



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**ESTUDIO TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPO DIGITAL
TOMOGRÁFICO EN EL ÁREA DE RADIOLOGÍA DEL HOSPITAL NACIONAL
DE CHIMALTENANGO**

Juan Ramón Salazar Mendoza

Asesorado por el Ing. Allen Raúl Gustavo Roca Recinos

Guatemala, julio de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPO DIGITAL
TOMOGRÁFICO EN EL ÁREA DE RADIOLOGÍA DEL HOSPITAL NACIONAL
DE CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JUAN RAMÓN SALAZAR MENDOZA

ASESORADO POR EL ING. ALLEN RAÚL GUSTAVO ROCA RECINOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Coronado Noj
EXAMINADOR	Ing. Josué Giovanni Jocolt Quiñonez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPO DIGITAL TOMOGRÁFICO EN EL ÁREA DE RADIOLOGÍA DEL HOSPITAL NACIONAL DE CHIMALTENANGO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 12 de octubre de 2018.

Juan Ramón Salazar Mendoza

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Porque sin Dios nada soy y con Él todo lo puedo. Dador de sabiduría y fuerza para lograr sobrepasar todos los obstáculos presentes a lo largo de mi vida y que ha puesto en mi camino a todas las personas maravillosas que cito a continuación.

Mis padres

Juan Ramón Salazar Anleu y Gaily Renata Mendoza Ruiz, por los consejos y las enseñanzas que me han permitido llegar a cumplir mis metas y ser un hombre de bien, por el apoyo y esfuerzo que cada uno realizó de diferentes maneras durante mis años de estudio, este título va dedicado a ustedes.

Mis abuelos

Ramón Salazar, Gladys Anleu y Blanca Ruiz, por creer en mí siempre y motivarme a lograr mis objetivos, su experiencia de vida ha sido valiosa para mi crecimiento personal.

Mis hermanas

Andrea y Paula Salazar, espero que este logro las motive a seguir adelante, saben que cuentan con mi apoyo para lo que se propongan.

Mi familia

Tíos y primos que han estado siempre pendientes de mí, sin ustedes no hubiera sido lo mismo. Este es el éxito de todos.

Mis amigos

Porque la amistad es uno de los mayores tesoros de una persona, gracias por acompañarme en este camino.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que me abrió las puertas para poder convertirme en un profesional, espero poder retribuirle a mi país, aunque sea un poco de lo mucho que se me ha brindado.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera y formación académica.
Catedráticos	Por brindarme sus conocimientos de manera apasionada, profesional y desinteresada, contribuyendo a mi formación.
Ing. Allen Raúl Gustavo Roca Recinos	Por su tiempo y aporte profesional durante el desarrollo de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES Y CONCEPTOS GENERALES	1
1.1. Descripción de la institución	1
1.1.1. Ubicación.....	1
1.1.2. Historia	2
1.1.3. Misión	3
1.1.4. Visión.....	3
1.1.5. Valores	3
1.1.6. Organigrama.....	4
1.2. Mantenimiento de hospitales	5
1.2.1. Concepto de mantenimiento	5
1.2.2. Tipos de mantenimiento	6
1.2.2.1. Mantenimiento correctivo.....	6
1.2.2.2. Mantenimiento preventivo.....	7
1.2.2.3. Mantenimiento predictivo	8
1.2.3. Ingeniería del mantenimiento hospitalario	10
1.3. Conceptos básicos en radiología.....	12
1.3.1. Radiología y su importancia en el diagnóstico de pacientes	12

1.3.2.	Técnicas radiográficas	13
1.3.2.1.	Radiografía simple	13
1.3.2.2.	Radiografía con contraste	14
1.3.2.3.	Tomografía computarizada.....	15
1.3.3.	Tomógrafo computarizado y sus partes	17
1.3.4.	Riesgos que presenta el uso de equipos radiológicos	19
1.3.5.	Cuidados básicos para contrarrestar la radiación de los equipos	20
1.4.	Diagnóstico actual del área de radiología del hospital Nacional de Chimaltenango	21
1.4.1.	Planos de ubicación actuales del área de radiología.....	22
1.4.2.	Servicios que presta la unidad de radiología en el Hospital Nacional de Chimaltenango.....	23
1.4.3.	Manejo de información y resultados.....	23
2.	ESTUDIO TÉCNICO PARA LA INSTALACIÓN DE UN EQUIPO TOMOGRÁFICO COMPUTARIZADO EN EL HOSPITAL NACIONAL DE CHIMALTENANGO	25
2.1.	Características del equipo tomográfico	25
2.1.1.	Especificaciones técnicas del equipo	25
2.1.2.	Equipo mínimo necesario para el manejo de información.....	28
2.1.3.	Tipo de anclaje necesario para el equipo	28
2.2.	Diseño de la infraestructura	29
2.2.1.	Localización.....	29
2.2.2.	Diseño de la construcción	31
2.3.	Instalaciones y materiales de construcción	32

2.3.1.	Pisos.....	33
2.3.2.	Aislamiento en paredes y puertas.....	34
2.3.3.	Techos.....	40
2.3.4.	Ventana antirradiación.....	41
2.3.5.	Instalación eléctrica.....	43
2.3.6.	Instalación de equipo de acondicionamiento de aire.....	45
3.	INSTALACIÓN DEL TOMÓGRAFO COMPUTARIZADO Y ADECUAMIENTO DEL ÁREA DE RADIOLOGÍA DEL HOSPITAL NACIONAL DE CHIMALTENANGO.....	53
3.1.	Montaje del equipo tomográfico.....	53
3.1.1.	Instalación de instrumentación necesaria para su funcionamiento.....	58
3.1.2.	Anclaje del equipo en el área designada.....	64
3.2.	Adecuamiento del Área de Radiología para la instalación.....	66
3.2.1.	Pisos.....	67
3.2.2.	Paredes.....	68
3.2.3.	Aislamiento en paredes y puertas.....	70
3.2.4.	Techo.....	81
3.2.5.	Ventana antirradiación.....	82
3.2.6.	Instalación eléctrica.....	84
3.2.7.	Instalación de equipo de acondicionamiento de aire.....	89
3.3.	Costo de la instalación del equipo.....	98
3.4.	Beneficios de la instalación para el Hospital Nacional de Chimaltenango.....	99

4.	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL EQUIPO TOMOGRÁFICO DEL HOSPITAL NACIONAL DE CHIMALTENANGO.....	103
4.1.	Mantenimiento necesario para el buen funcionamiento del equipo	103
4.2.	Capacitación al personal médico y de mantenimiento para el buen uso y cuidado del equipo	105
4.3.	Mantenimiento a la red eléctrica	106
4.4.	Mantenimiento al equipo de aire acondicionado	108
	CONCLUSIONES.....	111
	RECOMENDACIONES	113
	BIBLIOGRAFÍA.....	115
	APÉNDICE	117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del Hospital Nacional de Chimaltenango.....	2
2.	Organigrama del Hospital Nacional de Chimaltenango.....	4
3.	Ejemplo de radiografía simple.....	14
4.	Ejemplo de radiografía con contraste.....	15
5.	Ejemplo de tomografía computarizada.....	16
6.	Partes de un tomógrafo computarizado	17
7.	Plano actual del Área de Radiología	22
8.	Almacenamiento de resultados en Hospital de Chimaltenango	24
9.	Áreas destinadas para la instalación de tomógrafo computarizado	30
10.	Plano modificado para la instalación de equipo tomográfico computarizado.....	32
11.	Representación de tipos de radiaciones y barreras	35
12.	Ejemplo de solapamiento de puerta y marco	40
13.	Localización de ventana antirradiación en el área de instalación.....	43
14.	Gantry del equipo instalado.....	54
15.	Mesa del paciente	55
16.	Dimensiones del equipo	56
17.	Medidas de posicionamiento del equipo	57
18.	Consola del operador instalada.....	59
19.	Unidad de control del sistema de inyección	61
20.	Diagrama del inyector	62
21.	Vista del sistema de inyección instalado.....	63
22.	Vista del sistema de control instalado	64

23.	Ubicación de puntos de anclaje del equipo.....	65
24.	Perno seleccionado para sujeción del equipo.....	65
25.	Especificaciones del perno	66
26.	Piso seleccionado para instalar en el área designada	67
27.	Modificaciones realizadas en el espacio del tomógrafo	68
28.	Remodelaciones realizadas.....	69
29.	Acabado aplicado en las paredes.....	70
30.	Distribución del equipo tomográfico en el área	71
31.	Losa de barita para blindar las paredes de la instalación	78
32.	Instalación de la barita en las paredes del área.....	78
33.	Espesor de la barita instalada en el área.....	79
34.	Puertas instaladas en el área	80
35.	Marco para las puertas plomadas.....	80
36.	Cielo falso instalado en el cuarto del tomógrafo	81
37.	Ventana antirradiación instalada en el área	83
38.	Marco de aluminio instalado con la ventana	83
39.	Panel de control dentro del área del equipo	84
40.	Transformador de potencia instalado dentro del área.....	85
41.	Generador utilizado para alimentar al equipo tomográfico.....	86
42.	Localización del sistema de puesta a tierra para el tomógrafo computarizado del Hospital Nacional de Chimaltenango.....	87
43.	Puesta a tierra del tomógrafo computarizado	88
44.	Representación de los materiales de las paredes	93
45.	Representación de los materiales de las puertas	94
46.	Aire acondicionado instalado	97
47.	Especificaciones del equipo de aire acondicionado.....	98
48.	Costo de instalación del equipo de tomografía digital.....	99
49.	Resultado final de la instalación, vista lateral	100
50.	Resultado final de la instalación, vista frontal	101

51.	Formato de mantenimiento preventivo a equipo tomográfico.....	104
52.	Capacitación al personal técnico.....	105
53.	Pruebas realizadas durante capacitación.....	106
54.	Formato de mantenimiento preventivo a red eléctrica.....	107
55.	Formato de mantenimiento preventivo a equipo de aire acondicionado	109

TABLAS

I.	Valores aproximados de capas hemirreductoras y decirreductoras para haces de rayos X	38
II.	Equivalencias en milímetros de plomo de varios materiales para blindaje de rayos X.....	39
III.	Equivalencia mínima de plomo para voltaje de tubo de rayos X	42
IV.	Valores de calor sensible y calor latente para ocupantes	47
V.	Coeficiente de transmisión de calor para distintos materiales de construcción	49
VI.	Conductividades térmicas de distintos materiales.....	51
VII.	Tabla de resultados obtenidos para los espesores de las paredes.....	77
VIII.	Resumen del cálculo de ganancia de calor en el cuarto del tomógrafo computarizado.....	96

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
BTU	British Thermal Unit
cm	Centímetro
Gb	Gigabyte
°	Grados
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
h	Hora
K	Kelvin
Kg	Kilogramo
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
m	Metro
mA	Miliamperio
mm	Milímetro
mSv	Milisievert
min	Minuto
Ω	Ohm
kVp	Pico de voltaje
ft	Pie
%	Porcentaje
”	Pulgadas
s	Segundo

Sv	Sievert
Tb	Terabyte
HU	Unidades de calor
W	Watt

GLOSARIO

Barita	Mineral no metálico con alto peso específico, constituye el mayor componente del bario y es utilizado en la industria del petróleo, caucho, blindajes, entre otros.
Capa decirreductora	Espesor de un material capaz de reducir la radiación a un 10 % de su valor inicial, en función del voltaje de la fuente.
Cateterización	Introducción de una sonda dentro de una vena o arteria para tener acceso al torrente sanguíneo.
Convección	Transferencia de calor utilizando un fluido como medio de transporte.
Impedancia	Oposición al flujo de electrones en un circuito.
Plomo	Elemento químico de color azulado utilizado en la fabricación de municiones, soldadura, blindajes, por mencionar algunos.
Porcelanato	Material utilizado en paredes y pisos, tratado a altas temperaturas y con gran resistencia al desgaste.

Potencia	Cantidad de energía eléctrica transferida al equipo por unidad de tiempo.
Rayos catódicos	Haz de electrones, dentro de un tubo de vacío, que son acelerados por la acción del campo eléctrico existente entre ánodo y cátodo.
Radiación	Energía emitida por una fuente y que se propaga a través del ambiente.
Tomografía	Práctica que permite la obtención de imágenes de distintas secciones del cuerpo.
Ultrasonidos	Técnica que utiliza sonido de alta frecuencia para elaborar imágenes de los sistemas interiores del cuerpo.

RESUMEN

A continuación, se presenta el estudio realizado para llevar a cabo la instalación de un equipo tomográfico computarizado en el Hospital Nacional de Chimaltenango. Era de suma importancia que, antes de realizar el montaje del equipo, se conociera la situación del hospital en ese instante, cómo estaba conformada la Unidad de Radiología, servicios que prestaba y con qué instalaciones se contaban para poder llevar a cabo la tarea.

Una vez determinado esto se propusieron las modificaciones necesarias para que el espacio designado pudiera ser apto para el equipo tomográfico. Se tomaron en cuenta factores como paredes, puertas de acceso, adaptaciones necesarias en la red eléctrica, piso, blindaje para evitar que la radiación producida por el equipo fuera perjudicial para el personal que participa tanto activa como pasivamente en el proceso, acondicionamiento del aire, además de las especificaciones mínimas con las que podía contar el equipo para brindar un servicio de calidad.

Se realizó el montaje atendiendo a las normas establecidas para instalaciones hospitalarias, realizando los trabajos para que la puesta en marcha del equipo fuera lo más correcta posible y que el entorno fuera agradable y, además, proveyera las características requeridas en el espacio asignado. Por último, se estableció el mantenimiento y capacitación al personal a cargo de la instalación para que el tomógrafo computarizado pueda prestarle sus servicios a la población durante mucho tiempo y de manera eficiente.

OBJETIVOS

General

Proponer el estudio técnico para la implementación de equipo digital tomográfico en el Área de Radiología del Hospital Nacional de Chimaltenango.

Específicos

1. Conocer la situación actual del servicio de la Unidad de Radiología del Hospital Nacional de Chimaltenango.
2. Presentar los requisitos para la instalación, equipamiento y funcionamiento del tomógrafo computarizado.
3. Instalar el equipo adecuado para brindar un servicio continuo, tomando en cuenta costo inicial, depreciación y costos en mantenimiento.
4. Establecer el mantenimiento preventivo necesario para el nuevo equipo después de su instalación.

INTRODUCCIÓN

Contar con un equipo tomográfico computarizado en un hospital es de suma importancia, debido a que es posible obtener información más detallada que con los rayos X convencionales. De esta manera se provee un mejor diagnóstico al paciente para un futuro tratamiento. Estos dispositivos computarizados son más eficientes, los resultados se obtienen de manera rápida y detallada. Un equipo tomográfico de última generación irradia menos al paciente y evitan el uso de almacenes grandes para guardar las placas de resultados.

El Hospital Nacional de Chimaltenango carece de un equipo de esta categoría. Sus servicios se limitan a rayos X convencionales con lo cual la población no dispone de un diagnóstico efectivo que podría salvarles la vida. Las instalaciones de equipos tomográficos requieren que se cumpla con lineamientos para garantizar que el dispositivo funcione de forma adecuada y segura. Por ello, para montar el equipo es necesario realizar adaptaciones dentro del centro hospitalario.

Con esto se espera que la sociedad chimalteca cuente con servicios médicos dignos y a su disposición. El médico contará, asimismo con, un estudio profesional y certero para tomar las medidas necesarias.

1. ANTECEDENTES Y CONCEPTOS GENERALES

1.1. Descripción de la institución

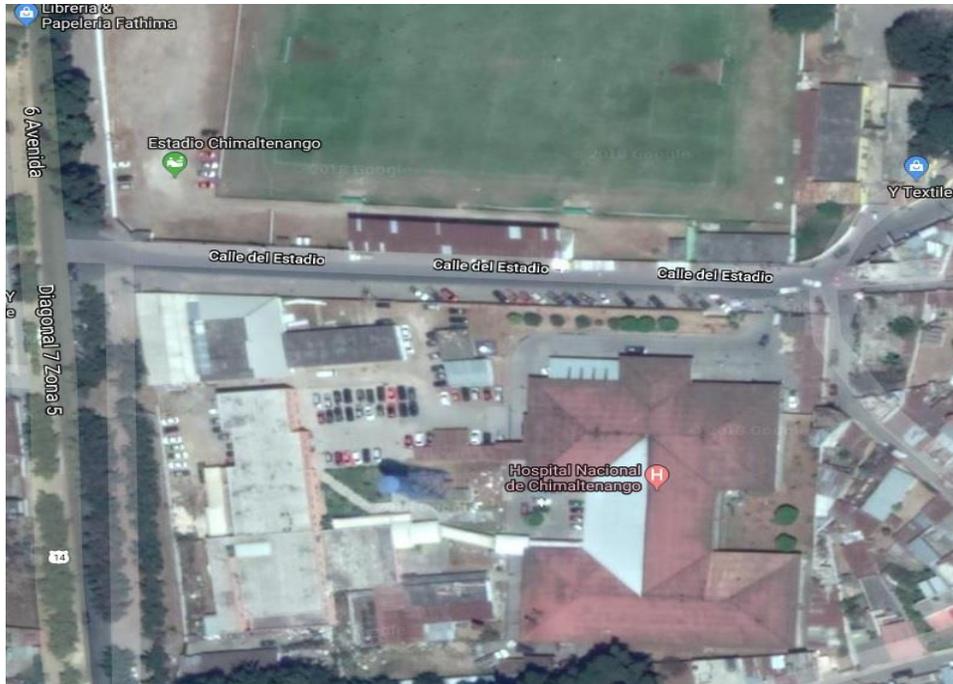
El Hospital Nacional de Chimaltenango cuenta, actualmente, con dos edificios principales. El primero de ellos es una planta de 3 575 metros cuadrados, en la cual se prestan los servicios de emergencias, rayos x, quirófano, cuidados intensivos, lavandería, cocina, entre otros. También se encuentran ahí las áreas administrativas del hospital como el Departamento de Compras, Dirección Ejecutiva, Gerencia Administrativa, entre otros.

El segundo edificio ocupa un área de 2 350 metros cuadrados. Es relativamente nuevo, porque se inauguró el 28 de enero de 2010, estas instalaciones cuentan con servicios de maternidad, encamamiento, sala de partos, cuidados intensivos para recién nacidos y demás servicios de apoyo.

1.1.1. Ubicación

El nosocomio se encuentra ubicado en Calzada La Alameda zona 1, Calle del Estadio, en la cabecera departamental de Chimaltenango.

Figura 1. **Ubicación del Hospital Nacional de Chimaltenango**



Fuente: <https://www.google.com.gt/maps>. Consulta: 29 de octubre de 2018.

1.1.2. **Historia**

El hospital ha crecido conforme la demanda poblacional se ha incrementado. En la década de 1940 se creó en la cabecera de Chimaltenango una entidad dedicada solamente a desarrollar programas de prevención, denominada Delegación Técnica de Sanidad Pública. Con ella inició lo que hoy es el Hospital Nacional de Chimaltenango.

Paulatinamente, la institución fue adquiriendo nuevas atribuciones. En 1945 se ofrece, además de los programas de prevención, la atención de partos normales. Con el paso de los años, la organización fue cambiando su perfil, pasando de ser un Centro de Salud y Maternidad Anexa, a cubrir los servicios de Pediatría, Medicina y Emergencias. Finalmente, el 31 de diciembre de 1982,

según Decreto ley No. 107-82, se convierte en Hospital Integrado de Chimaltenango. El 23 de marzo de 1983 se inauguran nuevas instalaciones, trasladando todos los servicios del hospital al área que ocupa actualmente.

Estas instalaciones se mantuvieron así por mucho tiempo, hasta que el 28 de enero de 2010 se inauguró el Centro de Maternidad, durante el mandato del presidente Álvaro Colom y con la ayuda del Gobierno coreano. Esta área cuenta con los servicios de maternidad, sala de labor y parto, ginecología y dos quirófanos para cesáreas.

1.1.3. Misión

La misión del hospital es ser un ente que permita el mejoramiento de las condiciones de salud de las personas del departamento de Chimaltenango, contribuyendo al desarrollo de las familias y la sociedad mediante programas de atención, prevención y recuperación de la salud que el mismo ofrece.

1.1.4. Visión

La visión del Hospital Nacional de Chimaltenango se centra en mejorar la calidad de vida de la población en sus aspectos físico, mental y social, enfocados en la recuperación y mantenimiento de una sociedad sana.

1.1.5. Valores

Los principios y valores sobre los cuales se fundamenta la institución son:

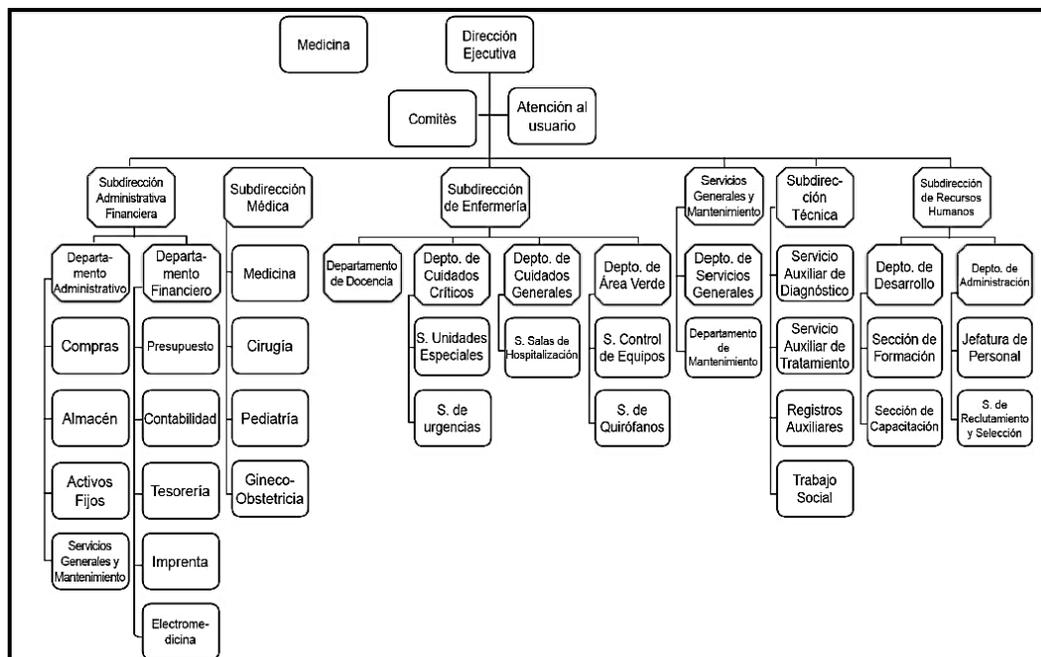
- Garantizar estándares de calidad en todos los departamentos que conforman el Hospital Nacional de Chimaltenango.

- Ofrecer servicios basados en el respeto y equidad de género, facilitando el acceso a la atención apropiada e inmediata para toda la población.
- Estar centrado en la persona y enfocado en la comunidad.
- Satisfacer las necesidades de la población que recurre al hospital.¹

1.1.6. Organigrama

Como toda institución seria, el hospital cuenta con una organización definida para lograr el cumplimiento de metas y objetivos. Cada uno de estos departamentos desarrolla un importante trabajo para que todos los servicios puedan ser prestados de una manera eficiente a la población. El organigrama del establecimiento es el siguiente:

Figura 2. Organigrama del Hospital Nacional de Chimaltenango



Fuente: Departamento de Recursos Humanos, Hospital Nacional de Chimaltenango

¹ Misión, visión y valores proporcionados por la Dirección de Recursos Humanos del Hospital Nacional de Chimaltenango, octubre de 2018.

1.2. Mantenimiento de hospitales

El mantenimiento de hospitales comprende toda actividad destinada a mantener el equipo y las instalaciones del recinto en condiciones adecuadas para el provecho de la población, contribuyendo así, a la prestación de servicios de calidad. En otras palabras, la principal función del mantenimiento de hospitales es asegurar la disponibilidad y garantizar que los equipos e instalaciones se encuentran listos ante cualquier circunstancia.

1.2.1. Concepto de mantenimiento

El mantenimiento nace de la idea que todos los equipos presentes en una planta sufren deterioro, esto debido al desgaste normal de los dispositivos o por la falta de atención por parte del departamento encargado del cuidado de estos. A partir de eso, se define el mantenimiento como el conjunto de trabajos que se deben aplicar a los equipos, plantas o métodos para garantizar su funcionamiento y servicio de manera confiable. Se considerará que el mantenimiento es eficiente cuando se reducen al mínimo las suspensiones de trabajo relacionadas a fallos de la maquinaria o instalaciones. Todas estas actividades deberán ser coordinadas por un departamento de mantenimiento, el cual actuará con base en las metas propuestas por la institución mediante un plan de trabajo previamente establecido que permita adecuarse a las necesidades de las otras áreas de la organización.

Pese a la importancia del mantenimiento en las instituciones, muchas veces se descuida y no se le confiere la importancia que amerita, como consecuencia, es posible que los equipos fallen prematuramente.

1.2.2. Tipos de mantenimiento

El tipo de mantenimiento que se debe aplicar en el establecimiento lo determinan las metas y necesidades presentes. Una organización seria dispondrá de un mantenimiento periódico para conservar el servicio y reducir la probabilidad de falla. Algunos de los tipos de mantenimiento utilizados son el correctivo, preventivo y predictivo.

1.2.2.1. Mantenimiento correctivo

Es considerado el tipo de mantenimiento más obsoleto y poco eficiente. Se basa en la idea de actuar cuando se presenta una falla. Si se trabaja de esta manera, es difícil contar con un plan de acción, además, los costos de realizar esta práctica pueden llegar a ser muy altos ya que es posible que la pieza necesaria no se encuentre disponible en ese momento, afectando los procesos internos de los demás departamentos y poniendo en riesgo la disponibilidad del servicio por un tiempo indefinido. Otra de las dificultades que presenta este tipo de mantenimiento es el deterioro prematuro del equipo, ya que la falla de un elemento pequeño puede ocasionar la avería de un componente mayor dentro del mecanismo.

Teniendo en cuenta las desventajas de estos métodos de conservación, las empresas e instituciones serias no optarán por este tipo de rutinas para garantizar el cumplimiento de metas y objetivos. Son procedimientos muy rústicos que afectan a toda la organización.

1.2.2.2. Mantenimiento preventivo

A diferencia del mantenimiento correctivo, este tipo de práctica permite llevar un control sobre las averías que presentan los equipos, ya que la falla ya se ha previsto y existe un plan de acción para cuando esta ocurra. A partir de esto, el mantenimiento preventivo se define como la conservación planeada de los dispositivos, sabiendo con anticipación el estado actual de las máquinas y las piezas que están propensas a fallar, además, indica las causas de las deficiencias en caso se presente una anomalía en el funcionamiento del mecanismo. Esto es posible por el control constante. Por esta razón se deben programar en el momento más oportuno, las acciones necesarias para el corregimiento de las averías que generan los paros no deseados.

Para conocer el estado de los equipos, el mantenimiento preventivo se basa en cuatro acciones principales: visitas, revisiones, lubricación periódica y limpieza.

- **Visitas:** son inspecciones que se realizan periódicamente en las máquinas para conocer su estado actual de funcionamiento, detectando cualquier anomalía que podría derivar en algún problema a futuro. Es importante que las visitas se limiten a detener el equipo el menor tiempo posible, verificando que este trabaje en condiciones óptimas. No se deben desarmar partes complejas de las máquinas, sin embargo, sí es posible realizar pequeños desmontajes para verificar el estado de partes puntuales, siempre que sean acciones de fácil realización.
- **Revisiones:** una vez realizado el informe de la visita, se programa una revisión para confirmar y reparar lo detectado con anterioridad. Esto se hace para dejar el equipo en condiciones idóneas de funcionamiento,

reduciendo al mínimo la aparición de averías que conlleven a paros no deseados. Es en las revisiones donde se lleva a cabo el desmontaje y sustitución de piezas sujetas a desgaste, las cuales ya han cumplido su tiempo de trabajo. Para facilitar estas tareas, es conveniente prepararlas con anticipación, proveyendo de las herramientas necesarias para que no haya ningún inconveniente durante el tiempo destinado a la corrección.

- Lubricación periódica: es una de las actividades más importantes para mantener un equipo en correcto estado de funcionamiento, ya que una gran parte de las averías es por una lubricación defectuosa. El fabricante del equipo debe indicar la ubicación de los puntos que necesitan lubricante, periodicidad de aplicación, tipo de lubricante necesario para cada pieza, etc. A partir de esto es posible adquirir los aceites y grasas específicos para cada equipo.
- Limpieza: esta acción está destinada a mantener el equipo y el espacio a su alrededor, ordenado y limpio, evitando la acumulación de polvos y residuos que podrían afectar los dispositivos internos de la máquina. De igual manera, el área de trabajo debe ser agradable, sin objetos que pongan en riesgo la integridad física de operadores y personas cercanas.

1.2.2.3. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es bastante parecido al anterior porque su función es reducir los paros por averías y mejorar la eficiencia del servicio. Sin embargo, la finalidad de esta práctica es reducir los costos de acciones innecesarias que incurre el mantenimiento preventivo por el cambio de piezas que aún cuentan con vida útil.

Lo que se busca es pronosticar el punto en el tiempo en el cual va a fallar un componente de la máquina, esto se logra mediante la medición de variables que afectan directamente al mecanismo, tales como vibración, temperatura, presión, entre otros. Estos factores son seleccionados mediante la relación histórica que existe entre el componente y la variable, permitiendo así crear intervalos de funcionamiento que permitan llevar un control sobre el comportamiento del equipo.

Algunas de las ventajas que presenta la aplicación del mantenimiento predictivo en los equipos son:

- Reduce el tiempo de paro, ya que se conoce con anticipación el elemento de la máquina que está a punto de fallar y se cuenta ya con las herramientas y el equipo necesario para realizar el reemplazo de la pieza.
- Debido a que se lleva un control sobre los elementos de los dispositivos que permite conocer el punto de falla, es posible alargar los intervalos entre paradas, optimizando el servicio que presta el equipo.
- Permite aprovechar al máximo la duración de los componentes ya que son reemplazados justo antes de que fallen, reduciendo los gastos por la compra de repuestos, porque se obtienen solo los necesarios.
- Aísla las causas de fallos repetitivos, y procura su erradicación.

A pesar de las ventajas que presenta este tipo de mantenimiento, no es rentable aplicarlo a cada equipo dentro de una institución, por lo que es recomendable utilizarlo solo con los sistemas que son críticos para el proceso.

1.2.3. Ingeniería del mantenimiento hospitalario

Un hospital es un establecimiento dedicado a la conservación de la salud de la población. Por lo tanto, debe garantizar la prestación de servicios ininterrumpidos durante todo el año. Dado lo anterior, el departamento de mantenimiento cobra gran importancia porque todos los equipos y sistemas dentro de la institución deben funcionar en perfectas condiciones porque de ellos dependen vidas humanas. Además, en países como Guatemala, donde la situación del servicio hospitalario no es la más alentadora, es importante prolongar la vida útil de los equipos mediante tareas específicas y estrictos programas de control para así cuidar la inversión.

El mantenimiento hospitalario ha ido evolucionando con el paso del tiempo, como cualquier otra organización. Los equipos antiguos eran poco complejos por lo que se aplicaban técnicas de acción correctivas en el momento de presentarse una falla. Sin embargo, la tecnología ha avanzado y los dispositivos médicos han incorporado sistemas más sofisticados que hacen imposible el esperar que ocurra una falla para actuar. Los repuestos para estos equipos muchas veces son especiales y no son fáciles de encontrar en el mercado.

El ingeniero a cargo del mantenimiento hospitalario debe ser un profesional capaz de realizar distintas actividades, no solo enfocadas a la conservación del equipo y las instalaciones, si no también dirigidas a la planeación de programas que puedan ayudar a cumplir esa meta. Para lograr este objetivo, el encargado de mantenimiento debe contar con un equipo especializado capaz de desenvolverse en las distintas áreas técnicas que demanda la gestión de hospitales. Es necesario contar con gente capacitada en el cuidado de redes eléctricas, aire acondicionado, calderas, equipo electrónico,

entre otros, dotándolos de las herramientas necesarias para realizar un mantenimiento preventivo básico que permita el correcto y continuo funcionamiento de cada una de las áreas del hospital.

De igual manera, es responsabilidad del ingeniero saber en qué momento es necesario contar con la ayuda de un técnico especializado en el tema, por ejemplo, con algún equipo médico. Al subcontratar a empresas especializadas, estas son las encargadas de brindar un diagnóstico de los equipos que deben ser intervenidos por los servicios técnicos del fabricante, esto debido a la complejidad del trabajo a realizar.

El plan de mantenimiento de un hospital puede llegar a ser muy complejo, y es muy difícil que el método que funcione en una organización vaya a dar frutos en otra, a diferencia del mantenimiento industrial donde los procedimientos pueden ser más estandarizados. En el caso de los centros hospitalarios, afectan muchos factores, como la cantidad y complejidad del equipo, el personal técnico disponible y las condiciones de la comunidad. Sin embargo, algunas medidas pueden ser tomadas como base para la puesta en marcha de algún plan de conservación de las instalaciones, tales como:

- Preparación de normas de operación, basadas en los manuales de los fabricantes del equipo.
- Preparación de instrucciones de servicio básico, para darle un cuidado especial a las piezas más críticas según el fabricante.
- Establecimiento de un programa de inspecciones periódicas en todas las áreas del hospital, para detectar anomalías en el funcionamiento de equipos y servicios.

- Programa de adiestramiento para tareas recurrentes que requieran mano de obra calificada.
- Planificación rigurosa de la parte administrativa y económica del mantenimiento.

1.3. Conceptos básicos en radiología

El desarrollo tecnológico ha influido en los procesos de los sistemas presentes en la sociedad. La medicina no ha queda exenta de estos avances y ha ido adoptando prácticas en beneficio del paciente. Una de estas técnicas es la radiología, la cual se define como la rama de la medicina encargada de obtener imágenes del interior del cuerpo para poder realizar diagnósticos.

1.3.1. Radiología y su importancia en el diagnóstico de pacientes

El fin principal de la radiología es brindarle al médico una herramienta para realizar un diagnóstico certero por medio de imágenes. Es importante ya que permite detectar problemas que serían muy difíciles de determinar por medio de una intervención clínica. De esta manera, el especialista obtiene información relevante para establecer el tratamiento más adecuado para atacar el problema. Además, es posible observar la respuesta de una enfermedad a la medicación utilizada para tratarla.

En Guatemala, el Dr. Darío González Guerra en 1898 utilizó por primera vez la radiología. Aplicó la técnica en un joven de 16 años con osteomielitis tuberculosa de las falanges, en el cual se logró obtener una radiografía de la mano izquierda del paciente. En 1907 se inauguró el primer Departamento de Radiología y Electroterapia en el Hospital General San Juan de Dios, dirigido

por el cirujano Dr. Mario Wunderlich. En 1957 fue fundada la Asociación Guatemalteca de Radiólogos por el Dr. Carlos Chacón. En 1996, la Facultad de Medicina de la Universidad de San Carlos de Guatemala acreditó el Postgrado de radiología en el Hospital General San Juan de Dios y el Hospital Roosevelt, permitiendo que muchos médicos de la región se entrenaran en estos programas de especialización.

Como la mayoría de los países latinoamericanos, Guatemala enfrenta padecimientos muy comunes entre la población, como enfermedades cerebrovasculares, cáncer de próstata, enfermedades de las vías respiratorias inferiores, insuficiencia cardíaca, neumonía y cáncer de mama. Ante este escenario, la radiografía se vuelve esencial y es de suma importancia que toda la población pueda tener acceso a estos servicios para diagnosticar y tratar este tipo de padecimientos que son difíciles de detectar bajo una simple inspección.

1.3.2. Técnicas radiográficas

Muchos han sido los avances que ha experimentado la medicina en los últimos años, nuevas técnicas de diagnóstico por imágenes han surgido con el paso del tiempo, entre las que se encuentran: radiografía simple, radiografías con contraste y tomografía.

1.3.2.1. Radiografía simple

Para este procedimiento, el paciente no necesita de ninguna preparación especial, solamente es necesario que la zona a explorar este despejada para poder obtener los resultados deseados. El principio de operación consiste en someter al paciente a una emisión de rayos x generada por un tubo de rayos catódicos, para luego formar la imagen en escala de grises del área en estudio

sobre una placa fotográfica. Los rayos x se ven reducidos en energía conforme atraviesan los tejidos, esta atenuación permite diferenciar la estructura ósea de lo que la rodea. Los grises son más oscuros en las áreas que no absorben bien la radiación y más claros en las partes que absorben bien la radiación, como los huesos.

Figura 3. Ejemplo de radiografía simple



Fuente: <https://primeraplana.com.mx/portal/tronarse-los-huesos-si-puede-traer-consecuencias-a-la-salud/>. Consulta: 2 de noviembre de 2018.

1.3.2.2. Radiografía con contraste

Es parecida a la anterior, pero con esta técnica se deben usar medios de contraste que atenúen los rayos x. Por medio de esta práctica se realizan análisis del aspecto y el funcionamiento de los sistemas internos del organismo, como el aparato digestivo, urinario, arterias, entre otros. Se utiliza para detectar enfermedades, como piedras, tumores malignos, úlceras, entre otros. Consiste en rellenar dichas estructuras con un elemento capaz de absorber la radiación en mayor medida a lo que lo haría normalmente la parte del cuerpo en estudio.

Los elementos más usados para lograr este objetivo son los contrastes basados en el bario y los basados en el yodo. Se caracterizan por no ser tóxicos y se administran vía oral o intravenosa.

Figura 4. **Ejemplo de radiografía con contraste**



Fuente: <http://clasemedica.blogspot.com/2017/08/colon-por-enema-preparacion-y.html>.

Consulta: 2 de noviembre de 2018.

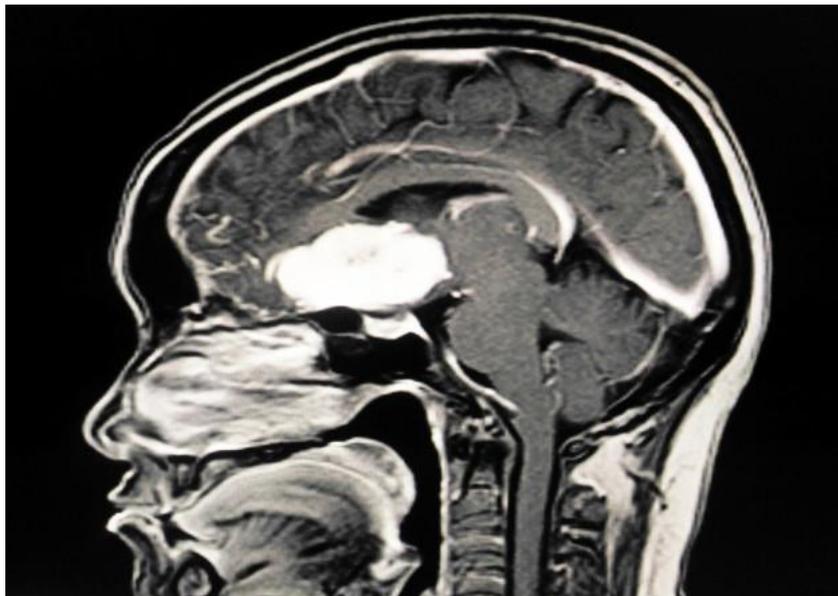
1.3.2.3. Tomografía computarizada

Se diferencia de las radiografías convencionales porque la información de los órganos internos es más detallada. Genera imágenes en tres dimensiones, puede detectar diferencias en la densidad de los tejidos y concentrarse, en áreas específicas para lograr un análisis más detallado.

Esto se logra porque los métodos tradicionales dirigen un haz de radiación desde un solo ángulo, a diferencia de la tomografía que toma radiografías del cuerpo desde varios ángulos. Luego, una computadora las unifica y crea imágenes detalladas del interior del cuerpo. Esta técnica presenta muchas ventajas ya que es posible rotar la imagen o ver los cortes en sucesión, haciendo más fácil la detección de problemas dentro del organismo.

La tomografía es muy importante para la detección de anomalías en el cuerpo que podrían ser fatales de no ser detectadas a tiempo. Utilizando este método se facilita la localización de tumores en cualquier parte del cuerpo, es posible utilizarla también para determinar si los pulmones se encuentran cubiertos de líquido, y es esencial para la detección de fracturas en los huesos, articulaciones, o coágulos que podrían derivar en un problema mortal.

Figura 5. Ejemplo de tomografía computarizada



Fuente: https://www.freepik.es/fotos-premium/mri-o-tomografia-computarizada-cerebro-rt-sphenoid-canto-meninggioma_2267081.htm. Consulta: 8 de noviembre de 2018.

1.3.3. Tomógrafo computarizado y sus partes

Los equipos tomográficos cuentan con módulos en común para realizar las tareas de detección de imágenes. Estos dispositivos cuentan con al menos las siguientes partes:

Figura 6. Partes de un tomógrafo computarizado



Fuente: <https://es.medical.canon/product-solutions/computed-tomography/>. Consulta: 9 de noviembre de 2018.

- Gantry: es el espacio donde es introducido el paciente y donde se aloja el tubo de rayos X, colimador, detectores y demás componentes necesarios para la correcta transmisión de datos para el análisis y producción de la imagen. Este dispositivo es capaz de tener una

pequeña inclinación dependiendo de la parte del cuerpo que se desee estudiar. A continuación, se detallará un poco más el funcionamiento de los elementos dentro del gantry.

- o Tubo de rayos X: elemento encargado de producir la radiación ionizante.
 - o Detectores: estos dispositivos tienen la capacidad de recibir los rayos X que atravesaron al paciente y convertir esa energía en una señal eléctrica que envía a la computadora.
 - o Colimador: aparato necesario para regular el haz de luz que se le irradia al paciente, concentrándolo solo en el área que se desea analizar. También es útil para mejorar la calidad de la imagen al evitar la radiación dispersa.
 - o Generador: es el aparato eléctrico utilizado para alimentar el tubo de rayos x.
-
- Mesa: es la parte del equipo en la cual se acuesta el paciente, debe ser cómoda para realizar sin inconveniente exploraciones extensas. De igual manera, debe ser de un material al cual no le afecte la radiación para no interferir en los resultados. Debe ser autoajustable, permitiendo colocar al paciente en la posición deseada para poder realizar un correcto estudio. La mayoría de las camillas son capaces de soportar un peso máximo que varía 250 y 400 libras.
 - Computadora: es el cerebro del equipo, recibe la información proveniente del gantry y la transforma en imágenes analizables para el médico. También concentra los programas necesarios para el funcionamiento del tomógrafo.

- Consola: dispositivo encargado de presentar las imágenes obtenidas durante la exploración.

1.3.4. Riesgos que presenta el uso de equipos radiológicos

La radiografía es un avance en la medicina y se ha convertido en una herramienta esencial para el diagnóstico de pacientes. Con ella es posible realizar un análisis más a fondo y con más criterio del problema que se estudia. Sin embargo, esta práctica tiene sus desventajas, una en específico, la exposición a la radiación ionizante.

Este tipo de energía representa un riesgo para la salud. Este peligro es cuantificado por dos términos principales: dosis equivalente y dosis efectiva.

- Dosis equivalente: es un factor que toma en cuenta la cantidad de radiación absorbida por el cuerpo, así como el tipo y energía de la dosis considerada. Es medida en Sieverts (Sv).
- Dosis efectiva: es el término más utilizado para cuantificar la cantidad de radiación a la que el organismo está expuesto ante una situación determinada. No todos los órganos del cuerpo reaccionan de la misma manera ante una exposición. Lo que se busca determinar es el riesgo a la salud del irradiado independientemente del órgano o tejido expuesto. Es medida en mili Sieverts (mSv).

La radiación puede ser natural o artificial, por ello, el ser humano siempre está expuesto a ella. La primera proviene de la naturaleza y varía dependiendo de la zona. Es inevitable pero la dosis es bastante baja como para causar un problema. La artificial proviene de equipos radiológicos, plantas nucleares, entre

otros, que generan grandes cantidades de radiación y podrían provocar la muerte.

La dosis permitida para quien trabaja cerca de equipos que emiten radiaciones ionizantes es de 100 mSv en 5 años. En cambio, un individuo que trabaje en lugares totalmente alejados de estos fenómenos recibe en promedio 1 mSv por año. Una radiografía de tórax expone al paciente a una cantidad de 0,1 mSv, lo que es equivalente a la radiación recibida naturalmente por una persona durante 10 días. Sin embargo, la dosis aumenta cuando se trata de una tomografía computarizada de abdomen y pelvis, por ejemplo, ya que la cantidad de radiación es de 10 mSv, lo que es igual a la radiación recibida de forma natural durante 3 años. Por eso, es necesario tomar medidas de protección en los centros hospitalarios, para intentar reducir al máximo el riesgo de absorción de radiación.

1.3.5. Cuidados básicos para contrarrestar la radiación de los equipos

Todos los trabajadores de un hospital relacionados directa o indirectamente con las áreas donde se realizan estudios radiográficos deben saber que están expuestos a la radiación y los riesgos que implica. Existen tres parámetros muy importantes para reducir la radiación que reciben las personas, los cuales son: blindaje, distancia y tiempo.

Los espacios destinados a los equipos radiográficos deben estar debidamente aislados para así no poner en riesgo la salud de las personas que están cerca de las instalaciones, ya que esta dosis continua de radiación puede significar a largo plazo serios problemas, como el cáncer. Anteriormente, se utilizaba para blindar el cuarto, una estructura bastante sólida de hormigón o ladrillo macizo, por lo que eran paredes bastante gruesas, sin embargo, con el

paso de los años se fue mejorando esto, actualmente el plomo es el material favorito para revestir paredes, ventanas, techos y puertas contra la radiación. Su uso es muy ventajoso ya que 1,5 mm de plomo aísla lo mismo que 150 mm de concreto o que 10 mm de acero. Además, es maleable para poder adaptarse a las exigencias de la construcción y anticorrosivo. Para proteger al paciente dentro del área, se utilizan delantales, protectores tiroideos y guantes plomados.

El personal del hospital debe mantener una distancia bastante grande de las fuentes de emisión para poder reducir al máximo los efectos. Claro que esto no siempre es posible ya que deben acompañar al paciente al momento de que se le realicen los estudios, sin embargo, deben procurar mantenerse lo más alejado posible y vestir siempre un delantal plomado.

El tiempo debe ser mínimo, es importante que el personal se acerque a estas áreas solo de ser necesario y sepa de antemano las actividades a realizar para no excederse en la estadía cerca de la fuente de emisión.

1.4. Diagnóstico actual del área de radiología del hospital Nacional de Chimaltenango

El Departamento de Radiología en Chimaltenango, depende directamente de la subdirección Técnica. Tiene a su cargo las siguientes funciones principales:

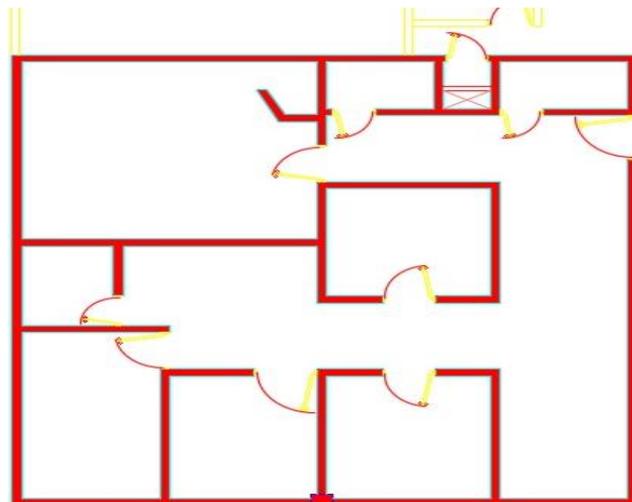
- Efectuar radiología de diagnóstico.
- Efectuar los ultrasonidos que sean necesarios para apoyo médico.
- Desarrollar resonancias magnéticas.
- Hacer radiografías y estudios fluoroscópicos en cirugía.

- Disponer de servicios móviles de cateterización.
- Promover y desarrollar la investigación en el campo de la radiología.
- Atender cualquier petición relacionada con su función.
- Promover y evaluar el rendimiento óptimo del recurso humano asignado al departamento.
- Desarrollar y ampliar todas las funciones que le sean requeridas por la autoridad competente.

1.4.1. Planos de ubicación actuales del área de radiología

Actualmente, el área que ocupa el Departamento de Radiología es de 53,19 metros cuadrados, los cuales están divididos en una sala de rayos x, vestidor, cuarto oscuro, bodega, oficina, archivo y un área común. A continuación, se muestra un plano donde se puede observar cómo está distribuida esta zona.

Figura 7. Plano actual del área de radiología



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

1.4.2. Servicios que presta la unidad de radiología en el Hospital Nacional de Chimaltenango

El Hospital de Chimaltenango es muy importante para la región, cada día llegan a sus instalaciones pacientes con distintas necesidades y que requieren cuidados para su pronta mejoría. Además, constituye uno de los principales centros hospitalarios para la atención de emergencias ocurridas en la carretera Interamericana, una de las rutas del país con el mayor índice de accidentes.

A pesar de la importancia de este recinto, los servicios que presta el Departamento de Radiología no son los más avanzados, ni los más completos. Esto genera muchos contratiempos al atender pacientes. Actualmente, esta unidad apoya con ultrasonidos, resonancias magnéticas y radiología convencional para diagnóstico. Sin embargo, cuando se requiere una exploración más profunda no es posible realizarla ya que el hospital no cuenta con los servicios de tomografía. Por ello, es necesario trasladar al paciente a otros centros asistenciales para que puedan ser examinados.

1.4.3. Manejo de información y resultados

La toma de imágenes y muestra de resultados se hace de manera convencional, cuando se requiere de un análisis radiográfico. Después de que la zona afectada del paciente ha sido sometida a rayos x, la placa que recibe la radiación del equipo es llevada a un cuarto oscuro donde es tratada para que puedan ser visibles los resultados. Este proceso dura alrededor de una hora.

Luego de que el médico realiza el diagnóstico basado en las imágenes obtenidas, este archivo se guarda durante cinco años en la carpeta del paciente. Después de este período es posible desechar los estudios a los

cuales el paciente se haya sometido, según las normas del hospital. A raíz de esto, el hospital cuenta con un área designada para el almacenamiento de resultados.

Figura 8. **Almacenamiento de resultados en Hospital de Chimaltenango**



Fuente: Área de Radiología, Hospital Nacional de Chimaltenango.

2. ESTUDIO TÉCNICO PARA LA INSTALACIÓN DE UN EQUIPO TOMOGRÁFICO COMPUTARIZADO EN EL HOSPITAL NACIONAL DE CHIMALTENANGO

2.1. Características del equipo tomográfico

El equipo tomográfico permitirá realizar un diagnóstico de lesiones, huesos fracturados o dislocación de articulaciones producto de enfermedades, violencia, accidentes, calamidades, entre otros. Por lo que es importante contar con un equipo de primer nivel para cumplir con las eventualidades que ocurren en el hospital.

2.1.1. Especificaciones técnicas del equipo

El dispositivo por instalar debe ser capaz de realizar un diagnóstico radiográfico de todo el cuerpo tanto para niños como para adultos, el equipo debe ser axial multicorte de mínimo 16 cortes. De esta forma, los exámenes se realizan en el menor tiempo posible, ideal para pacientes en estado crítico. Además, se podrá obtener imágenes con mayor resolución, que permitirán la detección de lesiones pequeñas.

Los componentes del equipo deben cumplir con las siguientes características:

- Gantry
 - o Adquisición de imágenes a través de rotación continua del conjunto tubo detector.

- o Apertura de 740 mm o mayor que permita el estudio de personas con sobrepeso.
- o Ángulo de inclinación de $\pm 30^\circ$ o un rango mayor para adaptarse a la curvatura de la parte corporal bajo estudio, controlado desde el Gantry y desde la consola.
- o Panel de control para el posicionamiento del paciente a ambos lados del Gantry.
- o Láser de posicionamiento del paciente.
- o Intercomunicador paciente-usuario.

- Generador
 - o Potencia nominal: 45 KW o mayor.
 - o Inversor de alta frecuencia.
 - o Compensación automática de la tensión de la línea de al menos $\pm 10\%$.

- Tubo de rayos X
 - o Valor de kilo voltaje máximo: 140 kV o mayor.
 - o Rango de corriente: 10 a 400 mA.
 - o Foco grande: menor o igual a 1,2 mm x 1,4 mm.
 - o Foco pequeño: menor o igual a 0,7 mm x 0,8 mm.
 - o Tubo de rayos x con capacidad de almacenamiento de calor en el ánodo mayor o igual a 5 000 000 HU.
 - o Capacidad máxima de enfriamiento del ánodo de 7 700 HU/s o mayor.

- Mesa del paciente
 - o Material del tope de la mesa debe ser fibra de carbono para presentar una mejor resistencia.

- o Posicionamiento mínimo vertical del tope de la mesa deberá ser a una altura de 480 mm o menor.
 - o Posicionamiento de altura máxima del tope de la mesa deberá ser de 990 mm o mayor.
 - o Capacidad de desplazamiento longitudinal del tope de la mesa en un rango de 1 200 mm o mayor.
 - o Rango máximo escaneable: 1 200 mm o mayor.
 - o Máximo soporte de peso: 170 kg o mayor.
 - o Ancho del tope de la mesa de 400 mm o mayor.
- Detectores
 - o Tecnología de detector de estado sólido con un ancho de 20 mm o mayor.
 - o El número de elementos deberá ser de 28 000 o mayor.
- Sistema de adquisición y procesamiento de imágenes
 - o Menor tiempo de exploración completa: 0,8 s o menor.
 - o Espesor mínimo de corte deberá ser de 0,650 mm o menor.
 - o Reconstrucción 3D del volumen con herramientas de remoción de metales.
 - o Herramientas de remoción de huesos en estudios de angiografía, herramienta para estudios pulmonares.
 - o Angio TC Cerebral con sustracción digital de esta forma remover automáticamente los huesos del cráneo.
 - o Reconstrucción de alta velocidad multiplanar automática con planos ortogonales y reconstrucción planares oblicuas y curvas.

2.1.2. Equipo mínimo necesario para el manejo de información

El equipo necesario para el procesamiento, almacenamiento y visualización de resultados deberá contar con las siguientes características:

- Computadora
 - o Procesador de 64 bits como mínimo.
 - o Memoria rígida para el RAW data con capacidad de almacenamiento para 5 800 exploraciones o más.
 - o Matriz de reconstrucción de 512x512.
 - o Matriz de visualización de 1 600x1 200 o mayor.
 - o Tiempo de reconstrucción de 8 imágenes por segundo o mayor.
 - o Estación de trabajo diagnóstica instalada dentro del hospital con memoria RAM de 8 GB o mayor, con capacidad de almacenamiento de 1 TB o mayor, con monitor de alta resolución de grado médico de 21" o mayor.
 - o Servidor para almacenamiento de estudios con capacidad de 3 TB o mayor.

2.1.3. Tipo de anclaje necesario para el equipo

El anclaje para el equipo será determinado por el peso y el movimiento de cada uno de los componentes. Las partes que requieren una sujeción al piso son la mesa del paciente y el gantry. Dependiendo del fabricante del equipo seleccionado, serán los valores de apriete de los pernos y el anclaje recomendado para la fijación de los componentes al suelo.

La mesa del paciente debe ser anclada porque presenta el riesgo de sufrir un movimiento involuntario, provocado por el cambio de pacientes a la hora de necesitar una evaluación, o golpes que se pudieran presentar entre la camilla y la mesa al momento de preparar a la persona para su examinación. Además, es importante recordar que vivimos en un país sísmico, por el que se debe fijar el equipo para impedir que pierda su posición de trabajo.

El gantry debe ser anclado al piso solo en áreas anuentes a sismos y terremotos, como este caso. La superficie debe estar perfectamente nivelada, permitiendo una desviación de 3 grados que puede corregirse insertando platinas metálicas en la base, si se excede este desnivel es recomendado instalar una base que permita corregir la desviación e instalar sobre ella el equipo.

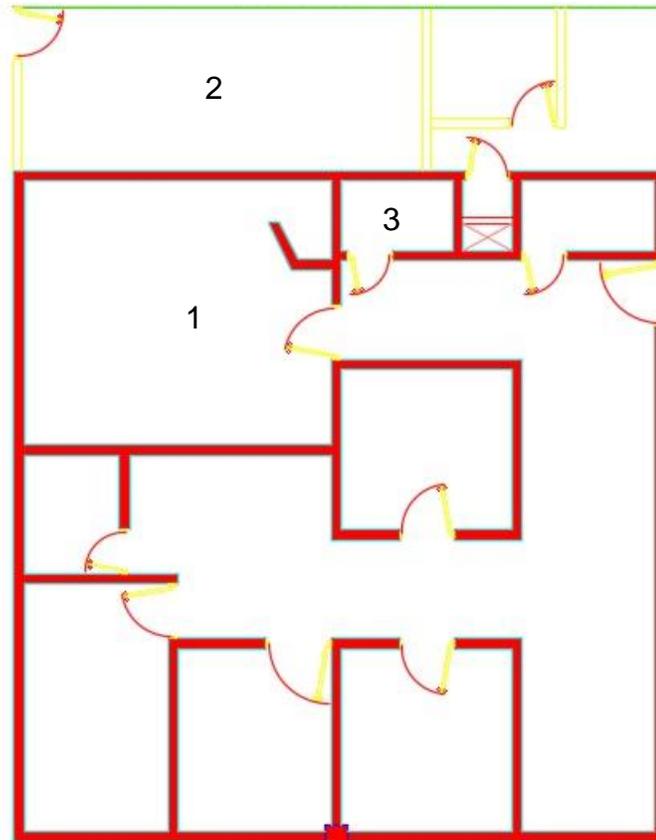
2.2. Diseño de la infraestructura

El área destinada al proyecto requiere de una serie de modificaciones para poder llevar a cabo la instalación, las cuales nos garantizarán que el montaje pueda ser realizado sin complicaciones.

2.2.1. Localización

Debido a que el espacio disponible en el Hospital Nacional de Chimaltenango es reducido, el equipo tomográfico será instalado en el Área de Radiología en el espacio destinado previamente para oficinas del Departamento de Radiografía. Además, teniendo en cuenta que es necesario un ambiente distinto para el manejo y control de resultados, se empleará el espacio adyacente a la zona de rayos x actual para la instalación de los equipos de visualización.

Figura 9. **Áreas destinadas para la instalación de tomógrafo computarizado**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El área que ocupa la zona 1 es de 17,32 metros cuadrados. Fue seleccionada ya que es el espacio que más se adecua a las condiciones de operación, una vez el equipo este instalado. Esto no quiere decir que sea el lugar ideal para la instalación.

Las condiciones de operación consideradas fueron la capacidad de maniobra de una camilla al ingresar al área y el posterior traslado del paciente a la mesa del equipo, además los movimientos transversales de la mesa del

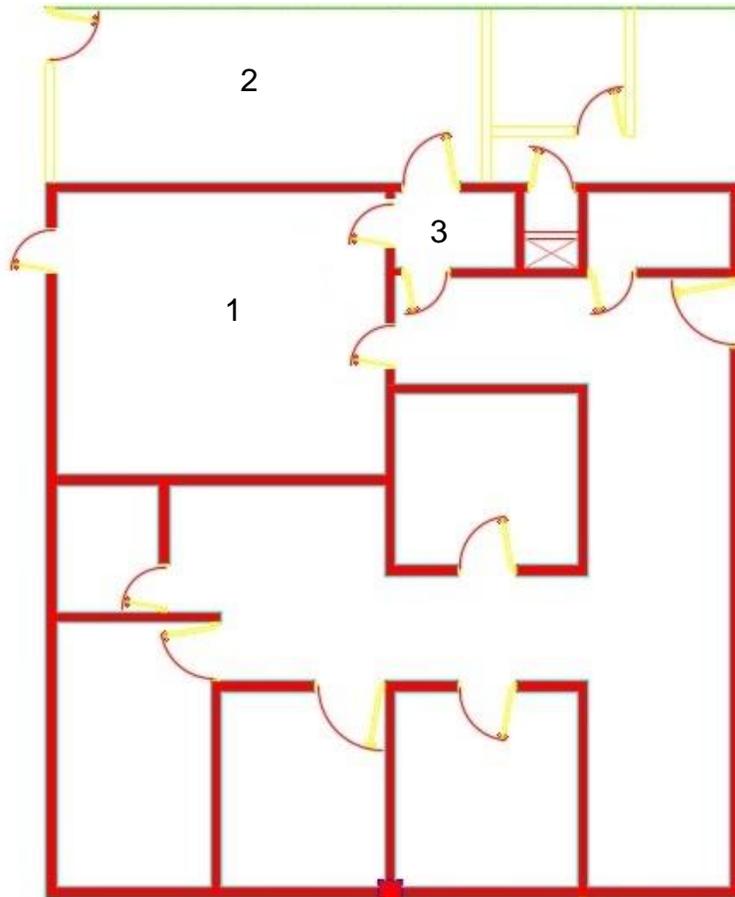
paciente que puede sobresalir por la parte trasera del gantry por 80 centímetros dependiendo del equipo que se seleccione. Otro factor es el movimiento vascular del gantry, el cual puede inclinarse ± 30 grados dependiendo del equipo instalado. Hay que tener en cuenta también que el tomógrafo no debe quedar muy cerca de las paredes, considerando la comodidad presente para futuros mantenimientos.

El área que ocupa la zona 2 es de 14,45 metros cuadrados, previamente empleada como bodega, este espacio será utilizado para colocar el equipo de visualización que permitirá desplegar los resultados de las exploraciones que se realicen. La zona 3 es de 1,76 metros cuadrados, que anteriormente era un espacio destinado para bodega, será utilizada como vestidor para el médico encargado de realizar los estudios tomográficos.

2.2.2. Diseño de la construcción

Las modificaciones que se realizarán en los espacios destinados para la instalación permitirán una mejor movilidad dentro del área en la que se encuentre el tomógrafo computarizado, además de que el paso entre la zona de visualización, vestidor y equipo será agilizado mediante la instalación de puertas de acceso que le permitan al encargado realizar las tareas de una manera más eficiente. En el siguiente plano se muestran los cambios necesarios para poder convertir estas áreas en lugares apropiados para una instalación radiográfica.

Figura 10. **Plano modificado para la instalación de equipo tomográfico computarizado**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.3. Instalaciones y materiales de construcción

Es necesario realizar adaptaciones en el área para cumplir con los requerimientos que el equipo exige para su funcionamiento.

2.3.1. Pisos

Para una instalación de equipo radiográfico, el piso debe ser capaz de soportar las grandes cargas que se le aplicarán en un área determinada. Se utiliza de preferencia concreto por su gran resistencia a esfuerzos de compresión. Cuando el montaje se realiza en una sala que no está en el nivel inferior del edificio, es necesario que el piso cuente con una losa de concreto de 150 mm de espesor como mínimo para contrarrestar la radiación a la cual se expone.

Para el recubrimiento de la losa se recomienda utilizar piso de porcelanato, ya que es muy resistente, es sometido a tratamientos de alta temperatura y presiones de compactación superiores a las que es expuesto un piso cerámico normal. Esto lo convierte en el ideal para instalarse en zonas de alto tránsito de carga y lugares donde es requerida una dureza mayor por parte del piso.

Según el capítulo III, artículo 18 del Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, aprobado por el acuerdo gubernativo número 229-2014 y sus reformas 33-2016. Se establece que:

“ARTÍCULO 18. El piso debe constituir un conjunto de material resistente y homogéneo, sin deterioro físico, liso y no resbaladizo. En caso necesario susceptible de ser lavado y provisto de declives apropiados para facilitar el desagüe. Si la naturaleza del proceso laboral impide cumplir con esta disposición, debe de tomarse otras medidas de control que sean seguras.”²

² Acuerdo Gubernativo número 229-2014 y sus reformas 33- 2016. *Reglamento de salud y seguridad ocupacional*, 23 de julio de 2014, núm. 229

2.3.2. Aislamiento en paredes y puertas

El aislamiento de paredes y puertas al momento de realizar una instalación que incluya el montaje de equipos que emiten radiación es un factor importante, ya que se busca la protección tanto del personal, como del paciente para reducir al máximo los efectos de esta exposición.

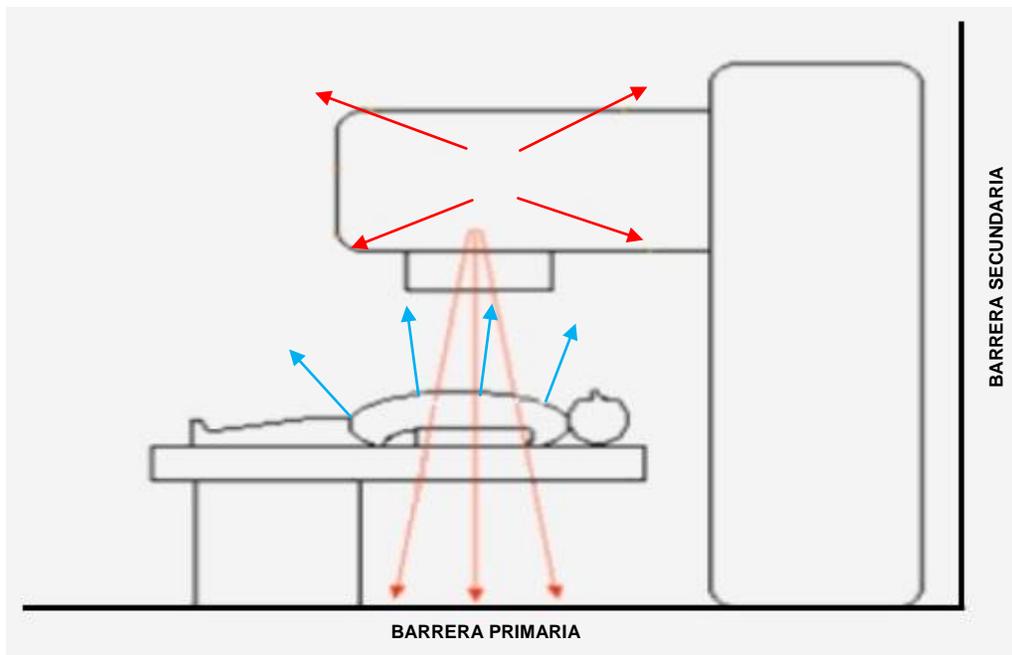
Los tipos de radiaciones existentes en los equipos que utilizan los rayos x como medio de diagnóstico son: radiación primaria, secundaria y radiación fuga. La radiación primaria es aquella que sale directamente del tubo de rayos x y es utilizada para irradiar el objeto al cual se quiere hacer el estudio. Es el haz útil, la más intensa y por lo tanto, la más peligrosa. Toda pared sobre la cual pueda ser dirigido el haz del equipo directamente, debe contar con una barrera protectora primaria, esta protección debe ser capaz de atenuar los niveles de radiación hasta un punto admisible para la salud de los usuarios.

La radiación secundaria se produce cuando el haz útil choca con el paciente, la camilla o algún otro objeto y sale dirigida en cualquier otra dirección. De esta manera, el objeto se convierte en una nueva fuente de radiación. Por último, la radiación fuga es aquella que sale de la carcasa del equipo y que no es parte de la radiación primaria. Para estos tipos de radiación es necesario una barrera secundaria, sobre la cual el haz de luz no incide directamente.

Para reducir en gran medida los efectos de la radiación al momento de utilizar el equipo radiográfico, todos los ocupantes del área, a excepción del paciente, deben estar a 2 metros de distancia de la fuente de radiación y lo más alejado posible del haz directo de luz.

En la siguiente figura se observa una representación de los distintos tipos de radiación y como afectan a las barreras. En anaranjado se representa la radiación primaria, en celeste la radiación secundaria y en rojo la radiación fuga, la barrera primaria es aquella sobre la cual el haz principal de luz incide directamente y las secundarias son aquellas que reciben la radiación secundaria.

Figura 11. **Representación de tipos de radiaciones y barreras**



Fuente: <http://investigacionradiologicapot.blogspot.com/2017/11/radiologia-estomatologica.html>.

Consulta: 13 de enero de 2019.

En el caso de los equipos tomográficos computarizados, en los cuales el tubo de rayos x gira concéntricamente para obtener las imágenes para el estudio; se define como barrera primaria a cualquier pared, piso o techo que se encuentre perpendicularmente expuesta al haz de radiación al momento de encontrarse trabajando el equipo.

Cuando se escoge el material que se utilizará para blindar el área sobre la cual está instalado un equipo radiográfico es necesario tomar en cuenta algunos factores tales como peso del aislante, capacidad para formar parte de la estructura, costo del material, espesor requerido, entre otros.

Para el cálculo del espesor de una barrera primaria, es necesario conocer antes el valor de la transmisión, este valor es encontrado mediante los estatutos del Consejo Nacional de Protección y Medidas de Radiación de los Estados Unidos, en su norma NCRP 49, la cual establece la siguiente ecuación:

$$B = \frac{H_W D^2}{W U T}$$

Donde

H_w = Tasa semanal de la dosis equivalente. Para un área controlada es de 1,0 mSv/semana.

D = Distancia expresada en metros entre la fuente emisora de rayos x al punto donde se encuentra la barrera en cuestión.

W = Carga de trabajo expresada en mA*min. Este valor se obtiene de la siguiente ecuación:

$$W = \frac{Nr * T * I}{60}$$

Donde: Nr es el número de radiografías que se esperan realizar semanalmente, T es el tiempo de exposición por cada radiografía en segundos e I es la corriente emitida por el tubo de rayos X en mA.

U = Factor de uso, el cual representa la fracción de tiempo durante el cual la radiación producida por una fuente es direccionada hacia la barrera. Según la

norma NCRP 49, apéndice C, tabla 3, en instalaciones de equipos, estos valores se consideran como U=1 para pisos, U=1/4 para paredes y techos.

T = Factor que representa la permanencia del personal expuesto como no expuesto en las áreas cercanas a la zona de instalación de un equipo radiográfico. Según la norma NCRP 49, apéndice C, tabla 4, para personal expuesto se utiliza T=1, para las áreas que se encuentren cercanas al área en cuestión, para corredores, oficinas o ambientes con ocupación parcial se tomara T=1/4.

Para el cálculo del valor de transmisión para una barrera secundaria según la norma NCRP 49, se establece la siguiente ecuación:

$$B = \frac{H_W D_S^2 D_P^2}{(W T A) \left(\frac{400}{F}\right)}$$

Donde

H_w = Tasa semanal de la dosis equivalente. Para un área controlada es de 1,0 mSv/semana.

D_s = Distancia en metros, de la fuente de radiación al paciente.

D_p = Distancia en metros, del paciente a la pared o punto a proteger.

W = Carga de trabajo.

T = Factor de uso.

A = Factor de dispersión a un metro del paciente, es 0,002.

F = Área del campo de radiación máxima en centímetros cuadrados.

Una vez determinados los valores de transmisión para barreras primarias y secundarias, se procede a calcular el espesor de plomo necesario para el

blindaje de estas. Siguiendo con los estatutos que la norma NCRP 49 establece, la ecuación utilizada para hallar este valor es:

$$S = CDR * \log\left(\frac{1}{B}\right)$$

Donde

CDR = Valor para capas decirreductoras para haces de rayos X. Este dato es obtenido de la siguiente tabla:

Tabla I. **Valores aproximados de capas hemirreductoras y decirreductoras para haces de rayos X**

Tensión kVp	CHR (mm)		CDR (mm)	
	Plomo	Hormigón	Plomo	Hormigón
50	0,05	4	0,18	13
75	0,15	11	0,50	40
100	0,25	16	0,84	55
125	0,27	19	0,27	64
150	0,29	22	0,96	70

Fuente: http://www.mem.gob.gt/wpcontent/uploads/2012/04/2._Memoria_del_Calculo_de_Blindaje.pdf. Consulta: 14 de enero de 2019.

- B = Valor de transmisión según el tipo de barrera.

Una vez obtenido el valor del espesor es posible hacer una correlación para los distintos materiales utilizados en el blindaje de áreas con exposición radiológica. En la siguiente tabla se muestra las equivalencias en milímetros de plomo a otros materiales tales como ladrillo de arcilla, yeso baritado, acero.

Tabla II. **Equivalencias en milímetros de plomo de varios materiales para blindaje de rayos X**

Material	Densidad del material (Kg.m ³)	Espesor del material (mm)	Equivalencia en mm de plomo según los kV aplicados			
			50	75	100	150
Ladrillo de arcilla	1.600	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	3.200	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	7.800	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	—			4,0

Fuente: http://www.mem.gob.gt/wpcontent/uploads/2012/04/2._Memoria_del_Calculo_de_Blindaje.pdf. Consulta: 14 de enero de 2019.

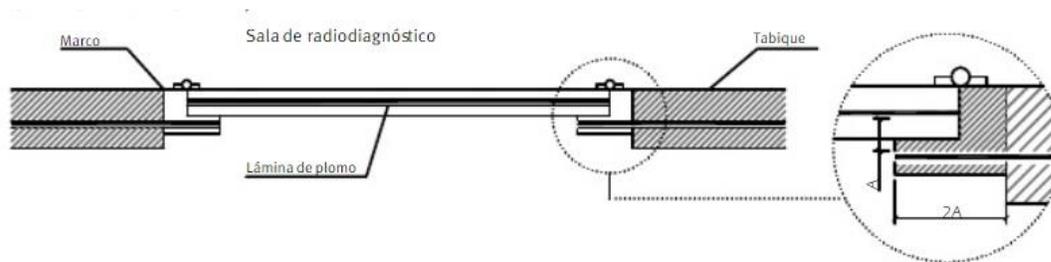
De acuerdo con el capítulo III, artículo 21 del Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, aprobado por el acuerdo gubernativo número 229-2014 y sus reformas 33-2016. Se establece que:

“ARTÍCULO 21. Las paredes deben ser lisas, repelladas, pintadas en tonos claros, preferiblemente en tonos mate que contrasten con la maquinaria y equipos, susceptibles de ser lavadas y deben mantenerse siempre, al igual que el piso, en buen estado de conservación, reparándose tan pronto como se produzcan grietas, agujeros o cualquier otra clase de desperfectos.”³

³ Acuerdo Gubernativo número 229-2014 y sus reformas 33- 2016. *Reglamento de salud y seguridad ocupacional*, 23 de julio de 2014, núm. 229

El mejor revestimiento para las puertas es el plomo por su precio y adaptabilidad. El espesor se calcula igual que las paredes. Al momento de instalar el blindaje se debe verificar que el empalme entre las láminas de plomo sea al menos de 1 cm para así poder garantizar que las radiaciones no se van a filtrar entre las juntas de cada unión. Además, debe existir un marco que evite la fuga de radiación por el perímetro de la puerta, el mismo debe estar solapado con la puerta el doble de la distancia que existe de separación entre ellos.

Figura 12. **Ejemplo de solapamiento de puerta y marco**



Fuente: http://www.academia.edu/5259800/PRESCRIPCIONES_T%C3%89CNICAS_PARA_EL_DISE%C3%91O. Consulta: 17 de enero de 2019.

2.3.3. Techos

Debido a que el área designada para la instalación del tomógrafo computarizado no se encuentra en niveles intermedios y tampoco tiene un segundo nivel sobre ella, no es necesaria la instalación de un blindaje para evitar radiaciones.

Siguiendo los lineamientos del Ministerio de Trabajo y Previsión Social y basándonos en el capítulo III, artículo 23 del Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, aprobado por el acuerdo gubernativo número 229-2014 y sus reformas 33-2016. Se establece que:

“ARTÍCULO 23. Los techos deben tener la resistencia requerida para soportar las cargas a las que se vean sometidos y en cualquier caso prestar la debida protección contra las inclemencias atmosféricas. No deben ser utilizados para soportar cargas fijas o móviles si no fueron diseñados para tal fin.”⁴

Debido a que el techo no debe soportar cargas y tampoco presentar algún tipo de blindaje, se recomienda utilizar cielo falso en la zona, elaborado de algún material que presente las siguientes características:

- Ser de fácil adaptación cuando se necesite contar con un ambiente controlado dentro de la zona de instalación.
- Permitir una instalación rápida, que nos permite ahorrar tiempo y dinero.
- No debe ser inflamable.
- Adaptarse a la presentación requerida en el lugar.
- Buenas propiedades acústicas y térmicas.
- Debe ser resistente a la humedad.

2.3.4. Ventana antirradiación

Es necesario instalar una ventana que le permita al médico examinador una visión amplia de lo que sucede dentro del área donde el paciente está siendo evaluado, sin correr el riesgo de ser irradiado al momento de ejecutar el procedimiento. El vidrio normal no se acepta en este tipo de instalaciones ya que su capacidad de atenuación es variable e impredecible, por lo que deben usarse ventanas plomadas.

⁴ Acuerdo Gubernativo número 229-2014 y sus reformas 33- 2016. *Reglamento de salud y seguridad ocupacional*, 23 de julio de 2014, núm. 229

La determinación del espesor del plomo en el cristal se obtiene con base en el voltaje que el equipo maneja en el tubo de rayos X. En la siguiente tabla se muestran las equivalencias para la selección de la ventana que mejor se adapte a las características de la instalación.

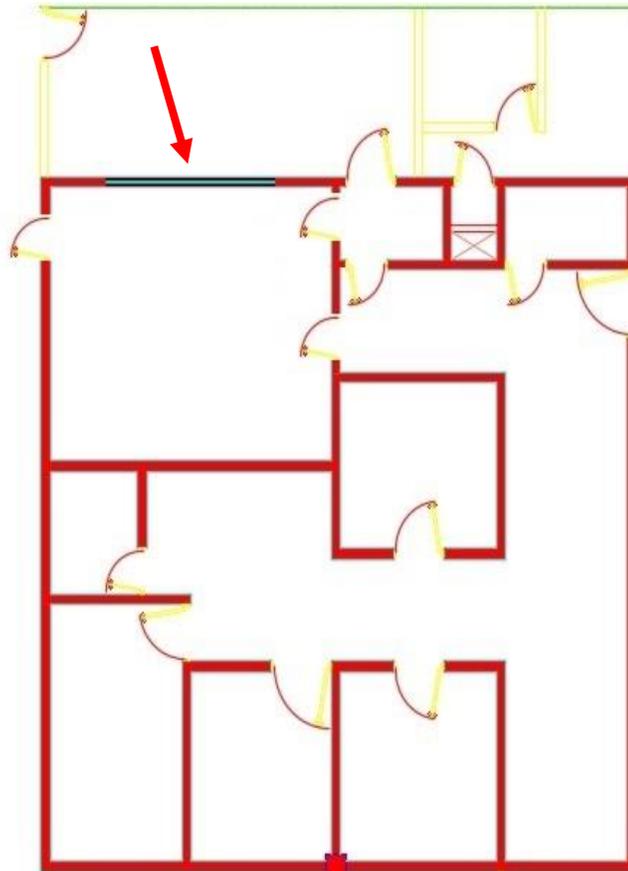
Tabla III. **Equivalencia mínima de plomo para voltaje de tubo de rayos X**

Espesor		Equivalencia mínima de plomo (mm) para el voltaje de Rayos-X declarado							Masa de la Placa máx.	
mm	pulgadas	80kV	100kV	110kV	150kV	200kV	250kV	300kV	kg/m ²	lbs/ft ²
3.5-5.0	0.138-0.197	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	24.0	4.9
5.0-6.5	0.197-0.256	1.7	1.7	1.7	1.5	1.3	1.3	1.3	31.2	6.4
7.0-8.5	0.276-0.335	2.3	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.8	40.8	8.4
8.5-10.0	0.335-0.394	2.8	2.8	2.8	2.6	2.1	2.1	2.1	48	9.8
10.0-12.0	0.394-0.472	3.3	3.3	3.3	2.9	2.5	2.6	2.6	57.6	11.8
11.0-13.0	0.433-0.512	N/A	3.5	3.6	3.2	2.7	2.7	2.8	62.4	12.8
14.0-16.0	0.551-0.630	N/A	4.4	4.7	4.2	3.5	3.6	4.0	76.8	15.7
16.0-18.0	0.630-0.709	N/A	N/A	N/A	4.8	4.0	4.1	4.3	86.4	17.7
18.0-20.0	0.709-0.787	N/A	N/A	N/A	5.4	4.4	4.5	4.7	96.0	19.7

Fuente:<https://www.corning.com/media/worldwide/csm/documents/271b66495a5d43a4ae3c35a4ee9c7f0c.pdf>. Consulta: 15 de enero de 2019.

Las dimensiones mínimas del vidrio emplomado deben ser de H=0,90 metros y L=1,50 metros, esto permitirá tener una visibilidad bastante amplia de lo que ocurre dentro del cuarto de examinación y el mismo debe contar con un marco de aluminio que evite la fuga de radiaciones por el perímetro de la ventana. En la siguiente figura se muestra la ubicación en el plano que tendrá el cristal dentro de la instalación.

Figura 13. **Localización de ventana antirradiación en el área de instalación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.3.5. **Instalación eléctrica**

La instalación eléctrica de un equipo digital tomográfico requiere de ciertos lineamientos por cumplir para tener una acometida segura que proteja al equipo ante las eventualidades que presente la red eléctrica. Este montaje deberá ser realizado por personal capacitado y entre las características principales que debe poseer están:

- El sistema deberá contar con una línea independiente y directa desde el cuarto de distribución del hospital, donde se encontrará el interruptor principal hasta el área donde será instalado el equipo donde se encontrará otro interruptor, para evitar las caídas de tensión causadas por paneles intermedios.
- El calibre de los conductores y la necesidad de utilizar un transformador de voltaje será delimitado de acuerdo con la demanda del tomógrafo computarizado y sus componentes periféricos.
- Se debe instalar en el área de exámenes un tablero eléctrico que incluya interruptores termomagnéticos, dispositivos de protección, etc., de acuerdo con los requerimientos del fabricante para el correcto funcionamiento de todos los equipos envueltos en la instalación.
- No debe existir ningún otro equipo que obtenga su energía del tablero del tomógrafo.
- Regulador de voltaje para evitar los cambios de tensión que se presenten en la línea y, además, que permita poder terminar un estudio al momento de presentarse un apagón.

Atendiendo los lineamientos del Ministerio de Trabajo y Previsión Social y basándonos en el título VII, capítulo I, artículo 307, inciso a, del Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, aprobado por el acuerdo gubernativo número 229-2014 y sus reformas 33-2016. Se establece que:

“ARTÍCULO 307. Para la protección contra los riesgos de contacto con las masas de las instalaciones que puedan quedar accidentalmente con tensión, se deben adoptar, en corriente alterna, uno o varios de los dispositivos de seguridad siguientes:

- a) Puesta a tierra de las masas. Las masas deben estar unidas eléctricamente a una toma de tierra o a un conjunto de tomas de

tierra interconectada, que tengan una resistencia apropiada. Las instalaciones, tanto con neutro aislado de tierra como neutro unido a tierra, deben estar permanentemente controladas por un dispositivo que indique automáticamente la existencia de cualquier defecto de aislamiento o que separe automáticamente la instalación o parte de la misma, en la que esté el defecto de la fuente de energía que alimenta.”⁵

Al momento de seleccionar el terreno para la instalación de la puesta a tierra, es necesario confirmar que el suelo presenta poca resistencia al paso de corriente, este valor debe estar comprendido entre 0,1 y 0,2 ohmios, según la norma IEC.

2.3.6. Instalación de equipo de acondicionamiento de aire

El acondicionamiento del ambiente dentro del cuarto donde se instalará el tomógrafo computarizado es de suma importancia, ya que esto permitirá que el equipo y sus componentes funcionen de la mejor manera. La norma IEC 601-1 establece rangos ambientales en los cuales deben operar los equipos tomográficos, para la temperatura en el entorno, acepta una variación entre 20 y 28 grados Celsius, siendo 22 grados el punto óptimo de funcionamiento. La humedad relativa debe mantenerse entre 30 % hasta un 75 %.

Para mantener estos valores, es importante instalar un equipo de aire acondicionado para regular la temperatura del lugar. Existen factores a través de los cuales se podrán conocer las ganancias de calor que ayuden a dimensionar las capacidades del dispositivo necesarias para mantener la zona

⁵ Acuerdo Gubernativo número 229-2014 y sus reformas 33- 2016. *Reglamento de salud y seguridad ocupacional*, 23 de julio de 2014, núm. 229

en los rangos de confort deseados. El calor se transfiere al ambiente en el área del equipo mediante los siguientes factores: ocupantes, iluminación, equipo médico, techo, paredes y puertas.

- Ocupantes

Las personas que se encuentren dentro del área en cuestión aportarán de alguna u otra manera calor al sistema. Ya sea por transpiración, respiración, por contacto o convección, cada individuo que ingrese a la sala contribuirá con este factor. El calor sensible que aporta cada sujeto es definido como aquel que contribuye a un aumento de temperatura, mientras que el calor latente es el que se transmite al ambiente cuando no hay un cambio en la temperatura. Las ecuaciones por utilizar para conocer la cantidad de energía que los ocupantes aportan al sistema son:

$$Q_s = n * q_s$$

$$Q_l = n * q_l$$

Donde

- o Q_s = Calor sensible expresado en BTU/h.
- o Q_l = Calor latente expresado en BTU/h.
- o q_s = Factor de ganancia de calor sensible por persona, en BTU/h.
- o q_l = Factor de ganancia de calor latente por persona, en BTU/h.
- o n = Número de personas en la zona.

Para conocer el valor de q_s y q_l es necesario consultar la siguiente tabla, en la cual se muestran los valores aproximados de ganancia de calor para distintas actividades que se realizan dentro de un ambiente.

Tabla IV. **Valores de calor sensible y calor latente para ocupantes**

Nivel de actividad	Carga calor sensible	Carga calor latente
Actividad moderada, trabajo de oficina	250 Btu/h; 75 W	200 Btu/h; 55 W
Sentado, trabajo ligero o caminando	250 Btu/h; 75 W	200 Btu/h; 55 W
Trabajo ligero en fabrica	275 Btu/h; 80 W	475 Btu/h; 140 W
Trabajo duro	580 Btu/h; 170 W	870 Btu/h; 255 W
Atlético, gimnasio	710 Btu/h; 210 W	1090 Btu/h; 315 W

Fuente: Norma ASHRAE, 1997.

- Iluminación

No toda la energía que utilizan las lámparas es transformada en luz, parte de esta se convierte en calor que contribuye al aumento de temperatura dentro del recinto. Para calcular esta ganancia se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = n * W * 3,41 \frac{BTU}{h * w}$$

Donde

Q = Ganancia de calor por iluminación, expresado en BTU/h.

n = Numero de lámparas en la zona.

W = Capacidad de alumbrado, en watts.

Si se utilizan bombillos fluorescentes es necesario sumarle un 20 % más de su valor actual a la constante en la ecuación.

- Equipo médico:

Los equipos instalados dentro del área liberarán cierta cantidad de calor dependiendo de su potencia. Estos datos vienen especificados en la placa del equipo o bien, pueden ser calculados mediante la siguiente ecuación:

$$P = V * I$$

Donde

P = Potencia del equipo, expresada en Watts.

V = Voltaje de operación, expresado en Volts.

I = Corriente de operación, expresada en Amperios.

Para conocer las ganancias de calor producida por los aparatos dentro del área, es necesario convertir la potencia en BTU generados por hora. Esto se realiza sabiendo que 1 watt es igual a 3,41 BTU/h. Por ende, la ecuación para conocer la cantidad de energía suministrada al ambiente en un período de tiempo es:

$$Q = 3,41 * P$$

Donde

Q = Ganancia de calor, expresada en BTU/h.

P = Potencia del equipo, expresada en Watts.

- Techo

Para calcular las ganancias de calor por techos, es necesario conocer el material del cual está elaborado, la siguiente tabla muestra los valores para el coeficiente de transmisión de calor para distintos tipos de techos:

Tabla V. **Coeficiente de transmisión de calor para distintos materiales de construcción**

MATERIALES TÍPICOS CONSTRUCCIÓN	k (BTU/h·pie ² ·°F·pulg)	C (BTU/h·pie ² ·°F)	k (W/m ² ·°C·cm)	C (W/m ² ·°C)
ARCE, ROBLE, MADERAS DURAS SIMILARES		1.10		0.1937
ABETO, PINO, MADERAS SUAVES SIMILARES		0.80		0.1408
MADERA CONTRACHAPADA 1/2 pulg.		1.60		0.2817
MADERA CONTRACHAPADA 3/4 pulg.		1.07		0.1884
TECHADO CON ROLLO DE ASFALTO	6.5	0.15	0.4505	0.0264
TECHADO INSTALADO EN OBRA		3.00		0.5282
TECHADO ASBESTO CEMENTO		4.76		0.8380
ESPACIO DE AIRE EN ENTRECIELO		1.00		0.1761
PANEL ASBESTO CEMENTO	4.0		0.2773	
PANEL YESO Y PASTA 1/2 PULG.	0.8	1.25	0.0555	0.2201
PANEL PLYWOOD 1/2 PULG		1.60		0.2817
VIDRIO DE UNA HOJA		1.13		0.1989
VIDRIO DE DOS HOJAS		0.46		0.0810
VIDRIO DE TRES HOJAS		0.29		0.0511
VIDRIO DE CUATRO HOJAS		0.20		0.0352
LOSETA CIELO FALSO	0.035		0.0025	

Fuente: VALDILLO, Francisco Javier. *Sistema de refrigeración, aire acondicionado y ventilación*. p. 65.

Es posible utilizar los valores de la tabla para determinar la ganancia de calor por techos, utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = C * A * DT$$

Donde

Q = Ganancia de calor por techo, expresado en BTU/h.

C = Coeficiente de transmisión de calor, obtenido de la tabla V.

A = Área del techo, en pies cuadrados.

DT = Diferencia de temperatura entre espacio exterior y espacio acondicionado, expresado en grados Fahrenheit.

- Paredes y puertas

Para calcular la ganancia de calor por paredes y puertas, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = U * A * DT$$

Donde

U = Coeficiente de transferencia de calor, expresado en $\frac{BTU}{h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F}$. Para determinar este valor, se procede a utilizar la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{F_o} + \frac{X}{K} + \frac{1}{F_i}}$$

Para esta ecuación

Fo = Película de aire exterior, valor constante de 6,0.

Fi = Película de aire interior, valor constante de 1,65.

X = Espesor del material que compone la pared o puerta, expresado en pies.

K = Coeficiente de conductividad térmica del material. En la siguiente tabla se muestran los valores de conductividad para algunos materiales, a los cuales hay que aplicarles el factor de conversión $1 \text{ Btu}/(h \cdot ft \cdot ^\circ F) = 1,731 \text{ W}/(m \cdot K)$:

Tabla VI. Conductividades térmicas de distintos materiales

MATERIALES	DENSIDAD (kg/m ³)	CONDUCTIVIDAD TERMICA k [=] J/s.m.gC
1-MATERIALES AISLANTES		
ASBESTO PULVERIZADO	130	0.04600
CORCHO, PLACAS	145	0.04200
FIBRA DE VIDRIO	80	0.03500
FIBRA DE MADERA	600	0.11000
HULESPUMA	20	0.03600
LANA MINERAL, PLACA RIGIDA	180	0.04200
PERLITA	65	0.04200
POLIESTRENO, PLACA	15	0.03700
POLIURETANO, ESPUMA	30	0.02600
POLIURETANO, PLACA RIGIDA	30	0.02000
VERMICULITA	100	0.06500
2-MATERIALES PARA CONSTRUCCION		
ASBESTO-CEMENTO, PLACA	1360	0.25000
ASFALTO	1600	0.43000
CARTON ASFALTICO	1100	0.14000
CLORURO DE POLIVINILO EXP.	25	0.04000
CONCRETO	2300	1.80000
ENCALADO	1800	0.81000
LADRILLO AISLANTE		0.14644
LADRILLO REFRACTARIO		1.04600
LADRILLO ROJO		0.62760
3-GASES		
AIRE		0.02400
ARGON		0.01632
HELIO		0.14226
HIDROGENO		0.14000
OXIGENO		0.02300
4-MADERA		
MADERA BLANDA	610	0.13000
MADERA DURA	700	0.15000
TRIPLAY	530	0.14000
VIRUTA PRENSADA	400	0.16000
5-METALES		
ACERO	7830	58.00000
ACERO INOXIDABLE	7800	46.50000
ALUMINIO	2675	220.00000
BRONCE	1000	64.00000
COBRE	8938	350.00000
HIERRO GALVANIZADO	1500	46.50000
LATON		108.78400
MERCURIO		8.36800
PLATA		407.00000
PLOMO		34.00000
ZINC	6860	110.00000

Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7609/Capitulo3.pdf>. Consulta: 16 de enero de 2019.

A = Área de la pared o puerta, expresada en pies cuadrados.

DT = Diferencia de temperatura entre espacio exterior y espacio acondicionado, expresado en grados Fahrenheit.

Una vez determinados los cálculos de ganancia de calor dentro del cuarto, se realiza la sumatoria para dimensionar el equipo de aire acondicionado necesario para mantener el espacio bajo los parámetros óptimos de confort.

3. INSTALACIÓN DEL TOMÓGRAFO COMPUTARIZADO Y ADECUAMIENTO DEL ÁREA DE RADIOLOGÍA DEL HOSPITAL NACIONAL DE CHIMALTENANGO

3.1. Montaje del equipo tomográfico

Se ha adquirido un tomógrafo axial computarizado de marca Hitachi, modelo Supria. Es un equipo que cuenta con una vida útil de diez años, siempre y cuando se cumplan con los estándares de mantenimiento que la compañía recomienda.

Este sistema reduce la exposición del paciente a los rayos X y proporciona imágenes de alta calidad. El gantry cuenta con una abertura de 750 mm ideal para pacientes de cualquier complejión, es capaz de inclinarse $\pm 30^\circ$ para poder realizar exploraciones dificultosas, cuenta con un rayo láser para posicionamiento del paciente al momento de iniciar el estudio y permite realizar exámenes de todo el cuerpo. El peso total del escáner es de 1 600 kg.

Figura 14. **Gantry del equipo instalado**



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

La mesa del paciente está construida en fibra de carbono, material que se caracteriza por ser ligero, pero capaz de soportar grandes esfuerzos aplicados, su peso total es de 324 kg. Cuenta con una altura que varía de 450 mm en su posición mínima, hasta 1 000 mm en su punto máximo. La anchura de la mesa es de 400 mm y permite un movimiento transversal de hasta 1 570 mm, la carga máxima que puede soportar es de 180 kg.

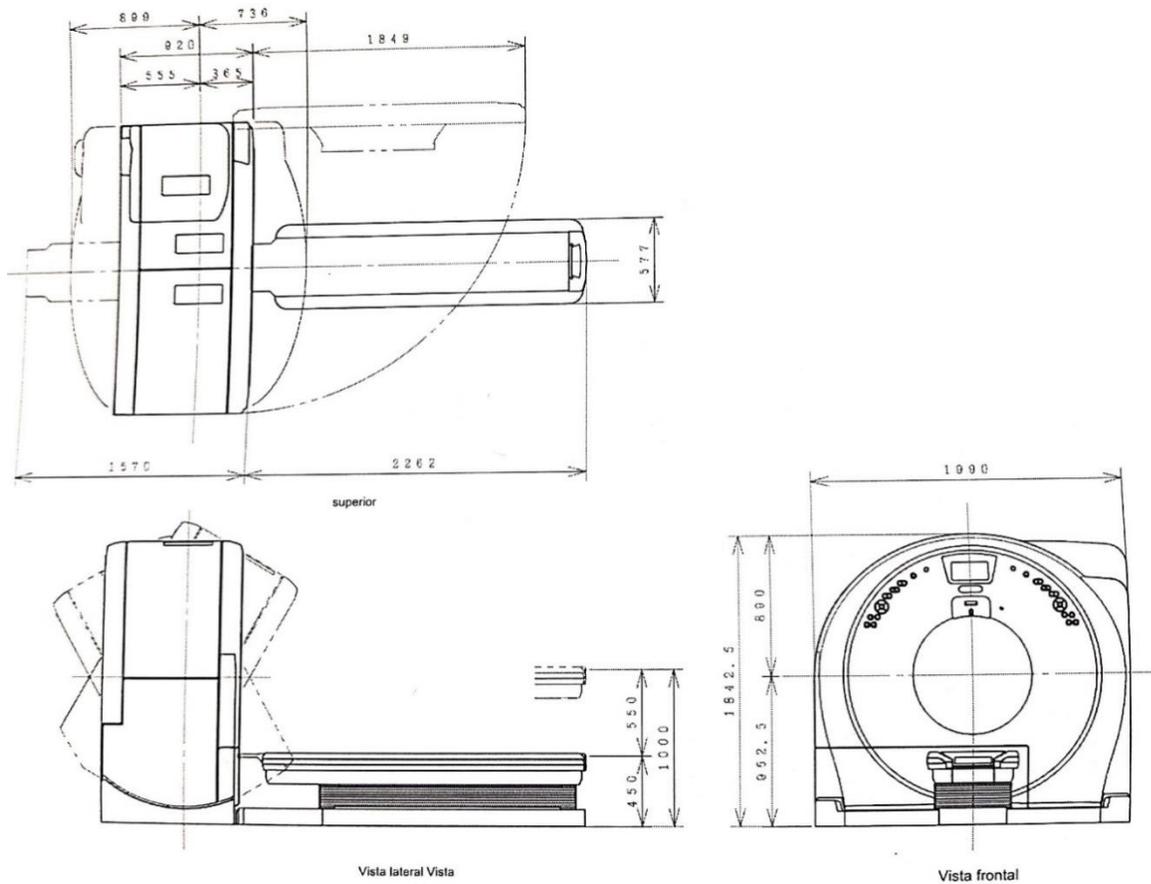
Figura 15. **Mesa del paciente**



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

En el siguiente diagrama se muestran las medidas oficiales del escáner y mesa para el equipo Hitachi Supria. Las medidas están dadas en milímetros.

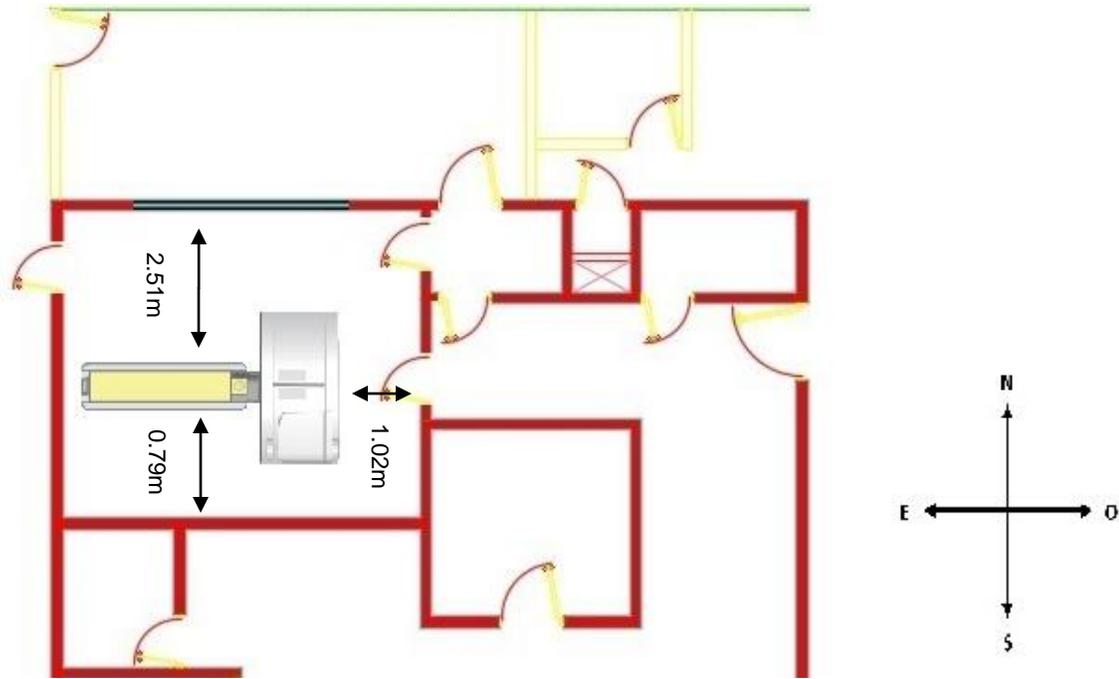
Figura 16. Dimensiones del equipo



Fuente: Manual del fabricante. Consulta: 31 de marzo de 2019.

El equipo se posicionó tomando en cuenta las limitantes que presentaba el área de instalación, procurando asegurar un espacio de maniobra suficiente para todas las acciones a realizarse dentro del cuarto. A continuación, se muestran las medidas del equipo respecto a las paredes de la zona.

Figura 17. **Medidas de posicionamiento del equipo**



Fuente: elaboración propia.

El tomógrafo fue instalado procurando mantener un espacio considerable para la realización de actividades dentro del área, esto con la idea de garantizar una tarea más cómoda para el personal y el paciente, además que permite resguardar al equipo de golpes ocasionados por camillas u otros objetos. La mesa del paciente se encuentra a 2,51 metros de la pared norte y a 0,79 metros de la pared sur, el gantry está posicionado a 1,02 metros de la pared oeste, esta medida afecta la operación normal del equipo porque la mesa no puede realizar una traslación total en una exploración de cuerpo completo ya que toparía con dicha pared, por ello, cuando se requiera un estudio de este tipo, primero se analiza el tronco superior del paciente, se reacomoda en la mesa a modo que los pies entren primero al gantry, y luego se estudia el tronco inferior.

El posicionamiento del equipo se realizó trazando un plano en el piso para centrar el equipo acorde a lo descrito por la figura 16 donde se muestran las medidas respecto a los ejes principales x y y. De esta manera, se montó mecánicamente para asegurar que en ninguna de sus funciones hubiera problemas por mala alineación.

3.1.1. Instalación de instrumentación necesaria para su funcionamiento

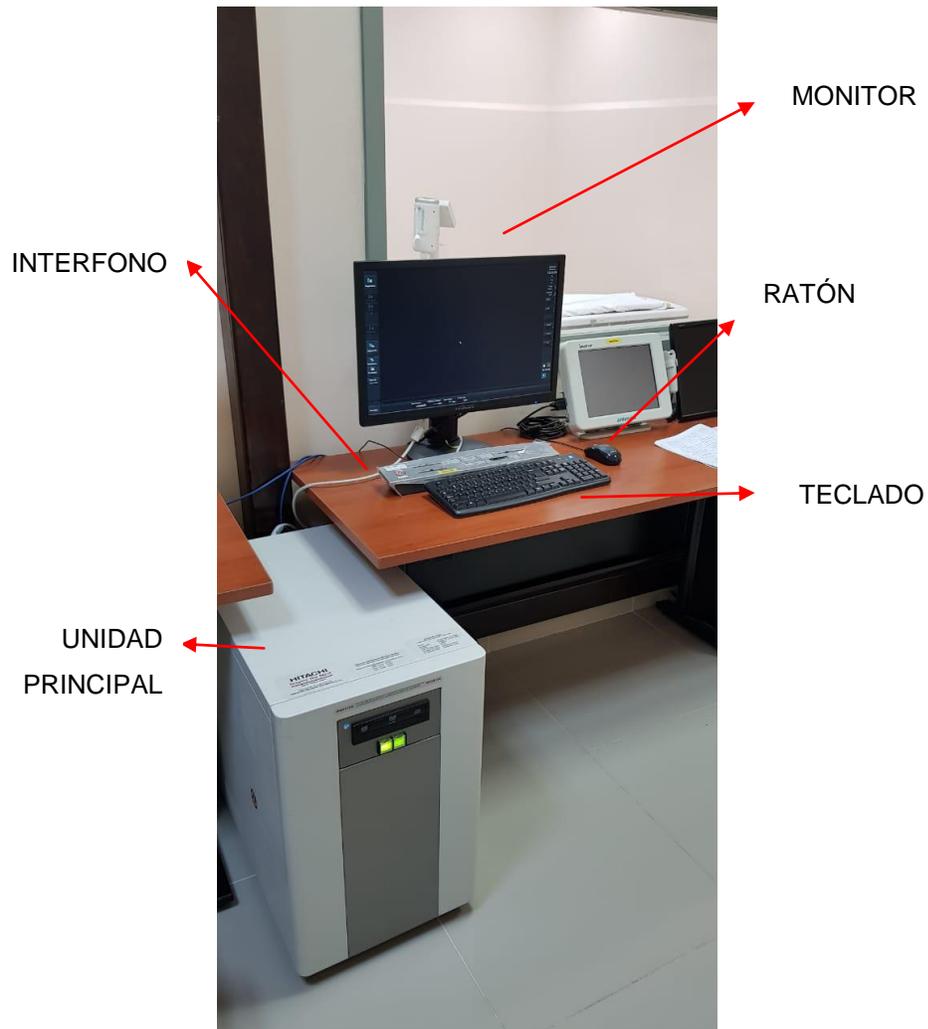
A continuación, se muestran los dispositivos para que el equipo pueda cumplir con las funciones asignadas. La instrumentación presente en el área es: consola del operador y sistema de inyección.

- Consola del operador

Representa al conjunto de dispositivos en el cuarto de visualización destinados al control del equipo, despliegue y recolección de datos del paciente. Está localizada en el cuarto de control adyacente al espacio designado para el tomógrafo.

Este apartado cuenta con un monitor, interfono, teclado, ratón y unidad principal de la consola.

Figura 18. **Consola del operador instalada**



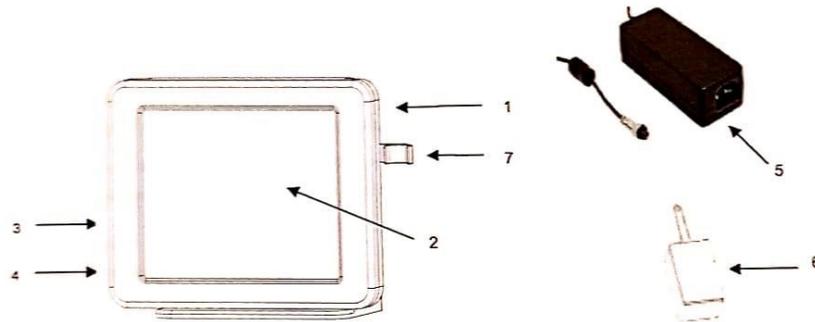
Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango

- o El monitor es una pantalla LCD de 24 pulgadas de alta definición utilizada para la visualización de resultados y que permite la interacción del usuario con las funciones para la operación del equipo tomográfico.

- o La unidad principal de la consola es el cerebro del equipo, en ella ocurre la transformación de las señales eléctricas enviadas por el gantry en imágenes analizables. Cuenta además con todo el sistema para poder manipular las exploraciones desde el cuarto de control. Gracias a esta unidad es posible realizar registros de pacientes, exámenes en tres dimensiones, protocolo de calentamiento del tomógrafo, etc. Dispone de un disco duro de 500 GB capaz de almacenar hasta 200 000 imágenes.
 - o El intercomunicador es un dispositivo que cuenta con un paro de emergencia en caso sea necesario detener el equipo por motivos de seguridad, un micrófono para comunicarse con el paciente cuando se está realizando un estudio y botones que permiten realizar las acciones de movimiento de la mesa y el gantry, parada e inicio del estudio.
- Sistema de inyección

Este aparato inyecta medios de contraste al paciente para mejorar la visibilidad de las estructuras dentro del cuerpo, alterando la forma en que los rayos X interactúan con los órganos internos. Está conformado por la unidad de control en el cuarto de visualización y por el inyector localizado cerca del tomógrafo.

Figura 19. **Unidad de control del sistema de inyección**



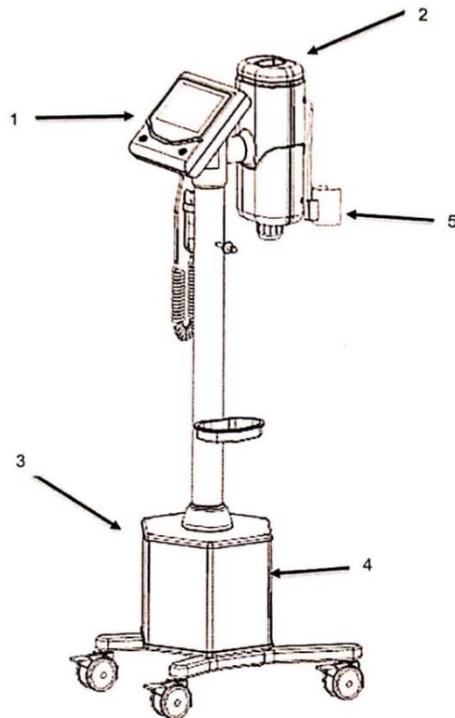
- 1. Encendido / Apagado
- 2. Pantalla táctil de la pantalla
- 3. Conector de interfaz
- 4. Interfaz Adaptador de corriente

- 5. Adaptador de corriente
- 6. Caja de Comunicaciones Inalámbricas
- 7. Mano-Interruptor Percha

Fuente: Manual del fabricante. Consulta: 31 de marzo de 2019.

Esta unidad sirve para controlar todo el sistema desde el cuarto de monitoreo, a través de ella inician los procesos de inyección de medios de contraste al paciente. En esta pantalla se mostrará el gráfico de presión de la inyección, la duración de la inyección, el volumen de líquido que se ha suministrado al paciente, el volumen de contraste restante y la velocidad del flujo, entre otros parámetros posibles de controlar para obtener un resultado satisfactorio. Por medio de estas funciones es posible inyectar en el momento justo y esto permitirá obtener mejores imágenes al momento de realizar una exploración.

Figura 20. Diagrama del inyector



- 1. Inyector Cabeza
- Pantalla 2. Inyector Cabeza
- 3. La base del inyector de la Unidad de Habitación de escaneado
- 4. Interruptor de Potencia
- 5. manga Calefacción

Fuente: Manual del fabricante. Consulta: 3 de abril de 2019.

El encargado prepara el inyector para suministrar fluido a las arterias por medio de un catéter. Debe asegurarse de que no haya aire en el sistema ya que si este llegara al paciente causaría serios problemas. Es necesario purgarlo desde la pantalla de la unidad de control. Es móvil, por lo que permite una cómoda manipulación para la aplicación de medios de contraste en cualquier parte del cuerpo del paciente. De igual manera, el sistema cuenta con una

manga de calefacción para ayudar a mantener el fluido en la jeringa a la temperatura corporal del examinado, esto para reducir la probabilidad de una reacción alérgica.

Figura 21. **Vista del sistema de inyección instalado**



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

Figura 22. **Vista del sistema de control instalado**

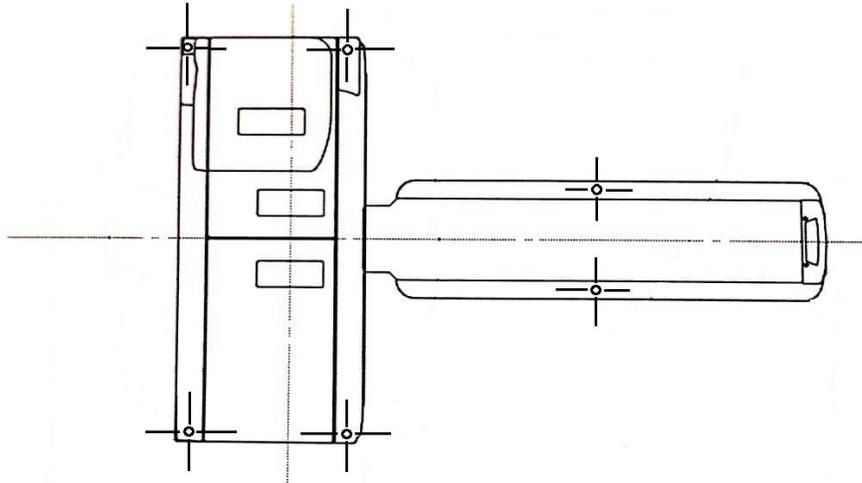


Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

3.1.2. Anclaje del equipo en el área designada

Los dispositivos que deben ser anclados dentro de la instalación son la mesa del paciente y el gantry. Esto es necesario para evitar movimientos involuntarios ocasionados por el tránsito de pacientes, inercia que genera el equipo o movimientos sísmicos a los que está susceptible la región. A continuación, se muestran los puntos de anclaje a utilizar para fijar los componentes al suelo.

Figura 23. Ubicación de puntos de anclaje del equipo



Fuente: Manual del fabricante. Consulta: 8 de abril de 2019.

El gantry cuenta con cuatro puntos, uno en cada esquina del mismo, y la mesa del paciente cuenta con dos puntos de fijación en el centro. El perno por utilizar para el anclaje es de ¼ y cuenta con las siguientes especificaciones.

Figura 24. Perno seleccionado para sujeción del equipo

Información de instalación	Símbolo	Unidades	Diámetro nominal del anclaje											
			1/4		3/8		1/2		5/8		3/4			
Diámetro nominal de la broca	d_{bit}		1/4		3/8		1/2		5/8		3/4			
Empotramiento nominal mín.	h_{nom}	pulg.	1-5/8 (41)	2-1/2 (64)	1-5/8 (41)	2-1/2 (64)	3-1/4 (83)	2-1/4 (57)	3 (76)	4-1/4 (108)	3-1/4 (83)	5 (127)	4 (102)	6-1/4 (159)
Empotramiento efectivo mín.	h_{ef}	pulg. (mm)	1.18 (30)	1.92 (49)	1.11 (28)	1.86 (47)	2.50 (64)	1.50 (38)	2.16 (55)	3.22 (82)	2.39 (61)	3.88 (99)	2.92 (74)	4.84 (123)
Profundidad mínima de la perforación	h_d	pulg.	2 (51)	2-7/8 (73)	1-7/8 (48)	2-3/4 (70)	3-1/2 (89)	2-5/8 (67)	3-3/8 (86)	4-5/8 (117)	3-5/8 (92)	5-3/8 (137)	4-4/8 (114)	6-5/8 (168)
Diámetro de la perforación del elemento	d_h	pulg.	3/8		1/2		5/8		3/4		7/8			
Longitud del anclaje = $h_{nom} + t$	l		Ver información para pedido											
Torque de instalación	T_{inst}	ft-lb (Nm)	18 (24)	19 (26)	40 (54)	45 (61)	85 (115)	115 (155)						
Calificación máxima del torque de la llave neumática ²	$T_{impact,max}$	ft-lb (Nm)	114 (154)	137 (185)	114 (154)	450 (608)	137 (185)	450 (608)	450 (608)	450 (608)	450 (608)	450 (608)	450 (608)	450 (608)
Tamaño de la llave		pulg.	7/16		9/16		3/4		15/16		1-1/8			

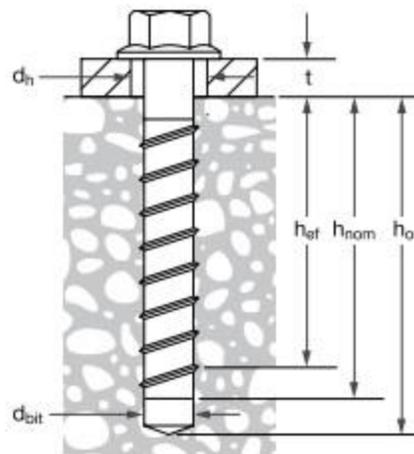


Fuente: Catalogo Hilti. Consulta: 8 de abril de 2019.

Este perno es de fácil instalación, ideal para zonas sísmicas, cuenta con las capacidades de carga necesarias para soportar los esfuerzos generados por los equipos. Además, permite la remoción del anclaje en caso sea necesario reubicar el equipo. Se recomienda fijar los pernos con un torque de 24 nm para poder soportar las fuerzas presentes y no someter la pieza a tensiones extras.

El siguiente diagrama representa las características expresadas en la figura 24.

Figura 25. **Especificaciones del perno**



Fuente: Catalogo Hilti. Consulta: 8 de abril de 2019.

3.2. Adecuamiento del Área de Radiología para la instalación

Se efectuaron trabajos para preparar el área destinada para la instalación del equipo tomográfico. Entre los más importantes se encuentran los trabajos de los pisos, paredes, techo, acondicionamiento del aire e instalación eléctrica.

3.2.1. Pisos

Al seleccionar el piso adecuado para el área, se tomó en cuenta el tránsito de carga por el lugar, que el piso no sea resbaladizo y sirva, además, para decorar el espacio. Con base en lo anterior, se instalaron losas de porcelanato de 60x60 cm de color gris, las cuales se adecuaban a los requerimientos establecidos en el capítulo anterior.

Figura 26. **Piso seleccionado para instalar en el área designada**

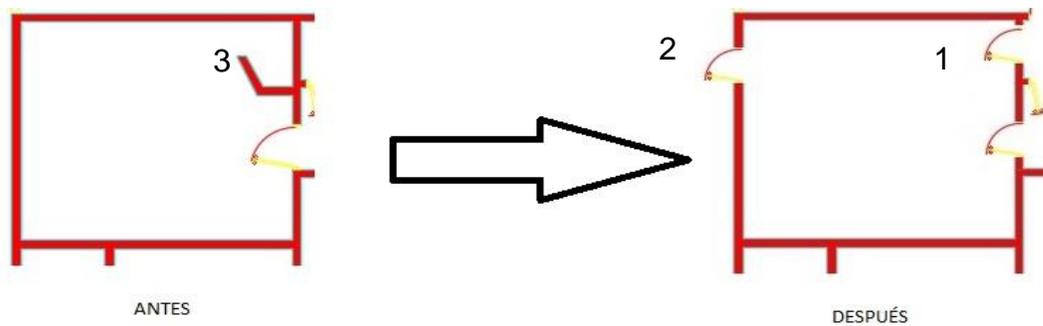


Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

3.2.2. Paredes

Se utilizaron las mismas paredes de concreto que existían en el área, pero se instaló una nueva puerta para entrar a la zona de control del equipo (1) y otra para que entre el paciente desde el pasillo de emergencias (2), además se eliminó la pared que servía como división para que el médico pudiera realizar las exploraciones con el equipo anterior de rayos x (3).

Figura 27. **Modificaciones realizadas en el espacio del tomógrafo**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 28. Remodelaciones realizadas



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

Atendiendo lo establecido en el capítulo III, artículo 21 del Reglamento de Salud y Seguridad Ocupacional, aprobado por el acuerdo gubernativo número 229-2014 y sus reformas 33-2016.:

“ARTÍCULO 21. Las paredes deben ser lisas, repelladas, pintadas en tonos claros, preferiblemente en tonos mate que contrasten con la maquinaria y equipos, susceptibles de ser lavadas y deben mantenerse siempre, al igual que el piso, en buen estado de conservación, reparándose tan pronto como se produzcan grietas, agujeros o cualquier otra clase de desperfectos.”⁶

⁶ Acuerdo Gubernativo número 229-2014 y sus reformas 33- 2016. *Reglamento de salud y seguridad ocupacional*, 23 de julio de 2014, núm. 229

Se aplicó un repello fino a las paredes, compuesto por agregados finos, cal, cemento y aditivos. Además, se pintaron las paredes de un color rosado mate para contar con un espacio decorado y agradable a la vista.

Figura 29. **Acabado aplicado en las paredes**



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

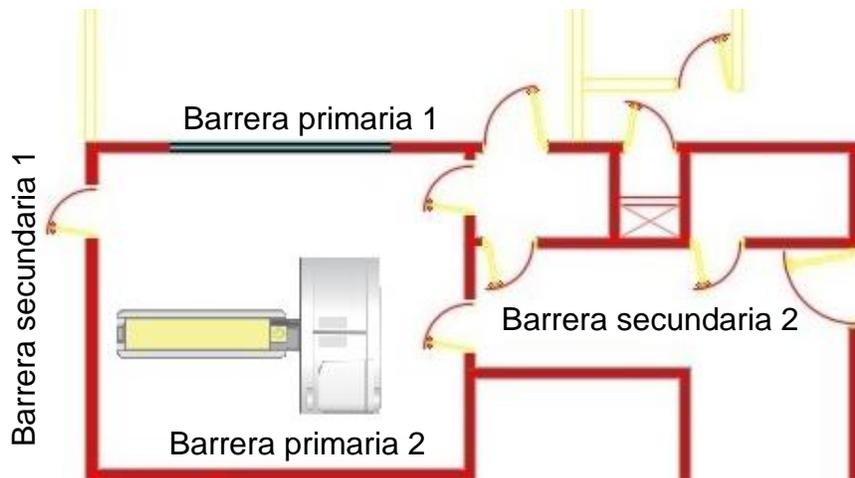
3.2.3. Aislamiento en paredes y puertas

Dadas las condiciones existentes en el cuarto, se acordó que se utilizaría barita como material aislante porque las paredes son de concreto y este material permite una mejor adherencia y un acabado liso.

Para calcular el espesor del aislamiento en paredes y puertas se utilizaron las ecuaciones y definiciones establecidas en el capítulo 2. Primero, se identifican las paredes del ambiente que serán calificadas como barreras primarias y las que serán secundarias. Luego, se determina que las barreras primarias serán las paredes y puertas que reciban el haz de luz del equipo de manera perpendicular y directa, y las barreras secundarias serán aquellas que

reciban la radiación dispersa. Para las puertas, el cálculo del espesor del blindaje es el mismo, solo que, para ellas se utilizará plomo como revestimiento. De esta manera se tomarán las puertas como parte de la barrera en la que se encuentren. La disposición en la cual se encuentra instalado el equipo es la siguiente:

Figura 30. **Distribución del equipo tomográfico en el área**



Fuente: elaboración propia, empleando Paint.

A continuación, se calcula el espesor del aislamiento para todas las paredes.

- Barrera primaria 1

$$B = \frac{H_w D^2}{W U T}$$

Primero se calculará el valor de W, el cual vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$W = \frac{Nr * T * I}{60}$$

Donde

- o Nr = 25 radiografías semanales.
- o T = 40 segundos.
- o I = 400 mA.

Calculando W

$$W = \frac{25 * 40s * 400mA}{60} = 6\,666,67 \text{ mA} * \text{min}$$

Continuando con la ecuación inicial

$$Hw = 1,0 \text{ mSv/semana.}$$

$$D = 2,8 \text{ metros.}$$

$$U = 1/4.$$

$$T = 1.$$

Calculando B

$$B = \frac{(1,0 \frac{mSv}{semana})(2,8 \text{ metros})^2}{(6\,666,67 \text{ mA} * \text{min}) (\frac{1}{4})(1)} = 0,0047 \frac{mSv * m^2}{mA * \text{min}}$$

Hallando el valor del espesor de plomo para la barrera primaria 1:

$$S = CDR * \log\left(\frac{1}{B}\right)$$

Donde

$$CDR \text{ para } 150 \text{ kVp} = 0,96 \text{ mm}$$

$$B = 0,047 \frac{mSv * m^2}{mA * \text{min}}$$

$$S = (0,96mm) * \log\left(\frac{1}{0,0047}\right) = 2,23 \text{ mm de plomo}$$

Utilizando la tabla II e interpolando para hallar el espesor equivalente de 2,23 mm de plomo se encontró que son necesarios:

25,35 mm de barita para contrarrestar la radiación en esta barrera

- Barrera primaria 2

El valor de W es el mismo que se utilizó en la barrera anterior:

$$W = 6\,666,67 \text{ mA} * \text{min}$$

Hallando el valor de B:

$$W = 6\,666,67 \text{ mA} * \text{min}$$

$$D = 1,08 \text{ metros}$$

$$U = 1/4.$$

$$T = 1$$

Calculando B

$$B = \frac{(1,0 \frac{mSv}{semana})(1,08 \text{ metros})^2}{(6\,666,67 \text{ mA} * \text{min})(\frac{1}{4})(1)} = 0,000699 \frac{mSv * m^2}{mA * \text{min}}$$

Hallando el valor del espesor de plomo para la barrera primaria 2:

$$S = CDR * \log\left(\frac{1}{B}\right)$$

Donde

CDR para 150 kVp = 0,96 mm

$$B = 0,000699 \frac{mSv * m^2}{mA * min}$$

$$S = (0,96 \text{ mm}) \log\left(\frac{1}{0,000699}\right) = 3,03 \text{ mm de plomo}$$

Utilizando la tabla II e interpolando para hallar el espesor equivalente de 3,03 mm de plomo se encontró que son necesarios:

34,88 mm de barita

- Barrera secundaria 1

$$B = \frac{H_W D_S^2 D_P^2}{(W T A) \left(\frac{400}{F}\right)}$$

Donde

H_w = 1,0 mSv/semana

D_s = 0,5 metros

D_p = 3,49 metros

W = 6 666,67 mA*min

T = 1

A = 0,02

F = 1 200 centímetros cuadrados

Calculando B:

$$B = \frac{\left(1,0 \frac{mSv}{semana}\right) (0,5 \text{ metros})^2 (3,49 \text{ metros})^2}{(6\,666,67 \text{ mA} * \text{min})(1)(0,02) \left(\frac{400}{1200}\right)} = 0,068$$

Hallando el valor del espesor de plomo para la barrera secundaria 1:

$$S = CDR * \log\left(\frac{1}{B}\right)$$

Donde

CDR para 150 kVp = 0,96mm

B = 0,068

$$S = (0,96 \text{ mm}) * \log\left(\frac{1}{0,068}\right) = 1,12 \text{ mm de plomo}$$

Utilizando la tabla II e interpolando para hallar el espesor equivalente de 1,12 mm de plomo se encontró que son necesarios:

12,44 mm de barita para contrarrestar la radiación en esta barrera

- Barrera secundaria 2

$$B = \frac{H_W D_S^2 D_P^2}{(W T A) \left(\frac{400}{F}\right)}$$

Donde

H_w = 1,0 mSv/semana

D_s = 0,5 metros

Dp = 1,02 metros

W = 6 666,67 mA*min

T = 1

A = 0,02

F = 1 200 centímetros cuadrados

Calculando B

$$B = \frac{\left(1,0 \frac{mSv}{semana}\right) (0,5 \text{ metros})^2 (1,02 \text{ metros})^2}{(6\,666,67 \text{ mA} * \text{min})(1)(0,02)\left(\frac{400}{1200}\right)} = 0,0058$$

Hallando el valor del espesor de plomo para la barrera secundaria 2:

$$S = CDR * \log\left(\frac{1}{B}\right)$$

Donde

CDR para 150 kVp = 0,96mm

B = 0,0058

$$S = (0,96 \text{ mm}) * \log\left(\frac{1}{0,0058}\right) = 2,14 \text{ mm de plomo}$$

Utilizando la tabla II e interpolando para hallar el espesor equivalente de 2,14 mm de plomo se encontró que son necesarios:

24,25 mm de barita para contrarrestar la radiación en esta barrera

Tabla VII. **Tabla de resultados obtenidos para los espesores de las paredes**

BARRERA	ESPESOR DE PLOMO (mm)	ESPESOR DE BARITA (mm)
Barrera primaria 1	2,23	25,35
Barrera primaria 2	3,03	34,88
Barrera secundaria 1	1,12	12,44
Barrera secundaria 2	2,14	24,25

Fuente: elaboración propia.

Con base en los valores obtenidos, se determinó que deben existir distintos espesores de aislante para contrarrestar la radiación, así que, partiendo de la barrera que necesita mayor protección, se compraron losas de barita de 45 x 25 cm con un grosor de 45 mm, esta fue la presentación que más se acoplaba a las necesidades de la instalación para garantizar protección en cada una de las paredes de la sala. Se tomó en cuenta que, además, el cuarto contaba con una pared de concreto de 15,5 cm de espesor, lo cual impide que la radiación sea perjudicial para las personas en los alrededores.

Figura 31. Losa de barita para blindar las paredes de la instalación



Fuente: Bodega, Hospital Nacional de Chimaltenango.

Figura 32. Instalación de la barita en las paredes del área



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

Figura 33. **Espesor de la barita instalada en el área**



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

Las tres puertas del ambiente se encuentran ubicadas en una barrera secundaria, por lo que, para conocer el espesor de plomo necesario para el recubrimiento de estas, se utilizará el mayor valor calculado. Entonces, la capa por utilizar en cada puerta es de:

2,14 mm de plomo, valor tomado de la barrera secundaria 2.

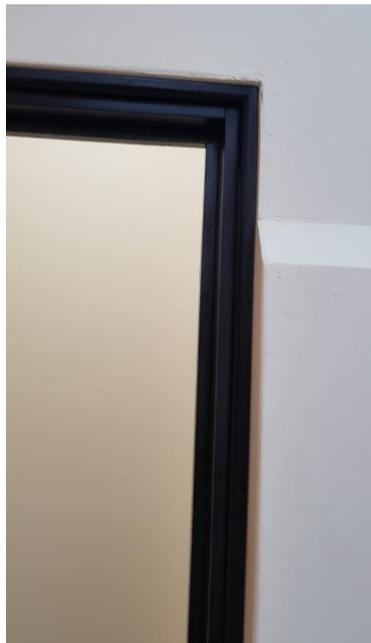
Además, un marco de aluminio fue instalado en cada una de ellas para evitar la fuga de radiación hacia el exterior.

Figura 34. **Puertas instaladas en el área**



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

Figura 35. **Marco para las puertas plomadas**

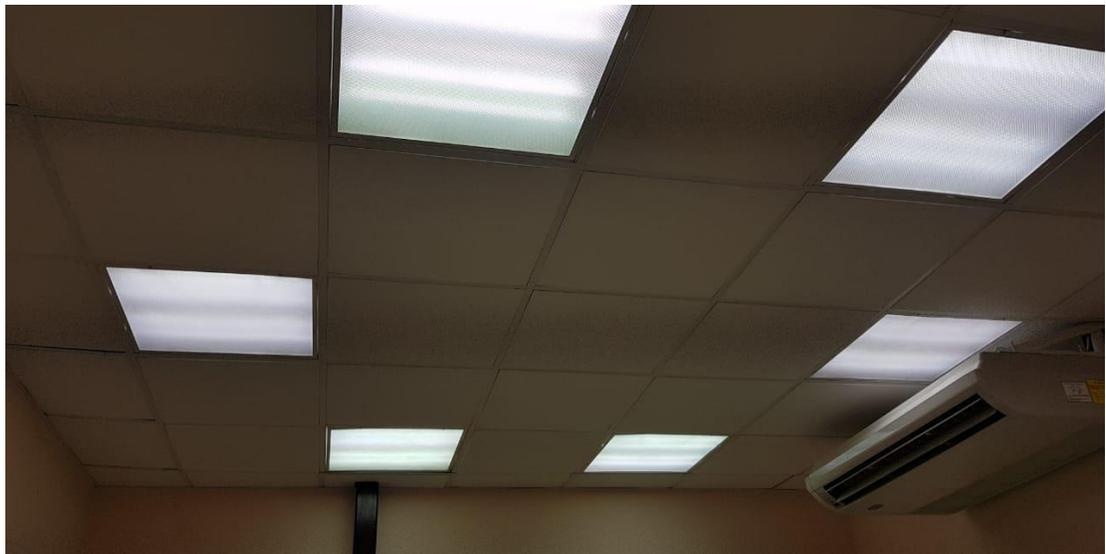


Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

3.2.4. Techo

En el techo no es necesario utilizar blindaje por lo cual se seleccionó cielo falso de tabla yeso y pasta color blanco, se colocaron placas de 60 x 60 cm y ½ pulgada de espesor sobre una estructura de acero para soportar el peso del producto, en un área de 3,88 metros de largo y 4,51 metros de ancho. Este material provee de un aislamiento acústico y térmico ideal para instalaciones hospitalarias donde se requiere mantener un nivel de ruido bajo para no incomodar a los demás pacientes y personas que usan los servicios que brinda el hospital. También el aislamiento térmico ayudará a mantener la temperatura a la cual debe funcionar el lugar. Es resistente a la humedad y brinda una presentación apropiada del espacio.

Figura 36. **Cielo falso instalado en el cuarto del tomógrafo**



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

3.2.5. Ventana antirradiación

Para garantizar la seguridad del médico y demás personas que se encuentren en el cuarto de control, es necesaria la instalación de una ventana para la atenuación de la radiación y que, a la vez, les brinde una visión amplia de lo que está sucediendo dentro del cuarto de examinación. Por eso, el vidrio que se eligió para la zona de trabajo está elaborado con óxido de plomo que ofrece una excelente protección contra rayos x, sin sacrificar la lucidez para ver a través de él.

Las dimensiones seleccionadas para la ventana fueron de 1 metro de alto y 1,50 metros de ancho. Para hallar la cantidad de plomo necesaria para una protección adecuada ante las características del equipo, se utilizó la tabla III, con la cual se determina, con base en el espesor que deseamos y al voltaje de rayos x de la máquina, la equivalencia de plomo en milímetros.

El voltaje seleccionado fue de 150 kV para agregarle un factor de seguridad que permita una mayor protección y el espesor del vidrio que se quiere instalar es de 9 milímetros. Esto dio como resultado que:

Para una ventana de 9 milímetros de espesor, se debe utilizar una equivalencia de plomo mínima de 2,6 milímetros para así poder contrarrestar la radiación.

Se instaló un marco de aluminio para la ventana, esto evita que se filtren las ondas de luz por los pequeños espacios que quedan entre las juntas.

Figura 37. **Ventana antirradiación instalada en el área**



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

Figura 38. **Marco de aluminio instalado con la ventana**



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

3.2.6. Instalación eléctrica

La acometida eléctrica para el equipo tomográfico computarizado fue instalada siguiendo los lineamientos establecidos anteriormente. La alimentación es directa desde el cuarto de distribución hasta la zona de la instalación, esto permite evitar caídas de tensión como sucede en los circuitos que cuentan con más dispositivos conectados. En el área del equipo hay un nuevo panel de control donde es posible desconectar la alimentación.

Figura 39. Panel de control dentro del área del equipo



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

A la salida del interruptor instalado en el cuarto del tomógrafo, hay un transformador de voltaje capaz de tomar los 220 voltios provenientes de la acometida principal y convertirlos a 370 voltios necesarios para el funcionamiento del equipo.

Figura 40. Transformador de potencia instalado dentro del área



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

Por último, se cuenta con un generador, cuya función es producir las corrientes y voltajes necesarias para la producción de rayos X. Este es un generador de 45 kW, que recibe una alimentación trifásica y la tensión de 370 V proveniente del transformador para poder suplir al equipo tomográfico de la energía necesaria para su funcionamiento.

Figura 41. **Generador utilizado para alimentar al equipo tomográfico**



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

De igual manera se realizaron análisis para determinar el suelo de mayor calidad para la instalación de una puesta a tierra y brindar al equipo, componentes y personal la protección necesaria para evitar descargas indeseadas. Se encontró que el mejor lugar para el posicionamiento del sistema de puesta a tierra es en la parte posterior del hospital.

Figura 42. **Localización del sistema de puesta a tierra para el tomógrafo computarizado del Hospital Nacional de Chimaltenango**



Fuente: <https://www.google.com.gt/maps>. Consulta: 15 de abril de 2019.

Los valores de resistencia encontrados en el terreno fueron de 0,16 ohmios. Lo que lo hace ideal ya que se encuentra por debajo de los

0,2 ohmios recomendados. El electrodo utilizado es de cobre y mide 1,5 metros, enterrado en sitio a una profundidad de 1 metro.

Figura 43. **Puesta a tierra del tomógrafo computarizado**



Fuente: Hospital Nacional de Chimaltenango.

3.2.7. Instalación de equipo de acondicionamiento de aire

El aire acondicionado se utilizará en el lugar para mantener una temperatura de 22 grados centígrados. Los factores por considerar al momento de realizar el cálculo de ganancias de calor serán los siguientes: ocupantes, iluminación, equipo médico, techo, paredes y puertas.

- Ocupantes

Normalmente, dentro del área se encontrarán 3 personas al momento de realizar un examen: el doctor, la enfermera y el paciente. Para conocer la cantidad de energía que aportan al sistema se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$Q_s = n * q_s$$

$$Q_l = n * q_l$$

Donde

Q_s = Calor sensible expresado en BTU/h.

Q_l = Calor latente expresado en BTU/h.

q_s = Factor de ganancia de calor sensible por persona, en BTU/h.

q_l = Factor de ganancia de calor latente por persona, en BTU/h.

n = Número de personas en la zona.

Los factores de ganancia de calor latente y sensible por persona se determinaron analizando la tabla IV, de la cual se seleccionó que el nivel de actividad que habría dentro de la zona sería el de un trabajo ligero.

Carga calor sensible por persona trabajando ligero: 250 BTU/h

Carga calor latente por persona trabajando ligero: 200 BTU/h

Calculando el calor sensible que añaden al espacio los ocupantes:

$$Q_s = (3 \text{ personas}) \left(250 \frac{\text{BTU}}{\text{h} * \text{persona}} \right) = 750 \text{ BTU/h}$$

Calculando el calor latente que añaden al espacio los ocupantes:

$$Q_l = (3 \text{ personas}) \left(200 \frac{\text{BTU}}{\text{h} * \text{persona}} \right) = 600 \text{ BTU/h}$$

- Iluminación

Se instalaron seis luminarias empotradas en el techo, cada una cuenta con cuatro balastos, los cuales tienen una capacidad de alumbrado de 32W. Para realizar el cálculo de la ganancia de calor por iluminación se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = n * W * 3,41 \frac{\text{BTU}}{\text{h} * \text{w}}$$

Donde

n = 24 balastos.

W = 32 Watts.

Por ser lámparas fluorescentes es necesario sumarle un 20 % de su valor a la variable de $3,41 \frac{\text{BTU}}{\text{h} * \text{w}}$.

Calculando la ganancia de calor por temas de iluminación:

$$Q = (24 \text{ lámparas})(32 \text{ w}) \left(4,092 \frac{BTU}{h * w}\right) = 3 142,656 \text{ BTU/h}$$

- Equipo médico:

Para el equipo médico, se procedió a hallar el valor de potencia generada, conociendo que este opera con 400 mA a 120 kV, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$P = V * I$$

Donde

$$V = 120 \text{ kV.}$$

$$I = 400 \text{ mA}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación se determinó que:

$$P = (120 000 \text{ V})(0,4 \text{ A}) = 48 \text{ kW}$$

Aplicándole a este resultado el factor de conversión de Watts a BTU/h se obtuvo que la cantidad de energía suministrada por el tomógrafo al ambiente era de:

$$Q = 3,41 \frac{BTU}{h * W} (48 \text{ kW}) = 163 680 \text{ BTU/h}$$

- Techo

Como se especificó arriba, el techo del área será cielo falso de tabla yeso y pasta de ½ pulgada y contará con un área de 188,26 pies cuadrados. Para conocer la ganancia de calor por techos en la zona, se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$Q = C * A * DT$$

Donde

$C = 1,25 \frac{BTU}{h * ft^2 * F}$, valor obtenido de la tabla V.

$A = 188,26$ pies cuadrados.

$DT =$ Diferencia de temperatura. La temperatura medida fuera del ambiente fue de 29 °C, lo equivalente a 84,2 °F. La temperatura esperada dentro del cuarto es de 22 °C, que es igual a 71,6 °F.

Sustituyendo los valores en la ecuación se obtiene que la ganancia de calor por techo es:

$$Q = \left(1,25 \frac{BTU}{h * ft^2 * F} \right) (188,26 ft^2) (84,2 °F - 71,6 °F) = 1 862,595 BTU/h$$

- Paredes y puertas

Cada puerta instalada en el área tiene 2,15 metros de largo y 1,10 metros de ancho. La altura de las paredes es de 2,95 metros, la pared primaria 2 mide 4,51 metros de ancho y las paredes secundarias 1 y 2 miden 3,88 metros de ancho. No se utilizará la pared primaria 1 porque colinda con un cuarto que debe estar a la misma temperatura, por lo que anula el cálculo. Para hallar la ganancia de calor por paredes y puertas se utilizó la siguiente ecuación:

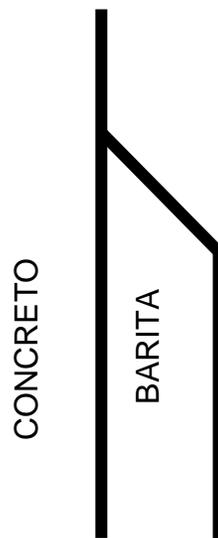
$$Q = U * A * DT$$

Primero, es necesario conocer el valor de U, tanto para las paredes como para las puertas, de la siguiente manera:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{F_o} + \frac{X}{K} + \dots + \frac{X_n}{K_n} + \frac{1}{F_i}}$$

Para paredes

Figura 44. Representación de los materiales de las paredes



Fuente: elaboración propia, empleando Paint.

La barita en las paredes tiene un espesor de 45 mm y su conductividad térmica es de 18,4 W/(m·K).

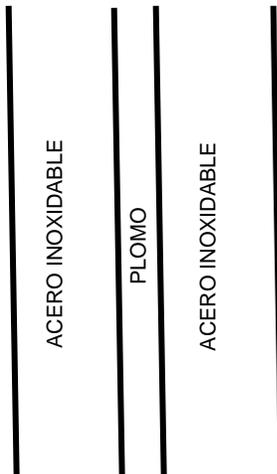
El concreto cuenta con un espesor de 155 mm y su conductividad térmica es de 1,8 W/(m·K). Conociendo estos valores y hallando su equivalencia en el sistema inglés se procede a hallar el valor de U para las paredes:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{6,0} + \frac{0,1475 \text{ ft}}{10,63 \frac{BTU}{(h \cdot ft \cdot ^\circ F)}} + \frac{0,5083 \text{ ft}}{1,04 \frac{BTU}{(h \cdot ft \cdot ^\circ F)}} + \frac{1}{1,65}} = 0,7841 \frac{BTU}{(h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)}$$

Para puertas

Cada puerta está constituida por una capa de plomo de 2,14 mm y el resto es acero inoxidable, lo que da un espesor final de 52,14 mm.

Figura 45. **Representación de los materiales de las puertas**



Fuente: elaboración propia, empleando Paint.

Utilizando los valores de la tabla VI, se encontró que la conductividad térmica para el acero inoxidable es de 46,5 W/(m·K) y la del plomo es de 34 W/(m·K). Haciendo la conversión a sistema inglés y sustituyendo los valores en la ecuación se obtiene:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{6,0} + \frac{0,164 \text{ ft}}{26,863 \frac{BTU}{(h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)}} + \frac{0,007 \text{ ft}}{19,642 \frac{BTU}{(h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)}} + \frac{1}{1,65}} = 0,049 \frac{BTU}{(h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)}$$

Hallando la ganancia de calor para las paredes:

$$Q = U * A * DT$$

Donde

$$U = 0,7841 \frac{BTU}{(h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)}$$

A pared primaria 2 = 143,20 pies cuadrados.

A pared secundaria 1 (tiene 1 puerta) = 97,733 pies cuadrados.

A pared secundaria 2 (tiene 2 puertas) = 72,275 pies cuadrados.

DT = 12,6 °F

Pared primaria 2

$$Q = 0,7841 \frac{BTU}{(h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)} * (143,20 \text{ ft}^2) * (12,6^\circ \text{F}) = 1\,414,7673 \frac{BTU}{h}$$

Pared secundaria 1:

$$Q = 0,7841 \frac{BTU}{(h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)} * (97,733 \text{ ft}^2) * (12,6^\circ \text{F}) = 965,569 \frac{BTU}{h}$$

Pared secundaria 2

$$Q = 0,7841 \frac{BTU}{(h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F)} * (72,275 \text{ ft}^2) * (12,6^\circ \text{F}) = 714,052 \frac{BTU}{h}$$

Hallando la ganancia de calor para las puertas

$$Q = U * A * DT$$

Donde

$$U = 0,049 \frac{BTU}{(h * ft^2 * ^\circ F)}$$

A de cada puerta = 25,457 pies cuadrados.

DT = 12,6 °F.

Puerta 1, 2 y 3:

$$Q_{puertas} = \left(0,049 \frac{BTU}{h * ft^2 * ^\circ F}\right) (25,457 ft^2)(12,6^\circ F) = 15,717 \frac{BTU}{h} * 3 = 47,151 \frac{BTU}{h}$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos y el calor total ganado por todos los factores dentro del espacio.

Tabla VIII. **Resumen del cálculo de ganancia de calor en el cuarto del tomógrafo computarizado**

FACTOR	GANANCIA DE CALOR (BTU/h)
Ocupantes	Qs + Qi = Qt 1 350
Iluminación	3 142,656
Equipo médico	163 680
Techo	1 862,595
Paredes	
Primaria 2	1 414,7673
Secundaria 1	965,569
Secundaria 2	714,052
Puertas	47,151
TOTAL	173 176,7903

Fuente: elaboración propia.

Dado que el área del tomógrafo no se utiliza 24 horas al día y que el tiempo aproximado de un procedimiento es de 10 minutos, de los cuales no se

realizan más de 4 por día, es posible hallar la carga térmica por cada intervención de 10 minutos, esto da como resultado que se añaden al espacio:

$$Q = 173\,176,7903 \frac{BTU}{h} * \frac{10}{60} h = 28\,862,798 BTU$$

Para contrarrestar este valor, se obtuvo un equipo marca GRS de 36 000 BTU, suficientes para mantener el espacio a la temperatura deseada durante el tiempo de ejecución, previendo un aumento en el uso del equipo a futuro.

Figura 46. Aire acondicionado instalado



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

Figura 47. **Especificaciones del equipo de aire acondicionado**

ACPT36N220E/PIN
Aire acondicionado Piso / Techo



36000 BTU

Evaporador (unidad interior)

CAPACIDAD	36000 BTU	VOLTAJE	220 V / 60 hz
FLUJO DE AIRE	824 pie ³ / minuto	DIMENSIONES	122 x 70 x 22.5 cm
RANGO DE TEMPERATURA	16° C ~ -30° C	DIMENSIONES DE EMPAQUE	134.4 x 82.3 x 31.5 cm
ÁREA DE COBERTURA	30 ~ 40 m ²	PESO NETO	41.5 kg / 91.5 lb
NIVEL DE RUIDO	52 dB		

Fuente: <http://grselectrodomesticos.com/aires-acondicionados/acpt36n220epin>. Consulta: 5 de marzo de 2019.

3.3. Costo de la instalación del equipo

A continuación, se presenta el costo de instalación del equipo de tomografía digital:

Figura 48. Costo de instalación del equipo de tomografía digital

 HOSPITAL NACIONAL DE CHIMALTENANGO PROYECTO: EQUIPO DIGITAL TOMOGRÁFICO EN EL ÁREA DE RADIOLOGÍA					
COSTO DE EQUIPO Y REMOZAMIENTO					
Descripción	Medida	Cantidad	Precio Unitario	Sub Total	Total
Tomógrafo multicorte: Incluye: Soporte y fijador, Alimentación eléctrica: 380/400 voltios, Tubo rayos x: 3,5 millones de unidades de calor, Comunicación: Dicom 3.0, Sensor: Ccd con fibra óptica, Tipo: Digital, Ajuste: 70 a 140 kilovoltios, Detector: De estado sólido de 16 líneas, Cortes: 16, Frecuencia: 60 Hercio(s)	UNIDAD	1	Q4 250 000,00	Q4 250 000,00	Q4 250 000,00
Remozamiento del área para tomografía multicorte	UNIDAD	1	Q75 000,00	Q75 000,00	Q75 000,00
Equipo para ventilación y aire acondicionado	UNIDAD	1	Q55 000,00	Q55 000,00	Q55 000,00
Mano de obra para instalación de materiales y equipos para el nuevo cuarto de tomografía digital	UNIDAD	1	Q76 500,00	Q76 500,00	Q76 500,00
TOTAL DEL PROYECTO					Q4 456 500,00

Fuente: elaboración propia.

El costo total de la instalación del equipo digital tomográfico y remozamiento del Área de Radiología del Hospital Nacional de Chimaltenango asciende a la cantidad de 4 456 500,00 quetzales.

3.4. Beneficios de la instalación para el Hospital Nacional de Chimaltenango

El Hospital Nacional de Chimaltenango representa uno de los centros de salud más importantes de la región, su ubicación lo convierte en un punto estratégico para el traslado de emergencias, debido a su cercanía a la carretera Interamericana, uno de los caminos con mayor índice de accidentes en el país.

Muchos de estos percances requieren asistencia especializada y equipo de última generación para detectar de manera precisa cualquier secuela producto del suceso. El beneficio principal para la población chimalteca es contar con tecnología de primer nivel para el diagnóstico de enfermedades y traumas. Anteriormente, los pacientes debían buscar otros centros asistenciales para ser diagnosticados. Además, la pérdida de tiempo podría ser mortal.

De igual manera, al contar con un equipo de última generación, se aumentan las competencias del personal de mantenimiento y médicos a cargo del equipo, permitiendo un desarrollo de conocimientos que permitirán manipular y conservar de mejor manera, este y futuros equipos a instalar en el Hospital Nacional de Chimaltenango.

Figura 49. **Resultado final de la instalación, vista lateral**



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

Figura 50. **Resultado final de la instalación, vista frontal**



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

4. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL EQUIPO TOMOGRÁFICO DEL HOSPITAL NACIONAL DE CHIMALTENANGO

4.1. Mantenimiento necesario para el buen funcionamiento del equipo

Las inspecciones periódicas de este equipo es recomendable llevarlas a cabo cada seis meses. Este mantenimiento debe ser realizado por un técnico de servicio capacitado para asegurar que se cumplen las normas de seguridad pertinentes y para proteger el equipo.

Sin embargo, existen algunas prácticas a realizar para prolongar la vida útil de los componentes del equipo. A continuación, se muestran los trabajos que deben realizarse para dicho propósito.

Figura 51. Formato de mantenimiento preventivo a equipo tomográfico

		
<div style="border: 2px solid black; padding: 5px;"> <p>HOSPITAL NACIONAL DE CHIMALTENANGO</p> <p>RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</p> <p>TOMÓGRAFO COMPUTARIZADO</p> </div>		
UNIDAD: _____ RADIOLOGÍA _____		
SISTEMA: _____ TOMÓGRAFO COMPUTARIZADO _____		
COMPONENTE	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES
TOMÓGRAFO COMPUTARIZADO	CHEQUEAR CABLEADO	ASEGURARSE DE QUE TODOS LOS CABLES ENTRE DISPOSITIVOS ESTAN CONECTADOS CORRECTAMENTE Y QUE NO HAY DOBLECES EN LOS MISMOS. REALIZARLO CADA 3 MESES.
	INSPECCIÓN DE PULSADORES E INDICADORES	REVISAR EL ESTADO Y FUNCIONAMIENTO DE LOS PULSADORES E INDICADORES EN EL EQUIPO. REALIZARLO CADA 3 MESES.
	LIMPIEZA DEL GANTRY Y MESA DEL PACIENTE	SUMERGIR UN PAÑO SUAVE EN DETERGENTE NEUTRO Y LIMPIAR LAS MANCHAS. REALIZAR LA ACTIVIDAD DIA A DIA.
	REVISIÓN DEL GANTRY Y MESA DEL PACIENTE	INSPECCIONAR EL EQUIPO PARA DETECTAR ANOMALÍAS TALES COMO ARAÑAZOS Y ABOLLADURAS. REALIZARLO DIARIAMENTE.
	CALENTAMIENTO DEL EMISOR DE RAYOS X	ES IMPORTANTE QUE AL INICIO DE CADA JORNADA O CUANDO EL EQUIPO NO HA SIDO USADO EN MUCHO TIEMPO, SE CALIENTE EL TUBO DE RAYOS X ANTES DE PONER EN MARCHA EL TOMÓGRAFO.
	ENCENDIDO DEL EQUIPO	SI EL EQUIPO SE ENCUENTRA TOTALMENTE APAGADO, ES IMPORTANTE ENCENDERLO HASTA QUE LA TEMPERATURA AMBIENTE SEA LA RECOMENDADA.

Fuente: elaboración propia.

4.2. Capacitación al personal médico y de mantenimiento para el buen uso y cuidado del equipo

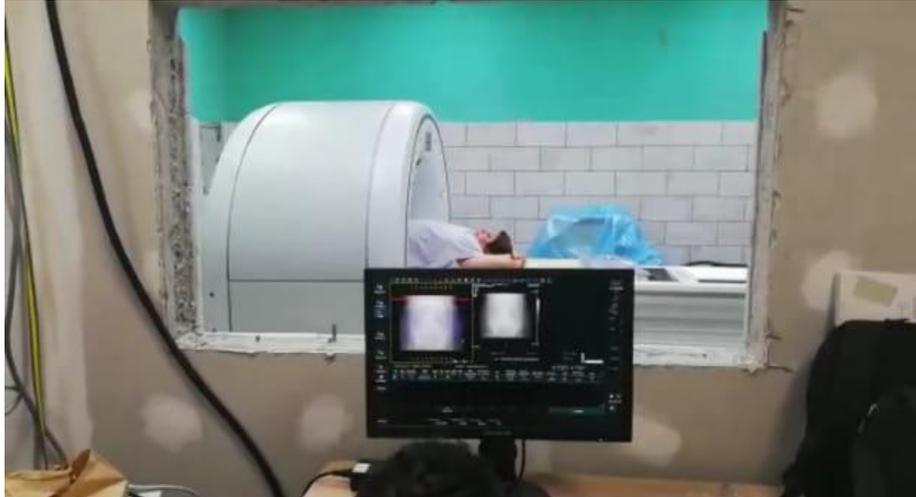
Se le brindó capacitación al equipo de trabajo encargado de la manipulación y funcionamiento del equipo. Las sesiones de aprendizaje se desarrollaron en el lugar, con la asistencia de un técnico especializado de la marca, quien instruyó a los participantes acerca de las principales funciones del equipo, cuidados y recomendaciones para mantener al tomógrafo funcionando de la mejor manera.

Figura 52. Capacitación al personal técnico



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

Figura 53. **Pruebas realizadas durante capacitación**



Fuente: cuarto del tomógrafo, Hospital Nacional de Chimaltenango.

4.3. Mantenimiento a la red eléctrica

A continuación, se muestran los trabajos que deben realizarse en la red eléctrica del equipo instalado para asegurar que los componentes funcionan de la mejor manera y así evitar paros que podrían poner en riesgo la prestación del servicio de tomografía en el Hospital Nacional de Chimaltenango.

Figura 54. Formato de mantenimiento preventivo a red eléctrica

 <div style="border: 2px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>HOSPITAL NACIONAL DE CHIMALTENANGO</p> <p>RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</p> <p>TOMÓGRAFO COMPUTARIZADO</p> </div> <p>UNIDAD: _____ RADIOLOGÍA _____</p> <p>SISTEMA: _____ RED ELÉCTRICA _____</p>		
COMPONENTE	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES
TRANSFORMADOR DE POTENCIA	PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA DE LOS DEVANADOS	REALIZAR ESTAS PRUEBAS COMO MANTENIMIENTO PREVENTIVO CADA DOS AÑOS. DELEGAR EL TRABAJO A EMPRESAS ESPECIALIZADAS PARA EL DIAGNÓSTICO DEL EQUIPO
	PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN	
	PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	
	PRUEBA DE IMPEDANCIA EN CORTOCIRCUITO	
	ANÁLISIS DE DESCARGAS PARCIALES	
	DESMAGNETIZACIÓN DEL NÚCLEO DEL TRANSFORMADOR	
SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	MEDICIÓN DE PUESTA A TIERRA	REALIZAR ESTA ACTIVIDAD CADA AÑO, DELEGÁNDOLA A UNA EMPRESA ESPECIALIZADA
	REVISIÓN DE LOS CONDUCTORES DE LA MALLA	REALIZAR LA REVISIÓN CADA CINCO AÑOS, DELEGÁNDOLA A UNA EMPRESA ESPECIALIZADA
	CONTINUIDAD DE CONEXIONES ENTRE MASAS Y ELEMENTOS CONDUCTORES	REALIZAR LA INSPECCIÓN CADA AÑO, CON EL APOYO DE UNA EMPRESA ESPECIALIZADA
RED ELÉCTRICA EN GENERAL	TERMOGRAFÍA	REALIZAR ESTA ACTIVIDAD CADA AÑO CON EL ASESORAMIENTO DE UNA EMPRESA ESPECIALIZADA
	LIMPIEZA DE DISPOSITIVOS	LIMPIAR POLVO EN COMPONENTES, REALIZARLO CADA 3 MESES
	INSPECCIÓN VISUAL	REVISAR LA ACOMETIDA EN BUSCA DE CABLES CON RECUBRIMIENTO DESGASTADO Y ANOMALÍAS. REALIZARLO CADA 3 MESES.
	REEMPLAZO DE COMPONENTES	REEMPLAZAR BOMBILLAS, TOMACORRIENTES, ETC. EN CASO PRESENTEN UN FALLO

Fuente: elaboración propia.

4.4. Mantenimiento al equipo de aire acondicionado

A continuación, se presentan las actividades que se deben realizar para brindarle un mantenimiento preventivo al equipo de aire acondicionado de marca GRS de 36 000 BTU. Es importante que cada seis meses se cuente con la presencia de un técnico especializado para que pueda comprobar el correcto funcionamiento del equipo.

Figura 55. Formato de mantenimiento preventivo a equipo de aire acondicionado

	HOSPITAL NACIONAL DE CHIMALTENANGO RUTINA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO TOMÓGRAFO COMPUTARIZADO	
	UNIDAD: _____ RADIOLOGÍA _____ SISTEMA: _____ AIRE ACONDICIONADO _____	
COMPONENTE	ACTIVIDAD	OBSERVACIONES
UNIDAD INTERIOR	LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE FILTROS DE AIRE	REALIZAR LIMPIEZA CON AIRE COMPRIMIDO. DESINFECTAR CON QUÍMICOS DISEÑADOS PARA ESE FIN. EFECTUAR EL SERVICIO CADA TRES MESES
	LIMPIEZA DEL EQUIPO EXTERNAMENTE	LIMPIAR BANDEJA DE AGUA, TUBERÍA DE DRENAJE, ETC. EFECTUAR EL TRABAJO CADA TRES MESES
	LIMPIEZA DEL SERPENTÍN DEL EVAPORADOR	LIMPIEZA CON AGUA Y QUÍMICOS ADECUADOS. REALIZARLO CADA TRES MESES
UNIDAD EXTERIOR	REVISIÓN DEL ESTADO DEL AISLAMIENTO DEL CIRCUITO DE REFRIGERANTE	REALIZAR LA INSPECCIÓN CADA TRES MESES
	INSPECCIÓN DEL SISTEMA POR FUGAS DE REFRIGERANTE	REALIZAR LA ACTIVIDAD CADA TRES MESES
	ASPIRACIÓN DEL CONDENSADOR Y DEMÁS ELEMENTOS	ASPIRAR EL INTERIOR DEL EQUIPO CADA TRES MESES
	AJUSTE DE GAS REFRIGERANTE	RELLENAR CON REFRIGERANTE R410A EN CASO SEA NECESARIO. REVISAR CADA TRES MESES
	VERIFICACIÓN DE BANDAS, POLEAS Y CHUMACERAS	INSPECCIONAR POR FALLAS Y POSIBLES REEMPLAZOS. REALIZARLO CADA TRES MESES
	LIMPIAR ASPAS DE TURBINAS Y VERIFICAR SEGUROS	REALIZAR LA TAREA CADA TRES MESES
	REVISAR PRESIONES DE SUCCIÓN Y DESCARGA	REALIZAR LA ACTIVIDAD CADA TRES MESES

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se propuso un estudio para la implementación y puesta en marcha de un equipo digital tomográfico en el Área de Radiología del Hospital Nacional de Chimaltenango. Tomando en cuenta las necesidades que presentaba uno de los principales hospitales de occidente y los requerimientos mínimos para el buen funcionamiento del equipo, para garantizar la seguridad y comodidad que pacientes y operadores necesitan al realizar actividades en la zona.
2. Se conoció la situación del Área de Radiología, la cual carecía de un equipo capaz de brindar estudios tomográficos, lo cual limitaba los servicios que se prestaban dentro de la unidad y ralentizaba los procesos al momento de presentarse una emergencia, poniendo muchas veces en riesgo la vida de la población cuando se necesitaba un análisis para proceder de manera eficaz o dañando la economía de la misma al tener que recurrir a servicios privados para poder obtener un diagnóstico de su situación.
3. Se presentaron los requisitos para la instalación y puesta en marcha del equipo digital tomográfico, tomando en cuenta factores importantes tales como la localización del mismo dentro del Área de Radiología, tipo de piso a utilizar que proveyera un ambiente armonioso y a la vez soportara el uso que se le daría, aislamiento y modificaciones en paredes, puertas y techos para proveer de una protección radiológica a todos los usuarios del servicio, medidas de la ventana anti radiación que permitieran tener una visión clara de las actividades dentro de la zona y que además

proveyera de protección para los operadores, modificaciones y equipo necesario para poder proveer energía al equipo sin inconvenientes que pongan en riesgo la seguridad del mismo y de las personas relacionadas y capacidad del equipo de aire acondicionado para brindar unas condiciones ambientales confortables para pacientes, médicos y el equipo tomográfico.

4. Se instaló el equipo ideal para cubrir las necesidades del Área de Radiología, se trata del modelo Hitachi Supria. Un aparato muy potente, capaz de realizar exploraciones de cuerpo completo, irradiando en menor medida a los pacientes a diferencia de otros equipos. Realizando un mantenimiento estricto es posible que el modelo seleccionado alcance una vida útil de diez años, permitiendo explotar al máximo sus capacidades y obteniendo el mayor rendimiento posible durante un período de tiempo bastante prolongado.

5. Se estableció el mantenimiento necesario para contar con un equipo en condiciones ideales de operación, proveyendo de un formato para mantener un control de las actividades a realizarse y que ayudarán a evitar problemas que pudieran poner en riesgo la integridad de este. De igual manera, se presentaron los formatos de mantenimiento para los sistemas relacionados, tales como la red eléctrica y el equipo de aire acondicionado. Se realizaron reuniones con las personas involucradas para informarles de las actividades a realizar y así poder garantizar un servicio continuo y de calidad.

RECOMENDACIONES

1. Es obligación del operador leer el manual del fabricante para terminar de pulir los conocimientos impartidos por el técnico del equipo y para que no se le presenten complicaciones al momento de manipular el equipo para realizar una exploración.
2. Realizar visitas periódicas por parte del equipo de mantenimiento para garantizar el buen estado de la instalación, observando la situación de paredes, piso o techo para garantizar un ambiente agradable y libre de peligros para los usuarios.
3. Informar a todas las personas involucradas en la operación del equipo acerca de los riesgos radiológicos presentes en el área y las medidas que deben tomar para poder realizar sus actividades de la mejor manera, minimizando el tiempo de exposición para que no resulten afectados a largo plazo por esta actividad.
4. Mantener el área limpia y libre de depósitos de polvo que pudieran poner en riesgo el funcionamiento del equipo y aparatos auxiliares. De igual manera es importante que después de realizar una exploración se limpie cualquier parte del tomógrafo afectada por fluidos del paciente que puedan causar malestar en futuros usuarios e incluso la transmisión de alguna enfermedad. Proveer de los medios necesarios para realizar esta práctica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Gubernativo número 229-2014 y sus reformas 33- 2016. *Reglamento de salud y seguridad ocupacional*, 23 de julio de 2014, núm. 229, 87 p.
2. ÁLVAREZ, Francisco & FAIZAL, Enriqueta. *Gerencia de hospitales e instituciones de salud*. Colombia: Ecoe ediciones, 2013. 344 p.
3. BUSHONG, Stewart. *Manual de radiología para técnicos: física, biología y protección radiológica*. España: Elsevier, 2010. 685 p.
4. FLEITAS, Ileana, MACHADO, Roxana, GONZÁLEZ, Héctor, MACHADO, Adalberto & JIMÉNEZ, Pablo. *Guía de gestión e incorporación de tecnología: radiología de propósitos generales*. La Habana: Editorial Ciencias Médicas, 2009. 69 p.
5. GARCÍA, Pedro. *Principios técnicos de la tomografía axial computarizada*. La Habana: Editorial Ciencias Médicas, 2008. 156 p.
6. NOVELLINE, Robert. *Fundamentos de radiología*. España: Masson, 2003. 445 p.

APÉNDICE

Apéndice 1. Trabajos de remodelación en el área, cuarto del tomógrafo



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Trabajos de remodelación en el área, sala de control



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Resultado final de la instalación del equipo y remozamiento del área, equipo de cómputo



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Resultado final de la instalación del equipo y remozamiento del área, sala de control



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Resultado final de la instalación del equipo y remozamiento del área, tomógrafo computarizado



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Resultado final de la instalación del equipo y remozamiento del área, impresora de placas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Resultado final de la instalación del equipo y remozamiento del área, vista frontal



Fuente: elaboración propia.

