como existentes y presenta un porcentaje de protección del sitio. Finalmente, al presionar el botón de RECOMENDACIONES, la aplicación presenta en pantalla las sugerencias de PML señaladas en la tabla 1.17 del capítulo uno del presente documento (Figura 4.8 (B)).

VIAT (A)	VIAT (B)
☒ chaleco Plomado ☒ Collarín para tiroides ☐ Lentes Plomados ☒ Guantes plomados ☐ Cinturón para Gónadas Torso y espalda protegidos Cuello protegido Cristalino de ojos no protegido Piel de las manos protegida Sin protección para gónadas REGRESAR RECOMENDACIONES	RECOMENDACIONES Los lentes que se deben adquirir deben tener protección frontal y lateral con un equivalente en plomo de 0,5mm o 1 mm, con cinta para la cabeza. Para protección de gónadas se sugiere tener un cinturón o delantal de material multicapa de caucho plomado con protección equivalente de plomo de 0,5mm de medidas 37cmx40cm. REGRESAR

Figura 4. 8 Protección operadores y Pacientes. Fuente: Autor

4.4.2 Auditoría en suministro eléctrico

Esta opción se puede elegir desde el menú principal mostrado en la figura 4.2 (B) anteriormente. Para verificar que el suministro eléctrico y las protecciones en la red son las correctas y cumplen las especificaciones de fábrica, se analiza las subsecciones que se pueden observar en la Figura 4.9.



Figura 4. 9 Auditoría de Suministro Eléctrico. Fuente: Autor

4.4.2.1 Tablero de distribución

En esta opción se presentan dos alternativas que pueden suceder al momento de instalación de un equipo de Rayos X (Figura 4.9 (A)), contar con un tablero de distribución entregado por fábrica o un tablero pre instalado por el cliente, esto básicamente depende de la configuración de compra del mismo. En caso de que el equipo haya sido instalado con un tablero GE, la aplicación presenta las sugerencias básicas ya que el equipo se encuentra protegido (Figura 4.10 (B)).



Figura 4. 10 Tablero de Distribución GE. Fuente: Autor

Al seleccionar la opción en la que se indica que el tablero no es GE (Figura 4.10 (A)), se puede elegir los elementos con los que cuenta el tablero instalado y al presionar el botón VERIFICAR, la aplicación presenta un cuadro de diálogo con las opciones señaladas y el porcentaje de protección del tablero además de las sugerencias necesarias para mejorar la protección a nivel tablero (Figura 4.11).

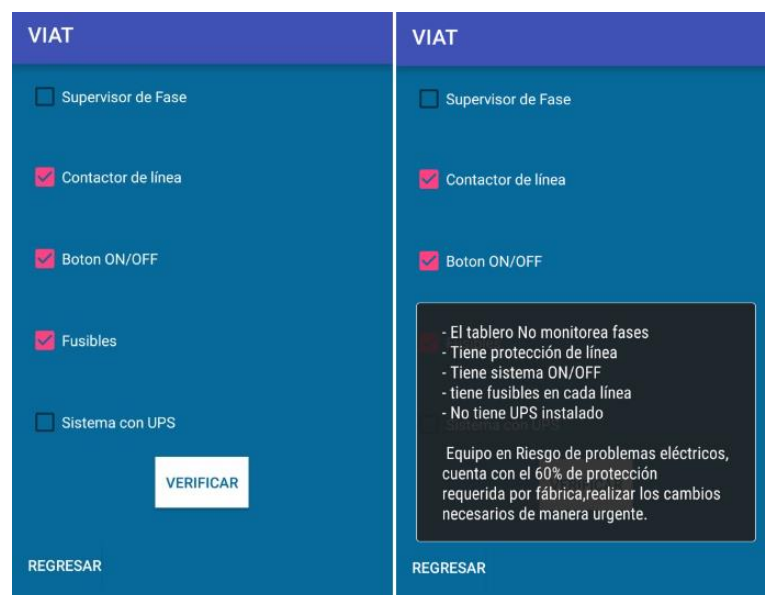


Figura 4. 11 Revisión de Tablero de Distribución. Fuente: Autor

4.4.2.2 Mediciones en el equipo

En esta sección la aplicación realiza comparaciones con los datos ingresados en voltaje y corriente entre las distintas fases con el fin de verificar si se encuentran dentro del rango que especifica fábrica para un correcto funcionamiento. En la figura 4.12 (A) se puede visualizar el submenú en el cual se puede elegir el voltaje con el que está alimentado el equipo y en la Figura 4.12 (B) el menú que se es desplegado para ingresar los valores de voltaje entre líneas y con respecto a tierra.



Figura 4. 12 Mediciones en el equipo. Fuente: Autor

Al ingresar los datos respectivos dependiendo del voltaje que se haya elegido anteriormente, la aplicación verifica que el valor registrado entre líneas tenga una tolerancia de $\pm 10\%$ y que el balance entre cada una se encuentre en el margen del $\pm 2\%$.

El voltaje correcto entre cada fase y tierra debe tener una tolerancia de $\pm 10\%$ del voltaje de fase que en un sistema trifásico es igual a la división del voltaje de línea sobre la $\sqrt{3}$.

Al presionar el botón COMPARAR, se puede visualizar por medio de leyendas de colores si los voltajes están en los rangos permitidos. Durante 10 segundos se visualiza el estado de balance entre fases y en caso de existir un problema de voltaje en alguna de ellas, la aplicación presenta una leyenda de aviso y no realiza la prueba de balance.

En la figura 4.13 se puede visualizar un ejemplo extremo de las diferentes leyendas que se pueden presentar en el análisis así como también el cuadro de diálogo entre fases.

VIAT	VIAT
Ingrese los valores de voltaje de alimentación	Ingrese los valores de voltaje de alimentación
430.5 Sobre voltaje	410.5 Normal
377.2 Normal	382.2 Normal
320 Bajo voltaje	377.3 Normal
220 Normal	220 Normal
250 Sobre voltaje	220 Normal
110 Bajo voltaje	220 Normal
COMPARAR	COMPARAR
REGRESAR SIGUIENTE	REGRESAR SIGUIENTE

Figura 4. 13 Ejemplo de Verificación de datos obtenidos. Fuente: Autor

Entre los requerimientos eléctricos que fábrica solicita para un funcionamiento óptimo de los equipos GENERAL ELECTRIC, es contar con una alimentación trifásica sin neutro (Ver sección 2.3.10), debido a que la Unidad de Distribución de Poder (PDU) incluido en los equipos, genera su propio neutro para tener una referencia más estable. Sin embargo, en algunas ocasiones el sitio cuenta con una instalación con neutro incluido, por lo que es importante también verificar estos voltajes.

La aplicación cuenta con la opción de verificar los voltajes con neutro incluido o pasar a las siguientes mediciones. En este caso, se mantiene la tolerancia de $\pm 10\%$ de variación y en el caso del voltaje entre tierra y neutro un valor máximo de 1500 mv. En la figura 4.14 se puede observar la opción de verificar voltajes con neutro incluido y el submenú desplegado en caso de tenerlo

The image shows two smartphone screens displaying the VIAT application. The left screen asks '¿El sistema de alimentación cuenta con línea de Neutro?' (Does the power system have a neutral line?) with 'SI' (Yes) and 'NO' (No) buttons. The right screen shows the input fields for 'Ingrese los valores entre voltaje y neutro del sistema' (Enter the values between voltage and neutral of the system) with fields for 'Voltaje RN', 'Voltaje SN', 'Voltaje TN', and 'Voltaje NG' (all in V) and 'Voltaje NG' (in mV). It includes a 'COMPARAR' button and 'REGRESAR' and 'SIGUIENTE' navigation options.

Figura 4. 14 Verificación de voltajes entre fases y neutro. Fuente: Autor

La aplicación tiene programadas las verificaciones tanto para 380 voltios como para 480 voltios que son los estándares más usados en el medio al momento de alimentar un equipo de Rayos X.

El último punto de verificación en el suministro eléctrico, son las corrientes de cada fase y la corriente existente en la línea de tierra cuando el equipo está encendido y apagado. Este tipo de revisión se realiza para conocer si la corriente es excesiva en alguna de las fases, ya que esto puede producir mal funcionamiento en el PDU y a su vez afectar tarjetas electrónicas internas en el sistema, de igual forma, al verificar la corriente existente en la línea de tierra, se puede comprobar corrientes parásitas en el sistema que pueden ocasionar paros intermitentes en el equipo o artefactos en las imágenes.

En la Figura 4.15 (A) se visualiza el submenú de verificación de corrientes en fase y con el equipo encendido y apagado, los requerimientos de fábrica establecen que la corriente entre fases en condiciones óptimas deben ser mayor o igual a 5 Amperios y en la línea de tierra deben estar en el rango de 20mA a 300mA. Al presionar el botón COMPARAR, la aplicación realiza los cálculos respectivos y presenta por medio de leyendas de colores el status de cada línea Figura 4.15 (B).

VIAT

Ingrese los valores de corriente en cada fase del sistema

Corriente	Unidad	Valor	Status
Corriente RS	A	7	normal
Corriente ST	A	5	Normal
Corriente RT	A	3	Error en RT

Ingrese los valores de corriente en Tierra

Equipo	Unidad	Valor	Status
Equipo ON	mA	190	Normal
Equipo OFF	mA	20	Normal

COMPARAR

REGRESAR SIGUIENTE

Figura 4. 15 Mediciones de corriente. Fuente: Autor

Una vez realizado todo el proceso de verificación de voltajes y corrientes del suministro de energía aplicado a un equipo de Rayos X, la aplicación presenta dos pantallas a modo de resumen de los resultados tanto para voltaje como para corriente. Con estos resultados, el auditor o técnico a cargo de la revisión de la seguridad eléctrica en el sitio, puede notificar problemas existentes en la entrada de alimentación del MDP y que fases requieren ser revisadas por personal de mantenimiento, evitando posibles problemas en el equipo o fallos en su funcionamiento al momento de realizar estudios (Figura 4.16).



Figura 4. 16 Ventanas de Resumen de Mediciones. Fuente: Autor

4.4.2.3 Revisión de Transformador

La verificación del transformador principal consiste en comprobar si cuenta con la suficiente potencia para que el equipo funcione, así como también el tipo de conexión de los devanados del transformador, ya que es requisito para los equipos de Rayos X GENERAL ELECTRIC contar con una conexión Delta – Estrella para su correcto funcionamiento.

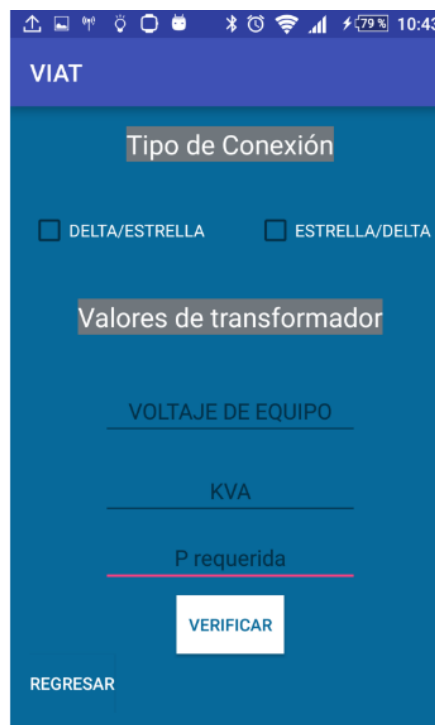


Figura 4. 17 Revisión del Transformador. Fuente: Autor

En esta sección de la aplicación, se puede elegir el tipo de conexión de los devanados del transformador, presentando un aviso de alerta en caso de con señalar ninguna de las dos establecidas (Figura 4.17). Los datos que se deben ingresar en esta ventana son el voltaje con el que está alimentado el equipo, la potencia en KVA libres en el transformador principal

y la potencia requerida por el equipo que depende del generador que el cliente solicite (Figura 4.18 (A)). Los generadores existentes para los equipos de Rayos X son de 60KVA y 75KVA, la aplicación verifica si el dato ingresado es uno de estos o caso contrario presenta un cuadro indicando que la potencia ingresada es incorrecta.

El dato de potencia del transformador debe ser 50% más que el valor solicitado por el equipo, ya que en muchos casos los transformadores no son exclusivos y son utilizados para conexiones adicionales que disminuyen la potencia total del transformador. Si el transformador tiene un exceso entre el 10 y 50%, la aplicación presenta un aviso de que el equipo puede ser afectado debido a que el transformador principal trabaja a su límite de capacidad (Figura 4.18 (B)).

The figure consists of two side-by-side screenshots of a mobile application interface, both labeled 'VIAT' at the top. The status bar at the top of each screen shows various icons and the time '10:48'.

Screenshot (A): The screen is titled '(A)'. It has a blue background. At the top, there's a section 'Tipo de Conexión' with two radio buttons: 'DELTA/ESTRELLA' (selected) and 'ESTRELLA/DELTA'. Below this is a section 'Valores de transformador' with three input fields containing the numbers '480', '130', and '60'. At the bottom, there is a white button labeled 'VERIFICAR' and a 'REGRESAR' link at the very bottom.

Screenshot (B): The screen is titled '(B)'. It has the same layout as (A), but the 'Valores de transformador' section is partially obscured by a dark grey message box. The message box contains the text: 'Su conexión es correcta' followed by 'Transformador cumple con capacidad necesaria para el funcionamiento correcto del equipo.' Below the message box is a 'VERIFICAR' button, and the 'REGRESAR' link is still visible at the bottom.

Figura 4. 18 Verificación de datos de transformador. Autor: Autor

4.4.3 Gestión Pacientes

Esta sección está dedicada a visualizar los procedimientos que los pacientes deben realizar al momento de someterse a un estudio radiográfico. Como se estableció por medio del Principio de Pareto en el apartado 3.5.2.1 del Capítulo 3 del presente documento, los estudios más relevantes a nivel de la Ciudad de Cuenca son principalmente los de tórax, columna y rodilla.

La aplicación presenta según la opción seleccionada, una imagen y los procesos que el paciente debe realizar para cooperar de mejor manera con el técnico radiólogo y evitar exposiciones innecesarias.

Las técnicas y gráficos colocados en esta sección se establecieron en el apartado 3.2.6 del Capítulo 3 del presente documento. Esta opción de la aplicación puede ser entregada al paciente por medio de una tableta electrónica antes de someterse a un examen o en el mejor de los casos al momento de reservar la cita, con el fin instruir de una manera sencilla al mismo y que tenga conocimientos previos claros del proceso al que va a ser sometido.

La Figura 4.19 presenta los tipos de exámenes radiográficos a los que el paciente puede acceder antes de realizarse un estudio.



Figura 4. 19 Menú Exámenes Radiológicos. Fuente: Autor

En la Figura 4.20 se puede observar 2 ejemplos de los estudios radiográficos del menú anteriormente señalado.



Figura 4. 20 Ejemplos de Estudios Radiográficos. Fuente: Autor

4.4.4 Ejemplo de uso completo de la aplicación

Para complementar la explicación anteriormente detallada, se utilizará el ejemplo tomado en el capítulo 1 apartado 1.5.3.5, equipo de Rayos X estacionario modelo XR6000 el cual pertenece a un Centro Radiológico de la ciudad de Cuenca con varios años al servicio de la comunidad y que tiene las siguientes especificaciones:

- El sitio está construido pero no cuenta con el blindaje correspondiente.
- El tablero de distribución fue instalado previo a la instalación del equipo con una alimentación trifásica de 380 voltios sin neutro.

- El transformador destinado para este equipo tiene una capacidad de 120KVA.
- El Centro Radiológico cuenta con Equipo de Protección Personal (EPP) básico para una sala de Rayos X pequeña.
- No cuentan con información previa para pacientes.

Con estos datos previos se utiliza la aplicación paso a paso como se detalla a continuación: Al iniciar la aplicación, se visualiza la pantalla de inicio y se presiona CONTINUAR para ingresar al menú principal, en esta pantalla se presiona en la opción **Auditoría de protección Radiológica**, la cual analiza los tres puntos principales en esta área siendo estas la protección del espacio físico, cálculo de blindaje y protección a operadores y pacientes (Figura 4.21).



Figura 4. 21 Ingreso al Menú Protección Radiológica. Fuente: Autor

En **protección de espacio físico**, el usuario señalará las opciones con las que cuenta el sitio y presionará el botón VERIFICAR para aceptar la información introducida (Figura 4.22(A)). Una vez realizado este paso, presionará el botón RECOMENDACIONES para que la aplicación presente las sugerencias necesarias para el sitio cuente con la protección óptima (Figura 4.22 (B)).

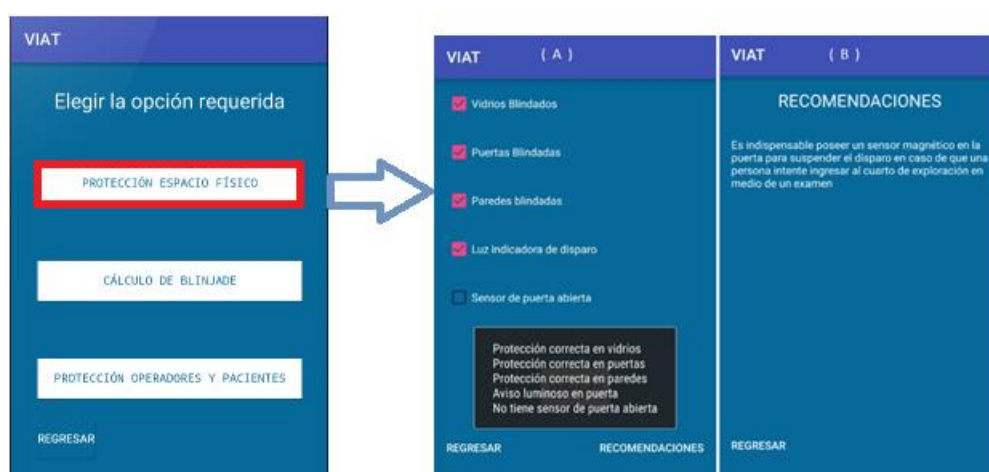


Figura 4. 22 Submenú Protección Espacio Físico. Fuente: Autor

En este caso, el cliente deberá colocar un sensor magnético en la puerta para suspender el disparo del tubo de Rayos X en caso de que una persona intente ingresar al cuarto de exploración durante un examen.

En **Cálculo de Blindaje**, el usuario ingresará los datos solicitados en pantalla tomando en cuenta la distancia de las paredes a ser analizadas y presionará el botón CALCULAR, obteniendo los datos requeridos. En la figura 4.23 se visualiza los valores obtenidos para las paredes que dan al pasillo del hospital (A) y a la sala de interpretación (B) del ejemplo antes mencionado (Tabla 1.12 Capítulo 1).



Figura 4. 23 Cálculo de Blindaje. Fuente: Autor

En **Protección Operadores y Pacientes**, se conoce de antemano que el Centro Radiológico cuenta con Equipo de Protección Personal para una sala pequeña de Rayos X, el usuario señalará las opciones presentadas y al presionar VERIFICAR se mostrará en pantalla las opciones elegidas y las que carece el sitio, al presionar RECOMENDACIONES, la aplicación mostrará las sugerencias necesarias para que la protección a pacientes y operadores sea la requerida por los organismos de control como se muestra en la figura 4.24.

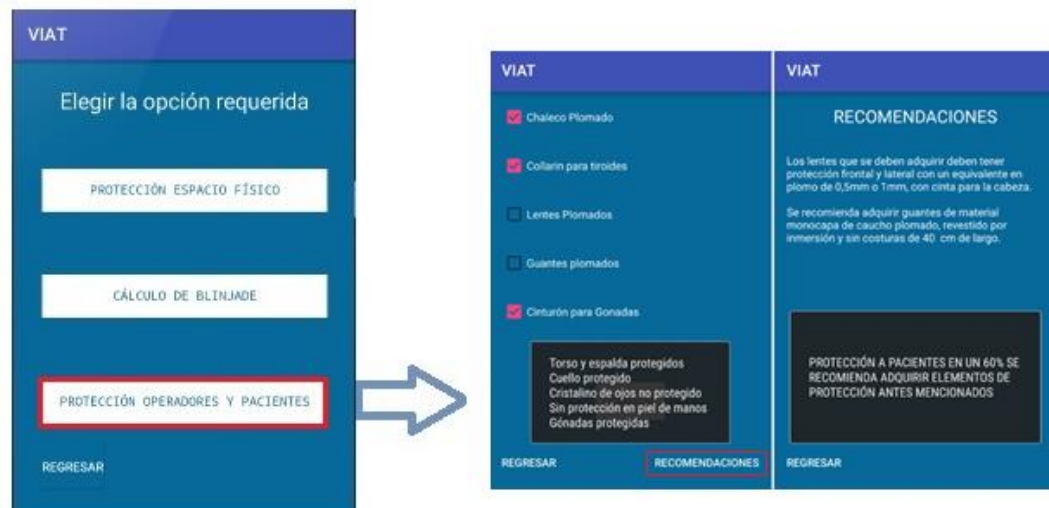


Figura 4. 24 Protección Operadores y Pacientes. Fuente: Autor

Como se puede observar, el Centro Radiológico del ejemplo carece de lentes y guantes plomados por lo que la aplicación sugiere la adquisición de estos elementos y señala que la protección tiene un porcentaje del 60%.

La segunda parte del análisis del Centro Radiológico es la **Auditoría de Suministro Eléctrico**, que se encuentra en el menú principal. Al acceder a este submenú, se presenta las tres partes principales opciones que se pueden revisar como se muestra en la Figura 4.25.



Figura 4. 25 Menú Auditoría Eléctrica. Fuente: Autor

En **Tablero de Distribución**, como antecedente se conoce que el tablero fue instalado por el cliente, por lo que el usuario tendrá que señalar las opciones con las que cuenta el mismo y presionar el botón VERIFICAR para que la aplicación genere las recomendaciones necesarias para contar con una protección correcta en el tablero de distribución como se muestra en la figura 4.26.

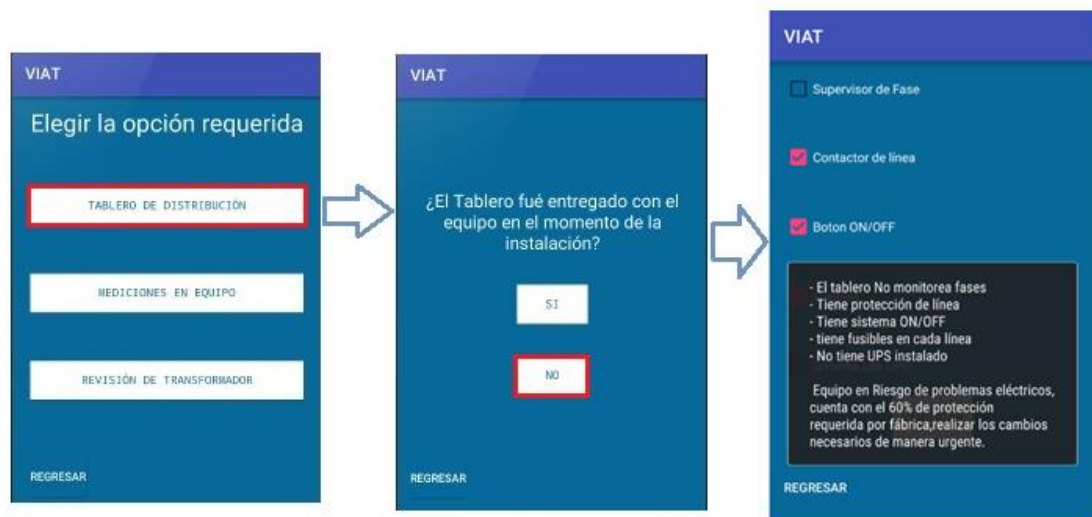


Figura 4. 26 Verificación del Tablero de Distribución. Fuente: Autor

En este caso, el tablero no cuenta con supervisor de fase ni con UPS, por lo tanto la aplicación presenta una protección del 60% en este ámbito.

En **Mediciones en Equipo**, se tiene como antecedente que la alimentación que tiene el tablero principal es 380 voltios sin neutro, por lo tanto el usuario tendrá que elegir esta opción como se muestra en la figura 4.27



Figura 4. 27 Opción de Voltaje de alimentación. Fuente: Autor

Como siguiente paso, el usuario deberá colocar los voltajes solicitados por la aplicación que se miden en el tablero de distribución y como este no tiene neutro se medirá directamente los valores de corriente en cada fase y con el equipo encendido y apagado (Figura 4.28)

VIAT

Ingrese los valores de voltaje de alimentación

381.5 Normal

379.2 Normal

378.9 Normal

221.6 Normal

219.5 Normal

LÍNEA RS BALANCEADA
LÍNEA ST BALANCEADA
LÍNEA RT BALANCEADA

COMPARAR

REGRESAR SIGUIENTE

VIAT

¿El sistema de alimentación cuenta con línea de Neutro?

SI

NO

REGRESAR

VIAT

Ingrese los valores de corriente en cada fase del sistema

5.6 A normal

6.1 A Normal

6.8 A Normal

Ingrese los valores de corriente en Tierra

200 mA Normal

250 mA Normal

COMPARAR

REGRESAR SIGUIENTE

Figura 4. 28 Mediciones de Voltaje y Corriente. Fuente: Autor

Se puede observar que las mediciones de voltaje son normales y están balanceadas las fases como se solicita para un funcionamiento correcto, de igual manera, las corrientes en cada una de las líneas y con respecto a tierra con el equipo tanto encendido como apagado se encuentran en los rangos permitidos.

Luego de verificar estos valores, el usuario deberá presionar el botón SIGUIENTE en el submenú de mediciones de corriente, para que la aplicación presente un resumen de las comparaciones realizadas para que a su vez se puedan notificar al Centro Radiológico en caso de tener alguna observación (Figura 4.29)

VIAT

Resultados Voltajes en Sistema

LÍNEA RS BALANCEADA
LÍNEA ST BALANCEADA
LÍNEA RT BALANCEADA

El voltaje en RS es Normal

El voltaje en ST es Normal

El voltaje en RT es Normal

El voltaje en RG es Normal

El voltaje en SG es Normal

El voltaje en TG es Normal

REGRESAR SIGUIENTE

VIAT

Resumen Corrientes del Sistema

Valor normal de corriente en RS

Valor normal de corriente en ST

Valor normal de corriente en RT

corriente normal en tierra Equipo ON

corriente normal en tierra Equipo OFF

REGRESAR MENU

Figura 4. 29 Cuadros de Resumen de Mediciones. Fuente: Autor

En **Revisión de Transformador**, se conoce de antemano que el sitio cuenta con un transformador de 120KVA libres para el equipo de Rayos X, por lo tanto, el usuario deberá ingresar a este submenú y colocar los datos que la pantalla solicita y presionar VERIFICAR para que la aplicación evalúe dichos datos y presente las sugerencias respectivas, en este ejemplo, tanto la conexión del transformador como la capacidad del mismo, son adecuadas para el correcto funcionamiento del sistema (Figura 4.30).



Figura 4. 30 Revisión del Transformador. Fuente: Autor

Como se mencionó en los antecedentes del ejemplo, el Centro Radiológico no cuenta con ningún tipo de información que puedan brindar al paciente antes de ingresar a un examen, por lo que el último punto de la aplicación **Gestión Pacientes**, puede ser usado por el personal de servicio al cliente que recepta las solicitudes de los exámenes para buscar el tipo de examen a realizarse y mostrar al paciente para que pueda observar y leer de una manera sencilla lo que tiene que hacer para colaborar en la realización del mismo.

En la figura 4.31 se puede observar un ejemplo de visualización de dos tipos diferentes de exámenes y como realizar su navegación. Cabe destacar que el usuario podrá volver a paginas anteriores presionando el botón REGRESAR colocado en todas las pantallas de la aplicación.

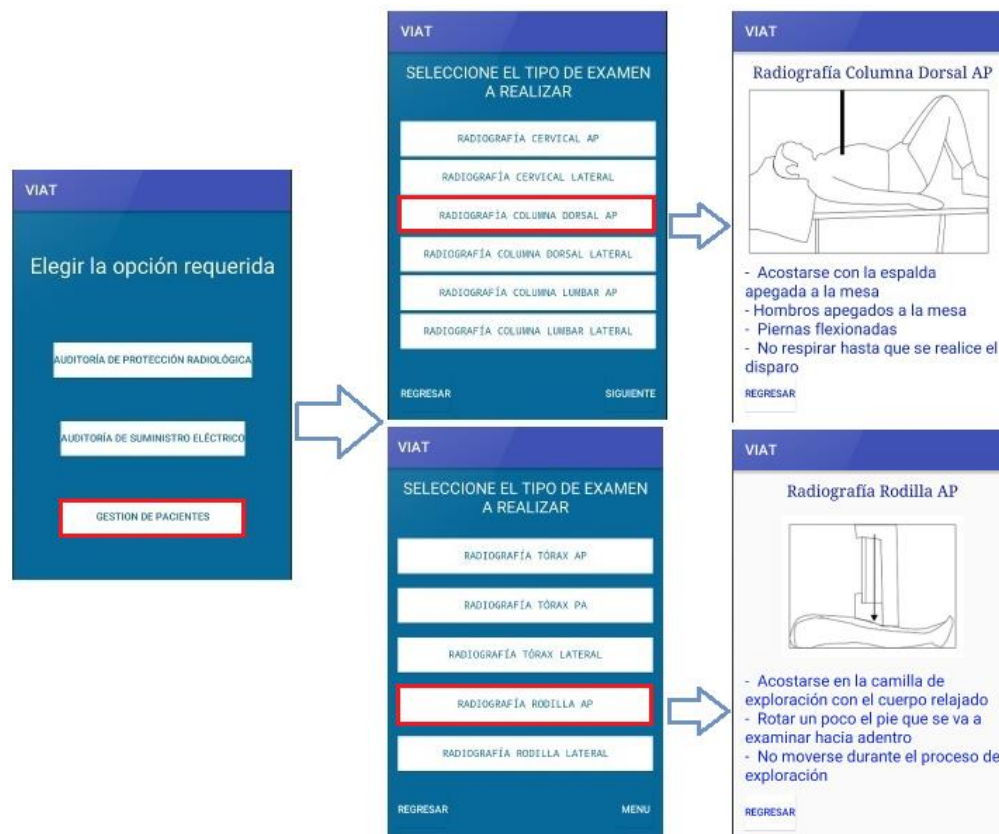


Figura 4. 31 Navegación en Submenú Gestión Pacientes. Fuente: Autor

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez terminado el presente documento, se expone una lista de conclusiones y recomendaciones destacando que los conocimientos adquiridos fueron utilizados para la creación de una aplicación para dispositivos móviles compatibles con el sistema ANDROID, generando portabilidad de información, acceso rápido y un análisis oportuno de las condiciones de seguridad y gestión con las que cuenta un Centro de Diagnóstico por imágenes con equipos de Rayos X de la marca GENERAL ELECTRIC. Las conclusiones y recomendaciones se dividen por Capítulos para el mejor análisis del lector:

RADIACIÓN Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

- Es esencial contar con un correcto cálculo de blindaje radiológico y poseer un plano detallado de las láminas de plomo implementadas en un sitio donde se encuentra un equipo de Rayos X, ya que estos elementos pueden ser utilizados para llevar un control anual del nivel de protección con el que cuenta el Centro Radiológico, cumpliendo con las normas establecidas por los organismos de control estatales.
- La protección radiológica es prioritaria en un Centro de Diagnóstico por Imágenes debido a que tanto el personal ocupacional como el público en general, está expuesto a posibles efectos secundarios producidos por la radiación ionizante generada en equipos de Rayos X.
- Los Equipos de Protección Personal (EPP) deben ser manipulados de manera correcta conforme a lo establecido por las casas comerciales que los distribuyen, se recomienda destinar un lugar específico dentro de la sala para colocarlos de manera ordenada y no doblarlos o dejarlos al alcance de personal no autorizado.
- Para sitios en construcción, se recomienda colocar un circuito cerrado de cámaras (CCTV) en lugar de la instalación de vidrios blindados, debido a que el costo de este tipo de vidrios es cuatro veces mayor que implementar un sistema CCTV. Además, al no tener ventanas, la densidad de la pared es uniforme logrando una mejor protección contra la radiación ionizante.
- La instalación de las láminas de Plomo debe ser supervisada por personal capacitado, con el fin de asegurarse que el solapamiento entre ellas sea el adecuado y los anclajes a las paredes o el pegamento utilizado sean los apropiados para evitar a futuro posibles desprendimientos y fugas de radiación no perceptibles.
- Se recomienda elaborar un manual de procedimientos de protección radiológica en cada Centro Radiológico, en el que conste todas las normas, manejo de equipos radiológicos, manejo de suministros de protección personal, zonas seguras, vías de evacuación, etc., optimizando al máximo la seguridad de pacientes, médicos radiólogos y operadores de los equipos.

SEGURIDAD ELÉCTRICA EN EQUIPOS MÉDICOS

- Además de las protecciones eléctricas con las que cuentan los equipos de Rayos X por defecto, es indispensable contar con un sistema de protección en la

alimentación principal que esté correctamente dimensionado, dependiendo de las cargas conectadas al sistema, tipo y horas de consumo, situación geográfica, que posea supervisores de fase, filtros para armónicos y supresores de transientes, obteniendo una red estable y bajo las normas establecidas por los organismos internacionales.

- El sistema de puesta a tierra debe ser monitoreado periódicamente, ya que en ocasiones con el pasar tiempo y los cambios climáticos, el suelo puede presentar aumento en su impedancia, disminuyendo su calidad de protección y como consecuencia puede generar ruido eléctrico o transientes.
- Se recomienda utilizar el calibre de conductores para alimentación de los equipos de acuerdo a los estándares establecidos por fábrica, ya que un mal dimensionamiento de los mismos, pueden generar calentamientos en los cables, generar armónicos, ruido eléctrico, artefactos en las imágenes y posibles fallas en tarjetas internas del equipo.
- Se recomienda realizar chequeos periódicos en el circuito completo de alimentación, siendo estos, cables, conectores y conexiones, de manera que se pueda evitar posibles problemas por elementos en mal estado o que no estén correctamente ajustados.

GESTIÓN PACIENTES EN CENTROS DE RAYOS X

- Debido al alto número de pacientes que a diario se realizan exámenes radiográficos, es importante contar con un sistema de información previa a un estudio, para que el paciente pueda conocer de antemano los procesos básicos a los que va a estar sometido, de esta manera la colaboración del mismo será mucho mejor y por ende las repeticiones de los exámenes se reducirán.
- Se recomienda realizar un análisis de Pareto de forma periódica, para establecer los tipos de exámenes más solicitados y con esto actualizar el sistema de Gestión de Pacientes implementado.

APLICACIÓN MÓVIL PARA VALIDAR TÉCNICAS DE PML EN EQUIPOS DE DIAGNÓSTICO POR IMAGEN

- La herramienta para Desarrollo de integrado ANDROID STUDIO, es de gran ayuda para desarrolladores que quieran crear aplicaciones para dispositivos móviles basados en esta plataforma, ya que cuenta con sinnúmero de opciones y herramientas visuales que logran que su interfaz gráfica de usuario (GUI) sea muy intuitiva.
- Cuando se trabaja con variables locales y globales en diferentes pantallas o layouts dentro de la programación, es importante llevar una secuencia ordenada o establecida, ya que si se intenta pasar de una ventana a otra sin considerar un camino lógico, el sistema generará un error y por lo tanto no se logrará compilar adecuadamente la aplicación.

- La sección Gestión Pacientes ha sido creada para el uso directo del cliente, se recomienda actualizarla acorde a las necesidades y requerimientos del Centro de Diagnóstico por imágenes de forma periódica o cuando el cliente lo solicite.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander Kusko, Marc T. Thompson, "Power Quality in Electrical Systems", McGraw-Hill, 2007, pp 225
- *American national standard for electric power systems and equipment - voltage ratings (60 Hertz)*. (1996). Rosslyn, VA.
- Andisco, D., Blanco, S., & Buzzi, A. (2014). Dosimetría en radiología. *Revista Argentina De Radiología*, 78(2), 114-117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rard.2014.06.010>
- *ANSI C84.1-1995 Electric power systems and equipment - Voltage ratings (60 Hertz) - Freestd - American National Standards Institute (ANSI)*. (2016). *Freestd.us*. Obtenido el 15 Diciembre 2015, Recuperado de <http://www.freestd.us/soft4/1797480.htm>
- Archer, B. (1994). Attenuation properties of diagnostic x-ray shielding materials. *Med. Phys.*, 21(9), 1499. <http://dx.doi.org/10.1118/1.597408>
- Aspects on Grounding. Recuperado de <http://www.leonardo-energy.org/white-papers/aspects-grounding>
- Astudillo Guillén, M. & Nuñez Orellana, O. (1998). *Efectos de los armónicos en la calidad de la energía de la E.E.R.C.S.*. *Dspace.ucuenca.edu.ec*. Obtenido el 19 Diciembre 2015, Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/6570>
- Bakshi, U. & Bakshi, A. (2012). *Electrical & Electronic Measurement*. Pune: Technical Publications.
- C. Sankaran, "Power Quality", CRC Press, 2002, pp 202.
- Dennis, C., May, C., & Eisenberg, R. (1996). *Posiciones radiográficas*. Barcelona: Masson.
- Dixon, R. & Simpkin, D. (1998). Primary Shielding Barriers for Diagnostic X-Ray Facilities. *Health Physics*, 74(2), 181-189. <http://dx.doi.org/10.1097/00004032-199802000-00005>
- *Dosimetría Proteccionradiologica's Blog*. (2016). *Proteccionradiologica.wordpress.com*, Recuperado de <https://proteccionradiologica.wordpress.com/category/5-dosimetria>
- *Dosimetría y Blindaje | Protección Radiológica*. (2016). *Proteccionradiologica.cl*. Obtenido el 6 dic 2015, Recuperado de <http://www.proteccionradiologica.cl/dosimetria-blindaje.php>
- *F2 ticpgdea*. (2011). *Ingeniería Internacional*. Obtenido el 4 January 2015, Recuperado de <https://ingenieriainternacional.mx/ingenieria-internacional-e-informatica-2/¿sabias-que/calidad-de-energia/f2-ticpgdea/>
- Gil Gayarre, M. (1994). *Manual de radiología clínica*. Barcelona: Doyma.
- IEC Standard 61000-4-30, 2008. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques. Section 30: Power quality measurement methods".

- *IEEE guide for measuring earth resistivity, ground impedance, and earth surface potentials of a ground system.* (1983). New York, N.Y.
- IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plant (IEEE Std.141-1994). ISBN 1-55937-333-4. New York, USA, 1994.
- *IEEE recommended practice for monitoring electric power quality.* (2009). New York.
- *IEEE recommended practice for powering and grounding electronic equipment.* (1999). New York, NY.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Phoenix Section. (2006). *IEEE Microwave Magazine*, 7(4), 81-81. <http://dx.doi.org/10.1109/mmw.2006.1664009>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. ISBN 1-55937-239-7. Estados Unidos, 1993.
- Lidgate, D. (1981). Book Review: Laboratory Manual for Basic Electrical Engineering. *International Journal Of Electrical Engineering Education*, 18(1), 28-28. <http://dx.doi.org/10.1177/002072098101800108>
- Maclean, A. (1956). The Protection of Workers against Ionising Radiations. *Occupational And Environmental Medicine*, 13(1), 82-82. <http://dx.doi.org/10.1136/oem.13.1.82>
- Martin, M. (2015). Radiation Shielding for Diagnostic Radiology, Second Edition. *Med. Phys.*, 42(9), 5578-5579. <http://dx.doi.org/10.1118/1.4929409>
- Mitolo, M. (2015). On The New Terminology Introduced in Std. IEEE P3003.2 “Recommended Practice for Equipment Grounding and Bonding in Industrial and Commercial Power Systems”. *IEEE Transactions On Industry Applications*, 1-1. <http://dx.doi.org/10.1109/tia.2015.2483706>
- Möller, T. (1998). Posiciones radiológicas. Madrid, España: Marbán.
- Moreno B, R. (Noviembre 2007). Módulos de autoinstrucción. Recuperado de <http://escuela.med.puc.cl/publ/AparatoRespiratorio/22Radiología.htm>
- *Motors and generators.* (2010). Rosslyn, VA.
- Notas INININ, "Introducción a la calidad de la energía", Noviembre 2008, pp 228.
- Peter M. Curtis, "Maintaining Mission Critical Systems in a 24/7 Environment", Wiley-Interscience a John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2007, pp 484.
- *Products Archive - Infab.* (2016). *Infab.* Obtenido 13 Feb 2016, Recuperado de <http://www.infabcorp.com/products>
- R.C. Dugan; M.F. McGranaghan; Surya Santoso; H.W. Beaty, "Electric Power Systems Quality", Second Edition, McGraw Hill 2004, pp 521.
- Siegle, R. & Rodés, J. (1988). Diagnóstico por la imagen en medicina interna. Barcelona: Salvat.
- Standards and Publications – NEMA. Recuperado de <https://www.nema.org/Standards>
- Unzueta Galarza, A. & Sever Bermejo, J. (2008). Posicionamientos radiológicos. Zaragoza: Servet, Diseño y Comunicación.

ANEXOS

ANEXO 1

Extracto del Reglamento de Seguridad Radiológica (IESS)

DE LA EXPOSICION OCUPACIONAL

Artículo 19. Los Titulares del Registro o Licencia, así como los empleadores de los trabajadores dedicados a actividades que ocasionen la exposición normal o potencial, son responsables de la protección de los trabajadores y del cumplimiento del presente reglamento y normas específicas de la Autoridad Nacional.

Artículo 20. No se concederán ni utilizarán compensaciones o tratamientos salariales especiales o preferenciales o protección especial por un seguro, horas de trabajo, duración de vacaciones, días libres suplementarios o prestaciones de jubilación, como sustitutos de las medidas de seguridad y protección que se requieren para cumplir con las prescripciones del reglamento o normas específicas.

Artículo 21. Cuando una trabajadora se percate de su embarazo, debe comunicarlo al empleador, para modificar sus condiciones de trabajo, si es necesario, de manera que la dosis en la superficie del abdomen de la trabajadora no sea mayor a 2 mSv para todo el período de embarazo o la ingestión de radioisótopos no sea superior a 1/20 del Límite Anual de Incorporación establecido por la Autoridad Nacional, para ese mismo período.

Artículo 22. No se permitirá que una persona menor de 16 años esté sometida a exposición ocupacional.

Artículo 23. Ninguna persona menor a 18 años deberá trabajar en una zona controlada, a menos que lo haga bajo supervisión y solo con fines de capacitación.

Artículo 24. Los trabajadores o estudiantes mayores de 18 años que, durante su enseñanza o capacitación estén sometidos a exposiciones, serán considerados como trabajadores expuestos y deberán cumplir con todas las restricciones y requisitos aplicables del reglamento.

Artículo 25. Las exposiciones planificadas debidas a circunstancias especiales se justificarán solo si no se dispone de otras alternativas técnicas que no entrañen tal exposición. En este caso, tanto el trabajo como la dosis que pudiera recibirse, deben ser previamente autorizadas por la Autoridad Nacional y asimismo hacerse todos los esfuerzos razonables por reducir las dosis al nivel más bajo que sea posible, sin superar los límites anuales de dosis.

Artículo 26. Toda instalación o lugar donde se utilicen fuentes de radiaciones debe establecer áreas controladas, cuya delimitación considere la magnitud de las exposiciones normales previstas, la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales, y la

naturaleza y alcance de los procedimientos de protección y seguridad requeridos. El área controlada debe cumplir con los siguientes requisitos genéricos, tanto como sean aplicables:

- a. Debe estar delimitada por medios físicos o por otros medios adecuados, debe disponer de un sistema de control y alarma, y estará señalizada con un símbolo de advertencia reglamentario, según se indica en el Anexo III, u otro que sea aceptable por la Autoridad Nacional.
- b. Debe disponer de medidas de protección y seguridad ocupacional incluidos procedimientos y reglas apropiados.
- c. Tendrá acceso restringido mediante procedimientos administrativos.
- d. Debe poseer y proveer de equipos y medios de protección individual a la entrada y salida.
- e. Será revisada periódicamente con fines de mejorar las medidas de protección y las disposiciones de seguridad.

Artículo 27. Toda instalación o lugar donde se utilicen fuentes de radiaciones debe establecer áreas supervisadas, siempre que no hayan sido definidas como áreas controladas y sea aplicable, que cumplan las siguientes condiciones:

- a. Deben estar delimitadas por medios apropiados y señalizadas en los puntos de acceso, de acuerdo a lo indicado en el Anexo III.
- b. Serán examinadas periódicamente para determinar la necesidad de implementar medidas protectoras y de seguridad, así como de la modificación de sus límites.

Artículo 28. En los lugares y puestos de trabajo se establecerá, conservará y mantendrá en examen un programa de vigilancia radiológica concordante con la magnitud de las exposiciones normales y potenciales.

Artículo 29. La vigilancia radiológica debe satisfacer los siguientes requisitos:

- a. permitirá evaluar las condiciones radiológicas existentes,
- b. evaluará la exposición de las zonas controladas y supervisadas,
- c. examinará la clasificación de las áreas controladas y supervisadas.

Artículo 30. Los trabajadores que realicen su trabajo normal u ocasional en áreas controladas y puedan recibir exposición ocupacional significativa, deben estar sometidos a vigilancia radiológica individual obligatoria, mediante sistemas acreditados y en conformidad con las disposiciones específicas de la Autoridad Nacional.

Artículo 31. Cuando el trabajador realice sus actividades habituales en áreas supervisadas, o ingrese solo ocasionalmente a un área controlada, no será obligatoria la vigilancia radiológica individual, pero deberá evaluarse su exposición ocupacional, sea en base a los resultados de la vigilancia radiológica del lugar de trabajo, o a la vigilancia individual.

Artículo 32. La vigilancia radiológica operativa será efectuada mediante equipamiento adecuado al tipo de exposición o contaminación a medir, el mismo que deberá ser calibrado a frecuencias que se determinen específicamente y a través de un laboratorio de calibración dosimétrica acreditada por la Autoridad Nacional.

Artículo 33. Los trabajadores sometidos a exposición ocupacional deberán ser sometidos a un programa de vigilancia médica basado en los principios de la salud ocupacional, para

evaluar su aptitud inicial y permanente para las tareas asignadas. La vigilancia médica es una condición previa a la ocupación de tareas con radiaciones ionizantes.

Artículo 34. Los empleadores deben hacer todo esfuerzo razonable para otorgar a los trabajadores un empleo sustitutivo, en caso que la Autoridad Nacional determine que no puede continuar, por razones de salud, en un empleo que implique exposición ocupacional.

DE LA EXPOSICION MÉDICA

Artículo 35. Las exposiciones médicas se justifican solo si los beneficios de tipo diagnóstico o terapéutico que producirán son mayores que el detrimento radiológico que pudieran causar. Se deberán considerar principalmente los beneficios de usar otras técnicas que no impliquen exposición médica, así como el uso de fuentes que ocasionen menor riesgo que otras, pero que logren los mismos fines que se persiguen.

Artículo 36. No se justificarán los exámenes radiológicos con fines ocupacionales, legales o de seguro médico, a menos que tengan una indicación clínica y que proporcione una información útil sobre la salud del individuo, o que el examen específico esté justificado por los solicitantes, en consulta con órganos profesionales competentes.

Artículo 37. No se justifican los exámenes masivos de la población que impliquen exposición médica a menos que las ventajas previstas para los individuos examinados compensen los costos económicos y sociales, incluidos el detrimento radiológico. En este caso se tendrá en cuenta el potencial de detección de la enfermedad, la probabilidad de tratamiento eficaz de los casos detectados y, en lo que respecta a ciertas enfermedades, las ventajas que ofrezca a la comunidad el control de la enfermedad.

Artículo 38. No se justificará la exposición de personas con fines de investigación a menos que esté en conformidad con las disposiciones de la Declaración de Helsinki, se ajuste a las directrices del Consejo de Organizaciones Internacionales de Ciencias Médicas y se supedite a la asesoría de un comité de ética y a los reglamentos nacionales aplicables. En este caso la exposición debe ser autorizada previamente por la Autoridad Nacional y ser efectuada solo por personas calificadas y entrenadas, y en las condiciones prescritas específicamente. **Artículo 39.** Se evitarán los procedimientos de diagnóstico o de terapia que ocasionen exposición en el abdomen de una mujer embarazada o probablemente embarazada, a menos que existan fuertes indicaciones clínicas, en cuyo caso se deben tomar todas las medidas de protección para reducir las dosis al embrión o feto.

Artículo 40. La exposición médica se optimizará tomando en consideración los requisitos referentes al diseño de las fuentes y equipos y a la aplicación de procedimientos, de tal modo que se reduzca al mínimo toda exposición no planificada de pacientes y que sea mínima la incidencia del error humano en la administración de la exposición médica.

Artículo 41. Los suministradores deberán proporcionar información detallada de la fuente y equipo, especialmente sobre los parámetros de funcionamiento y operación de estos, en relación a la protección y seguridad.

Artículo 42. Deberán establecerse, mantenerse y examinarse los procedimientos apropiados sobre la operación de las fuentes y equipos, a fin de restringir la dosis en pacientes a las requeridas para un diagnóstico o tratamiento adecuado.

Artículo 43. Los equipos y fuentes utilizados con fines de exposición médica deberán ser sometidos a calibraciones periódicas de haz o actividad, a través de un laboratorio de dosimetría acreditado por la Autoridad Nacional, y en las condiciones que se establezcan específicamente.

Artículo 44. Se establecerá un programa de garantía de calidad de las exposiciones médicas, apropiado en alcance y extensión, para verificar que los parámetros físicos y clínicos, así como los procedimientos, sean los apropiados para el diagnóstico o tratamiento de pacientes.

Artículo 45. Las exposiciones médicas deben realizarse ajustándose, en lo posible, a los niveles orientativos establecidos por la Autoridad Nacional, de tal modo que si las exposiciones o actividades se sitúan lejos de estos niveles se efectúen los exámenes y correcciones necesarios que permitan obtener resultados útiles con una dosis mínima.

Artículo 46. Las dosis de personas expuestas con fines de investigación deberán restringirse de modo que no rebasen los valores que establezca la Autoridad Nacional en cada caso. Las dosis de personas que prestan ayuda voluntaria en el cuidado, alivio o bienestar de pacientes, o de los visitantes de pacientes que tengan incluidos radionucleidos con fines terapéuticos, deberán restringirse al valor más bajo que se pueda lograr pero sin que sean mayores al nivel indicado en el Anexo I.

Artículo 47. Los pacientes sometidos a tratamiento con fuentes selladas permanentes o fuentes no selladas, deben permanecer en el hospital hasta que la actividad de la fuente incorporada haya descendido a menos de 1100 MBq.

Artículo 48. Se deberán investigar todos los incidentes que impliquen exposiciones causadas por tratamientos terapéuticos administrados a un paciente errado, o con dosis o fraccionamientos de dosis considerablemente diferentes a los prescritos por el médico, exposición diagnóstica considerablemente mayor a la prevista, fallas de equipos o sucesos que causen exposiciones diferentes a las previstas. Las medidas de investigación deben considerar el cálculo de dosis estimada, causas del suceso, medidas correctivas e información del incidente al paciente y a la Autoridad Nacional.

Artículo 49. Las exposiciones médicas serán efectuadas solo bajo prescripción efectuada por un médico, según se define en el reglamento.

Artículo 50. La administración de exposiciones médicas debe ser efectuada por profesionales de la salud u otras personas debidamente calificadas y entrenadas, y que estén autorizadas específicamente por la Autoridad Nacional.

Artículo 51. Las instalaciones que efectúen exposiciones médicas con fines terapéuticos, deben contar obligatoriamente con un Físico Médico de acuerdo a las condiciones que establezca específicamente la Autoridad Nacional.

Artículo 52. Los exámenes radiológicos con fines de detección de robos no se justificarán como exposiciones médicas y deberán satisfacer los requerimientos de exposición pública u ocupacional, según el caso.

DE LA EXPOSICION PÚBLICA

Artículo 53. La exposición pública debida a prácticas y fuentes adscritas a las prácticas deberá ser controlada mediante el examen previo a la puesta en servicio, restricciones de dosis, provisión de blindajes y otros medios de protección conforme lo establezca específicamente la Autoridad Nacional.

Artículo 54. La exposición pública debida a la contaminación, deberá ser restringida mediante la aplicación de disposiciones específicas de contención que eviten la dispersión de la fuente.

Artículo 55. Los titulares de registro o licencia establecerán un programa de vigilancia radiológica operacional y ambiental, acorde con la magnitud de la fuente, que asegure que se satisfacen los requisitos del reglamento y normas específicas, en cuanto a la exposición del público y a los vertidos de sustancias radiactivas.

Artículo 56. Está prohibido suministrar o utilizar dispositivos o productos de consumo que puedan causar exposición al público, a menos que esta exposición esté debidamente justificada o excluida del ámbito del reglamento o que los productos satisfagan los requisitos de exención o hayan sido autorizados para ser usadas por personas del público.

Artículo 57. Las siguientes prácticas no serán autorizadas, siempre que su resultado implique un incremento de la actividad de sustancias radiactivas en los productos o artículos conexos:

- a. prácticas que afecten a alimentos, bebidas, cosméticos o cualquier otro artículo o producto destinado a su ingestión, inhalación o incorporación percutánea por un ser humano,
- b. prácticas que impliquen el uso frívolo de radiación o sustancias radiactivas en artículos o productos tales como juguetes y objetos de joyería o adorno personal.

Artículo 58. Los productos de consumo no exentos deben cumplir con los requisitos establecidos en el reglamento y en las normas específicas que apruebe la Autoridad Nacional, respecto a su diseño, uso y evacuación.