

**“DETERMINACIÓN DE RADIACIÓN DISPERSA
DETECTADA EN AMBIENTES CONTIGUOS A LOS
APARATOS DE RAYOS X EN LA CLÍNICA DENTAL DE
LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
EN EL AÑO 2008”**



Tesis presentada por:

GLADYS CECILIA LAZO HERRERA

Ante el tribunal de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que practicó el Examen General Público, previo a optar al título de:

CIRUJANA DENTISTA

Guatemala, Mayo 2010

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Decano:	Dr. Manuel Aníbal Miranda Ramírez.
Vocal Primero:	Dr. Sergio Armando García Piloña.
Vocal Segundo:	Dr. Juan Ignacio Asencio Anzueto.
Vocal Tercero:	Dr. Jorge Eduardo Benítez De León.
Vocal Cuarto:	Br. Karla Marleny Corzo Alecio.
Vocal Quinto:	Br. Laura Virginia Navichoque Álvarez
Secretaria:	Dra. Carmen Lorena Ordóñez de Maas. Ph. D

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PÚBLICO

Decano:	Dr. Manuel Aníbal Miranda Ramírez.
Vocal Primero:	Dr. Sergio Armando García Piloña.
Vocal Segundo:	Dr. Jorge Eduardo Benítez De León.
Vocal Tercero:	Dr. Víctor Hugo Lima Sagastume.
Secretaria:	Dra. Carmen Lorena Ordóñez de Maas. Ph. D

ACTO QUE DEDICO

- A Dios: Por estar siempre junto a mi y permitirme alcanzar esta meta.
- A la Virgen María: Por ser mi guía e intercesora ante su hijo.
- A mis papas: Adán Lazo y Gladys Herrera de Lazo.

Por estar conmigo en todo momento, brindándome su amor, orientación, apoyo y entrega incondicional. Este triunfo es de ustedes.
- A mis hermanos: Silvia, Luz de María y Erick.
Por su amor y comprensión.
- A mis sobrinos: En especial a:
María Elisa quien me brinda su amor y su alegría.
- A mis abuelos: Facundo Lazo y Manuela Lemus de Lazo (†)
Silvia y Josefina Herrera (†)
Ofreciéndoles mi triunfo.
- A mis tios y primos: Quienes con su cariño comparten este triunfo conmigo.
- A José Montenegro: En quien encuentro apoyo cuando lo necesito.
- A Carlos Joachin: Quien me motivó para alcanzar este triunfo y ocupa un lugar especial en mi vida.

TESIS QUE DEDICO

A mi país Guatemala

A la Universidad de San Carlos de Guatemala

A la Facultad de Odontología

Al colegio Lehnsen

A mis catedráticos

A mi asesor: Dr. Sergio García Piloña.

A mis padrinos de Graduación: Ing. Agr. Adán Lazo Lemus.

Dra. Silvia Josefina Lazo Herrera.

Al Lic. Manuel Barahona; por su colaboración en el trabajo de campo y orientación en el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos y compañeros; quienes con su amistad y cariño contribuyeron en el logro de esta meta.

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Tengo el honor de someter a su consideración mi trabajo de tesis titulado “DETERMINACIÓN DE RADIACIÓN DISPERSA DETECTADA EN AMBIENTES CONTIGUOS A LOS APARATOS DE RAYOS X EN LA CLÍNICA DENTAL DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA EN EL AÑO 2008”, conforme lo demandan los estatutos de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, previo a optar al título de:

CIRUJANA DENTISTA

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron para la realización de este trabajo de investigación.

Y a ustedes Honorables miembros del Tribunal Examinador, reciban mis más altas muestras de consideración y respeto.

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
SUMARIO.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
ANTECEDENTES.....	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
JUSTIFICACIÓN.....	6
MARCO TEÓRICO.....	7
OBJETIVOS.....	42
VARIABLES.....	44
METODOLOGÍA.....	46
RECURSOS.....	48
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	49
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	68
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES.....	74
BIBLIOGRAFÍA.....	75
ANEXOS.....	76

SUMARIO

En la clínica dental de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala se realizó la investigación en donde se determinó la radiación dispersa en ambientes contiguos a los aparatos de rayos X que están ubicados en el edificio M1.

Para el desarrollo de la investigación se establecieron los lugares de medición presentándolos en una serie de planos, para tener una mejor perspectiva de donde están los aparatos de rayos X ubicados, y asignando a cada uno de ellos un número. (Ver anexo 4 y 5)

Se realizó la descripción de cada uno de los aparatos de rayos X, en donde se detalla el modelo, la marca, serie, tipo de ánodo, tipo de enfriamiento, tiempo de exposición, rango de kV y rango de mA.

Se tabuló la carga de trabajo de todos los aparatos, y en conjunto con los datos que reveló el levantamiento radiométrico y la proyección de dosis anual, se determinó que la carga de trabajo es muy alta evaluada semanalmente.

El levantamiento radiométrico se realizó en distintos puntos alrededor de los aparatos de rayos X en donde se describen sus colindancias, las cuales se presentan en cuadros que dan a conocer la dosis proyectada y el límite de dosis.

Los datos revelan que solamente en dos áreas de las seis evaluadas no existe ningún riesgo para el público ni para el personal ocupacionalmente expuesto.

En cuatro de las seis áreas evaluadas se requiere colocar blindaje o hacer remodelación de las instalaciones, puesto que la dosis proyectada en ciertas colindancias sobrepasa el límite de dosis.

Se observó que las barreras no cumplen con los requisitos del límite de dosis que exige la Reglamentación Nacional en Materia de Seguridad y Protección Radiológica vigente en el país, puesto que se observó que la ubicación de los biombos no es fija, lo cual incrementa el riesgo radiológico para el operador.

En algunos de los aparatos se encontró que no habían accesorios de protección (chalecos blindados y cuelleras) y en donde había, no existía un lugar adecuado para colocarlos.

INTRODUCCIÓN

Los equipos dentales de rayos X se constituyen en una herramienta útil para los profesionales odontólogos, ya que contribuyen en el diagnóstico del paciente y por ende, a un tratamiento eficaz. Sin embargo, por tratarse de un equipo emisor de radiación X, su utilización ocasiona dosis de radiación de las cuales se debe proteger el hombre.

Para que el nivel de radiación sea segura en la labor médica y odontológica, deben tomarse en consideración ciertos requerimientos; uno de ellos es la evaluación de las instalaciones en donde se encuentran los aparatos de rayos X, así como las barreras de protección y seguridad, para poder hacer uso de ellos sin ser afectados pacientes, operadores, docentes y público en general.

Por ello en las clínicas dentales de la Facultad de Odontología de la USAC, se investigó con la ayuda de AC Radiaciones (Asesoría y Consultoría en Radiaciones Ionizantes) el grado de radiación dispersa, detectado en ambientes contiguos a los aparatos de rayos X que actualmente se utilizan, valiéndose para ello de un contador tipo Geiger Müller, para así poder determinar si es necesario realizar algunos cambios de infraestructura.

ANTECEDENTES

En 1895 se dió el descubrimiento de los rayos “X” por W. K. Roentgen, quien tomó la primera radiografía del cuerpo humano colocando la mano de su esposa en una placa fotográfica y exponiéndola por 15 minutos, cuando reveló la lámina fotográfica pudo observar el contorno de los huesos de la mano, 14 días después de que anunciara su descubrimiento, el Dr. Otto Walkhoff, de Braunschweig, Alemania, realizó la primera radiografía dental. Desde entonces los equipos dentales de rayos X se constituyen en una herramienta útil para los profesionales odontólogos, ya que contribuyen al mejor diagnóstico del paciente atendido y, por ende, a un tratamiento eficaz. Sin embargo, por tratarse de un equipo emisor de radiación X, su utilización puede ocasionar daño biológico del cual se debe proteger al operador y también al paciente.

En el año de 1901, en Estocolmo, Suecia, Roentgen recibe el Premio Nobel de Física por el descubrimiento de los rayos X.

En Guatemala, en el año 1973, María Antonieta Ovalle Monasterio, con el fin de afianzar la idea acerca de los daños que pueden causar los rayos X en el organismo, realiza un estudio sobre los peligros de los rayos X en la odontología. (7)

En el año 1987, Sittler Stuck, recomienda el uso de medidas de seguridad como el procedimiento más adecuado y eficaz para evitar la sobreexposición a la misma (5).

En el año 2001, Milena Valiente, en un estudio sobre higiene radiológica realizado en la Facultad de Odontología de la USAC, encuentra que existe radiación secundaria que supera la dosis 0.01 mSv/hr* permisible para el personal ocupacionalmente expuesto y que el Departamento de Radiología de la Facultad de Odontología carece de un programa de mantenimiento preventivo y correctivo para los aparatos de rayos X (6).

Carlos Díaz Mayorga, en el año 2003, por medio de un estudio de niveles de radiación dispersa en clínicas de la ciudad de Guatemala, encuentra que en la mayor parte de ellas se detecta radiación dispersa en al menos uno de los ambientes contiguos al aparato de rayos X. (1)

**Milisievert/hora*

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un medio necesario para llegar a un diagnóstico clínico odontológico acertado, es la utilización de un equipo de radiología. Cualquier tipo de examen roentgenológico expone a radiación a las personas cercanas y al medio ambiente; este debe ser manejado o supervisado por el odontólogo quien debe tener conocimiento sobre higiene radiológica, la cual incluye mantener una infraestructura adecuada, un control de calidad y protección al paciente.

La radiación X causa cambios biológicos en las células vivas y efectos adversos en todos los tejidos; el uso de medidas de seguridad, es el procedimiento más adecuado y eficaz para evitar una sobreexposición a la radiación. En la clínica de la Facultad de Odontología de la USAC, es evidente la necesidad que existe de señalar la exposición a la que es sometido el estudiante al operar el aparato de rayos X, así como docentes, personal administrativo y público en general que transita por el área, para que conociendo los resultados de las exposiciones se pueda evaluar si es necesario modificar la infraestructura destinada a los procedimientos radiológicos, así como implementar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo a los aparatos de rayos X y al equipo de protección que actualmente se utiliza en la Facultad de Odontología de la USAC.

JUSTIFICACIÓN

En la práctica clínica es imprescindible, insustituible y constante el uso de rayos X para poder realizar un diagnóstico acertado, cuando la situación justifique la exposición.

Es importante y beneficioso para los estudiantes, docentes y personal administrativo de la Facultad de Odontología de la USAC, evaluar si las medidas de protección son eficientes, de manera que el operador pueda colocarse al momento de hacer la toma de rayos X en un lugar en donde no se encuentre expuesto a la radiación dispersa y de esta forma evitar complicaciones biológicas (alteración celular) por la acción de radiaciones ionizantes, pues si su uso es indiscriminado, puede conllevar a efectos somáticos y genéticos, como lo son: problemas en el sistema nervioso central, gástrico intestinales, hematopoyéticos, etc.

En la Facultad de Odontología de la USAC es necesario conocer si existen niveles de radiación dispersa que superen la dosis permisible para el personal ocupacionalmente expuesto y medio ambiente, y con ello poder evaluar si se debe a la carencia de infraestructura apropiada, medidas de protección que no llenan los requisitos o a una ubicación inadecuada que actualmente tengan los aparatos, pues no sólo es una responsabilidad profesional y moral, sino también civil, según Decreto de Ley acordado por el Congreso de la República de Guatemala el cuidar la salud humana y cumplir con los principios básicos de la protección radiológica.

MARCO TEÓRICO

A. BIOLOGÍA DE LA RADIACIÓN

Para estudiar los efectos biológicos de la radiación X, hay que tener en cuenta un factor importante: toda la materia está formada de átomos. Se ha visto que los átomos están formados por electrones, los cuales están cargados negativamente; protones, que tienen carga positiva; y neutrones, los cuales no tienen carga y son eléctricamente neutrales. Cuando se dice que toda la materia está formada por átomos, se debe entender que ella incluye los diferentes tipos de tejidos que forman el cuerpo humano. Los átomos que forman las células vivas y los tejidos del cuerpo normalmente están en un estado de equilibrio, o sea eléctricamente neutros (4).

Los rayos X son una forma de radiación ionizante, cuando chocan con los tejidos del paciente, hay ionización; esta se produce por el efecto fotoeléctrico o dispersión de Compton y está formada por un átomo positivo y un electrón negativo desalojado. El electrón rechazado de alta velocidad se encuentra en movimiento e interactúa con otros átomos dentro de los tejidos absorbentes. La energía cinética de estos electrones produce mayor ionización, excitación o rotura de las uniones moleculares, con ello se produce un cambio químico dentro de la célula, lo cual conduce a daño biológico (2).

A1. CLASIFICACIÓN DE LAS RADIACIONES

Las radiaciones se pueden clasificar en dos grandes ramas que son (1):

1. ionizantes
2. no-ionizantes

1. Radiaciones ionizantes

Son aquellas que al interactuar con la materia, producen ionizaciones (formación de iones por extracción de electrones de la materia), debido a su elevada energía. A esta categoría pertenecen las radiaciones alfa, beta, gama y rayos X (1).

- a) *Alfa*: se origina cuando el núcleo de un átomo libera un núcleo de helio (partícula alfa).
- b) *Beta*: se produce cuando un núcleo emite un electrón positivo, positrón o un electrón.
- c) *Gama*: se produce cuando un núcleo emite un fotón con el objeto de ganar estabilidad.
- d) *Rayos X*: se producen en la capa electrónica que rodea al núcleo atómico (1).

2. Radiaciones no-ionizantes

Son aquellas que no producen ionizaciones cuando interactúan con los materiales, debido a que poseen una energía baja. Dentro de estas se encuentran las ondas de radio y microondas (1).

Radiación de Fondo o Background: Toda la vida, nuestro planeta se ha desarrollado y evidentemente florecido en este medio ambiente radiactivo, es útil poder cuantificar estos niveles naturales de radiactividad. Algún grado de exposición a la radiación natural es inevitable y algunos de los elementos que originan esta exposición son más o menos invariables, de aquí nace el concepto de radiación natural de fondo o background. Esta exposición a la radiación puede estar afectada por factores de localidad, nutricionales, ocupacionales, etc. y las dosis resultantes pueden ser afectadas por anatomía y fisiología de las personas así expuestas (1).

B. EXPOSICIÓN A RADIACIONES

Dentro de las radiaciones a las que el ser humano está expuesto se pueden mencionar las siguientes (1):

1. radiación natural
2. radiación artificial.

1. Radiación natural:

La radiación intervino en la gran explosión (big-bang) que, según se cree, dio origen al universo hace unos 20,000 millones de años. Desde entonces se ha dispersado por el cosmos. Los materiales radiactivos se convirtieron en parte integrante de la tierra desde el momento mismo de su formación (1).

Incluso el hombre es ligeramente radiactivo ya que todo organismo vivo contiene vestigios de sustancias radiactivas. Se han encontrado alrededor de 340 nucleídos en la naturaleza de los cuales alrededor de 70 son radiactivos, principalmente entre los elementos pesados. Todos los elementos que tienen un número atómico (Z) mayor que 80, poseen isótopos radiactivos. La evaluación y conocimiento de las dosis de radiación que el ser humano recibe de las diferentes fuentes naturales tiene particular importancia debido a que esta radiación natural aporta la máxima contribución a la dosis colectiva de la población mundial. Existen tres fuentes naturales de exposición a las radiaciones ionizantes: radiación cósmica, radio nucleídos cosmogénicos y radio nucleídos primordiales (1).

2. Radiación artificial:

Se conoce como radiación artificial a toda aquella emitida por objetos, instrumentos o aparatos creados por el hombre, tal es el caso de la radiación X (1).

C. LESIONES POR RADIACIÓN

C.1 MECANISMO DE LAS LESIONES POR RADIACIÓN

En la radiografía diagnóstica, no todos los rayos X pasan a través del paciente y llegan a la película; algunos son absorbidos por los tejidos del paciente, la absorción es la transferencia total de la energía del fotón de rayos X a los tejidos del paciente. Cuando dichos tejidos absorben la energía, ocurren cambios químicos que ocasionan daño biológico. Se observan dos mecanismos específicos en las lesiones por radiación (2):

1. Ionización
2. Formación de radicales libres.

1. Ionización

Los rayos X son una forma de radiación ionizante; cuando chocan con los tejidos del paciente provocan ionización, ésta se produce por medio del efecto fotoeléctrico o la dispersión de Compton, con formación de un átomo positivo y un electrón negativo expulsado de su órbita. La energía cinética de tales electrones ocasiona mayor ionización, excitación o rotura de las uniones moleculares, todo lo cual genera cambios químicos dentro de la célula y provoca un daño biológico (2).

2. Formación de radicales libres

Fenómeno que ocurre cuando el fotón de rayos X ioniza el agua, liberando hidrógeno y radicales hidroxilo libres. Un radical libre es una molécula o átomo sin carga que tiene un electrón único, es muy reactivo e inestable, para obtener estabilidad, los radicales libres:

- a. se recombinan sin causar cambios en la molécula,
- b. se combinan con otros radicales libres y causan cambios
- c. se combinan con moléculas ordinarias para formar una toxina capaz de producir cambios celulares generalizados (2).

D. TEORÍA DE LESIONES POR RADIACIÓN

El daño a los tejidos vivos por exposición a radiaciones ionizantes es resultado del choque directo y la absorción de un fotón de rayos X dentro de la célula, o de absorción del fotón por el agua dentro de la célula acompañada por la formación de radicales libres. Hay dos teorías acerca de la forma en que la radiación lesiona los tejidos biológicos (2):

D.1 TEORÍA DIRECTA

Se produce lesión celular directa cuando la radiación ionizante choca de manera directa con áreas o blancos críticos dentro de las células. Ocurren con poca frecuencia, pues la mayor parte de los fotones pasan a través de la célula y causan poco o ningún daño (2).

D.2 TEORÍA INDIRECTA

Ésta indica que los fotones de rayos X se absorben dentro de la célula y provocan la formación de toxinas, las cuales dañan la célula. Las lesiones indirectas se producen porque los radicales libres se combinan y forman toxinas, y no por el choque directo de los fotones. Las lesiones indirectas por exposición a radiaciones ionizantes ocurren frecuentemente debido al alto contenido de agua de las células. La probabilidad que se formen radicales libres y ocasionen lesiones indirectas es elevada porque las células están compuestas de 70 a 80% de agua (2).

E. CURVA DOSIS-RESPUESTA Y LESIÓN POR RADIACIÓN

Si todas las radiaciones ionizantes son peligrosas y ocasionan daño biológico ¿qué nivel de exposición se considera aceptable? Para establecer niveles aceptables de exposición a las radiaciones es útil elaborar una gráfica curva dosis-respuesta, para correlacionar la respuesta o daño que sufren los tejidos con la dosis o radiación recibida (2).

Cuando se traza una gráfica de la dosis y el daño producido, se observa una relación lineal sin umbral; la linealidad de esta relación indica que la respuesta de los tejidos es directamente proporcional a la dosis. El hecho de que la relación no tenga umbral indica que no existe un nivel de dosis umbral para que se produzca la lesión (2).

La curva dosis respuesta sin umbral sugiere que no importa qué tan pequeña sea la cantidad de radiación recibida, siempre ocasiona algún daño biológico. No hay dosis segura de exposición a radiaciones; en radiología dental, aunque las dosis recibidas por el paciente sean bajas, causan lesión (2).

F. SECUENCIA, REPARACIÓN Y ACUMULACIÓN DE LAS LESIONES POR RADIACIÓN

A nivel molecular se realizan reacciones químicas rápidas (ejemplo: ionización, radicales libres) posteriores a la absorción de radiaciones. Sin embargo, se requiere algún tiempo para que estos cambios alteren las células y sus funciones (2).

En consecuencia, los efectos observables de la radiación no son visibles de inmediato después de la exposición. En lugar de ello, después de la exposición hay un período latente, al cual se puede definir como el tiempo que transcurre entre la exposición a la radiación ionizante y la aparición de signos clínicos observables. El período latente puede ser corto o largo, dependiendo de la dosis total de radiación recibida y la cantidad de tiempo o la rapidez con que se recibió la dosis (6).

Después se encuentra el período en lesión, en el que pueden ocurrir varias lesiones celulares como muerte celular, cambios en la función de la célula, formación de células gigantes, cese de la actividad mitótica. La última parte de la secuencia de lesiones es el período de recuperación. No todas las lesiones celulares por radiación son permanentes; después de cada exposición hay reparación del daño celular, lo que depende de varios factores. La mayor parte del daño causado por una radiación de bajo nivel se repara dentro de las células del cuerpo (6).

Los efectos de la exposición a las radiaciones son acumulativos y los daños que no sean reparados se acumulan en los tejidos. Los efectos acumulativos de la radiación repetida ocasionan problemas de salud (2).

Órganos y los trastornos que son resultado de los efectos acumulativos de la exposición repetida a la radiación en los mismos.

TEJIDO U ÓRGANO	EFEECTO DE LA RADIACIÓN
Hematopoyético	Leucemia
Reproductor	Mutaciones
Tiroides	Carcinoma
Piel	Carcinoma
Ojos	Cataratas

G. EFECTOS DE LA RADIACIÓN

G.1 EFECTOS DE LA RADIACIÓN EN RELACIÓN A DOSIS

1. Estocásticos (al azar)

Se producen como función directa de la dosis y la probabilidad de que ocurran, aumenta al incrementarse la cantidad de radiación absorbida; sin embargo la gravedad de los efectos no depende del tamaño de la dosis que se absorbe. Ejemplo: inducción de cáncer (2).

2. No estocásticos (no al azar, deterministas)

Son de índole somática, tienen un umbral y su gravedad aumenta cuanto mayor sea la dosis absorbida. Ejemplo: eritema, pérdida del cabello, cataratas, disminución de la fertilidad (2).

La diferencia entre los efectos no estocásticos y estocásticos es que los primeros requieren mayores dosis de radiación para causar trastornos graves a la salud (2).

G.2 EFECTOS DE LA RADIACIÓN EN RELACIÓN A TIEMPO

Los efectos de la radiación se clasifican así: de corto y largo plazo.

1. Efectos a corto plazo:

Se da cuando después del período de latencia hay efectos que se observan a los pocos minutos, días o semanas; están asociados a grandes cantidades de radiación absorbida durante un período corto. El síndrome de radiación aguda es un efecto a corto plazo e incluye náuseas, vómito, diarrea, pérdida de cabello y hemorragia. Los efectos a corto plazo no se observan en odontología (2).

2. Efectos a largo plazo:

Son aquellos efectos que se manifiestan después de años, decenios o generaciones; están asociados con cantidades pequeñas de radiaciones absorbidas de manera repetida en un período largo; los niveles bajos repetidos están ligados a la inducción de cáncer, anomalías del nacimiento y defectos genéticos (2).

G.3 EFECTO DE LA RADIACIÓN A NIVEL CELULAR

Todas las células en el cuerpo se clasifican en: somáticas o genéticas; las primeras son todas aquellas que forman el cuerpo, excepto las células de la reproducción (ejemplo: óvulo y esperma) que se denominan genéticas (3).

1. Efectos somáticos

En la práctica odontológica es muy poco probable que haya dosis suficiente para producir efectos inmediatos. Los efectos tardíos se dan a dosis bajas durante un lapso prolongado, tienen efecto acumulativo (3).

2. Efectos genéticos

No se observan en la persona irradiada, sino que pasan a las generaciones futuras. Las lesiones por radiación que provocan cambios en las células genéticas no afectan la salud del individuo expuesto; en lugar de ello, las mutaciones inducidas por radiación afectan la salud de los sucesores. No es posible reparar los daños genéticos (3).

G.4 EFECTO DE LA RADIACIÓN IONIZANTE EN LA CÉLULA

La célula, o unidad estructural básica de todo organismo viviente, se compone de un núcleo central y citoplasma circundante. Las radiaciones ionizantes pueden afectar el núcleo, el citoplasma o toda la célula. El núcleo celular es más sensible a la radiación que el citoplasma o toda la célula, los daños que sufre esta estructura afectan a los cromosomas que contienen el ADN y ocasionan que se interrumpa la división celular, lo que a su vez puede provocar alteraciones de la función celular o la muerte de la célula (2).

No todas las células responden de la misma forma a la radiación; las que son sensibles a las radiaciones se les conoce como radiosensibles y aquellas que resisten se denominan radorresistentes. La respuesta de la célula ante la exposición a las radiaciones se determina de la siguiente forma (2):

1. Actividad mitótica

Las células que se dividen con frecuencia o sufren muchas divisiones con el tiempo, son más sensibles a la radiación (6).

2. Diferenciación celular

Las células inmaduras o que no están muy especializadas, son más sensibles a la radiación (6).

3. Metabolismo celular

Las células que tienen un metabolismo más alto son más sensibles a la radiación.

Las células más radiosensibles son las sanguíneas, las de la reproducción inmadura, las óseas jóvenes, linfocitos pequeños y médula ósea; entre las radiorresistentes encontramos a la célula ósea madura, las musculares y las nerviosas (6).

G.5 EFECTOS DE LA RADIACIÓN EN TEJIDOS Y ÓRGANOS

Las células están organizadas en unidades de funcionamiento mayores, denominadas tejidos y órganos que, al igual que las células, varían en cuanto a su sensibilidad a las radiaciones. Los órganos radiosensibles están compuestos de células radiosensibles, como tejido linfoide, la médula ósea, los testículos y los intestinos; algunos ejemplos de los tejidos radiorresistentes son las glándulas salivales, riñones y el hígado (2).

En odontología, se dice que algunos tejidos y órganos son críticos debido a que están expuestos a más radiaciones que otros, durante los procedimientos radiográficos. Un órgano crítico es aquel cuyas lesiones ocasionan que disminuya la calidad de vida de la persona; los órganos de este tipo expuesto durante los procedimientos radiográficos dentales en la región de cabeza y cuello son: piel, glándula tiroides, cristalino de los ojos, médula ósea (2).

H. MEDIDAS DE RADIACIÓN: MAGNITUDES Y UNIDADES DOSIMÉTRICAS

Las magnitudes dosimétricas sirven para proporcionar una medida física en un punto de una región de interés, que esté correlacionada con los efectos reales o potenciales de las radiaciones ionizantes. La magnitud dosimétrica fundamental es la dosis absorbida, ya que relaciona otros factores y parámetros, permite hacer evaluaciones del daño que puede causar la radiación en el ser humano y se utiliza para fines terapéuticos (2).

La radiación se puede medir de la misma manera que otras dimensiones físicas, por lo que la International Commission on Radiation Units and Measurement (ICRU) estableció magnitudes y unidades para las medidas especiales de la radiación. Las magnitudes y unidades que se utilizan para definir las cantidades de radiación son (2):

H.1 DOSIS ABSORBIDA

Se pueden definir dosis como la cantidad de energía absorbida por un tejido, la dosis de radiación absorbida o rad, es la unidad tradicional de dosis. A diferencia del roentgen, el rad no está restringido al aire y se puede aplicar a toda clase de radiaciones, se define como:

Rad unidad especial de dosis absorbida que es igual al depósito de 100 ergios de energía por gramo de tejido (100 erg/g) (4).

De acuerdo al sistema internacional de unidades, un rad es equivalente a 0.01 joules por kilogramo (0.01 J/kg). La unidad equivalente al rad es el gray (Gy), que es igual a un J/kg. Las siguientes ecuaciones expresan las equivalencias entre el rad y el Gy:

$$1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

Estas unidades indican la cantidad de energía absorbida por unidad de masa de un material irradiado. La dosis absorbida es una función puntual, continua y diferenciable, por lo que cabe referirse a su gradiente y a su tasa. El valor de la dosis puede especificarse para cualquier medio y cualquier tipo de radiación ionizante (1).

La unidad utilizada para especificar la dosis absorbida es $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$, y recibe el nombre especial de gray (Gy) (1).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Jkg}^{-1}$$

H.2 DOSIS EQUIVALENTE

Diferentes tipos de radiación tienen efectos distintos en los tejidos; la medida de dosis equivalente se emplea para comparar los efectos biológicos de diversos tipos de radiación. La unidad tradicional de la dosis equivalente es el roentgen en el ser humano, o rem y se define como sigue:

Rem es el producto de la dosis absorbida (rad) por el factor de calidad específico del tipo de radiación (2).

Para colocar en una escala común los efectos de la exposición a diferentes tipos de radiación, se utiliza el factor de calidad (QF), o multiplicador adimensional. Cada tipo de radiación tiene un factor de calidad específico con base en el hecho de que diferentes tipos de radiaciones provocan distintos tipos de lesión biológica. Por ejemplo, el QF de los rayos X es igual a 1, que es el utilizado en odontología (2).

La unidad equivalente al rem en el SI es el sievert (Sv), las siguientes ecuaciones expresan las equivalencias entre el rem y el sievert (2):

$$1\text{rem} = 0.01\text{ Sv}$$

$$1\text{Sv} = 100\text{ rem}$$

Cuando se requiere hacer estimaciones sobre el daño que produce la radiación a un tejido, órgano o en el cuerpo humano en general, es necesario recurrir a algunos factores para la determinación cuantitativa del daño (1).

H.3 DOSIS EFECTIVA

La relación entre la probabilidad de efectos dañinos a la salud humana, de carácter aleatorio y la dosis equivalente, varía con el órgano o tejido irradiado, razón por la cual se define una magnitud más, que es la dosis efectiva, E, ésta es la suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo, se expresa como (1):

$$E = \sum W_T H_T$$

Valores del Factor de Ponderación (W_T) para diferentes órganos.

TEJIDO	W_T
Gónadas	0.25
Mama	0.15
Médula Ósea Roja	0.12
Pulmón	0.12
Tiróides	0.03
Hueso	0.03
Resto del cuerpo excluyendo pies, tobillos, manos, piel y cristalino.	0.3

Donde H_T es la dosis equivalente en un órgano o tejido y W_T es el factor de ponderación para el tejido T, este factor depende de la radiosensibilidad de un tejido u órgano en particular (1).

La dosis efectiva se expresa en J/Kg y como W_T es adimensional, la unidad especial es el Sievert (Sv).

Para comparar con mayor claridad los tres tipos de medidas de radiación:

DOSIS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DOSIMÉTRICA	DETALLE
Dosis absorbida	Cantidad de energía absorbida por unidad de masa de un material irradiado.	Rad = Gy = J/Kg	
Dosis equivalente	Dosis empleada para comparar los efectos biológicos de diversos tipos de radiación.	Roentgen = Rem = Sv	Dosis equivalente = Dosis absorbida * Factor de calidad
Dosis efectiva	Dosis que evalúa la probabilidad del efecto dañino en un órgano o tejido específico.	J/Kg = Sv	Dosis efectiva = Dosis equivalente * Factor de ponderación.

H.4 KERMA

Cuando se consideran partículas indirectamente ionizantes, como los fotones, conviene también describir la energía liberada por ellas al interactuar con la materia. Magnitud kerma (Energía Cinética liberada en el material, expresada a veces por unidad de masa).

La diferencia entre el kerma y la dosis absorbida es que la segunda depende de la energía promedio absorbida en la región de interacción y la primera depende de la energía total transferida al material. Esto significa que, de la energía transferida, una parte es disipada por la radiación de frenado, otra en forma de luz o rayos X, durante la excitación de los átomos que interactúan con los electrones producidos en las ionizaciones (1).

H.5 EXPOSICIÓN

El término exposición se refiere a la medida de ionización que provocan los rayos X en el aire. La unidad tradicional para los rayos X es el roentgen (R); es una manera de medir la exposición a la radiación que consiste en determinar la cantidad de ionización que ocurra en el aire. Una definición de esta unidad es (2):

Roentgen es la cantidad de radiación X o radiación gamma que produce una carga eléctrica de $2.58 * 10^{-4}$ Coulombios en un kilogramo de aire a temperatura y presión normales (2).

Para medir el roentgen se irradia un volumen conocido de aire; la interacción de los fotones de rayos X con las moléculas de aire ocasiona ionización o formación de iones, entonces se captan los iones (cargas eléctricas) producidos y se mide su cantidad. Un roentgen es igual a la dosis de radiación que origina aproximadamente 2000 millones de iones en un centímetro cúbico (cc) de aire (2).

La utilidad del (R) como unidad de medida es limitada, mide la cantidad de energía que llega a la superficie de un organismo, pero no indica la cantidad de radiación absorbida, se limita de manera esencial a medidas en el aire y por definición se utiliza solo para los rayos X y gamma, sin incluir otros tipos de radiación (2).

No hay unidad SI para el equivalente de exposición al roentgen; en lugar de ello, solo se establece la exposición en coulombio (C) que es una unidad de carga eléctrica. La unidad de coulombios por kilogramo es la medida del número de cargas eléctricas, o número de pares iónicos, que hay en un kilogramo de aire. Las equivalencias entre roentgen y coulombios por kilogramo son las siguientes:

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

$$1 \text{ C/kg} = 3.88 * 10^3 \text{ R}$$

Esta magnitud, se aplica solo a fotones que interaccionan con el aire y es el cociente.

$$X = dQ/dm$$

Donde dQ es el valor absoluto de la carga total de los iones de un signo producida en aire, cuando todos los electrones liberados por los fotones en aire de masa dm quedan completamente frenados en el aire. La unidad es C.kg^{-1} . De todas maneras, aun se sigue usando bastante la unidad especial de exposición, el roentgen (R) (1).

El radiólogo dental debe estar familiarizado con ambos sistemas y saber cómo convertir de un sistema a otro, y con varios términos físicos empleados en las definiciones de las unidades de medida de radiación tradicional y del SI (2).

Unidades de medida de la radiación en el sistema internacional.

<i>Unidad internacional.</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Definición</i>	<i>Conversión</i>
Coulombios por kilogramos	C/kg	–	1 C/kg = 3880
Gray	Gy	1 Gy = 0.01 J/kg	1 Gy = 100 rad
Sievert	Sv	1 Sv = Gy * QF	1 Sv = 100 rem

Unidades de medida de la radiación en el sistema tradicional y su equivalencia en el sistema internacional.

<i>Unidad tradicional</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Definición</i>	<i>Conversión</i>
Roentgen	R	1R = 87 erg/g	1 R = $2.58 * 10^{-4}$ C
Dosis de radiación absorbida	rad	1 rad = 100 erg/g	1 rad = 0.01 Gy
Equivalente de roentgen en el ser humano	rem	1 rem = rad * QF	1 rem = 0.01 Sv

H.6 MEDIDAS EMPLEADAS EN RADIOLOGÍA DENTAL

En radiología dental el *gray* y el *sievert* son iguales, dado que el factor de calidad de la radiación es 1 en RX, y se considera que el *roentgen*, el *rad* y el *rem* son casi iguales. En odontología se utilizan múltiplos muy pequeños de estas unidades de radiación debido a que se aplican dosis pequeñas de radiación durante los procedimientos radiográficos. El prefijo mili, que significa un milésimo (1/1,000) permite al radiólogo expresar pequeñas cantidades de exposición, dosis y dosis equivalente (2).

I. FUENTES DE EXPOSICIÓN

A diario el ser humano está expuesto a radiación ambiental, una forma de radiación ionizante que se encuentra en el ambiente; entre ellas encontramos a la radiación cósmica y la terrestre; también el hombre está expuesto a radiaciones que el mismo a creado, como lo son la artificial y la médica (2).

I.1. RADIACIÓN CÓSMICA:

Esta se origina de las estrellas y el sol. La exposición a ella depende de la altitud en la que se encuentre el individuo. A mayor altitud, mayor exposición a la radiación cósmica como por ejemplo en Denver, Colorado se encuentran niveles más altos de ésta (2).

I.2 RADIACIÓN TERRESTRE:

Ésta la originan o emiten los materiales radiactivos que hay en la tierra y en el aire, como las que emiten el potasio-40 y el uranio. El grado de este tipo de exposición depende de la localización geográfica, las áreas que contienen más materiales radiactivos están asociadas con mayores dosis de radiación terrestre (2).

I.3 RADIACIÓN ARTIFICIAL:

Es toda aquella radiación que está dada por la tecnología moderna, la podemos encontrar en muchos productos de consumo popular, por ejemplo: relojes de pulso luminosos, las lluvias radiactivas producidas por explosiones (accidentes en plantas nucleares y uso de armas atómicas), la producción de armas y el ciclo de combustible nuclear son fuente de exposición a la radiación (2).

I.4 RADIACIÓN MÉDICA:

Esta incluye procedimientos radiográficos médicos, radiografía dental, fluoroscopia, medicina dental y radioterapia (2).

Fuentes de radiación y exposición

Fuente de Radiación	Cuerpo Completo (mrem/año)	Cuerpo Completo (Sv/año)
<i>Natural</i>		
Cósmica	27.00	0.00027
Terrestre	28.00	0.00028
<i>Artificial</i>		
Médica o Dental	53.00	0.00053
Productos de Consumo	9.00	0.00009

J. RIESGO Y CÁLCULO DEL RIESGO

Se define riesgo como la probabilidad de que la exposición a un agente peligroso cause efectos adversos o la muerte. En radiología dental el riesgo es la probabilidad de que surja un efecto adverso, en especial inducción de cáncer, a causa de exposición a radiaciones ionizantes (2).

Se calcula que el riesgo potencial que la radiografía dental induzca un cáncer mortal en un paciente es de más o menos 3 por 1, 000,000. El riesgo de que una persona desarrolle cáncer de manera espontanea es mucho más alto 3,300 en 1,000,000 (2).

Estos cálculos de riesgo indican que es más probable que haya muerte por actividades fuera del campo médico, y que es muy probable que el cáncer no esté relacionado con una exposición a radiaciones. Los riesgos que provoca la radiografía dental no son significativamente mayores que los peligros que crean otras actividades diarias (2).

K. RADIACIÓN DENTAL Y RIESGOS DE EXPOSICIÓN

Con los procedimientos radiográficos dentales, los órganos críticos en riesgo incluyen glándula tiroides y médula ósea activa, también se pueden considerar la piel y los ojos (6).

1 .Glándula Tiroides: aunque no es irradiada por el haz primario en los procedimientos dentales, hay exposición a la radiación. Es necesaria una dosis calculada de 6,000 mrad (0.06 Gy) para producir cáncer en esta glándula; dicha dosis tan grande no se presenta en radiografías dentales (6).

2 .Médula Ósea: las áreas de los maxilares superior e inferior expuestas durante la radiografía dental contienen un porcentaje muy pequeño de la médula ósea activa. La inducción de leucemia es más probable en dosis de 5,000 mrad (0.05 Gy) o más; en radiología dental no se aplica radiación de esa magnitud. La dosis promedio para la médula ósea en una toma periapical es de 1 a 3 mrad por película, en consecuencia es necesario exponer entre 2,000 y 5,000 películas antes de inducir leucemia (6).

3 .Piel: un total de 250 rad en un período de 14 días causa eritema, o enrojecimiento de la piel. Para producir estos cambios es necesario exponer 500 películas dentales en 14 días (6).

4 .Ojos: son necesarios más de 200,000 mrad para inducir cataratas, en este caso, no es posible que se apliquen dosis tan altas en radiología dental (6).

L. EXPOSICIÓN DEL PACIENTE Y DOSIS

El grado de exposición varía de acuerdo a (2):

L.1 VELOCIDAD DE LA PELÍCULA:

Se puede limitar con el uso de la película más rápida disponible (2).

L.2. COLIMACIÓN:

Se puede limitar con el uso de colimadores rectangulares, pues en comparación de colimadores redondos esta reduce de 60% a 70% la dosis absorbida (2).

L.3. TÉCNICA:

La exposición a la radiación se limita al emplear una distancia más larga de fuente-película. El uso de un cono largo, la técnica de paralelismo y una distancia mayor de fuente-película reducen la dosis administrada a la piel (2).

L.4 FACTORES DE EXPOSICIÓN:

La exposición a la radiación se limita con el uso de un kilovoltaje máximo más alto. Lo que reduce la dosis a la piel (2).

M. RIESGOS Y BENEFICIOS EN LA RADIOGRAFÍA

La radiación X es peligrosa para los tejidos vivos. La exposición en la toma de radiografías dentales causa daño biológico, de modo que se deben prescribir para un paciente sólo cuando el beneficio de detección de enfermedad sobrepase los riesgos de daño biológico. Cuando es adecuada la prescripción y exposición, el beneficio que produce la detección de la enfermedad es mayor que el daño que puedan causar (2).

N. PROTECCIÓN CONTRA LAS RADIACIONES

Muchos de los pioneros en radiología dental sufrieron los efectos adversos de la radiación, algunos de ellos perdieron dedos, miembros y casi sus vidas por dosis excesivas a la radiación. Actualmente se conocen los peligros que ésta causa y se emplean medidas de protección para reducir la exposición del paciente y operador. Es indispensable conocer la protección que debe tener el paciente antes, durante y después de la exposición a los rayos X, así como los métodos de protección para el operador (2).

N.1 PROTECCIÓN AL PACIENTE

Con el uso de técnicas de protección adecuadas para el paciente, es posible reducir la cantidad de radiación que recibe. Las técnicas de protección se utilizan antes, durante y después de la exposición a los rayos X (2).

➤ **PROTECCIÓN ANTES DE LA EXPOSICIÓN**

La prescripción adecuada de las radiografías y el buen uso del equipo, (que cumpla con las guías de radiación establecidas) reducen la cantidad de radiación que recibe el paciente (2).

1. PRESCRIPCIÓN DE LAS RADIOGRAFÍAS

La prescripción responsable de radiografías es el primer paso para limitar la cantidad de radiación X que recibe el paciente. El odontólogo es el encargado de tomar la decisión acerca del número, tipo y la frecuencia en que éstas se van a realizar (2).

Cada alteración dental del paciente es diferente y en consecuencia es necesario evaluar a cada uno de manera individual; el examen radiográfico no debe incluir un número predeterminado de radiografías, ni tomar radiografías a intervalos predeterminados, pues no se estaría tomando en consideración las necesidades individuales de cada paciente (2).

2. EQUIPO ADECUADO

La cabeza del tubo de rayos X debe estar equipada con filtros de aluminio, colimador de plomo y cono adecuado (2).

3. FILTRACIÓN

Hay dos tipos de filtración empleados en la cabeza del tubo de rayos X: los de filtración inherente y los de filtración adicional (2).

a. Filtración inherente:

Ésta se lleva a cabo cuando el haz primario pasa a través de la ventana de vidrio del tubo de rayos X, del aceite aislante y del sellado del tubo. Esta filtración es equivalente entre 0.5 y 1.0 milímetros de aluminio, aunque sola ella no cumple con las normas reguladas por la leyes de Estados Unidos; por lo tanto, se requiere de filtración adicional (2).

b. Filtración adicional:

Consiste en la colocación de discos de aluminio en la trayectoria del haz de rayos X, entre el colimador y el sello de la cabeza en el aparato dental. Se agregan discos de aluminio a la cabeza del tubo en incrementos de 0.5mm; el propósito es filtrar los rayos X de longitud de onda mas larga y de baja energía, que son peligrosos para el paciente y no son útiles para la radiografía diagnóstica. La filtración del rayo produce mayor energía y mejor penetración del haz útil (2).

c. Filtración total:

Es la filtración inherente más la agregada. Los aparatos de rayos X que operan a 70 kVp o menos requieren un mínimo total de 1.5mm de filtros de aluminio y los aparatos que operan por arriba de 70 kVp requieren un mínimo total de 2.5 mm de filtros de aluminio (2).

4. COLIMACIÓN

Se emplea para restringir el tamaño y la forma del haz de rayos X y reducir la exposición del paciente. Se ajusta un colimador o placa de plomo con un orificio en la mitad, directamente sobre la abertura del aparato de donde sale el haz de rayos X por la cabeza del tubo (2).

El colimador puede tener una abertura redonda o rectangular, la rectangular restringe el tamaño del haz a un área ligeramente mayor que el tamaño de una película intrabucal del número 2 y reduce de manera importante la exposición del paciente (2).

El colimador circular produce un haz en forma de cono que tiene 7cm de diámetro, mucho mayor que el tamaño de una película intraoral del número 2 (2).

5. CONO

Este aparato o dispositivo es una extensión de la cabeza del tubo de rayos X y se utiliza para dirigir el haz; hay tres tipos básicos de cono:

- Cónico
- Rectangular
- Redondo

El aditamento de forma cónica parece un cono de plástico cerrado en la punta; cuando los rayos X salen de él, penetran el plástico y producen radiación dispersa, dicho tipo de cono ya no se utiliza en odontología para evitar el problema que causan tales radiaciones (2).

En lugar de ello se utiliza un cono de extremo abierto rectangular o redondo, revestido de plomo, que no produce radiación dispersa. Hay conos redondos y rectangulares de dos longitudes:

- Cortos (20 cm)
- Largos (40 cm), estos se prefieren porque causan menos divergencia de los rayos.

➤ **PROTECCIÓN DURANTE LA EXPOSICIÓN**

Para esta protección se emplean aditamentos como collar tiroideo, gabacha plomada, las películas rápidas y aditamentos para sostener la película, cuya finalidad consiste en limitar la cantidad de radiación que recibe el paciente durante la exposición de rayos X. La selección adecuada de los factores de exposición y una buena técnica, protegen al paciente de la exposición en exceso (2).

1. COLLAR TIROIDEO

Es un escudo flexible hecho de plomo, el cual se asegura alrededor del cuello del paciente para proteger la glándula tiroides de la radiación dispersa. El plomo impide que la radiación alcance la glándula y protege sus tejidos, que son radiosensibles (2).

Por su localización, la glándula tiroides queda expuesta a la radiación, por lo que se recomienda el uso de collar con todas las películas intrabucales, sin embargo, no se recomienda para tomar placas extrabucales porque oscurece el registro en la película y no permite obtener una radiografía diagnóstica. Puede estar disponible como un escudo separado o como parte de la gabacha plomada (2).

2. GABACHA PLOMADA

Es un escudo flexible que se coloca sobre el pecho y regazo del paciente para proteger contra la radiación dispersa a los tejidos reproductores y formadores de sangre. Se debe utilizar con las películas intra y extrabucales (2).

3. PELÍCULA RÁPIDA

Es uno de los métodos mas eficaces para reducir la exposición del paciente a los rayos X; están disponibles para radiografías intra y extrabucales. La de velocidad E o Ektaspeed es la película intrabucal mas rápida disponible, antes de su aparición, la mas rápida era la de velocidad D o Ultra-Speed. La velocidad E es dos veces mas rápida que la D y requiere solo la mitad del tiempo de exposición (2).

4. ADITAMENTOS PARA SOSTENER LA PELÍCULA

Ayudan a estabilizar la película colocada dentro de la boca y reducen las probabilidades de que se mueva, además evitan que el paciente sostenga la película y, por lo tanto, que exponga sus dedos a una radiación innecesaria (2).

5. SELECCIÓN DE FACTORES DE EXPOSICIÓN

El radiólogo puede controlar los factores de exposición al ajustar el kilovoltaje máximo, el miliamperaje y los tiempos en el módulo de control del aparato. El empleo de 70 a 90 kVp mantiene al mínimo la exposición al paciente. En algunas unidades el kilovoltaje y el miliamperaje están predeterminados por el fabricante y no se pueden ajustar (2).

6. TÉCNICA ADECUADA

La técnica correcta ayuda a asegurar la calidad diagnóstica de las películas y reducir la cantidad de radiación a la que se expone al paciente. Cuando la placa tomada no sirve, se debe tomar otra vez, esto ocasiona exposición adicional del paciente a la radiación, y es necesario evitar tomas repetidas (2).

➤ DESPUÉS DE LA EXPOSICIÓN

La función del radiólogo no termina con la exposición, luego de exponer las películas hay que manejarlas y procesarlas. La manipulación meticulosa y el procesamiento adecuado son cruciales para obtener una radiografía diagnóstica de alta calidad (2).

1. MANEJO ADECUADO DE LA PELÍCULA

Desde el momento en que se toman las radiografías, hasta que se procesa la película, el manejo debe ser cuidadoso, si el manejo de la película es inadecuado se pueden ocasionar artefactos en las placas y ocasionar que no resulten diagnósticas, y tener que volver a tomarlas (2).

2. PROCESAMIENTO ADECUADO DE LA PELÍCULA

El procesamiento o revelado adecuado de la película es necesario para obtener radiografías diagnósticas y así evitar tomarlas de nuevo y exponer innecesariamente al paciente a la radiación (2).

N.2 PROTECCIÓN DEL OPERADOR

El radiólogo dental debe tomar medidas de protección adecuadas para evitar la exposición ocupacional a la radiación, por ejemplo: radiación primaria, radiación dispersa y radiación de escape. El uso de técnicas adecuadas para protección del operador reduce a un mínimo la dosis de radiación que recibe el operador (2).

Las guías de protección se basan en la siguiente regla: el radiólogo dental debe evitar el rayo primario y la radiación dispersa, esto incluye recomendaciones de distancia, posición y protección (2).

1. RECOMENDACIÓN DE DISTANCIA

Una de las maneras más eficaces para que el operador evite la radiación y limite su exposición a los rayos X es mantenerse a una distancia adecuada durante la exposición, debe estar parado por lo menos a dos metros de la cabeza del tubo de rayos X o utilizar una barrera de protección cuando no es posible alejarse (2).

2. RECOMENDACIONES DE UBICACIÓN

Para evitar el rayo primario, el operador debe estar colocado perpendicularmente al rayo o en un ángulo de 90 a 135 grados.

El radiólogo nunca debe sostener la película en la boca del paciente durante la exposición a los rayos, como tampoco debe sostener la cabeza del tubo durante la toma radiográfica (2).

3. RECOMENDACIONES DE PROTECCIÓN

Las barreras de protección que absorben el rayo primario deben ser incorporadas en el diseño del consultorio, y así proteger al operador contra las radiaciones primaria y dispersa. Siempre que sea posible se debe colocar detrás de una barrera de protección, como una pared sólida, escudos adecuados en las paredes con materiales de construcción normales de varios espesores. Las especificaciones son (2):

- Colocación de biombos de manera fija.
- Refuerzo de puertas que requieran blindaje con plomo de 0.5mm o 1/16 de acero
- Construcción de las paredes con ladrillo tayuyo de 11 cm de espesor, más un revestimiento de concreto.
- Construcción de las paredes de 2.00 metros de altura.

4. VIGILANCIA DEL EQUIPO

Es necesario revisar o monitorizar los aparatos dentales de rayos X periódicamente para verificar que no tengan fugas de radiación, la radiación de escape es cualquiera, con excepción al haz primario, que emita de la cabeza del tubo dental (2).

5. VIGILANCIA PERSONAL

La cantidad de radiación X que llega al cuerpo del radiólogo se puede medir con un dosímetro, aditamento de vigilancia personal.

El dosímetro de película es una pieza de película radiográfica en un soporte plástico, se utiliza a nivel de la cintura siempre que el operador exponga las películas, cuando no se usan se almacenan en un área segura sin radiaciones. Después de que el dosímetro se usa por un intervalo específico, se regresa a la compañía de servicio que la procesa y evalúa para comprobar la exposición (2).

O. SEGURIDAD DEL PÚBLICO

Solamente aquellas personas cuya presencia resulta esencial deberán permanecer en el cuarto mientras se toma una radiografía. Por esta razón, es deseable disponer el consultorio dental en forma tal que el aparato de rayos X se encuentre en un cuarto separado de la zona de tratamiento dental (3).

Tal práctica asegura que las personas que transitan por el área no estén sujetas a la exposición de radiación innecesaria.

Si esto no es posible y el equipo de rayos X dental, forma parte del equipo del consultorio, son necesarios procedimientos especiales. Cuando las radiografías son tomadas dentro del consultorio, debe ser tratado como si fuera únicamente un cuarto de rayos X y todos quedan excluidos, salvo el operador (3).

La posición del aparato de rayos X dental es importante para el interés del público en general. La radiación puede penetrar en los cuartos adyacentes, y también en aquellos bajo la instalación. Por ejemplo, considera el riesgo de una persona siempre trabajando en un escritorio en el cuarto adjunto que se encuentra en la vía directa del haz primario de radiación (3).

Consecuentemente puede ser necesario colocar un blindaje adecuado en el entorno de la unidad de rayos X como: reforzar las paredes con ladrillos extra, plomo o yeso mezclado con bario (3).

P. EXPOSICIÓN DEBIDA A RADIACIÓN DISPERSA

Los tejidos irradiados por el haz primario elevan una radiación secundaria dispersa que se propaga en todas las direcciones alrededor del paciente. Esta propiedad de la radiación dispersa hace difícil la protección. Las partes críticas del cuerpo que requieren protección contra la radiación dispersa son las gónadas y en el embarazo el feto. Aunque estudios recientes han mostrado de hecho que en las radiografías dentales, la dosis gonadal es insignificante, no obstante debería tenerse cuidado especial cuando el haz es dirigido directamente hacia las gónadas; por ejemplo: incisivos superiores y oclusal de centrales superiores. Afortunadamente la radiación dispersa es menos penetrante que el haz primario y una gabacha plomada con un equivalente a 0.25 mm de plomo, ofrece protección adecuada. En general se aconseja que (3):

- Todos los pacientes deberían usar una gabacha plomada para exámenes radiográficos dentales. Usar una gabacha plomada tranquiliza al paciente, que siente que el dentista está tomando cuidado y atención adecuados.
- Si el paciente es un niño o una persona discapacitada, necesitará de la ayuda de otra persona, entonces ésta deberá usar también la gabacha plomada. Las gabachas plomadas deberán colocarse cuidadosamente, cuando no están en uso, el plomo se agrietará con los malos tratos.
- Se deberán usar sujetadores y radiografías de aleta mordible para evitar que el paciente tenga que sujetar la película.

Q. GUÍAS DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN

Para todos los operadores de aparatos de rayos X es obligatorio seguir ciertas guías que incluyen legislación de seguridad contra radiación y límites de exposición para el público general y para personas que se exponen de manera ocupacional (1).

Q.1 LEGISLACIÓN DE SEGURIDAD CONTRA RADIACIÓN

En el momento de utilizar los rayos X, el operador debe estar consiente de todas la medidas de protección y seguridad radiológica que puede adoptar para evitar daño en las personas que rodean el aparato, teniendo en cuenta que no solo es una responsabilidad profesional o moral, sino que también civil, según lo acordado en el decreto de Ley 11-86 aprobado por el Congreso de la República de Guatemala que establece la: LEY PARA EL CONTROL, USO Y APLICACIÓN DE RADIOISÓTOPOS Y RADIACIONES IONIZANTES (1).

En el capítulo VII, artículo 25 al 29, se nombran las medidas preventivas que se deben adoptar como lo son: la señalización de toda instalación radiactiva, así como todo envase, recipiente, caja, contenedor o embalaje en que se transporten o almacenen sustancias radiactivas, capacitación de toda persona que desempeñe actividades en instalaciones radiactivas, dosimetría de equipo y dosimetría personal a toda persona que por razón de su trabajo o actividad técnica o profesional esté expuesta a radiaciones ionizantes (1).

En caso de no satisfacerlas, en el capítulo X se describen las sanciones pertinentes en donde se indica que las violaciones a la ley, a sus disposiciones reglamentarias o a cualquier disposición de la Dirección General de Energía, se considera delito o falta, por poner en peligro la salud, los bienes o el medio ambiente de las habitantes de la República, así como los bienes del Estado, y serán sancionadas con la imposición de multas, y/o suspensión de la respectiva licencia o cancelación de la misma según la gravedad del caso (1).

Así también en el acuerdo gubernativo 55-2001, en el capítulo V se especifica la responsabilidad de la exposición médica, así como sanciones, inspecciones y auditorias en el título IV (1).

R. CONCEPTO ALARA

Este concepto establece que toda la exposición a la radiación se debe mantener a un mínimo o tan bajo como sea posible y razonable. Para proporcionar protección a pacientes y operadores, es necesario emplear todo método posible para reducir la exposición a la radiación con el fin de aminorar el riesgo (1).

OBJETIVOS

Objetivo general:

Determinar la radiación dispersa detectada en ambientes contiguos a los aparatos de rayos X, en la clínica dental de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala durante el período de enero - julio del año 2008.

Objetivos específicos

- ❖ Medir la radiación dispersa en el lugar donde el operador debe colocarse al accionar el aparato de rayos X para relizar una toma radiográfica.
- ❖ Medir la radiación dispersa en los ambientes contiguos a los aparatos de rayos X No.1 y Rx. No.2, ubicados detrás del área de caja al momento de realizar una toma radiográfica.
- ❖ Medir la radiación dispersa en los ambientes contiguos al aparato de rayos X No. 3, al momento de realizar una toma radiográfica.
- ❖ Medir la radiación dispersa en los ambientes contiguos al aparato de rayos X No. 4, ubicado al lado de la bodega del primer nivel del edificio M1, cuarto de revelado y del área de odontopediatría.

- ❖ Medir la radiación dispersa en los quirófanos cuando se realiza en ellos una toma radiográfica, con el aparato de rayos X No. 5, que se encuentra en el pasillo entre las áreas de exodoncias.

- ❖ Medir la radiación dispersa en los ambientes contiguos al aparato de rayos X No. 6, ubicado frente a las unidades de endodoncia al momento de realizar una toma radiográfica.

- ❖ Medir la radiación dispersa en los ambientes contiguos al aparato de rayos X No. 7, ubicado frente a las unidades de periodoncia cuando se realiza una toma radiográfica.

VARIABLES

1. INFRAESTRUCTRA EMPLEADA

Infraestructura en las áreas de uso radiológico como colindancias y características del material de construcción de las paredes de los salones de rayos X de la clínica dental de la Facultad de Odontología de la USAC.

2. EQUIPO DE PROTECCIÓN

Conjunto de equipo de protección y seguridad utilizado en el momento de la exposición a RX.

3. EQUIPO RADIOLÓGICO

Marca de los aparatos de rayos X de la Facultad de Odontología.

Rx. No.1: Gendex – Gx770

Rx. No.2: Gendex – Gx770

Rx. No.3: Sirona Orthophos Plus-Ds

Rx. No.4: Gendex – Gx770

Rx. No.5: Yoshida – Panpas 601

Rx. No.6: Satelec – X-Mind

Rx. No.7: Satelec – X-Mind

4. NIVELES DE RADIACIÓN DISPERSA

Resultados de la medición de los niveles de radiación X que resultan del desvío de su vía por la interacción con la materia.

- Descripción y colindancias.

METODOLOGÍA

- Se informó al Director de Clínicas de la Facultad de Odontología de la USAC que se llevaría a cabo la investigación, solicitando su colaboración y autorización.
- Se establecieron los lugares de medición de radiación secundaria en los que también se llevó a cabo la inspección del equipo radiológico, de acuerdo a la localización de los aparatos de rayos X ubicados en la clínica dental, de la Facultad de Odontología de la USAC.
- Se solicitó a la empresa AC Radiaciones (Asesoría y Consultoría en Radiaciones Ionizantes), la medición de la radiación secundaria en el área donde se acciona el aparato de rayos X, como en los ambientes contiguos a los aparatos de rayos X.
- Para poder llevar un orden en las observaciones se enumeraron las clínicas en donde se encuentran los aparatos de rayos X de la siguiente manera:
 - ❖ Rx. No. 1 y Rx. No.2: aparatos de rayos X ubicados contiguos al área de cirugía y exodoncia, por detrás de la oficina de caja.
 - ❖ Rx. No. 3: aparato de rayos X digital extrabucal utilizado para tomas panorámicas y cefalométricas colocado cercano al ambiente de interpretación radiográfica.
 - ❖ Rx. No. 4: aparato de rayos X para radiografías periapicales que se encuentra por detrás del área de odontopediatría, contiguo a bodega y cuarto de revelado.

- ❖ Rx. No. 5: aparato de rayos X ubicado en el pasillo que se encuentra entre las áreas de exodoncia pero que es utilizado en los quirófanos.
 - ❖ Rx. No. 6: aparato de rayos X ubicado frente a las unidades del área de endodoncia.
 - ❖ Rx. No. 7: aparato de rayos X ubicado frente a las unidades del área de periodoncia.
-
- Se obtuvo de parte de AC Radiaciones (Asesoría y Consultoría en Radiaciones Ionizantes) los resultados de las mediciones de radiación secundaria.
 - Se diseñó una tabla para evaluar la carga de trabajo de los aparatos de rayos X.
 - Se diseñó una tabla para describir el equipo radiológico.
 - Tabulación y análisis de datos obtenidos
 - Se elaboraron conclusiones y recomendaciones derivadas de los hallazgos.

RECURSOS

HUMANOS

- Personal de: AC Radiaciones (Asesoría y Consultoría en Radiaciones Ionizantes)
- Odontólogo practicante a cargo de la investigación.
- Asesor de Tesis de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Revisores de Tesis de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

MATERIALES

- Aparatos de rayos X que funcionan en la clínica dental de la Facultad de Odontología.
- Radiómetro (Detector Portátil de radiación marca NDS Modelo ND-2000 Serie 33319)
- Tablas de recolección de datos.
- Papel
- Lapiceros
- Computadora
- Impresora

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la carga de trabajo y el levantamiento radiométrico de los aparatos de rayos “X” que se localizan en la clínica dental de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

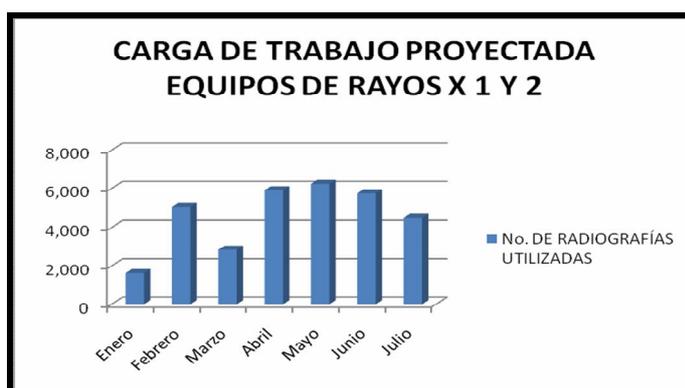
TABLA 1. Carga de trabajo proyectada de los aparatos de rayos X números 1 y 2 durante el período de Enero a Julio del año 2008.

MES	No. DE RADIOGRAFÍAS UTILIZADAS	CARGA PORCENTUAL POR MES
Enero	1,618	5%
Febrero	5,042	16%
Marzo	2,842	9%
Abril	5,906	18%
Mayo	6,237	20%
Junio	5,735	18%
Julio	4,473	14%
TOTAL	31,853	100%

FUENTE: Trabajo de campo enero – julio 2008

Nota: Ver Anexo 4.

GRÁFICA 1. Proyección por mes de la carga de trabajo de los aparatos de rayos X números 1 y 2 durante el período de enero a julio del año 2008.



FUENTE: Tabla 1 de presentación de resultados

INTERPRETACIÓN TABLA 1 Y GRÁFICA 1:

La tabla 1 presenta un total de 31,853 tomas realizadas.

Comparando los siete meses se observa que el mes de mayo reporta un total de 6,237 radiografías, mientras que el mes de enero reporta un total de 1,618 radiografías, lo que demuestra una diferencia de 4,619 tomas realizadas entre el mayor y menor reportado.

El promedio mensual es de 4,550 radiografías por mes.

TABLA 2. Carga de trabajo proyectada en el aparato de rayos X No. 3 durante el período de enero a julio del año 2008.

MES	No. DE PANORÁMICAS	CARGA PORCENTUAL POR MES	No. DE CEFALOMÉTRICAS	CARGA PORCENTUAL POR MES
Enero	30	12%	1	3%
Febrero	39	16%	3	8%
Marzo	11	5%	0	0%
Abril	34	14%	2	5%
Mayo	37	15%	7	18%
Junio	37	15%	4	11%
Julio	55	23%	21	55%
TOTAL	243	100%	38	100%

FUENTE: Trabajo de campo enero – julio 2008

Nota: Ver Anexo 4

GRÁFICA 2. Proyección por mes de la carga de trabajo del aparato de rayos X No. 3 en tomas panorámicas, durante el período de enero a julio del año 2008.



FUENTE: Tabla 2 de presentación de resultados.

GRÁFICA 3. Proyección por mes de la carga de trabajo del aparato de rayos X No. 3 en tomas cefalométricas, durante el período de enero a julio del año 2008.



FUENTE: Tabla 2 de presentación de resultados.

INTERPRETACIÓN TABLA 2, GRÁFICAS 2 Y 3:

El total de tomas radiográficas es de 281.

Corresponde a radiografías panorámicas 243, y a radiografías cefalométricas 38.

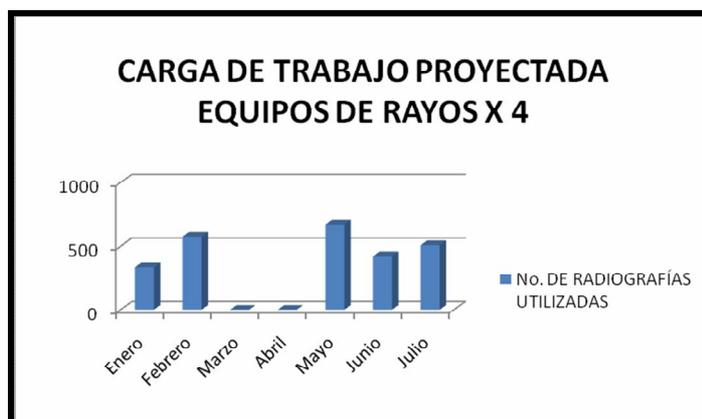
TABLA 3. Carga de trabajo proyectada del aparato de rayos X No. 4, durante el período de enero a julio del año 2008.

MES	No. DE RADIOGRAFÍAS UTILIZADAS	CARGA PORCENTUAL POR MES
Enero	336	13%
Febrero	576	23%
Marzo	0	0%
Abril	0	0%
Mayo	664	27%
Junio	424	17%
Julio	508	20%
TOTAL	2508	100%

FUENTE: Trabajo de campo enero – julio 2008

Nota: Ver Anexo 4.

Gráfica 4. Proyección por mes de la carga de trabajo del aparato de rayos X No. 4, durante el período de enero a julio del año 2008.



FUENTE: Tabla 3 de presentación de resultados.

INTERPRETACIÓN TABLA 3 Y GRÁFICA 4:

Se observa que el total de tomas radiográficas realizadas fue de 2,508.

En el mes que se realizaron mayor número de tomas de radiografías, es mayo, con 664 y el menor es enero con 336, lo que da una diferencia de 328 entre uno y otro,

El promedio mensual es de 358 tomas radiográficas.

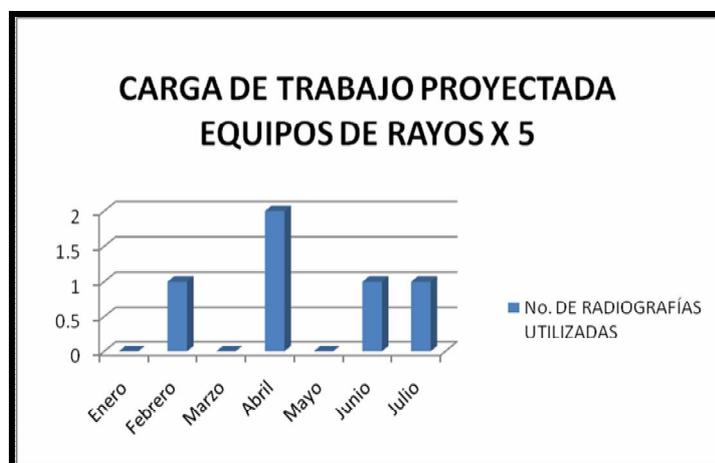
TABLA 4. Carga de trabajo proyectada del aparato de rayos X No. 5, durante el período de enero a julio del año 2008.

MES	No. DE RADIOGRAFÍAS UTILIZADAS	CARGA PORCENTUAL POR MES
Enero	0	0%
Febrero	1	20%
Marzo	0	0%
Abril	2	40%
Mayo	0	0%
Junio	1	20%
Julio	1	20%
TOTAL	5	100%

FUENTE: Trabajo de campo enero – julio 2008

Nota: Ver Anexo 4.

Gráfica 5. Proyección por mes de la carga de trabajo del aparato de rayos X No. 5, durante el período de enero a julio del año 2008.



FUENTE: Tabla 4 de presentación de resultados.

INTERPRETACIÓN TABLA 4 Y GRÁFICA 5:

El aparato de rayos X No. 5 presenta que en el período de enero a julio del año 2008 únicamente efectuó radiografías en 4 meses, siendo abril el mes en que mayor cantidad de tomas radiográficas se realizaron.

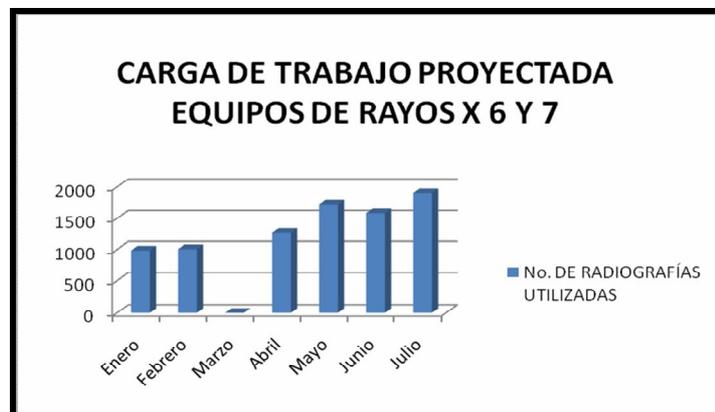
TABLA 5. Carga de trabajo proyectada del aparato de rayos X números 6 y 7, durante el período de enero a julio del año 2008.

MES	No. DE RADIOGRAFÍAS UTILIZADAS	CARGA PORCENTUAL DE TRABAJO
Enero	985	12%
Febrero	1,006	12%
Marzo	0	0%
Abril	1,270	15%
Mayo	1,711	20%
Junio	1,583	19%
Julio	1,902	22%
TOTAL	8,457	100%

FUENTE: Trabajo de campo enero – julio 2008

Nota: Ver Anexo 5

Gráfica 6. Proyección por mes de la carga de trabajo de los aparatos de rayos X números 6 y 7, durante el período de enero a julio del año 2008.



FUENTE: Tabla 5 de presentación de resultados.

INTREPRETACIÓN DE TABLA 5 Y GRÁFICA 6:

Se observa que el total de radiografías tomadas de los aparatos de rayos X No. 6 y 7 es de 8,457.

Se presenta que en el mes que se realizaron mas tomas radiográficas es julio con 1,902.

El promedio mensual de radiografías utilizadas es de 1,208.

TABLA 6. Descripción de equipo radiológico y dosis promedio para grupos críticos.

Rayos X	1	2	3	4	5	6	7
Voltaje (kV.)	70	70	90	70	60	70	70
Corriente (mA.)	7	7	12	7	10	8	8
20 mSv por año	POE						
1.0 mSv por año	PÚBLICO						

FUENTE: Trabajo de campo enero – julio 2008

INTERPRETACIÓN TABLA 6:

La tabla 6 muestra el voltaje (kV) establecido en cada aparato de rayos X, y el mili amperaje (mA.) promedio que utiliza cada uno de ellos.

Se presentan los límites de dosis por año para el personal ocupacionalmente expuesto (POE) y para el público.

TABLA 7. Levantamiento radiométrico y proyección de dosis anual de los aparatos de rayos X números 1 y 2 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2008.

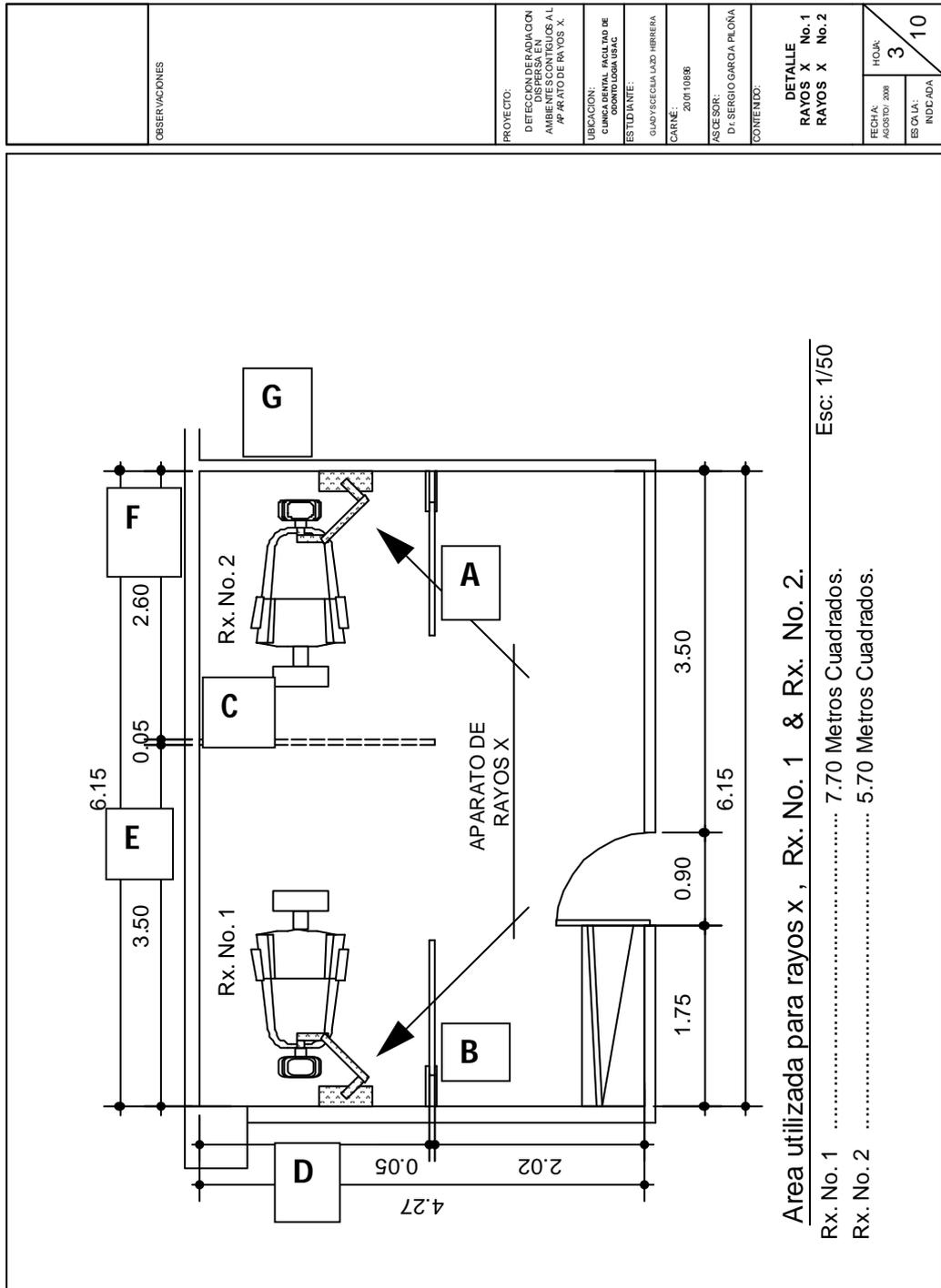
Puntos de observación rayos X No. 1 y No 2	Descripción	COLINDANCIA	Dosis proyectada mSv/año	Límite de dosis mSv/año	Observación
A	BIOMBO	Entrada y salida de pacientes y área donde se acciona el aparato de RX2.	3,23	1,0	Blindaje
B	BIOMBO	Entrada y salida de pacientes y área donde se acciona el aparato de RX1.	2,66	1,0	Blindaje
C	BIOMBO	Sillón donde se encuentra el aparato de RX 2.	1,52	1,0	Blindaje
D	PARED	Sillones dentales del área de exodoncia	0,20	1,0	No
E	PARED	Corredor exterior del edificio M1	0,23	1,0	No
F	PARED	Corredor exterior del edificio M1	0,21	1,0	No
G	PARED	Oficina de Técnicos de RX	0,21	1,0	No

FUENTE: Levantamiento radiométrico realizado por AC Radiaciones (Asesoría y Consultoría en Radiaciones Ionizantes)

INTERPRETACIÓN DE TABLA 7:

La tabla 7 muestra que en los puntos de observación A, B y C, el límite de dosis está por debajo de la dosis proyectada mSv/año, y que en los puntos de observación D, E, F y G la dosis proyectada está por debajo del límite de dosis mSv/año.

PLANO 1. Ubicación de los aparatos de rayos X números 1 y 2 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el año 2008.



OBSERVACIONES		PROYECTO: DETECCION DE RADIACION DISPERSA EN AMBIENTES CONTIGUOS AL APARATO DE RAYOS X.
UBICACION: CLINICA ODONTOLÓGICA DE ODONTOLOGIA U.S.C.		ESTUDIANTE: CIUDAD Y ESCUELA: LAZAD HERRERA
CARNE: 20/01/08/88		ASCE/SOR: D.T. SERGIO GARCIA PILONA
CONTENIDO: DETALLE RAYOS X No. 1 RAYOS X No. 2		FECHA: AGOSTO / 2008
		HOJA: 3
		INDICADA: 10

TABLA 8. Levantamiento radiométrico y proyección de dosis anual del aparato de rayos X No. 3 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el año 2008.

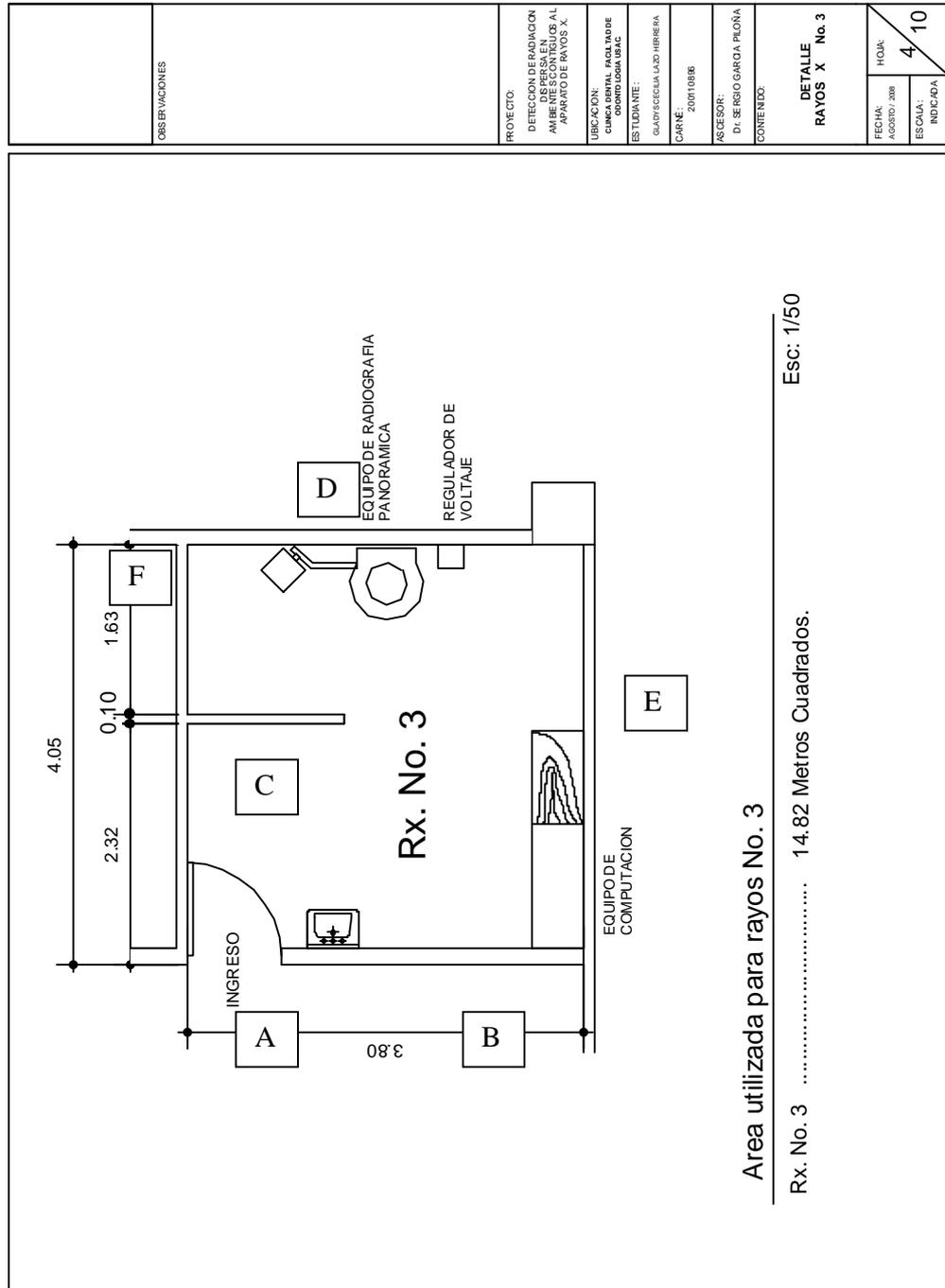
Puntos de observación rayos X No. 3	Descripción	COLINDANCIA	Dosis proyectada mSv/año	Límite de dosis mSv/año	Observación
A	PUERTA	Área de interpretación radiológica	0,20	1,0	No
B	PARED	Área de interpretación radiológica	0,23	1,0	No
C	PARED	Área libre y lavamanos	0,21	1,0	No
D	PARED	Lockers	0,21	1,0	No
E	PARED	Corredor del interior del edificio	0,23	1,0	No
F	PARED	Oficina del personal docente del área de radiología	0,23	1,0	No

FUENTE: Levantamiento radiométrico realizado por AC Radiaciones (Asesoría y Consultoría en Radiaciones Ionizantes)

INTERPRETACIÓN DE TABLA 8:

La tabla 8 muestra que se evaluaron seis puntos contiguos al aparato de rayos X No. 3, de los cuales la dosis proyectada mSv/año está por debajo del límite de dosis mSv/año.

PLANO 2. Ubicación del aparato de rayos X No. 3 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el año 2008.



OBSERVACIONES	PROYECTO:	DETECCION DE RADIACION DISPERSA EN AMBIENTE SCINTILOGRAFICO AL APARATO DE RAYOS X.
	UBICACION:	CINCUENA, FACULTAD DE ODONTOLOGIA U.S.C.
	ESTUDIANTE:	GUADY SECELIJA LAZAR HERRERA
	CARNE:	20010886
	ASesor:	DR. SERGIO GARZA FLORES
	CONTENIDO:	
	DETALLE RAYOS X No. 3	
FECHA:	HOJA:	4 / 10
AGOSTO 2008		
ESCALA:		
		INDICADA

TABLA 9. Levantamiento radiométrico y proyección de dosis anual del aparato de rayos X No. 4 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el año 2008.

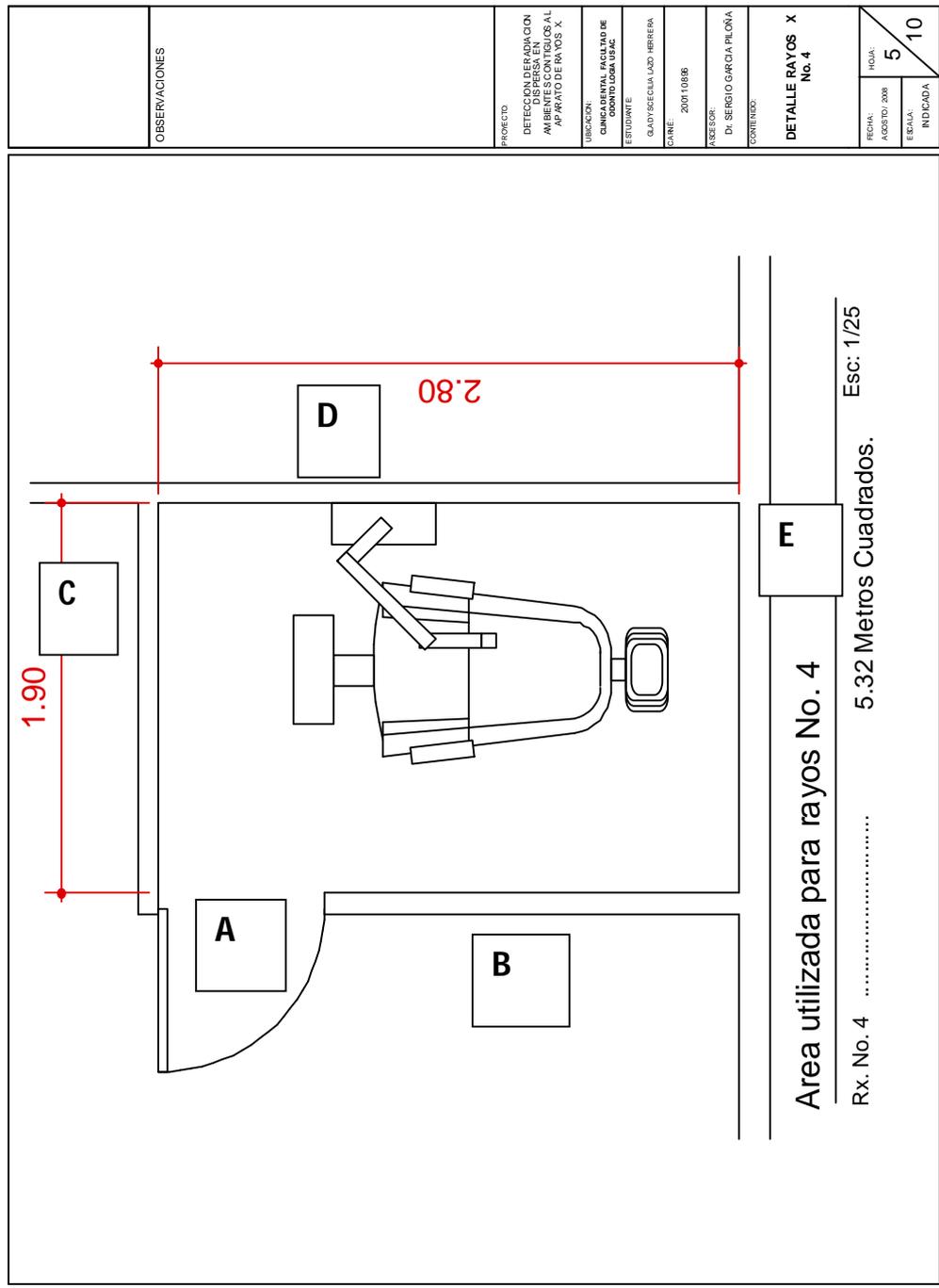
Puntos de observación rayos X No. 4	Descripción	COLINDANCIA	Dosis proyectada mSv/año	Límite de dosis mSv/año	Observación
A	PUERTA Y BIOMBO	Mesa de trabajo para estudiantes y área donde se acciona el aparato de RX.	0,23	1,0	No
B	PARED	Bodega	0,21	1,0	No
C	PARED	Cuarto de revelado	0,21	1,0	No
D	PARED	Sillones dentales del área de odontopediatría	0,23	1,0	No
E	PARED	Corredor exterior del edificio	0,20	1,0	No

FUENTE: Levantamiento radiométrico realizado por AC Radiaciones (Asesoría y Consultoría en Radiaciones Ionizantes)

INTERPRETACIÓN DE TABLA 9:

La tabla 9 muestra que en los puntos A, B, C, D y E, la dosis proyectada mSv/año está por debajo del límite de dosis mSv/año

PLANO 3. Ubicación del aparato de rayos X No. 4 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el año 2008.



OBSERVACIONES	PROYECTO	DETECCION DE RADIACION RESIDUAL EN LOS AMBIENTES DE LOS APARATOS DE RAYOS X.
	UBICACION	GUINCA BENTONAL FACULTAD DE ODONTOLOGIA USAC
	ESTUDIANTE	GLADYS ECCELA LAZO HERRERA
	GRUPO	2001 10826
	ASESOR	DR. SERGIO GARCIA PELOÑA
	CONTENIDO	DETALLE RAYOS X No. 4
	FECHA:	AGOSTO 2008
	ESCALA:	INDICADA
	HUJAR:	5
		10

TABLA 10. Levantamiento radiométrico y proyección de dosis anual del aparato de rayos X No. 5 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2008.

Puntos de observación rayos X No. 5	Descripción	COLINDANCIA	Dosis proyectada mSv/año	Límite de dosis mSv/año	Observación
A	PUERTA	Pasillo de área de radiología	3,99	1,0	Blindaje
B	PUERTA	Oficina de docentes de Área MQ	2,95	1,0	Blindaje
C	PARED	Oficina de docentes de Área MQ	0,22	1,0	No
D	PASILLO	Área libre, pasillo interno del área de exodoncia	0,21	1,0	No
E	PARED	Sillón dental para exodoncias de niños	0,23	1,0	No
F	PARED	Sillones dentales para exodoncias de adultos	0,22	1,0	No

FUENTE: Levantamiento radiométrico realizado por AC Radiaciones (Asesoría y Consultoría en Radiaciones Ionizantes)

INTERPRETACIÓN DE TABLA 10:

La tabla 10 muestra que en los puntos de observación A y B el límite de dosis mSv/año es menor que la dosis proyectada mSv/año, y en los puntos C, D, E Y F, el límite de dosis es mayor que la dosis proyectada mSv/año.

PLANO 4. Ubicación del aparato de rayos X No. 5 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el año 2008.

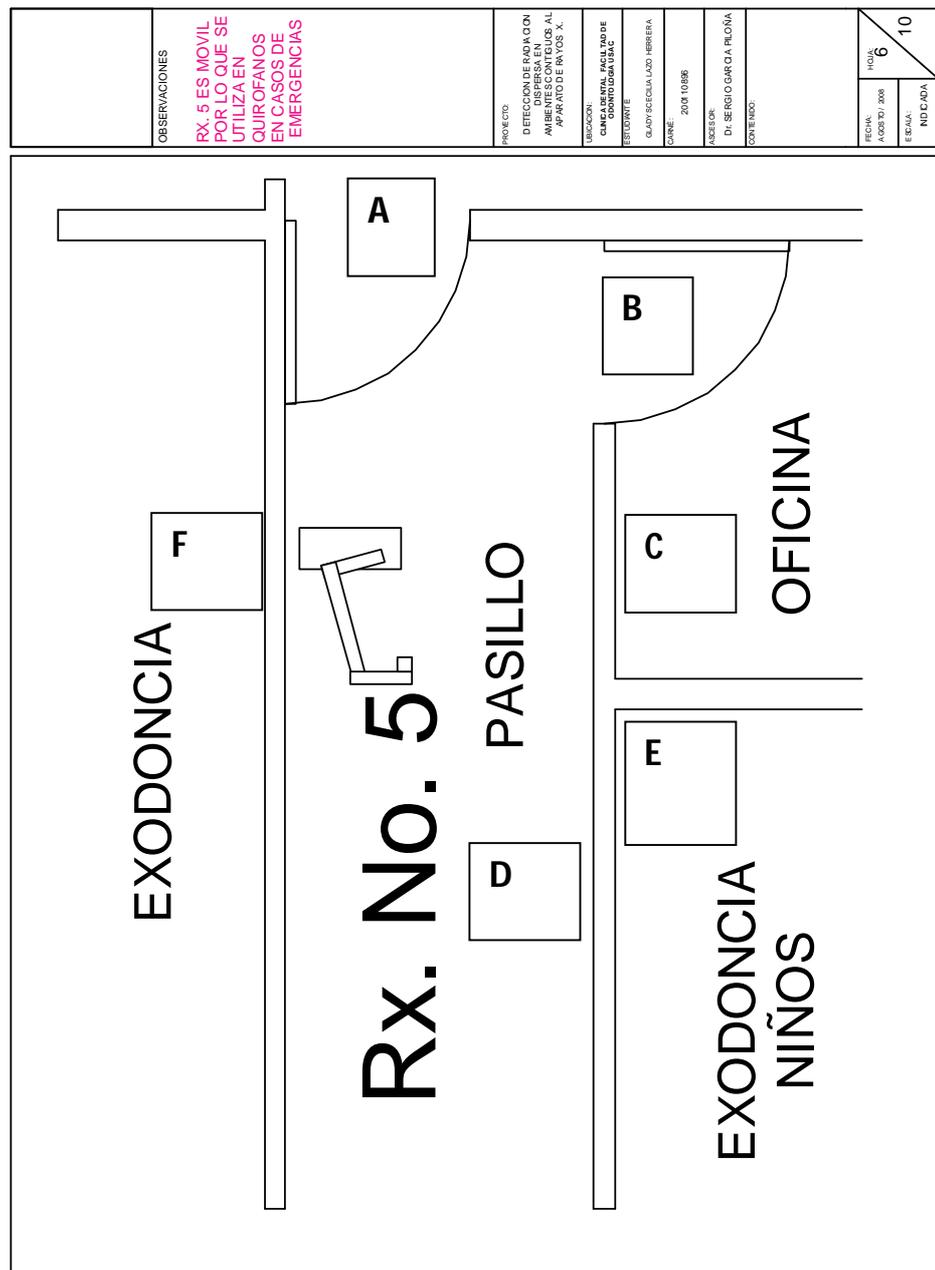


TABLA 11. Levantamiento radiométrico y proyección de dosis anual del aparato de rayos X No. 6 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2008.

Puntos de observación rayos X No. 6	Descripción	COLINDANCIA	Dosis proyectada mSv/año	Límite de dosis mSv/año	Observación
A	PUERTA	Pasillo y sillones dentales de endodoncia	3,71	1,0	Blindaje
B	BIOMBO	Área vacía no tiene uso, allí se acciona el aparato de RX.	0,23	1,0	No
C	PARED	Pasillo y sillones dentales de endodoncia	0,22	1,0	No
D	PARED	Pasillo de ingreso	0,21	1,0	No
E	PARED	Espacio libre, exterior de 2do nivel	0,21	1,0	No
F	PARED	Cuarto de revelado	0,22	1,0	No

FUENTE: Levantamiento radiométrico realizado por AC Radiaciones (Asesoría y Consultoría en Radiaciones Ionizantes)

INTERPRETACIÓN DE TABLA 11:

La tabla 11 muestra que el límite de dosis del punto de observación A, es mayor que el límite de dosis mSv/año, mientras que los puntos B, C, D, E y F, es menor que el límite de dosis mSv/año.

PLANO 5. Ubicación del aparato de rayos X No. 6 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2008.

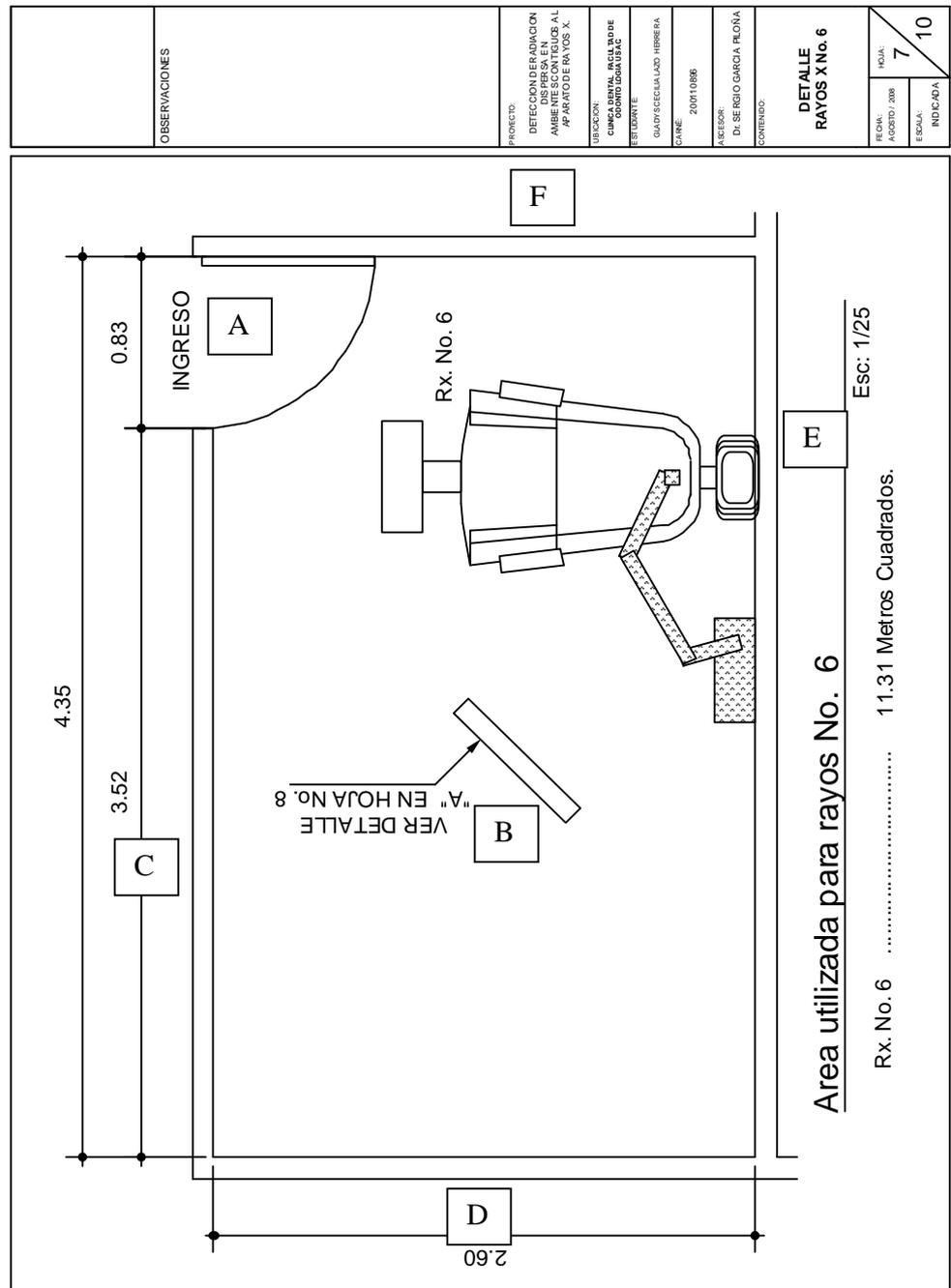


TABLA 12. Levantamiento radiométrico y proyección de dosis anual del aparato de rayos X No. 7 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2008.

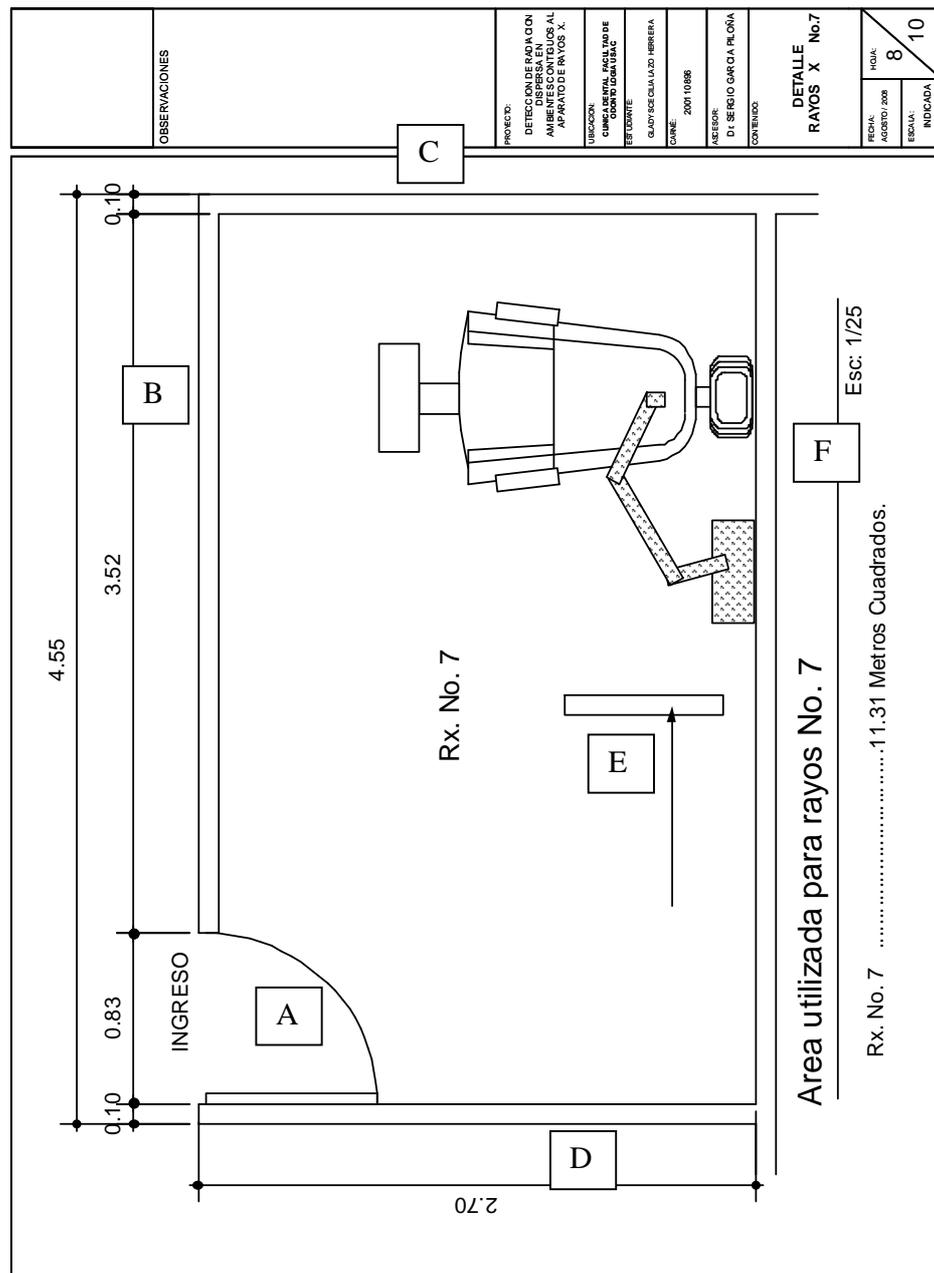
Puntos de observación rayos X No. 7	Descripción	COLINDANCIA	Dosis proyectada mSv/año	Límite de dosis mSv/año	Observación
A	PUERTA	Pasillo y sillones dentales de periodoncia	2,76	1,0	Blindaje
B	PARED	Pasillo y sillones dentales de periodoncia	0,21	1,0	No
C	PARED	Pasillo	0,23	1,0	No
D	PARED	Cuarto de revelado	0,23	1,0	No
E	BIOMBO	Área vacía no tiene uso, allí se acciona el aparato	0,23	1,0	No
F	PARED	Espacio libre, exterior de 2do nivel	0,23	1,0	No

FUENTE: Levantamiento radiométrico realizado por AC Radiaciones (Asesoría y Consultoría en Radiaciones Ionizantes)

INTERPRETACIÓN DE TABLA 12:

La tabla 12 muestra que el límite de dosis del punto de observación A, es mayor que el límite de dosis mSv/año, mientras que los puntos B, C, D, E y F, es menor que el límite de dosis mSv/año.

PLANO 6. Ubicación del aparato de rayos X No. 7 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el año 2008.



DISCUSIÓN DE RESULTADOS

TABLA 1. Los aparatos de rayos x números 1 y 2, se encuentran localizados en la planta baja del edificio M-1 en el ala norte, son los aparatos más utilizados, puesto que en ellos se realizan las tomas radiográficas para ingresos de pacientes adultos, eventualmente ingresos de niños y también se realizan radiografías para realizar exodoncias.

El mayor índice de radiografías tomadas en este sector se realizaron durante los meses de abril y mayo, época en la cual se incrementa el número de pacientes para ingresar. Debe de tomarse en cuenta que estos números incluyen repeticiones de tomas radiográficas debido a la incipiente experiencia de los odontólogos practicantes, y también incluyen las prácticas de radiología de los estudiantes de tercer año.

TABLA 2. En el área del aparato número 3, se utiliza equipo de radiología panorámica digital.

Dicho equipo se utiliza tanto para pacientes ingresados en la Facultad de Odontología y de la USAC como para pacientes externos, en este se realizan tomas radiográficas de tipo panorámicas y cefalométricas, las cuales sirven para diagnóstico auxiliar en procedimientos esenciales como cirugías, tratamientos ortodónticos, patologías, etc. Dichas tomas suelen ser de un costo más elevado que las radiografías periapicales, aunque siguen siendo más accesibles al público, razón por la cual muchos pacientes externos a la universidad, asisten a la facultad para dicho procedimiento.

TABLA 3. Durante los primeros meses del año, este aparato de radiografía estuvo ubicado en el área contigua a la oficina de prótesis parcial removible que se encuentra en el primer nivel. Su uso fue irregular entre los meses de marzo-abril debido a desperfectos, posteriormente se reanudó su uso y se trasladó a un área menos transitada, por lo que su carga de trabajo no se puede establecer aún con precisión. Los datos recabados constituyen una parte de la totalidad pues no se consideraron las tomas que se realizan durante los tratamientos de conductos radiculares que se realizaron en el área de Odontopediatría.

TABLA 4. En el área de cirugía, el aparato de Rx. se utiliza eventualmente, sin embargo es indispensable en casos de emergencia cuando se están realizando cirugías y es necesario hacerle una toma radiográfica al paciente, por lo que se debe ingresar el aparato de rayos X a los quirófanos.

TABLA 5. Los aparatos 6 y 7 se utilizan para realizar tratamientos en la clínica de endodoncia principalmente, pero también son utilizados en las clínicas de operatoria y prótesis parcial fija. En el mes de marzo se reemplazó el aparato No.6 y se instaló el radiovisógrafo con el cual se obtiene menos radiación, una mejor imagen, es más higiénico y al mismo tiempo se obtiene un almacenamiento seguro de la información además que está más actualizado pero por desperfectos en el mismo, se tuvo que volver a utilizar el aparato de rayos X que estaba con anterioridad. Estos aparatos reciben una carga de trabajo alta. En los datos obtenidos no se están tomando en cuenta las repeticiones que los estudiantes realizan mayormente cuando realizan tratamientos de conductos radiculares.

Resultados del levantamiento radiométrico de los aparatos de Rx.

Para evaluar que los valores de dosis de radiaciones ionizantes para el personal ocupacionalmente expuesto, pacientes y público, permanecen por debajo del límite de la dosis aceptada por la Dirección General de Energía, se procedió a medir los puntos identificados en los planos de la instalación.

Se utilizó el detector portátil de radiación marca NDS Modelo ND-2000C, serie 33319, con fecha de calibración 12-03-08 emitida por el Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala.

Se tomó en cuenta que la dosis promedio estimada para los grupos críticos relevantes de la población, que sean atribuibles a prácticas con fuentes de radiación, no deben exceder los límites siguientes:

- Una dosis efectiva de 1 mSv. en un año.
- En circunstancias especiales, una dosis efectiva de hasta 5 mSv. en un solo año, siempre que la dosis promedio en cinco años consecutivos no exceda de 1 mSv.
- Una dosis equivalente para el cristalino del ojo de 15 mSv. en un año
- Una dosis equivalente para la piel de 50 mSv. en un año.

La magnitud de medición fue la tasa de dosis efectiva a cuerpo completo y la unidad de medición el $\mu\text{Sv/hora}$.

Se tomó un promedio de 950 horas laboradas por año de acuerdo al siguiente cuadro:

Número de horas en promedio de uso de los equipo de Rayos X.

Horas por día	5
Días Laborados por Semana	5
Semanas por año	38
Horas por año	950

TABLA 6. Se realizó la descripción de los aparatos de rayos X en cuanto kV. y mA., en donde no se encontró ningún problema, pues todos los niveles resultaron aceptables, el aparato de rayos X que mayor cantidad de kV. tiene, es el aparato de rayos X No. 3 con 90 kV, teniendo en cuenta que es un aparato para tomas panorámicas, por lo que se considera aceptable. Los aparatos de rayos X Nos. 1, 2,4,6,7 presentan 70 kV. y el aparato No. 5 presenta 60 kV., siendo éste en el que se encontró menor cantidad, es el utilizado en quirófanos.

En cuanto a la cantidad de mA., si puede ser regulado por el estudiante, por lo que se colocó un estimado debido a que puede variar según el tipo de toma radiográfica que se realice.

Se presentan los datos de límites de dosis por año del personal ocupacionalmente expuesto (POE) como el del público en donde se establece, que para el personal ocupacionalmente expuesto es un límite de dosis de 20mSv. y para el público es de 1.0 mSv por año.

TABLA 7. Se realizó el levantamiento radiométrico en los aparatos 1 y 2 evaluando a los dos en una misma tabla, para especificar los lugares de observación se asignaron 7 puntos, en ellos se evaluó el área de los biombos; para determinar si cumplen su función, de la misma forma se realizó la inspección detrás de paredes contiguas a oficinas, como las paredes que están en corredores exteriores del edificio, siendo estas áreas importantes, ya que en ellas se movilizan muchas personas. Los resultados revelaron que el riesgo está, tanto en donde se accionan los aparatos, como detrás del biombo que divide el área de los dos sillones donde se coloca el paciente. Estos puntos son los lugares donde hay colocados biombos, por lo que se observa que estos aditamentos no están cumpliendo su función pues los tres puntos mencionados son los únicos en donde se necesita mejorar el blindaje. Los puntos D, E, F, G se encuentran aceptables encontrándose que en ninguno de ellos se excedieron los límites de dosis permitidos por año.

TABLA 8. En el área en donde se realizan las tomas de radiografías panorámicas no hay ningún punto de riesgo de acuerdo al levantamiento radiométrico, y la evaluación realizada a las barreras existentes en la instalación, revelan que éstas cumplen con los requisitos de límite de dosis, tanto para el trabajador ocupacionalmente expuesto como para el público.

TABLA 9. Para la evaluación de esta área se utilizaron 5 puntos de observación. La evaluación realizada a los blindajes muestra que cumplen con las condiciones mínimas de protección para conservar los límites de dosis de radiación para cada condición (público y personal ocupacionalmente expuesto). No existe ningún riesgo en el lugar donde se acciona el aparato, cuarto de revelado, bodega, área de Odontopediatría, ni corredor exterior del edificio.

TABLA 10. El levantamiento radiométrico para el aparato de rayos X No. 5 se realizó en el área en donde se localizaba (pasillo) el mismo, pero como se explicó con anterioridad este aparato se utiliza en quirófanos, sin embargo fue importante conocer el riesgo que tienen las áreas contiguas a donde se le encuentra ya que según la clasificación de la zona, es de libre acceso.

Se encontró que está en riesgo el espacio que comunica al pasillo del área de radiología, puesto que allí hay una puerta y no cuenta con ninguna protección, de igual forma la oficina de docentes del área MQ. En los puntos C, E, F no hay ningún riesgo debido a que están protegidos por pared, tampoco hay riesgo en el pasillo interno del área de exodoncia, este punto es de libre acceso.

TABLA 11. Se asignaron seis puntos de observación para evaluar las áreas contiguas al aparato de rayos X No. 6.

Los resultados muestran que uno de los seis puntos es el que no cumple con las normas de seguridad aceptado por la Dirección General de Energía, encontrándose que la entrada es el área que no presenta protección.

El área en donde se acciona el aparato (B), no tiene riesgo según los resultados del levantamiento radiométrico, sin embargo se observó que el biombo de protección que se encuentra en ese punto es móvil, dando lugar a que en ocasiones no se cumpla con la distancia adecuada, y podría convertirse en un área de riesgo.

En los puntos C, D, E, F los niveles de radiación que se encontraron son aceptables pues no superan los límites de dosis por año, encontrándose todos estos puntos protegidos por pared.

TABLA 12. Se realizó la evaluación de seis puntos en el área donde se localiza el aparato de rayos X No. 7 encontrándose solamente un punto en riesgo, que es donde están ubicados el pasillo y sillones de periodoncia, siendo el lugar donde existe riesgo debido a que es un área de libre acceso.

El área en donde se acciona el aparato (C) no tiene riesgo según los resultados del levantamiento radiométrico, sin embargo se observó que el biombo de protección que se encuentra en ese punto, es móvil, dando lugar a que en ocasiones no se cumpla con la distancia adecuada.

Los puntos B, C, D, F, se encontraron libres de riesgo, ya que se encuentran protegidos por pared.

CONCLUSIONES

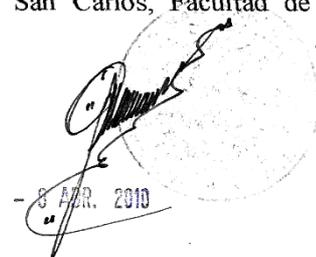
- Las tablas de presentación de resultados de la 1 a la 5 demuestran una carga de trabajo en mA-min/semana muy alta de acuerdo al número de placas radiográficas tomadas en el periodo de estudio para esta tesis.
- De acuerdo al levantamiento radiométrico y a la evaluación realizada a las barreras existentes en la instalación (se muestra en las tablas 7,10,11 y 12), las barreras que no cumplen con los requisitos de límite de dosis, tanto para el trabajador ocupacionalmente expuesto como para el público, de acuerdo a lo estipulado en la Reglamentación Nacional en materia de Seguridad y Protección Radiológica vigente en el país son:
- Los datos encontrados y que reflejan la necesidad de mayor blindaje son los siguientes:
 - Aparatos de Rayos X Nos. 1 y 2: área de entrada y salida de pacientes hacia los aparatos y el lugar donde se acciona los aparatos de rayos X, pues allí se encuentran biombos pero no son suficientes para proteger el área, así como la división que separa las dos áreas.
 - Aparato de Rayos X No. 5: en el área en donde está el pasillo que comunica a radiología, así como en el lugar que se encuentra la oficina de docentes del área MQ, es necesario colocar blindaje pues los valores de dosis proyectada son superiores al límite de dosis.
 - Aparato de Rayos X No. 6: ya que el biombo que se encuentra para proteger esta área es móvil, no se mantiene en el mismo lugar, dando lugar a la necesidad de mejorar el blindaje.
 - Aparato de Rayos X No. 7: será necesario mejorar la protección en el área de la puerta que comunica a los sillones de periodoncia.

RECOMENDACIONES

- La ubicación de los biombos debe permanecer fija para evitar que sean colocadas en una posición que incremente el riesgo radiológico para el operador.
- Reforzar las puertas existentes que requieran un blindaje, el blindaje debe ser de 0.5 mm de plomo o 1/16 de Acero.
- Respecto a la remodelación del Edificio M1 del área de radiología, según lo descrito por el Departamento de Diseño, Urbanización y Construcciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala, División de Servicios Generales, los muros se construirán con ladrillo tayuyo de 11 cm de espesor, este tipo de ladrillo mas el revestimiento de concreto y el uso de biombos mantendrían los niveles de radiación para profesionales ocupacionalmente expuestos y público dentro de los límites de tolerancia exigidos por la Autoridad Reguladora.
- Dentro de las modificaciones del Edificio M1 se debe considerar una altura mínima de 2.00 metros, en la altura de las paredes con esto se controla la radiación dispersa.
- Es necesario un mejor cuidado de los accesorios (gabacha plomada con collar tiroideo) que incluya una ubicación de fácil acceso y que evite deterioro de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Díaz Mayorga, C. E. (2003). **Nivel de radiación dispersa detectado en ambientes contiguos al aparato de Rayos X en clínicas dentales ubicados en la Ciudad de Guatemala, y conocimiento sobre protección y seguridad radiológica de los operadores registrados en el Ministerio de Energía y Minas hasta el año 2002.** Tesis (Licdo. Cirujano Dentista). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Odontología. 143p.
2. Haring, J y Jansen, L. (2002). **Radiología dental: principios y técnicas.** Trad. Armando Domínguez. 2 ed. México: McGraw-Hill Interamericana. 615p.
3. Mason, R. (1984). **Guía para la radiología dental.** 2 ed. México: El Manual Moderno. 190p.
4. O'Brien, R. (1985). **Radiología dental.** Trad. María Hernández. 4 ed. México: Nueva Editorial Interamericana. 291p.
5. Sittler Stuck, S. S. (1987). **Detección de radiación en los consultorios privados de la capital de Guatemala.** Tesis (Licda. Cirujana Dentista). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Odontología. 87p.
6. Valiente de León, D. M. (2001). **Higiene radiológica en la clínica dental de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos.** Tesis (Licda. Cirujana Dentista). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Odontología. 129p.
7. Ovalle Monasterio, M. A. (1993). **Peligros de los rayos x en la odontología.** Tesis (Licda. Cirujana Dentista). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Odontología. pp1.

 Yo. B.

ANEXO 1. Descripción de los equipos de radiología números 1,2 y 3 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2008.

Ubicación:	Rx. No. 1	Rx. No. 2	Rx. No. 3
Marca:	Gendex Gx – 770	Gendex Gx – 770	Sirona
Modelo:	46-404650 G3	46-404650 G3	Orthophos plus-s Ceph 5968573 T 3200
Serie:	771-1322178 DP	771-1322168 DP	30087
Tipo de ánodo:	Fijo	Fijo	Fijo
Tipo de enfriamiento	Aceite	Aceite	Aceite
Tiempos de exposición:	20,25,28 y 32 pulsos	20,25,28 y 32 pulsos	Automático, de acuerdo a los 16 programas, por segundo.
Rango kV:	70 kV	70 kV	90kV
Rango mA:	7mA	7mA	12mA

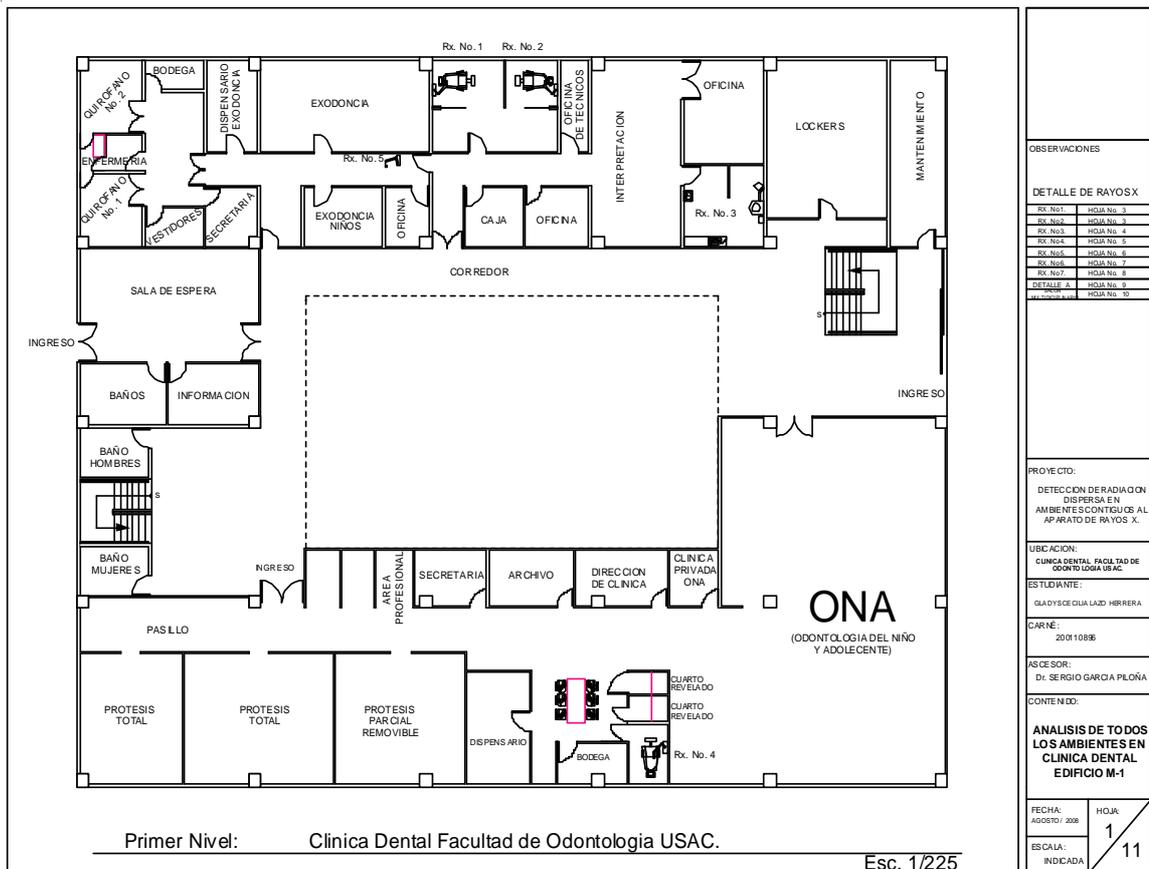
ANEXO 2. Descripción de los equipos de radiología números 4,5 y 6 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2008.

Ubicación:	Rx. No. 4	Rx. No. 5	Rx. No. 6
Marca:	Gendex Gx – 770	Yoshida	Satelec X-Mind
Modelo:	46-404650 G3	Panpas 601	DG-073B
Serie:	771-1491726 DP	AK- 003	26742
Tipo de ánodo:	Fijo	Fijo	Fijo
Tipo de enfriamiento	Aceite	Aceite	Aceite
Tiempos de exposición:	20,25,28 y 32 pulsos	Programable por segundo	Programable por segundo
Rango kV:	70 kV	60 kV	70kV
Rango mA:	7mA	10 mA	8mA

ANEXO 3. Descripción del equipo de radiología No. 7 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2008.

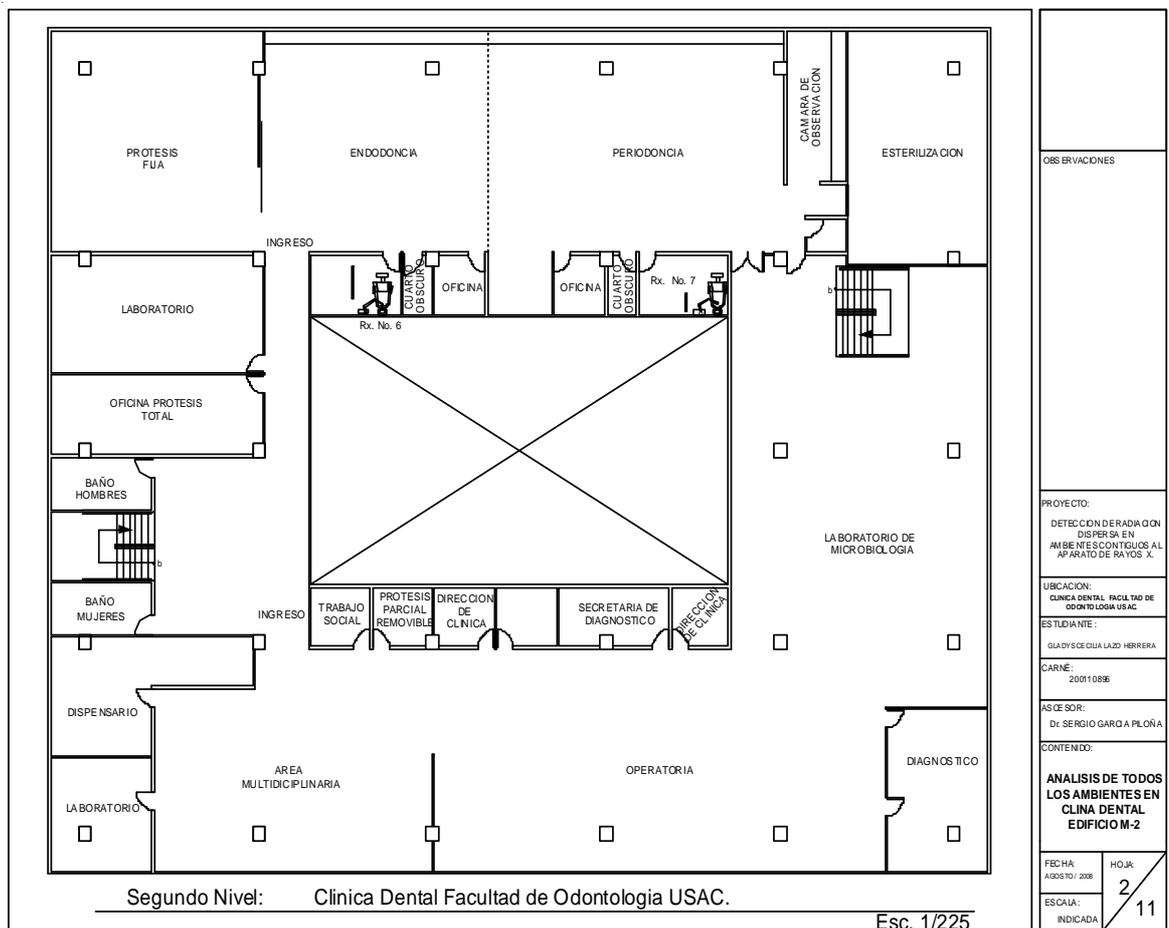
Ubicación:	Rx. No. 7
Marca:	Satelec -Mind
Modelo:	DG-073B
Serie:	28025
Tipo de ánodo:	Fijo
Tipo de enfriamiento	Aceite
Tiempos de exposición:	Programable por segundo
Rango kV:	70kV
Rango mA:	8mA

ANEXO 4. Croquis de las instalaciones del primer nivel, del edificio M1 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2008.

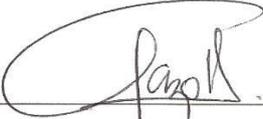


OBSERVACIONES	
DETALLE DE RAYOS X	
Rx. No. 1	HOJA No. 3
Rx. No. 2	HOJA No. 3
Rx. No. 3	HOJA No. 4
Rx. No. 4	HOJA No. 5
Rx. No. 5	HOJA No. 6
Rx. No. 6	HOJA No. 7
Rx. No. 7	HOJA No. 8
Rx. No. 8	HOJA No. 9
Rx. No. 9	HOJA No. 10
Rx. No. 10	HOJA No. 11
PROYECTO: DETECCION DE RADIAACION DISPERSA EN AMBIENTES CONTIGUOS AL APARATO DE RAYOS X.	
UBICACION: CLINICA DENTAL FACULTAD DE ODONTOLOGIA USAC.	
ESTUDIANTE: GLADYS CECILIA LAZO HERRERA	
CARNE: 20011088B	
ASesor: Dr. SERGIO GARCIA PILOÑA	
CONTENIDO: ANALISIS DE TODOS LOS AMBIENTES EN CLINICA DENTAL EDIFICIO M-1	
FECHA: AGOSTO / 2008	HOJA 1 / 11
ESCALA: INDICADA	

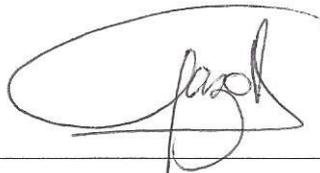
ANEXO 5. Croquis de las instalaciones del segundo nivel, del edificio M1 de la Facultad de Odontología de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el año 2008.



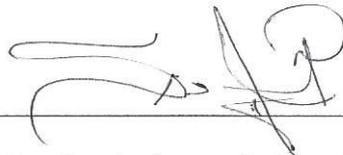
El contenido de esta tesis es única y exclusiva responsabilidad de la autora.



Gladys Cecilia Lazo Herrera



Gladys Cecilia Lazo Herrera
Sustentante



Dr. Sergio Armando García Piloña.
Asesor

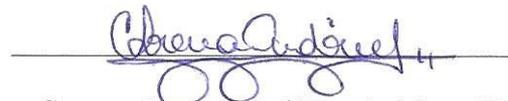


Dr. Edwin Oswaldo López Díaz.
Revisor
Comisión de Tesis



Dr. Víctor Hugo Lima Sagastume.
Revisor
Comisión de Tesis

Vo. Bo. Imprimase:



Dra. Carmen Lorena Ordóñez de Maas. Ph. D
Secretaria Académica
Facultad de Odontología

