



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA
CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE
ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA
EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

C I R U J A N A D E N T I S T A

P R E S E N T A:

LOURDES YATZIL ÁVALOS PIÑA

TUTOR: Esp. MARINO CRISPÍN AQUINO IGNACIO

ASESORA: C.D. MARÍA DEL CARMEN GRANADOS SILVESTRE

ASESOR: Mtro. JESÚS GERARDO GUTIÉRREZ MÁRQUEZ

ASESORA: Esp. ALEJANDRA RODRÍGUEZ HIDALGO



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de formar parte de su maravillosa comunidad universitaria. En especial, a la Facultad de Odontología, por los profesores, las experiencias y conocimientos adquiridos durante el trayecto de mi carrera profesional.

A Asesores en Radiaciones, S.A., por otorgarme las herramientas y proporcionarme una adecuada preparación para la realización de esta tesis.

Al Departamento de Física en Centro Médico Nacional Siglo XXI, por abrirme las puertas de sus instalaciones y permitirme realizar las pruebas de este estudio.

A mi mamá, por su amor, sacrificio, consejos, motivación y apoyo incondicional en todo momento de mi vida. Sin ti no sería la persona que soy. Muchas gracias.

A mi papá, por su esfuerzo y dedicación para brindarme a mí y a mis hermanas la educación que hemos recibido a lo largo de nuestra vida.

A mis hermanas, Karina y Karla, por todos los momentos compartidos, estar siempre conmigo y ser un ejemplo a seguir para mí.

A mis abuelitos “Carlos y Martha”, tíos y tías, por su amor, cuidado y apoyo desde que mis hermanas y yo éramos pequeñas. Gracias por ser una base para mi formación como persona.

A la Dra. Alejandra Rodríguez Hidalgo, por brindarme la gran oportunidad de realizar esta tesis. Por su apoyo y conocimiento, la realización de esta investigación fue posible. Gracias por su dedicación, paciencia y compromiso que siempre me ha mostrado.



CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.

Al Dr. Marino Aquino, por ser mi tutor y brindarme su tiempo para realizar esta tesis.

A la Dra. Carmen Granados, por ser mi guía, brindarme su apoyo, atención y tiempo para la realización de esta tesis.

A los Maestros, Gerardo Gutiérrez Márquez y Gerardo Gutiérrez Castillo, por su guía, brindarme su tiempo de calidad y apoyarme desde el comienzo para la realización de esta investigación.

Al Dr. Ricardo Múzquiz, por su tiempo y aportar su granito de arena para la realización de esta tesis.

A Fer, por ser una excelente y mejor amiga, apoyarme y estar siempre conmigo. Gracias por los logros compartidos, la carrera no hubiera sido lo mismo sin tu presencia.

A mis amigos y las personas, que creyeron en mí, me dieron motivación y apoyo durante este camino.

A todos... ¡Muchas gracias!



ÍNDICE

Introducción.....	1
Planteamiento del Problema	5
Justificación.....	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	6
Muestra	6
Criterios de Inclusión.....	7
Criterios de Exclusión.....	7
Tipo de Estudio	7
Tipo de Investigación	7
Material	7,8
Metodología.....	8
Cronograma	11
I. GENERALIDADES Y FÍSICA DE LOS RAYOS X	12
Historia de los Rayos X (Rayos Röntgen)	12
Estructura del átomo.....	15
Ionización	16
II. NATURALEZA DE LA RADIACIÓN.....	17
Radiación por Partículas	17
Espectro Electromagnético.....	18
III. ORIGEN DE LOS RAYOS X (RADIACIÓN IONIZANTE)	20
Funcionamiento del aparato de rayos X (Tubo radiógeno y generación de los rayos X)	20
Interacción de los Rayos X con la materia (Efecto fotoeléctrico y Compton)	25
Factores de exposición de los Rayos X (Calidad de haz y Cantidad)	27
IV. GLÁNDULA TIROIDES	30
Definición y localización	30
Función (Fisiología)	31



CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.

V.	DOSIMETRÍA Y MAGNITUDES EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.....	32
	Exposición y tasa de exposición.....	32
	Dosis absorbida	33
	Dosis equivalente	33
	Dosis efectiva	34
VI.	EFFECTOS NOCIVOS Y RIESGOS ASOCIADOS A LOS RAYOS X.....	36
	Daño tisular generado por la radiación.....	36
	Efectos biológicos inducidos por radiación (Efectos deterministas y estocásticos)	37
VII.	PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN EN RADIOLOGÍA	41
	Límites de dosis (Comisión Internacional de Protección Radiológica)	42
	Factores básicos de protección contra la radiación.....	43
VIII.	NORMA OFICIAL MEXICANA 229.....	44
	Límites de dosis	44
IX.	DOSIMETRÍA	46
	Dosímetro de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL)	48
X.	PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO	50
	Ortopantomografía (Ventajas y desventajas)	50
	Resultados de la dosis de radiación.....	63
	Análisis de resultados	70
XI.	CONCLUSIONES.....	73
XII.	ANEXO 1.....	74
XIII.	BIBLIOGRAFÍA.....	80



Introducción:

Actualmente, uno de los métodos más apropiados para el diagnóstico en odontología es la toma de ortopantomografías. En la práctica odontológica, la toma de radiografías es considerada como uno de los procedimientos odontológicos necesarios para el correcto diagnóstico y tratamiento de pacientes con problemas dentales; sin embargo, se debe de mantener una adecuada gestión y control de las dosis de radiación a los pacientes en cada toma realizada, debido a los posibles efectos nocivos de la radiación ionizante.

Independientemente del daño del ADN o celular, los efectos biológicos de la radiación ionizante se clasifican en dos categorías principales:

Los efectos deterministas son aquellos en los que la severidad del daño producido dependerá de una determinada dosis de radiación; estos efectos se pueden producir poco después de la exposición (como el eritema cutáneo o la mucositis) o pueden aparecer meses o años después de la exposición (como la osteorradionecrosis).

Los efectos estocásticos son aquellos en los que la probabilidad de ocurrencia se incrementa en proporción a la dosis de radiación recibida, no exhiben un umbral de dosis, por ejemplo, es posible que si dos individuos han sido expuestos a radiación en las mismas condiciones uno de ellos presente efectos biológicos y el otro no; estos efectos pueden inducir un cáncer por radiación o pueden producir efectos hereditarios en donde las mutaciones se producen por cualquier cambio súbito en un gen o un cromosoma¹.

Se debe enfatizar que la mayoría de los pacientes consideran que la toma de radiografías produce o constituye un factor de riesgo, principalmente de cáncer, como es en el caso de la glándula tiroides.

1. Whaites, Eric; Drage, Nicholas. Fundamentos de radiología dental. 5ª ed. Elsevier Masson. 2014. Págs.: 66-68.



Para la realización de este estudio, debemos conocer las magnitudes y unidades utilizadas en protección radiológica, que se explican a continuación:

La dosis absorbida de radiación, representada por la letra “D”, que es una medida de la cantidad de energía absorbida del haz de radiación por unidad de masa de tejido; su unidad es el Joule/kg, unidad a la que se le da el nombre especial de Gray (Gy). Anteriormente se utilizó el rad (radiation absorbed dose, por sus siglas en inglés), como unidad de esta medida, en donde 1 Gy es igual a 100 rad.

$$D = E/m = J/kg = \text{Gray (Gy)}$$

E= Energía absorbida por el tejido (Joule, J)

m= Masa del tejido (Kilogramo, kg)

El daño biológico producido por las radiaciones depende de varios factores, entre otros, de la dosis absorbida y del tipo y energía de la radiación; en seguridad radiológica, se utiliza la dosis equivalente (H_T) que es la medida que se obtiene al introducir un valor numérico denominado factor de ponderación de radiación (W_R) que representa los efectos biológicos de diferentes radiaciones (valor de 1 para rayos X y gamma, 10 para neutrones y 20 para partículas alfa) multiplicada por la dosis absorbida de radiación. La unidad de dosis equivalente es el Sievert (Sv), anteriormente se utilizó el rem (Röntgen Equivalent Man, por sus siglas en inglés), en donde 1 Sv es igual a 100 rem².

$$H_T = D \times W_R = J/kg = \text{Sievert (Sv)}$$

D= Dosis de radiación absorbida (J/kg)

W_R = Factor de ponderación de radiación

2. Whaites, Eric; Drage, Nicholas. Fundamentos de radiología dental. 5ª ed. Elsevier Masson. 2014. Págs.: 57-58.



Los límites anuales de dosis actualmente se enuncian en la NOM-229-SSA 1-2002 así como en el Reglamento General de Seguridad Radiológica y constituyen una medida fundamental en la protección frente a las radiaciones ionizantes para pacientes, operadores, embarazadas y niños, tiene como finalidad servir de referencia acerca de cuantos estudios radiológicos se pueden practicar en el paciente evitando un daño mayor³.

La dosimetría en radiología es de vital importancia, ya que monitorea y calcula las dosis de radiación con las cuales se trabajan en las distintas áreas médicas. De acuerdo con el principio “Tan bajo como sea razonablemente posible” (ALARA, por sus siglas en inglés), los odontólogos deben tomar radiografías de buena calidad en la dosis de radiación lo más baja posible para los pacientes⁴.

Uno de los métodos empleados para estimar la dosis de radiación en órganos implica la incrustación de dosímetros en maniqués antropomórficos equivalentes de tejido; nosotros usaremos dosímetros de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL) que serán colocados superficialmente en nuestro sitio de interés anatómico que es la zona en donde se localiza la glándula tiroides. Este tipo de dosímetros se emplean en muchas áreas de la dosimetría de la radiación, incluida la vigilancia personal, dosimetría in vivo y para generar perfiles de dosis estandarizados en la toma de tomografías computarizadas (CTDI)⁵.

-
3. American Cancer Society. Cancer facts & figures. Atlanta, GA: American Cancer Society, 2014.
 4. Bahreyni Toossi, M., Akbari, F., & Bayani Roodi, S. (2012). Radiation Exposure to Critical Organs in Panoramic Dental Examination. *Acta Med Iran*, 50(12), 809-813.
 5. Endo, A., Katoh, T., Kobayashi, I., Joshi, R., Sur, J., & Okano, T. (2012). Characterization of optically stimulated luminescence dosimeters to measure organ doses in diagnostic radiology. *Dentomaxillofacial Radiology*, 41(3), 211–216. doi:10.1259/dmfr/98708146



Los dosímetros OSL, actualmente se han utilizado para el control de la dosis de radiación durante más de una década⁶. Estos dosímetros consisten en una tarjeta que contiene un detector de óxido de aluminio y filtros de metal y plástico; el detector se lee mediante su exposición a una fuente luminosa, la cual libera la energía de radiación almacenada en el óxido de aluminio en forma de luz azul (luminiscencia), la exposición a la radiación se puede calcular a partir de la cantidad e intensidad de la luz azul liberada. Las ventajas de este tipo de dosímetros es que su lectura es rápida no destructiva, se pueden realizar múltiples lecturas debido a que pueden ser utilizados como un registro permanente de la dosis de radiación debido a que pueden ser leídos después del lapso en que fueron irradiados, tienen buena sensibilidad y responden a un rango amplio de energías⁵. Las desventajas de los dosímetros TLD en comparación con los OSL es que su lectura no ofrece un registro permanente, ya que los resultados no pueden verificarse ni reevaluarse, sólo proporcionan información limitada sobre el tipo y la energía de la radiación y son relativamente caros⁷.

En este estudio de investigación nos enfocaremos en la evaluación de la dosis de radiación durante la toma de ortopantomografías utilizando dosímetros de tecnología de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL) que serán colocados superficialmente en la prominencia laríngea, la cual será tomada como referencia anatómica, ya que por debajo de esta prominencia se localiza la glándula tiroides del paciente, que es nuestro sitio de interés anatómico.

Sin embargo, para la dosimetría de la radiación en ortopantomografías se debe de mantener cuidado en la colocación de los dosímetros en el paciente para que no interfieran con la proyección radiográfica⁴.

6. Akselrod MS, Botter-Jensen L, McKeever SWS. Optically stimulated luminescence and its use in medical dosimetry. *Radiat Measure* 2010; 41: 78–99.

7. Whaites, Eric; Drage, Nicholas. *Fundamentos de radiología dental*. 5ª ed. Elsevier Masson. 2014. Pág.: 75.



Planteamiento del Problema:

En la práctica odontológica, en la toma de radiografías no es común el uso de dosímetros, sin embargo por medio de la dosimetría podemos mantener un mejor control de la cantidad de radiación que es emitida a los pacientes, de la dosis de radiación y de la sensibilidad del tejido frente a la radiación, para así prevenir en algún momento los posibles efectos nocivos de la radiación ionizante; puesto que en odontología se encuentran por debajo las dosis umbral requeridas para producir reacciones tisulares (efectos deterministas), sin embargo los efectos estocásticos pueden desarrollarse y presentarse con cualquier dosis de radiación. En este estudio nos enfocaremos en las ortopantomografías que son auxiliares de diagnóstico previo a un tratamiento odontológico.

Justificación:

En la práctica odontológica, no existe la suficiente información sobre los efectos que causa el uso indiscriminado de los rayos X, de los factores de riesgo que pueden implicar para los pacientes y para sí mismos, así como de las medidas prácticas de protección radiológica que se requieren.

Por medio de la dosimetría se mantiene una adecuada gestión y control de las dosis de radiación impartidas a los pacientes en cada toma de radiografía realizada, así también se mantienen adecuadamente las medidas de protección para los pacientes debido a los posibles efectos nocivos del uso indiscriminado de rayos X.

Objetivo General:

Estimar la dosis de radiación secundaria ionizante en la zona de la glándula tiroides durante la toma de ortopantomografías utilizando dosímetros de tecnología OSL (Luminiscencia Ópticamente Estimulada) que serán colocados en pacientes entre 18 y 40 años de edad. Con este estudio se verificará la dosis de la radiación en tiroides y si se encuentra dentro de los límites de dosis establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002.



Objetivos Específicos:

1. Estimar la dosis de radiación secundaria ionizante en la zona de la glándula tiroides durante la toma de ortopantomografías digitales y verificar que dicha dosis se encuentre dentro de los límites establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002.
2. Evaluar y determinar los beneficios del uso de dosímetros de tecnología de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL) en la toma de ortopantomografías digitales.
3. Comparar los resultados obtenidos de las dosis de radiación secundaria en la zona de tiroides por medio del uso de dosímetros OSL con resultados obtenidos en otros estudios por medio del uso de dosímetros termoluminiscentes durante la toma de ortopantomografías digitales.
4. Realizar una revisión bibliográfica sobre los efectos biológicos (efectos estocásticos y deterministas) asociados a los rayos X por la exposición a la radiación ionizante.
5. Corroborar que el uso de dosímetros en la práctica odontológica ayuda a mantener un control en el manejo de las dosis de radiación en la toma de radiografías.

Muestra:

- Tamaño: 300 pacientes.
- Características: Se analizarán a pacientes que acudan a la Clínica de Admisión de la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPeI) de la Facultad de Odontología, UNAM; los cuales, con previa historia clínica son remitidos por una ortopantomografía digital a la Clínica de Imagenología de la DEPeI.



CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.

Criterios de Inclusión:

Pacientes entre 18 y 40 años de edad, hombre o mujer, aparentemente sanos que acudan por una ortopantomografía digital a la Clínica de Imagenología de la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPeI) de la Facultad de Odontología, UNAM.

Criterios de Exclusión:

Pacientes sometidos a tratamiento de radio o quimioterapia, fuera del rango de edad, que sufran o hayan sufrido algún tipo de cáncer.

Tipo de Estudio:

Retrospectivo, longitudinal y descriptivo.

Tipo de Investigación:

Observacional.

Material:

- Ortopantomógrafo “Instrumentarium OP200 D”.
- Dosímetros de tecnología OSL (100 cristales en total).
- Tabla de captura de datos para registro del paciente que contenga nombre, edad, sexo, peso, antecedentes hereditarios patológicos, mA, t (s), código de registro por dosímetro y firma; consentimientos informados (Anexo 1).



PROYECTO DE INVESTIGACION
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA, UNAM



NOMBRE	EDAD	SEXO	PESO (Kg)	ANTECEDENTES HEREDITARIOS PATOLOGICOS	mA	t (s)	Código	FIRMA
							Registro del Dosímetro	



- Lápiz.
- Computadora.
- Cinta micropore.
- Báscula
- Microstar® Reader (Sistema y software de lectura OSL).

Metodología:

A los pacientes que cumplan con los criterios de inclusión, se les proporcionará un consentimiento informado acerca del estudio de investigación al que se les está invitando a participar, posteriormente sí el paciente acepta y firma dicho consentimiento, se procederá con lo siguiente:

1. A cada paciente, antes de la toma de cada ortopantomografía, se le colocarán 3 dosímetros de tecnología OSL tomando como referencia anatómica la prominencia laríngea (uno a la izquierda de ésta, otro en medio y otro a la derecha de ésta).
2. Cada viernes se llevarán, al Centro Médico Nacional Siglo XXI, los dosímetros a ser evaluados; para llevar cada semana un control determinado se analizarán 10 pacientes por día (50 pacientes y 15 cristales por semana).

Los dosímetros antes de ser utilizados en pacientes, deben ser calibrados para su correcto funcionamiento en el entorno específico al que serán expuestos. Este proceso, (es decir, la creación de una curva de calibración) es extremadamente importante, ya que se correlaciona la respuesta óptica de un dosímetro a una dosis conocida con el fin de establecer la sensibilidad del sistema (en este caso Ortopantomógrafo “Instrumentarium OP200 D”) al que serán expuestos. Afortunadamente, esto es fácil de hacer mediante el uso del software Microstar® Reader, y los resultados se pueden almacenar para su uso posterior. Al ser obtenida la curva de calibración, los resultados obtenidos son analizados por un prestador de servicios autorizado, en este caso “Landauer®” (empresa



CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.

internacional en el campo de la dosimetría personal), que emite un certificado en el cual aprueba el resultado de la calibración realizada a los dosímetros.

Función	Donde	x= Dosis (mSv)	Fórmula
y=2156 x		y= Cuentas	Dosis mSv= Cuentas / F.C
		F.C= 2156	

DOSIS	CUENTAS 1	CUENTAS 2	CUENTAS 3
0	1706	1740	1726
5	10804	10728	10931
30	60226	58938	59926

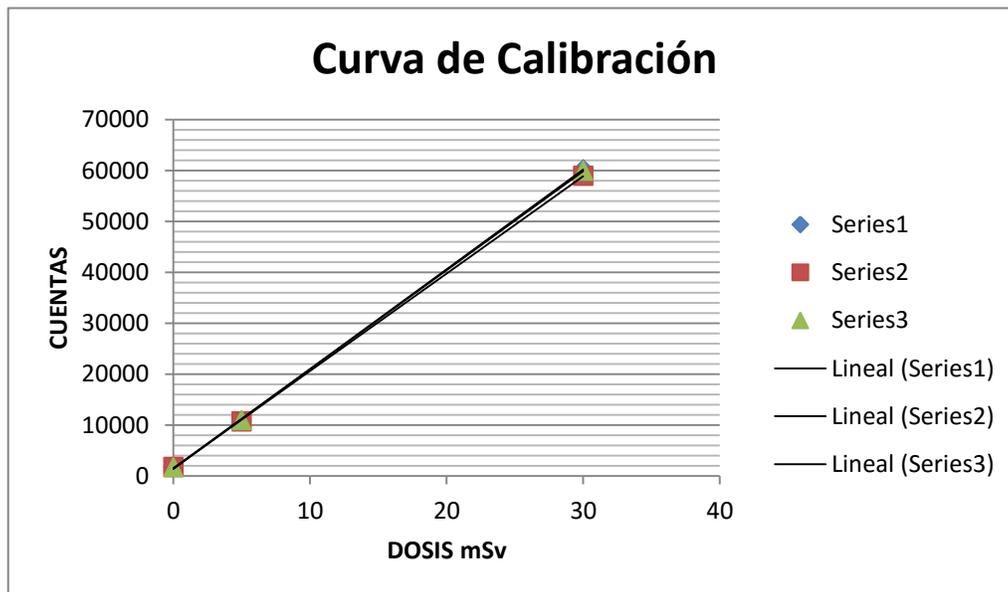


Figura 1. Representación gráfica de los resultados de la calibración de los dosímetros.



CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.



Landauer Irradiation Certificate



Customer Contact: Landauer Inlight
Customer Address: 2 Science Road Glenwood, IL 60425
Exposure Description: Calibrate Set

Exposure Request#	Req. Kerma mrad	Date Completed	SERIAL #	Source	Phantom	Angle	Axis	Holder	Delivered Exposure			Temp Degrees	Pressure mm Hg	Exp Time (min)	Lab Tech
									DDE mrem	SDE mrem	Kerma mrad				
40954_66823	0	02/15/2012	DN08415860Z	Unirradiated	Air	0	Hor	None	0	0	0	20	747	0	JN
40954_66823	0	02/15/2012	DN08415928L	Unirradiated	Air	0	Hor	None	0	0	0	20	747	0	JN
40954_66823	0	02/15/2012	DN08422955P	Unirradiated	Air	0	Hor	None	0	0	0	20	747	0	JN
40953_32577	337	02/15/2012	DN08151779H	DOTS RQR6 HVL 2.9 mm 80 kV	PMMA-WB	0	Hor	None	506	494	333	21.5	747	0.67	JN
40953_32577	337	02/15/2012	DN08151793R	DOTS RQR6 HVL 2.9 mm 80 kV	PMMA-WB	0	Hor	None	506	494	333	21.5	747	0.67	JN
40953_32577	337	02/15/2012	DN08151797J	DOTS RQR6 HVL 2.9 mm 80 kV	PMMA-WB	0	Hor	None	506	494	333	21.5	747	0.67	JN
40953_33626	2,027	02/15/2012	DN08151816R	DOTS RQR6 HVL 2.9 mm 80 kV	PMMA-WB	0	Hor	None	3,155	3,072	2,076	21.5	747	4	JN
40953_33626	2,027	02/15/2012	DN08151818N	DOTS RQR6 HVL 2.9 mm 80 kV	PMMA-WB	0	Hor	None	3,155	3,072	2,076	21.5	747	4	JN
40953_33626	2,027	02/15/2012	DN08151872T	DOTS RQR6 HVL 2.9 mm 80 kV	PMMA-WB	0	Hor	None	3,155	3,072	2,076	21.5	747	4	JN
40953_32655	33,783	02/15/2012	DN08151895L	DOTS RQR6 HVL 2.9 mm 80 kV	PMMA-WB	0	Hor	None	53,226	51,826	35,017	21.5	747	3.44	JN
40953_32655	33,783	02/15/2012	DN08151907O	DOTS RQR6 HVL 2.9 mm 80 kV	PMMA-WB	0	Hor	None	53,226	51,826	35,017	21.5	747	3.44	JN
40953_32655	33,783	02/15/2012	DN08151913V	DOTS RQR6 HVL 2.9 mm 80 kV	PMMA-WB	0	Hor	None	53,226	51,826	35,017	21.5	747	3.44	JN
40953_33730	67,567	02/15/2012	DN08151770Z	DOTS RQR6 HVL 2.9 mm 80 kV	PMMA-WB	0	Hor	None	106,953	104,139	70,364	21.5	747	6.88	JN
40953_33730	67,567	02/15/2012	DN08151893P	DOTS RQR6 HVL 2.9 mm 80 kV	PMMA-WB	0	Hor	None	106,953	104,139	70,364	21.5	747	6.88	JN
40953_33730	67,567	02/15/2012	DN08151957J	DOTS RQR6 HVL 2.9 mm 80 kV	PMMA-WB	0	Hor	None	106,953	104,139	70,364	21.5	747	6.88	JN

Calibration is traceable to National Institute of Standards and Technology via Air Ionization Chambers A3-111, A5-234, and A3-160, Calibrated at University of Wisconsin Calibration Lab, Uncertainty 5%, K=2.

Report Date: Thursday, February 16, 2012

Page 1 of 1

Approved:
 Laboratory Manager
 Report Number: 20120216 -0756

Figura 2. Certificado de calibración emitido por Landauer®.



CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.

Cronograma:

Tiempo	Ago.	Ago.	Sept.	Sept.	Sept.	Sept.	Sept.	Oct.	Oct.	Oct.	Oct.	Nov.	Nov.
Actividad	Ago.	Ago.	Sept.	Sept.	Sept.	Sept.	Sept.	Oct.	Oct.	Oct.	Oct.	Nov.	Nov.
Elaboración de Protocolo	*												
Orden de Material		*											
Dosimetría													
Dosimetría													
Dosimetría													
Dosimetría													
Dosimetría													
Dosimetría													
Dosimetría													
Resultados											*		
Estadística												*	
Análisis de Resultados													*
Conclusiones													*



I. GENERALIDADES Y FÍSICA DE LOS RAYOS X

Historia de los Rayos X (Rayos Röntgen)

Desde el origen de los tiempos, el ser humano ha estado expuesto a radiaciones, sin embargo hasta el año de 1895, Wilhelm Conrad Röntgen descubrió la radiación ionizante y su capacidad para penetrar en los tejidos humanos.

El 5 de Noviembre de 1895, Wilhem Conrad Röntgen, físico alemán y profesor de la Universidad de Würzburg, experimentaba el poder de penetración de los rayos catódicos emitidos por un tubo de Crookes, que era formado por un tubo de vidrio lleno de gas a baja presión y en su interior se aplicaban campos eléctricos intensos. Para evitar la fluorescencia que producían los rayos catódicos, Röntgen creó un ambiente de oscuridad, en donde cubrió el tubo de Crookes con una funda de cartón negro y al conectar su equipo, se sorprendió al ver a lo lejos un débil resplandor sobre una pantalla bañada con una solución de cristales de platino-cianuro de bario, observó que al apagar el tubo se desaparecía el resplandor y al prenderlo se producía nuevamente, retiro más lejos la pantalla y comprobó que el resplandor se seguía produciendo, repitió el experimento y sucedió lo mismo. Röntgen descubrió que los rayos catódicos creaban una radiación muy penetrante pero invisible, observó que éstos atravesaban cualquier objeto, menos el espesor de 1.5 centímetros de plomo, durante sus estudios observó que los rayos catódicos podían viajar en línea recta solamente dentro del tubo.

Röntgen, estudió las características y propiedades de estos nuevos y desconocidos rayos, a los que denominó Rayos "X" porque no sabía a qué tipo de radiación pertenecían; sin embargo, los llamaremos rayos Röntgen, atribuyéndole el nombre de su descubridor⁸.



Figura 3. Röntgen experimentando con un tubo de Crookes⁹.

El 22 de noviembre de 1895, Röntgen le pide a su esposa Bertha que coloque su mano durante quince minutos en una placa fotográfica de cristal; al revelar la placa de cristal quedó registrado el esqueleto de la mano de su esposa, en la cual en uno de sus dedos se observaba el anillo de bodas. Este suceso fue memorable debido a que fue el día en el que se obtuvo la primera imagen radiográfica del cuerpo humano. Así nace una de las ramas más poderosas de la medicina "La Radiología"⁸.

8. Madrigal Lomba Ramón. La Radiología: Apuntes históricos. Rev. Med. Electrón. 2009, Ago. [citado 2015 Nov 29]; 31(4). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242009000400019&lng=es

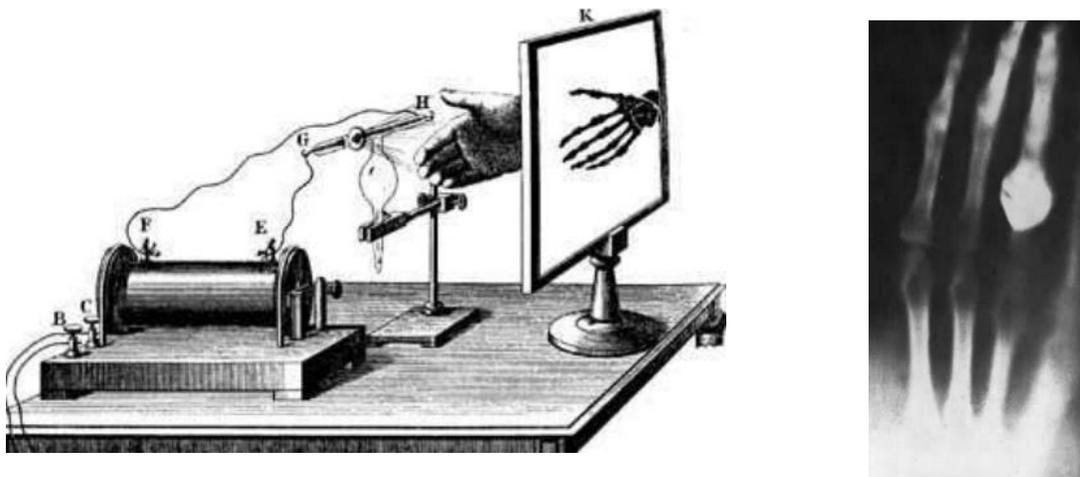


Figura 4. Esquema ilustrativo de 1896 del experimento de Röntgen y radiografía de la mano de Bertha Röntgen⁹.

La noticia del descubrimiento de los rayos Röntgen, se divulgó con gran rapidez en el mundo. Röntgen fue galardonado con múltiples reconocimientos, honrado con la medalla Rumford de la Real Society de Londres en 1896 y con el primer premio Nobel de Física en el año de 1901¹⁰.

9. Historia de la Radiología Oral y Maxilo-Facial. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/29891/1/historia.pdf>

10. Brandan María Ester, Rodolfo Díaz Perches y Patricia Ostrosky. La Radiación al Servicio de la Vida. Fondo de Cultura Económica. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/099/htm/sec_6.htm

Estructura del Átomo

Se mencionarán algunos conceptos básicos para la comprensión de la producción e interacción de los rayos X (rayos Röntgen) con la materia.

El átomo es la estructura elemental de la materia, el cual consta de un núcleo formado por partículas fundamentales “los protones (poseen una carga eléctrica positiva) y neutrones (no tienen carga eléctrica)”, también está formado por los electrones (poseen una carga eléctrica negativa) que se mueven en trayectorias u órbitas circulares alrededor del núcleo.

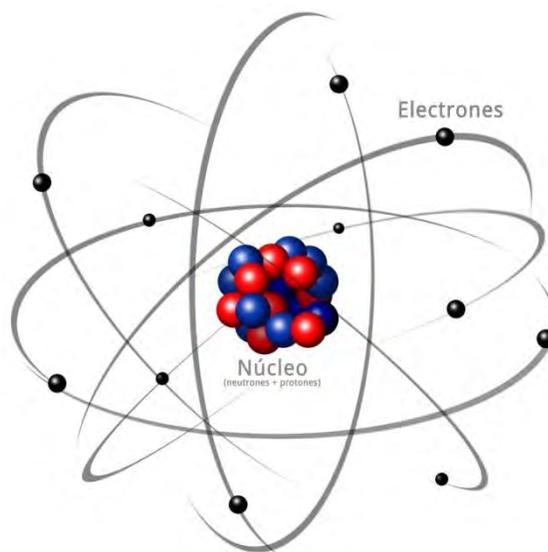


Figura 5. Representación esquemática de la estructura atómica¹¹.

Los átomos en su estado natural poseen el mismo número de protones que el de electrones y siendo que la carga del protón es igual a la del electrón, se concluye que la carga eléctrica de un átomo en su estado natural es neutra¹².

11. ¿Cuáles son las partes de un átomo? [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: <http://microrespuestas.com/como-se-llaman-las-partes-de-un-atomo/>

Ionización

Es el proceso de extracción de un electrón de un átomo, en donde el electrón se convierte en un ion negativo, y el átomo deja de ser neutro y su carga se vuelve positiva convirtiéndose en un ion positivo.

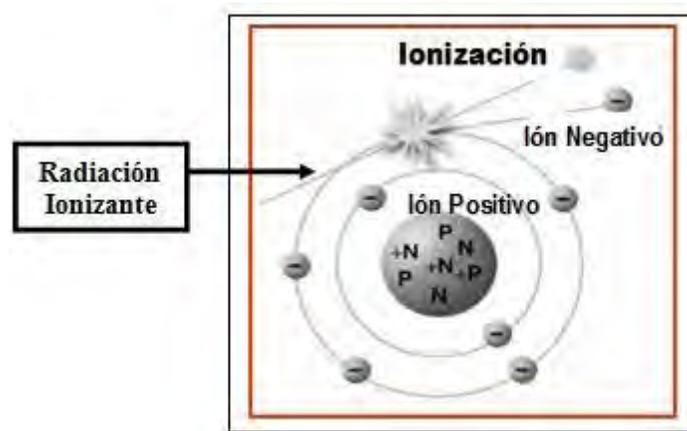


Figura 6. Fenómeno de Ionización¹³.

Los electrones se encuentran ligados en sus órbitas por la fuerza de atracción que el núcleo del átomo (positivo) ejerce sobre estos electrones (negativos), por lo que para producir una ionización se requiere de cierta energía externa, esta energía puede ser producida por los rayos X¹².

12. Whaites, Eric; Drage, Nicholas. Fundamentos de radiología dental. 5ª ed. Elsevier Masson. 2014. Pág. 16.

13. Riesgos Específicos
Protección contra Radiaciones. Protección contra radiaciones ionizantes. Parte 1. [citado 29 de
Noviembre del 2015] Disponible
en: <https://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=2969>



II. NATURALEZA DE LA RADIACIÓN

La radiación es la transmisión de la energía a través del espacio y la materia, puede producirse en dos formas: Por partículas o electromagnéticamente.

Radiación por Partículas

Radiación que consiste en núcleos atómicos o partículas subatómicas que se mueven a gran velocidad. Los rayos alfa, beta y catódicos son ejemplos de este tipo de radiación.

Los rayos alfa son núcleos de helio doblemente ionizados a elevada velocidad (constituidos por dos protones y dos neutrones) resultado de la descomposición de muchos elementos radiactivos, debido a su carga doble y gran masa ionizan marcadamente la materia a través de la que pasan, cediendo rápidamente su energía y penetran unas pocas micras en los tejidos corporales (ej. Una hoja de papel, absorbe totalmente este tipo de partículas alfa).

Los rayos beta son electrones de alta velocidad emitidos por núcleos radiactivos, penetran la materia en mayor medida que las partículas alfa, hasta un máximo de 1.5 cm en los tejidos, debido a que las partículas beta son más pequeñas y ligeras transportando una sola carga negativa de modo que tienen una probabilidad mucho menor de interactuar con la materia que las partículas alfa. Al atravesar la materia, la ionizan con menos facilidad que las partículas alfa. Las partículas beta se utilizan en radioterapia para tratar lesiones cutáneas¹⁵.

Los rayos catódicos son electrones de alta velocidad emitidos por dispositivos fabricados por el hombre (ej. Tubo de rayos X).



Espectro Electromagnético

Es el fenómeno que se manifiesta por aquella radiación producida por el movimiento de energía a través del espacio como una combinación de los campos eléctricos y magnéticos; es decir, se genera cuando se altera la velocidad de una partícula cargada eléctricamente.

La radiación electromagnética se propaga en forma de ondas; estas ondas electromagnéticas viajan a la velocidad de la luz en el vacío ($3,0 \times 10^8$ m/s, representada por la letra c) y corresponden a campos eléctricos y magnéticos. La energía de una onda depende en forma inversa a la longitud que ésta posee (la longitud de onda es la distancia entre dos crestas vecinas en una onda), es decir, a mayor longitud de onda, menor energía y a menor longitud de onda, mayor energía¹⁴.

Para entender mejor el fenómeno de espectro electromagnético, se explicará a continuación: Cuando un electrón libre con gran velocidad choca con un electrón de una de la órbitas de un átomo, haciendo pasar al electrón a una de las órbitas más profundas o interiores del átomo, se produce un desequilibrio energético dentro de éste (átomo), este desequilibrio se manifiesta externamente por la emisión de radiaciones electromagnéticas de menor longitud de onda como los rayos X. Cuando tales choques ocurren en órbitas superficiales por menor velocidad del electrón libre, se originan otras radiaciones electromagnéticas de mayor longitud de onda: Rayos ultravioleta, luz visible, infrarrojos, microondas, ondas de radio, etc¹⁵.

14. White, Stuart C. Michael J. Pharoah. Radiología Oral principios e interpretación. Editorial Elsevier Science. 4a Edición. Pág 4.

15. Recaredo A. Gómez Mattaldi. Radiología odontológica. Editorial Mundi. 2a Edición. 1975. Pág. 1.

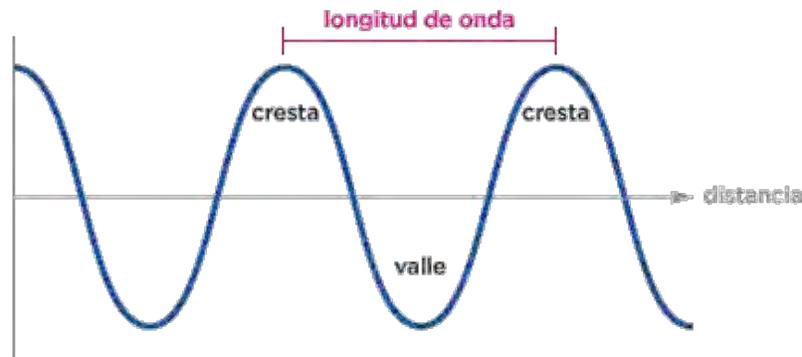


Figura 7. Esquema de longitud de onda¹⁶.

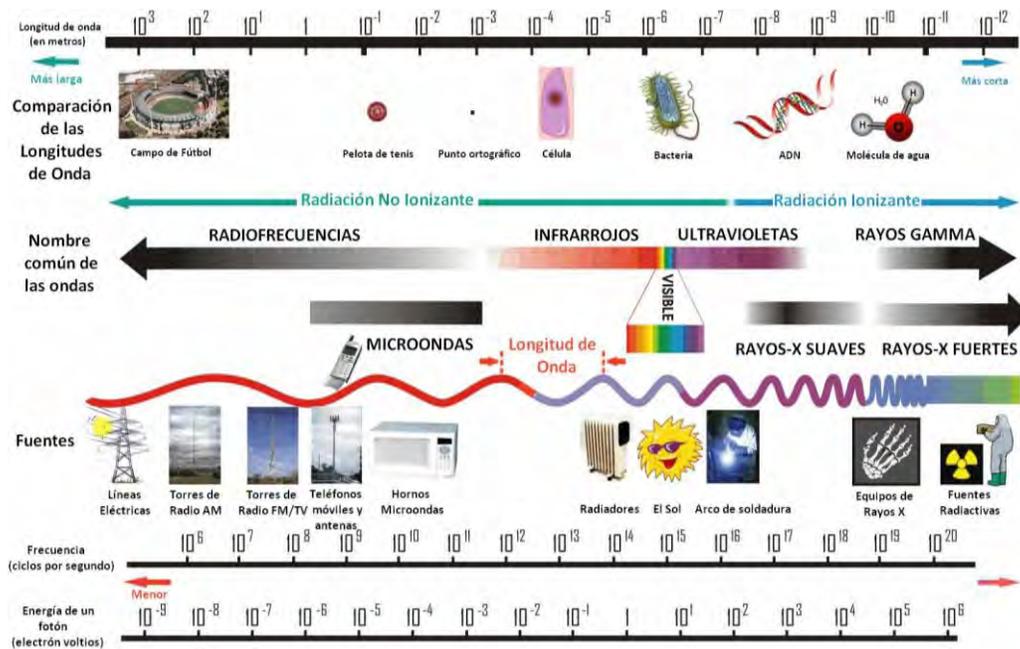


Figura 8. Espectro electromagnético: Organiza los distintos tipos de ondas electromagnéticas según su longitud de onda¹⁷.

16. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: http://www.tv411.org/sites/default/files/ESScience7_A3_Q1.png

17. "Hágase la luz" y la luz se hizo...onda electromagnética (II) [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: <https://xabierjota.wordpress.com/2013/02/13/hagase-la-luz-y-la-luz-se-hizo-onda-electromagnetica-ii/>



III. ORIGEN DE LOS RAYOS X (Radiación Ionizante)

Nuestro estudio se enfocará en la radiación ionizante, ya que como su nombre lo dice, es capaz de ionizar la materia por su energía. La radiación es una forma de energía y se propaga en el espacio en la misma forma que la luz.

Actualmente los rayos X se emplean para fines de diagnóstico, se producen en máquinas y están presentes sólo durante la fracción de tiempo en que se opera el equipo, es decir, durante el disparo.

Los equipos de rayos X poseen una cabeza del tubo dentro de la cual hay una pequeña envoltura de vidrio al vacío denominada tubo de rayos X, en donde se producen los rayos X cuando electrones con energía de alta velocidad bombardean el objetivo y pasan súbitamente a un estado de reposo¹⁸.

Funcionamiento del aparato de rayos X

A continuación se describirán los componentes principales del aparato de rayos X, como también se mencionarán algunos principios básicos para entender mejor su funcionamiento.

- *Tubo Radiógeno:* El tubo de rayos X o radiógeno, ideado por el ingeniero W.D. Coolidge en 1912, es la parte principal que genera los rayos X y constituye un acelerador de partículas: Los electrones.

Los componentes principales del tubo radiógeno son una ampolla de vidrio al vacío en donde se encuentran enfrentados dos electrodos (conductores eléctricos) de forma diferentes: Un cátodo (-) y un ánodo (+). El cátodo, es el productor de electrones, consiste en un filamento en espiral de tungsteno rodeado de una pantalla de molibdeno denominada pieza de concentración o copa focalizadora. El ánodo, llamado también anticátodo, es el receptor de electrones formado por un grueso cilindro de cobre (cortado a bisel frente al cátodo) éste a su vez tiene acoplado un bloque de tungsteno para blanco o impacto de los rayos catódicos¹⁸.

En síntesis, la función del tubo de rayos X es la de producir vapor de electrones por medio del cátodo, los cuales son acelerados contra el anticátodo, y así emitir rayos X.

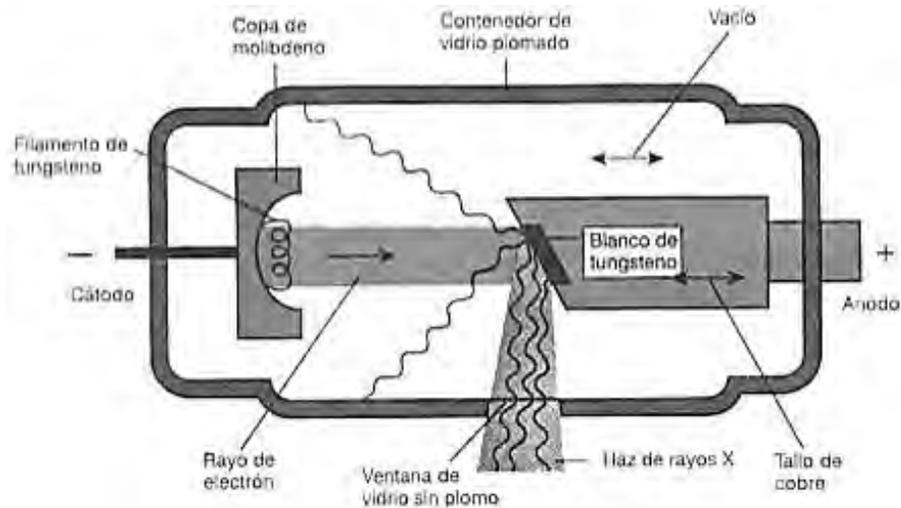


Figura 9. . Diagrama del tubo de rayos Röntgen¹⁹.



Figura 10. Ejemplo de un tubo de rayos X real²⁰.



Como se explicó anteriormente, cuando los electrones con movimiento rápido chocan contra un objeto metálico, se producen rayos X, la energía cinética del electrón se transforma en energía electromagnética. La función del aparato de rayos X consiste en proporcionar una intensidad suficiente y controlada del flujo de electrones para producir un haz de rayos X con la cantidad y la calidad deseadas¹⁸.

El índice de flujo de corriente, es el número de electrones que se mueven de un punto a otro y se mide en amperios (A), depende de dos factores: del voltaje de la corriente que es la energía que adquiere un electrón cuando es acelerado por una diferencia de potencial de 1 volt y es medida en voltios (V); y de la resistencia del conductor al flujo de la electricidad medida en ohms (Ω). Este fenómeno se conoce como la Ley de Ohm¹⁸.

El tubo de rayos X, para su funcionamiento se encuentra conectado a dos transformadores, uno de alta tensión y otro de baja tensión, los cuales se encuentran dentro de una carcasa metálica denominada cabezal del aparato de rayos X y a su vez contiene aceite que funciona como un aislante térmico.

Al hacer funcionar el transformador de baja tensión que se encuentra unido al filamento del cátodo (-), se produce una corriente de gran intensidad (3 a 5 A), lo que provoca la incandescencia del cátodo por el efecto Joule (fenómeno por el cual la corriente eléctrica pasa por un conductor, y parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor), lo cual posteriormente produce vapor de electrones, conocido como efecto Edison- Richardson (fenómeno por el cual por efecto Joule se lleva a la incandescencia un conductor en el vacío, del conductor se desprenden y se mantienen alrededor electrones libres formando el llamado "vapor de electrones"). La copa focalizadora (al tener carga negativa) concentrará el vapor de electrones bajo la forma de un estrecho haz (rayos catódicos), una vez logrado esto al producirse una diferencia de energía por el transformador de alta tensión, el vapor de electrones se desplazará a gran velocidad hacia el anticátodo, originando la emisión de rayos X. La energía perdida por los electrones se convierte en calor (aproximadamente 99%) o en rayos X (aproximadamente 1%)¹⁸.



El calor producido se elimina por medio del bloque de cobre del anticátodo y del aceite circundante en la coraza protectora del tubo de rayos X.

Una cubierta de plomo circundante absorbe los rayos X no deseados como medida de protección contra radiaciones, ya que los rayos X se emiten hacia todas direcciones²¹.

- *Generación de los Rayos X:* La energía cinética de los electrones al interactuar con el blanco del anticátodo se transforma en energía térmica (calor) y en energía electromagnética (rayos Röntgen). Para fines de nuestro estudio nos enfocaremos en el efecto que produce a los rayos X, conocido como “Espectro continuo o radiación de frenado (Bremsstrahlung)”, que se explica a continuación.

La radiación de frenado o Bremsstrahlung (palabra alemana incorporada al idioma inglés que significa frenar o disminuir la velocidad) se produce cuando el electrón incidente penetra en las capas exteriores del átomo de tungsteno (blanco del anticátodo) y pasa cerca del núcleo de éste, a su vez frenándose repentinamente y es desviado con una gran pérdida de energía, que se emite en forma de rayos X. Otra forma de producción de rayos X por este efecto, es cuando el electrón incidente choca con un electrón de las capas internas del átomo de tungsteno, desplazándolo hacia una capa exterior (excitación) o extrayéndolo del átomo (ionización), con una gran pérdida de energía y la emisión de rayos X²².

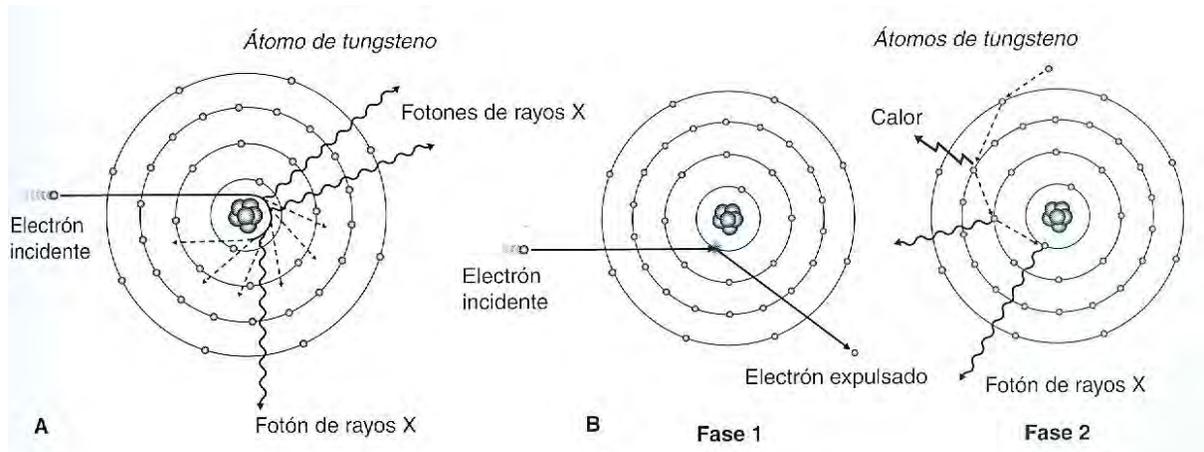


Figura 11. Diagrama de la radiación de frenado: A, Electrón incidente pasa cerca del núcleo del átomo de tungsteno y es desviado, emitiendo rayos X. B, Electrón incidente choca con un electrón de la capa interior del átomo de tungsteno y lo desplaza, posteriormente los átomos de las capas exteriores caen hacia las interiores, emitiendo rayos X²².

18. Recaredo A. Gómez Mattaldi. Radiología odontológica. Editorial Mundi. 2^a Edición. 1975. Pág. 5.
19. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: <http://image.slidesharecdn.com/radiologiadef-101023223815-phpapp01/95/radiologia-def-14-638.jpg?cb=1422674738>
20. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: <http://es.slideshare.net/pacolacalle/tubo-de-rayos>
21. Whaites Eric, Drage Nicholas. Fundamentos de radiología dental. Elsevier Masson. 5^a ed. 2014. Pág. 16.

Interacción de los rayos X con la materia

Los rayos X o Röntgen al incidir sobre la materia (tejidos de un paciente) interactúan a nivel atómico, dependiendo de la energía del fotón incidente. Nos enfocaremos en dos interacciones que se presentan en el intervalo de energía de rayos X usados en odontología: Efecto fotoeléctrico y efecto Compton.

Efecto fotoeléctrico

Efecto que consiste en una absorción total de energía que predomina con fotones de baja energía. Producido cuando la energía del fotón de rayos X incidente es igual o superior a la energía de enlace del electrón de la capa interna del átomo del tejido; la energía del fotón expulsa al electrón convirtiéndolo en fotoelectrón que a su vez se dirigirá hacia los tejidos y experimentará más interacciones. El fotón de rayos X desaparece tras depositar toda su energía, por lo que es un proceso de absorción pura. El espacio producido por el electrón expulsado es ocupado por electrones de las capas exteriores del átomo que van cayendo de capa en capa, esto a su vez produce radiación de muy baja energía que se absorbe con rapidez. Por último se alcanza la estabilidad atómica por la captura de un electrón libre que devuelve al átomo a su estado neutro²².

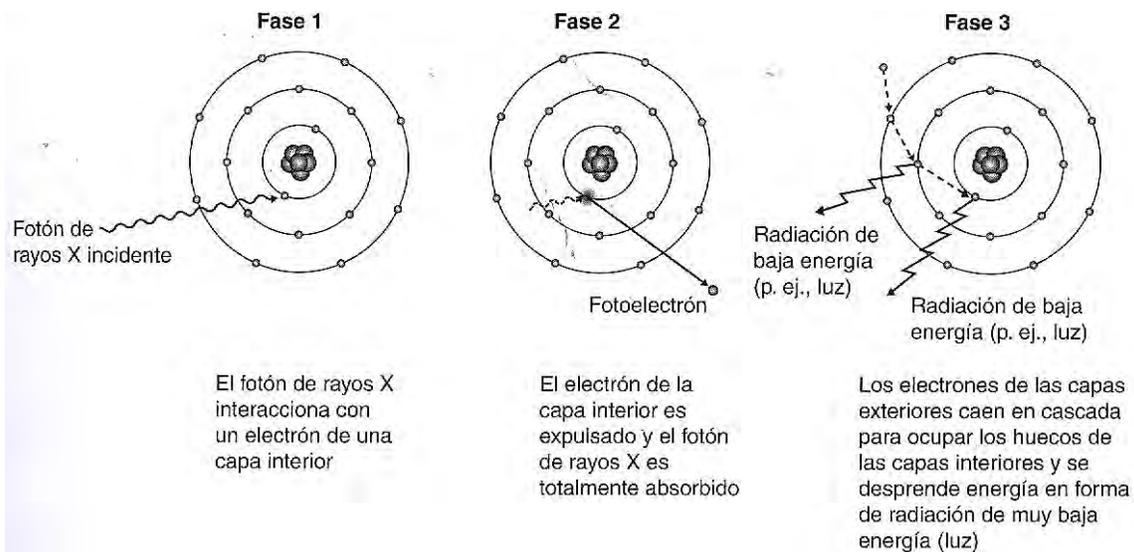


Figura 12. Diagrama de las fases de la interacción fotoeléctrica²².

El fotoelectrón de alta energía expulsado se comporta como el fotón de rayos X original de alta energía; experimenta muchas interacciones similares y expulsa otros electrones según va pasando a través de los tejidos. Estos electrones expulsados de alta energía son responsables de la mayoría de las interacciones de ionización dentro del tejido y del posible daño resultante que se atribuye a los rayos X.

Efecto Compton

Es un proceso de absorción y dispersión en el que predominan fotones de alta energía. Se produce cuando el fotón de rayos X incidente interacciona con un electrón ligado a las capas exteriores del átomo del tejido; el electrón de la capa exterior es expulsado, denominado ahora electrón de retroceso Compton, con cierta absorción de la energía del fotón incidente. El electrón expulsado tendrá interacciones de ionización dentro del tejido. La energía restante del fotón incidente se dispersa desde su trayectoria original como fotón dispersado, el cual puede: Experimentar más interacciones Compton o fotoeléctricas en los tejidos o escapar de los tejidos (fotones que forma radiación de dispersión). Por último se recupera la estabilidad atómica mediante la captura de otro electrón libre²².

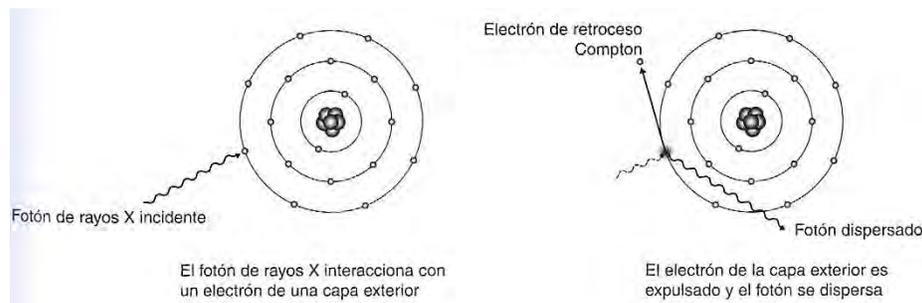


Figura 13. Diagrama de las interacciones del efecto Compton²².

22. Whaites Eric, Drage Nicholas. Fundamentos de radiología dental. Elsevier Masson. 5ª ed. 2014. Págs. 19-24.



Factores de exposición de los rayos X

Calidad de haz (Kilovoltaje, kV)

La calidad de un haz de rayos X, para fines diagnósticos, se caracteriza por la capa hemirreductora (CHR) que es el espesor de material absorbente necesario para reducir la intensidad del haz a la mitad de su valor original. Un haz de rayos X normalmente utilizado en radiología tienen una CHR entre 2-3 mm de Al (aluminio)²³.

Los factores que afectan la calidad de rayos X son:

Kilovoltaje (kV), es decir, la tensión (o fuerza) eléctrica que impulsa una corriente eléctrica por un circuito. En un aparato de rayos X con un valor bajo de kilovoltaje, los rayos que se emiten presentan mayor longitud de onda, son menos penetrantes porque son absorbidos fácilmente por los cuerpos, y viceversa²⁴.

Filtración, elimina de forma selectiva los rayos X de baja energía causados por efecto fotoeléctrico, a medida que aumenta el filtrado, mejora la calidad del haz, pero disminuye la cantidad. Para filtrar los rayos se utiliza como material el aluminio, mencionado anteriormente para la CHR²⁵.

Cantidad (Miliamperaje- Tiempo)

Se representa por la cantidad (intensidad) de rayos X que emite el tubo, es decir, con el número de electrones que chocan por segundo en el anticátodo. La cantidad de rayos emitidos por el tubo Röntgen en un segundo, está relacionada directamente con la intensidad de la corriente de alta tensión (mA) y el tiempo de exposición (s) en que es aplicada la alta tensión del tubo. Cada miliamperio (mA) por cada segundo (s) equivale a un miliamperio/segundo=1 mAs²⁵.

Otros factores que afectan la cantidad de rayos X son:

Kilovoltaje (kV), el cambio en la cantidad de rayos X es proporcional al cuadrado de la tensión (kV), es decir si se dobla la tensión, la cantidad de rayos X se multiplica por cuatro²⁷.

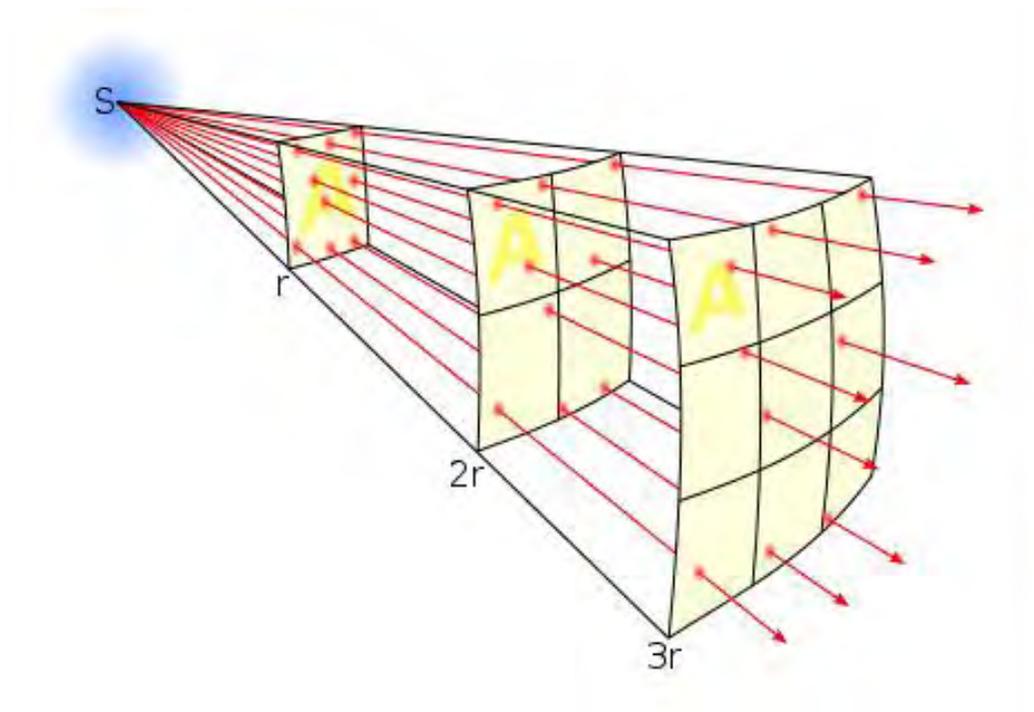


Figura 14. Diagrama de la Ley del inverso al cuadrado²⁶.



Distancia, la intensidad de la radiación de un tubo de rayos X varía inversamente con el cuadrado de la distancia, relación conocida como Ley del inverso al cuadrado que expresa lo siguiente: “Cuando un haz de rayos incide normalmente, sobre una pantalla, la cantidad de radiación que ésta recibe por unidad de superficie variará en razón inversa al cuadrado de la distancia”²⁵.

Filtración, como se explicó anteriormente los equipos de rayos X tienen filtros metálicos (por lo general de aluminio), los cuales ayudan a reducir el número de rayos X de baja energía que no contribuyen a la calidad diagnóstica, ya que son absorbidos por el tejido superficial y no alcanzan la película, sometiendo a una dosis innecesaria de radiación al paciente²⁷.

-
22. NORMA Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002. Salud ambiental. [citado 04 de Diciembre del 2015] Disponible en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SSA/Normas/Oficiales/NOM-229-SSA1-2002.pdf>
 23. Frommer, Herbert H.; Jeanine, Stabulas-Savage. Radiología dental. El Manual Moderno. 9th ed. 2011. Pág. 24.
 24. Recaredo A. Gómez Mattaldi. Radiología odontológica. Editorial Mundi. 2a Edición. 1975. Pág. 13,25.
 25. [citado 3 de Diciembre del 2015] Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inverse_square_law.svg
 26. Frommer, Herbert H.; Jeanine, Stabulas-Savage. Radiología dental. El Manual Moderno. 9th ed. 2011. Pág. 32.
 - 27.

IV. GLÁNDULA TIROIDES

Definición y localización

La glándula tiroides es uno de los órganos endocrinos de mayor tamaño, posee un color gris-rosado y está compuesta por dos lóbulos de forma parecida a las alas de una mariposa o la letra "H"²⁸.

Es una glándula endócrina impar, casi simétrica, situada adelante y a los lados de la laringe y de la tráquea; localizada en la parte mediana del tercio inferior del cuello, por debajo y lateralmente al cartílago tiroides. Por su concavidad posterior, rodea el eje visceral aerodigestivo.

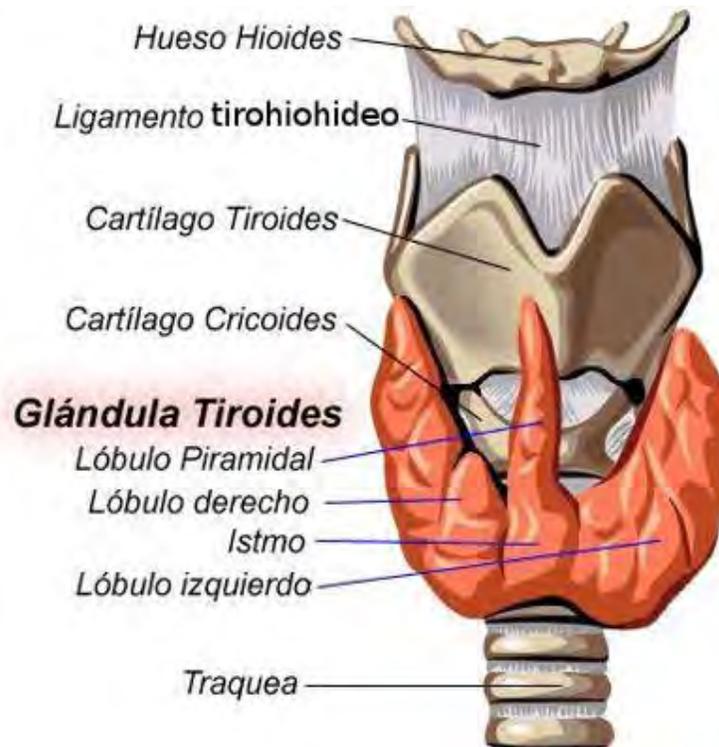


Figura 15. Esquema de la Glándula tiroides²⁹.

Esta glándula está formada por dos lóbulos situados lateralmente y un istmo que los une en medio, y que también puede sostener el lóbulo piramidal en su parte superior. Los lóbulos laterales, cubren las superficies anterolaterales de la tráquea, el cartílago cricoides y la parte inferior del cartílago tiroides. El lóbulo piramidal puede o no presentarse en algunas personas, ya que es un residuo embriológico de la migración de la base de la lengua³⁰.



La glándula tiroides se ubica en el compartimiento visceral del cuello y se sitúa bajo los músculos esternohioideo, esternotiroideo y omohioideo; en este compartimiento también se sitúan la faringe, la tráquea y el esófago, y está rodeado por la capa pretraqueal de la fascia³⁰.

Función (Fisiología)

La glándula tiroides, secreta las hormonas tiroxina (T₄) y triyodotironina (T₃), que estimulan al metabolismo; estas hormonas a su vez son reguladas por la TSH, hormona estimulante de la tiroides o tirotropina, que es secretada por la hipófisis anterior. También secreta calcitonina, hormona que regula las concentraciones sanguíneas de calcio y las almacena en los huesos³¹.

Otras de las funciones de la glándula tiroides es la de ayudar al cuerpo a utilizar energía, mantener en equilibrio la temperatura corporal y a que el cerebro, el corazón, los músculos y otros órganos funcionen normalmente³².

-
28. Marín, Grisales Marta E. Principios básicos de la función tiroidea. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: http://www.endocrino.org.co/files/Principios_Basicos_de_la_Funcion_Tiroidea.pdf
 29. Cáncer de tiroides. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: <http://mundoasistencial.com/cancer-de-tiroides/>
 30. Schünke, Michael. et. al. Prometheus: Texto y Atlas de Anatomía. Tomo 3. Cabeza, cuello y neuroanatomía. Editorial Panamericana. 2ª Edición. Pág. 200.
 31. Gartner, Leslie. James L. Hiatt. Histología, texto y atlas. Editorial McGraw-Hill Interamericana. Pág. 272.
 32. American Thyroid Association. Cáncer de Tiroides. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: http://www.thyroid.org/wp-content/uploads/patients/brochures/espanol/cancer_de_tiroides.pdf



V. DOSIMETRÍA Y MAGNITUDES EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

La dosimetría en radiología es de vital importancia, ya que monitorea y calcula las dosis de radiación con las cuales se trabajan en las distintas áreas médicas. De acuerdo con el principio “Tan bajo como sea razonablemente posible” (ALARA, por sus siglas en inglés), los odontólogos deben tomar radiografías de buena calidad en la dosis de radiación lo más baja posible para los pacientes³³.

A continuación se explicarán los términos y unidades usados en dosimetría para fines de esta investigación.

Exposición (X) y tasa de exposición (Ẋ)

El término *exposición* (X) está relacionado con la propiedad que tienen los rayos Röntgen y gamma de ionizar la materia, y en especial el aire; es decir, corresponde a la cantidad de radiación X capaz de liberar por ionización de 0.001293 gramos de aire una unidad electrostática (0.001293 gramos equivalen a la masa de 1 cm² de aire seco a 0°C y a 760 mm de presión)³⁴.

El Sistema Internacional de Unidades (SI), adoptó como unidad de exposición el coulomb (C) por cada kg de aire (C/kg_{aire}). Sin embargo, la unidad tradicional utilizada como unidad de exposición es el Röntgen (R), que equivale a $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg.

Esta magnitud al ser fácil de medir es muy utilizada, pero no ofrece información sobre el daño producido en el paciente debido a que no tiene en cuenta la radiosensibilidad de los tejidos u órganos que atraviesa.

La denominada *tasa de exposición* (Ẋ) es una magnitud que determina la variación de exposición con respecto al tiempo. En radiología, es muy usual medir la cantidad de R/h, mR/h o μ R/h detectados antes o después de un blindaje, es decir, para medir el riesgo que pueda haber en cierto lugar expuesto a radiación ionizante y muchas cámaras de ionización presentan estas unidades³⁵.



Dosis absorbida (D)

La *dosis absorbida*, representada por la letra “D”, es una medida de la cantidad de energía absorbida del haz de radiación por unidad de masa de tejido; su unidad es el Joule/kg, unidad a la que se le da el nombre especial de Gray (Gy). Anteriormente se utilizó el rad (*radiation absorbed dose*, por sus siglas en inglés), como unidad de esta medida, en donde 1 Gy es igual a 100 rad³⁶.

$$D = E/m = \text{J/kg} = \text{Gray (Gy)}$$

E= Energía absorbida por el tejido (Joule, J)

m= Masa del tejido (Kilogramo, kg)

Es una magnitud definida para cualquier tipo de radiación o material utilizada en radiobiología, debido a que estima el daño producido por la radiación en un órgano que ha sido irradiado por un tipo específico de radiación³⁵.

Dosis equivalente (H_T)

La *dosis equivalente* (H_T), es una medida que permite tener en cuenta la distinta eficacia radiobiológica de diferentes tipos de radiación. El daño biológico producido por las radiaciones depende de varios factores, entre otros, de la dosis absorbida y del tipo y energía de la radiación.

Esta medida se obtiene al introducir un valor numérico denominado factor de ponderación de radiación (W_R) que representa los efectos biológicos de diferentes radiaciones (valor de 1 para rayos X y gamma, 10 para neutrones y 20 para partículas alfa) multiplicada por la dosis absorbida; con lo cual, para los rayos X o gamma, al tener un valor de 1, la dosis absorbida y la dosis equivalente son numéricamente iguales.



La medida de dosis equivalente (H_T) proporciona una unidad común que permite realizar comparaciones entre un tipo de radiación y otro; su unidad es el Sievert (Sv), anteriormente se utilizó el rem (*Röntgen Equivalent Man*, por sus siglas en inglés), en donde 1 Sv es igual a 100 rem³⁶.

$$H_T = D \times W_R = J / \text{kg} = \text{Sievert (Sv)}$$

D = Dosis de radiación absorbida (J/kg)

W_R = Factor de ponderación de radiación

Dosis efectiva (E)

Esta medida permite comparar dosis de distintas partes del cuerpo convirtiéndolas en una dosis equivalente para todo el cuerpo; ya que la probabilidad de aparición de efectos biológicos en un órgano o tejido, depende no sólo de la dosis equivalente recibida por éste, sino también de su radiosensibilidad.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) ha asignado a cada tejido un valor conocido como *factor de ponderación de tejido* (W_T) el cual se basa en el riesgo de que el tejido resulte dañado por la radiación, cuanto más alto es el riesgo, mayor es el valor de este factor. La *dosis efectiva* (E) se calcula con la siguiente fórmula³⁶.

$$E = \sum H_T \times W_T = \text{Sievert (Sv)}$$

$\sum H_T$ = Sumatoria de dosis equivalente en cada tejido = Sievert (Sv)

W_T = Factor de ponderación de tejido respectivo

Cada uno de los coeficientes representa un porcentaje de la irradiación en el cuerpo entero (100%), y su suma total es igual a 1. Se debe aclarar que la dosis efectiva no es representativa de la dosis recibida por un paciente en particular, ya que estos coeficientes son genéricos y se extraen de numerosas estadísticas realizadas desde hace años en el área de la radiobiología³⁵.



CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.

Coeficientes de radiosensibilidad según los diferentes órganos y tejidos	
Tejido/órgano	W_T
Mama	0,12
Médula ósea roja	0,12
Colon	0,12
Pulmón	0,12
Estómago	0,12
Gónadas	0,08
Tiroides	0,04
Vejiga	0,04
Hígado	0,04
Esófago	0,04
Piel	0,01
Cerebro	0,01
Superficie ósea	0,01
Glándulas salivales	0,01
Resto del organismo	0,12

Figura 16. Factores de ponderación de tejido (W_T) establecidos por la CIPR en el 2007³⁵.

33. Bahreyni Toossi, M., Akbari, F., & Bayani Roodi, S. (2012). Radiation Exposure to Critical Organs in Panoramic Dental Examination. *Acta Med Iran*, 50(12), 809-813.
34. Recaredo A. Gómez Mattaldi. Radiología odontológica. Editorial Mundi. 2a Edición. 1975. Pág. 22.
35. D. Andisco, S. Blanco, A.E. Buzzi. Dosimetría en radiología. Revista Argentina de Radiología, Volumen 78, Issue 2, Abril-Junio 2014. Págs. 114-117, ISSN 0048-7619, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rard.2014.06.010>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004876191400012X>)
36. Whaites Eric, Drage Nicholas. Fundamentos de radiología dental. Elsevier Masson. 5ª ed. 2014. Págs. 57-64.



VI. EFECTOS NOCIVOS Y RIESGOS ASOCIADOS A LOS RAYOS X

Los efectos nocivos de la radiación ionizante se pueden presentar, dependiendo proporcionalmente de la cantidad de radiación absorbida (energía) y de la radiosensibilidad de las células que la absorben.

Daño tisular generado por la radiación

La acción de la radiación en las células, así como el daño producido en ellas, se clasifica como:

a) *Acción o daño directo*, producido por la ionización de macromoléculas, en donde el fotón de rayos X puede interactuar directamente con el ADN, ARN, proteínas y enzimas. Esta ionización en las macromoléculas produce un rompimiento de sus enlaces químicos. Entre los efectos cromosómicos que se pueden presentar después del daño directo son:

- Dificultad para transmitir información.
- Replicación anormal.
- Muerte de la célula.
- Daño temporal: La macromolécula se repara sin problema antes de una posterior división celular.

b) *Acción o daño indirecto*, en donde el fotón de rayos X ioniza el agua para producir radicales libres que dañan a las macromoléculas como el ADN. Entre las sustancias altamente reactivas y tóxicas que producen daño biológico, las cuales se pueden formar a partir de los radicales libres son el peróxido de hidrógeno y un radical hidroperoxilo. Debido a que el cuerpo humano está formado en su 80% por agua, la mayoría de las radiaciones ionizantes que se producen son indirectas³⁷.

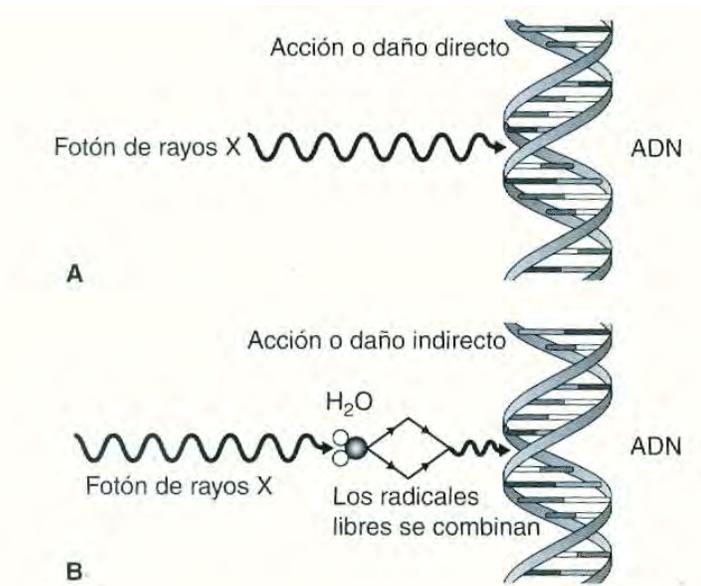


Figura 17. Diagrama que muestra la acción y los efectos dañinos de la radiación en las células³⁷.

Efectos biológicos inducidos por radiación

Independientemente del mecanismo de acción del daño del ADN y celular, los efectos biológicos de la radiación ionizante se clasifican en dos grupos principales:

Efectos deterministas (No estocásticos)

Son aquellos efectos nocivos que aparecen a partir de cierto umbral, se tiene la certeza de que se presentarán dada una determinada dosis de radiación. Se subdividen en:

- Reacciones tisulares precoces: Producidas poco después de la exposición a la radiación. Por ejemplo: El eritema cutáneo o la mucositis.
- Reacciones tisulares tardías: Aparecen tiempo después de la exposición (meses o años). Por ejemplo: La osteorradionecrosis³⁷.



Es importante mencionar la existencia de un conjunto de síntomas y signos que pueden presentarse en un ser humano tras ser expuesto a intensas dosis de radiación en todo el cuerpo, cuadro clínico definido como “*Síndrome agudo por radiación*”. Los síntomas clínicos son los siguientes:

- *Síntomas prodrómicos*: La persona expuesta a la radiación puede presentar trastornos del tracto gastrointestinal (anorexia, náuseas, vómito, diarrea), así como debilidad y fatiga a los pocos minutos a horas después de ser irradiado.
- *Síntomas hematopoyéticos*: Se lesionan las células madres hematopoyéticas de la médula ósea y del bazo. En semanas posteriores se pueden presentar infecciones y anemia.
- *Síntomas gastrointestinales*: Se lesionan las células epiteliales basales de las vellosidades intestinales lo que da lugar a pérdida de la capa epitelial de la mucosa intestinal, esto a su vez provoca pérdida del plasma y electrolitos debido a una ineficaz absorción intestinal; también se producen úlceras con hemorragias intestinales. Estos cambios a su vez generan diarrea, deshidratación y pérdida de peso, en casos más graves las bacterias endógenas del intestino atacan la superficie provocando septicemia. Estos síntomas se pueden presentar a las pocas horas pero generalmente se presentan entre el segundo y quinto día posteriores a la exposición.
- *Síndrome cardiovascular y del sistema nervioso central*: El curso de este síndrome puede tener una duración de pocos minutos hasta 48 horas antes del fallecimiento. El individuo presenta colapso del sistema circulatorio con un rápido descenso de la tensión arterial en las horas antes a su muerte; se produce necrosis del músculo cardíaco. También se puede presentar coma intermitente, incoordinación, desorientación y convulsiones, lo que sugiere una lesión grave en el sistema nervioso³⁸.



Síndrome Agudo de radiación	
Dosis en Gy	Manifestación
1-2	Síntomas prodrómicos
2-4	Síntomas hematopoyéticos leves
4-7	Síntomas hematopoyéticos graves
7-15	Síntomas gastrointestinales
50 †	Síntomas cardiovasculares y del sistema nervioso central

Figura 19. Manifestaciones agudas por exposición a determinada dosis de radiación ionizante³⁸.

Efectos estocásticos

Son aquellos que tienen una naturaleza aleatoria, es decir, es posible que si dos individuos han sido expuestos a radiación en las mismas condiciones uno de ellos presente efectos biológicos y el otro no; es decir, cuanto menor es la dosis de radiación, más baja resulta la probabilidad del daño celular. Son de naturaleza probabilística, no aparecen a partir de un umbral. Se subdividen en:

- Inducción del cáncer, se produce cuando la radiación afecta directamente al individuo en una o varias de sus células somáticas (pertenecientes a cuerpo o soma), provocando un efecto en su ADN y desarrollando un cáncer inducido por radiación.
- Efectos hereditarios (efectos genéticos), producidos cuando la radiación afecta a los órganos reproductores dañando el ADN de los espermatozoides u óvulos, lo que podría provocar una anomalía congénita en los descendientes de la persona irradiada.
- Efectos en el feto, cuando el feto se está desarrollando (3 o 7 semanas después de su concepción) es más sensible a los efectos producidos por la radiación y puede presentar los siguientes problemas: Anomalías congénitas, muerte, retraso mental o reducción del coeficiente intelectual e inducción del cáncer³⁷.



Figura 20. Niña de 9 años con hidrocefalia a causa de la radiactividad³⁹.

-
37. Whaites Eric, Drage Nicholas. Fundamentos de radiología dental. Elsevier Masson. 5ª ed. 2014. Págs. 65-68.
38. White, Stuart C. Michael J. Pharoah. Radiología Oral principios e interpretación. Editorial Elsevier Science. 4a Edición. Pág 34.
39. Hernández-Flórez, Cristhian Eduardo. (2012). Editorial. *Medicas UIS*, 25(3), 179-187. [citado 04 de Diciembre del 2015] Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-03192012000300001&lng=en&tlng=es.



VII. PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN EN RADIOLOGÍA

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, por sus siglas en inglés) estableció un sistema de limitación de dosis que considera que toda práctica que implique el uso de radiaciones ionizantes debe ajustarse a tres principios:

- *Principio de justificación:* Toda exposición a la radiación debe representar más beneficio que daño a la persona expuesta. Cuando un paciente se expone a un estudio radiológico, el riesgo a la radiación, debe de ser recompensado por un beneficio, en este caso sería el de obtener un diagnóstico médico que lo ayude a establecer un tratamiento adecuado.
- *Principio de optimización de la protección:* La probabilidad de recibir exposiciones, el número de personas expuestas, y la magnitud de las dosis individuales deberían mantenerse tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores económicos y sociales. Este principio es conocido como “As Low As Reasonably Achievable” (ALARA, por sus siglas en inglés).
- *Principio de aplicación de límites de dosis:* En situaciones de exposición planificada para fuentes reguladas, que no consistan en exposiciones médicas de pacientes, la dosis total de cualquier individuo no debe exceder los límites pertinentes recomendados por la Comisión. Los límites de dosis reglamentarios son decididos por la autoridad reguladora teniendo en cuenta las recomendaciones internacionales, y se aplican a trabajadores y miembros del público en situaciones de exposición planificada⁴⁰.



Límites de dosis (Comisión Internacional de Protección Radiológica)

El límite de dosis anual, establecido en 1956, en 50 mSv para los trabajadores, hasta 1990 se lo redujo a 20 mSv en promedio por año basado en la revisión de riesgo de los efectos estocásticos estimados del estudio durante toda la vida de los sobrevivientes de los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki.

El límite de dosis anual para los miembros del público de 5 mSv fue reducido a 1 mSv en promedio por año en “la declaración de París” de la Comisión (1985) y en la Publicación 60 el límite de dosis fue fijado en 1 mSv por año con la posibilidad de promediarlo a lo largo de 5 años.

Los límites de dosis son sólo aplicables a situaciones de exposición planificada excepto en las exposiciones médicas de pacientes. La Comisión considera que los límites de dosis existentes que fueron recomendados en la Publicación 60 continúan proporcionando un nivel adecuado de protección⁴⁰.

Tipo de límite	Ocupacional	Público
Dosis efectiva	20 mSv por año promediada en periodos definidos de 5 años ^a	1 mSv en un año ^f
Dosis equivalente anual en:		
Cristalino ^b	150 mSv	15 mSv
Piel ^{c,d}	500 mSv	50 mSv
Manos y pies	500 mSv	---

^a Los límites de dosis efectivas son para la suma de las dosis efectivas de relevancia procedentes de exposiciones externas en el periodo de tiempo especificado y la dosis efectiva comprometida de la incorporación de radionucleidos en el mismo periodo. Para adultos, la dosis efectiva comprometida se calcula para un periodo de 50 años tras la incorporación, mientras que para niños se calcula para el periodo de hasta 70 años de edad.

^b Este límite está actualmente siendo revisado por un Grupo de Trabajo de la ICRP.

^c La limitación de dosis efectiva proporciona una protección suficiente para la piel frente a efectos estocásticos.

^d Promediado en un área de 1 cm² de piel, independientemente del área expuesta.

^e Con la condición adicional de que la dosis efectiva no debe exceder los 50 mSv en ninguno de los años individuales. En el caso de la exposición ocupacional de mujeres embarazadas se aplican restricciones adicionales.

^f En circunstancias especiales, se puede permitir un nivel superior de dosis efectiva en un único año, a condición de que la media durante 5 años no exceda 1 mSv por año.

Figura 21. Límites de dosis por ICRP (por sus siglas en inglés)⁴⁰.

40. Publicación 103 ICRP. Senda Editorial S.A. 2007. Págs. 34, 77-78, 86.



Factores básicos de protección contra la radiación

Para protegernos de las radiaciones, tanto pacientes como clínicos, existen 3 parámetros básicos: Tiempo, distancia y blindaje.

- *Tiempo*: A mayor tiempo de exposición, mayor dosis y a menor tiempo de exposición, menor dosis. La dosis a la que las personas están expuestas depende directamente del tiempo.
- *Distancia*: Como se explicó anteriormente la “Ley del inverso al cuadrado”, la dosis con la distancia varía a razón inversa del cuadrado de la distancia, es decir si a 1 metro de la fuente recibimos una exposición I, a 2 metros se reducirá por un factor de $2^2=4$, y así sucesivamente. Mientras mayor sea la distancia, menor es la exposición.
- *Blindaje*: Son un factor importante en la protección radiológica, ejemplos de barreras los tenemos en la coraza del tubo, las paredes emplomadas (2 mm de plomo aproximadamente) o baritadas de las salas de rayos X, los mandiles y guantes emplomados, etc⁴¹.

Como podemos observar, si se usan barreras, tiempos y distancias adecuadas, es posible tomar considerable número de radiografías sin riesgo.

41. Vimal K. Sikri. Fundamentos de radiología dental. 4ª edición. Amolca. 2012.



VIII. Norma Oficial Mexicana 229-SSA1-2002

La Norma Oficial Mexicana 229 establece los criterios de diseño, construcción y conservación de las instalaciones fijas y móviles, los requisitos técnicos para la adquisición y vigilancia del funcionamiento de los equipos de diagnóstico médico con rayos X, los requisitos sanitarios, criterios y requisitos de protección radiológica que deben cumplir los Titulares, Responsables, Asesores Especializados en Seguridad Radiológica en establecimientos para diagnóstico médico que utilicen equipos generadores de radiación ionizante (rayos X) para su aplicación en seres humanos, quedando incluidos los estudios panorámicos dentales y excluidas las aplicaciones odontológicas convencionales y densitometría ósea, con el fin de garantizar la protección a pacientes, personal ocupacionalmente expuesto y público en general.

Límites de dosis

16.1 Las dosis de rayos X que reciban el Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) y el público, con motivo de la operación de los establecimientos de diagnóstico médico con rayos X, deben mantenerse tan bajas como razonablemente pueda lograrse y estar siempre por debajo de los límites establecidos en los ordenamientos legales aplicables.

16.1.1 Para el POE, el límite del equivalente de dosis efectiva anual ($H_{E, L}$) para los efectos estocásticos es de 50 mSv (5 rem). Para los efectos deterministas es de 500 mSv (50 rem) independientemente de si los tejidos son irradiados en forma aislada o conjuntamente con otros órganos. Este límite no se aplica al cristalino, para el cual se establece un límite de 150 mSv (15 rem).

16.1.2 Las mujeres ocupacionalmente expuestas que se encuentren embarazadas sólo podrán trabajar en condiciones donde la irradiación se distribuya lo más uniformemente posible en el tiempo y que la probabilidad de que reciban un equivalente de dosis anual mayor de 15 mSv (1.5 rem) sea muy baja⁴².



16.1.3 Los límites anuales de equivalente de dosis para individuos del público para efectos estocásticos es de 5 mSv (0.5 rem) y para los efectos deterministas es de 50 mSv (5 rem). Estos límites de dosis se aplican al grupo crítico de la población, o al individuo más expuesto.

16.2 Los límites establecidos no se aplican a los pacientes sometidos a estudios radiológicos.

16.3 Ninguna persona menor de 18 años puede formar parte del POE⁴².

Límite de dosis anual	Efectos estocásticos	Efectos determinísticos
P.O.E.	50 mSv	500 mSv
Mujeres embarazadas ocupacionalmente expuestas	15 mSv	*
Público	5 mSv	50 mSv

42. Norma Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002. Salud ambiental. [citado 04 de Diciembre del 2015]
Disponible en:
<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SSA/Normas/Oficiales/NOM-229-SSA1-2002.pdf>



IX. Dosimetría

La dosimetría en radiología es de vital importancia, ya que monitorea y calcula la dosis de radiación absorbida en tejidos y materia como resultado de la exposición a la radiación ionizante⁴³.

Existen dispositivos que dependiendo de su funcionamiento, calculan la cantidad de radiación recibida a lo largo de un período de tiempo, llamados dosímetros, ejemplos de ellos son: Tarjetas de película, dosímetros termoluminiscentes (TLD), dosímetros de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL) y dosímetros electrónicos personales (PED).

- *Tarjetas de película:* Consisten en un marco de plástico que contiene filtros metálicos y una pequeña película radiográfica que reacciona a la radiación.
- *Dosímetros termoluminiscentes:* Contienen materiales como fluoruro de litio, que absorbe la radiación y después emite la energía en forma de luz cuando se calienta; la intensidad de la luz emitida es proporcional a la energía de radiación absorbida originalmente.
- *Dosímetros de luminiscencia ópticamente estimulada:* Consisten en una tarjeta con un detector de óxido de aluminio, filtros de metal y plástico. El detector se lee mediante su exposición a una fuente luminosa, que libera energía de la radiación en forma de luz azul.
- *Dosímetros electrónicos personales:* Son dispositivos que funcionan con baterías y suelen estar basados en un diodo de silicio (detector en estado sólido) activado por energía para medir la dosis de radiación⁴⁴.



Figura 22. Ejemplos de dosímetros personales⁴⁴.

Nosotros nos enfocaremos en los dosímetros de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL), los cuales fueron utilizados en nuestro estudio. Sin embargo, mencionaremos información acerca de los dosímetros termoluminiscentes, ya que posteriormente se hará una comparación de datos obtenidos en otro estudio con los resultados obtenidos en nuestro estudio.

43. Bahreyni Toossi, M., Akbari, F., & Bayani Roodi, S. (2012). Radiation Exposure to Critical Organs in Panoramic Dental Examination. *Acta Med Iran*, 50(12), 809-813.

44. Whaites Eric, Drage Nicholas. *Fundamentos de radiología dental*. Elsevier Masson. 5ª ed. 2014. Págs. 73-75.

Dosímetros de Luminiscencia Ópticamente Estimulada (OSL)

Los dosímetros OSL, actualmente se han utilizado para el control de la dosis de radiación durante más de una década⁴⁵.

Este tipo de dosímetro consiste en una tarjeta que contiene un detector de óxido de aluminio (estructura o red cristalina), filtros de metal y plástico. Al ser irradiado el dosímetro, los electrones de la red cristalina son excitados, haciendo que queden atrapados en trampas de la propia red. El dosímetro al ser leído para la cuantificación de dosis, se coloca en el lector, en donde el detector es leído mediante su exposición a una fuente luminosa de luz verde, que libera la energía de radiación almacenada en el óxido de aluminio en forma de luz azul (luminiscencia). La exposición a la radiación se puede calcular a partir de la cantidad e intensidad de la luz azul liberada^{44, 45,46}.

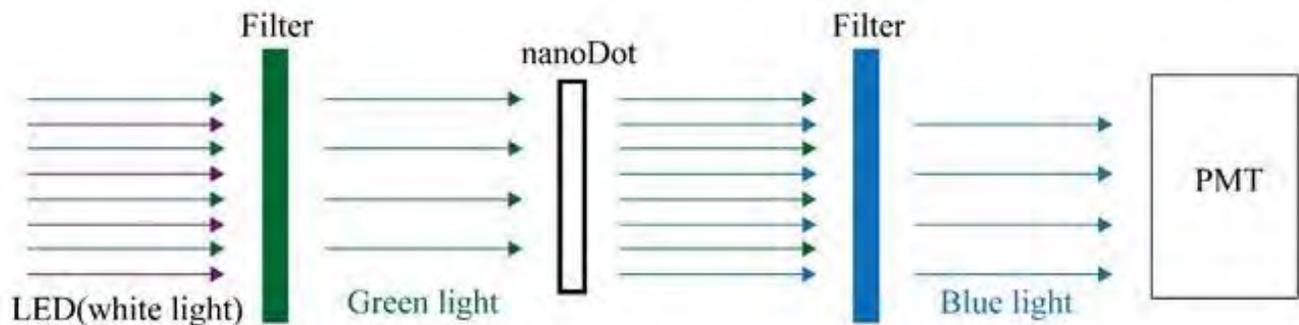


Figura 23. Esquema de lectura de dosímetro OSL⁴⁷.



Las ventajas de este tipo de dosímetros son:

- Su lectura es rápida, no destructiva.
- Se pueden realizar múltiples lecturas debido a que pueden ser utilizados como un registro permanente de la dosis absorbida de radiación, debido a que pueden ser leídos después del lapso en que fueron irradiados.
- Tienen buena sensibilidad y responden a un rango amplio de energías⁴⁴.

Las desventajas de los dosímetros TLD en comparación con los OSL, es que su lectura es destructiva (no ofrece registro permanente), es decir, los resultados no pueden verificarse ni reevaluarse; sólo proporcionan información limitada sobre el tipo y la energía de la radiación, los gradientes de dosis no son detectables y son relativamente caros⁴⁴.

45. Akselrod MS, Botter-Jensen L, McKeever SWS. Optically stimulated luminescence and its use in medical dosimetry. *Radiat Measure* 2010; 41: 78–99.

46. Dosimetría personal. OSL (Optical Stimulated Luminescence). [citado 11 de Diciembre del 2015] Disponible en: http://www.asesoresenradiaciones.com.mx/dosimetria_personal.html

47. Measurement method of an exposed dose using the nanoDot dosimeter. [citado 11 de Diciembre del 2015] Disponible en: http://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing_poster&task=viewsection&pi=128615&ti=426493&searchkey=



X. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

En la práctica odontológica, la toma de radiografías es considerada como uno de los procedimientos odontológicos necesarios para el correcto diagnóstico y tratamiento de pacientes con problemas dentales; sin embargo, se debe de mantener una adecuada gestión y control de las dosis de radiación a los pacientes en cada toma realizada, debido a los posibles efectos nocivos de la radiación ionizante.

Ortopantomografía

Se eligió realizar el estudio de investigación en base a la toma de ortopantomografías, debido a que es uno de los métodos más utilizados y apropiados para el diagnóstico en odontología. Se redactará una breve introducción acerca de este tipo de radiografías.

La radiografía panorámica (Ortopantomografía) es un examen imagenológico que nos permite observar todas las estructuras dentarias y maxilofaciales en una imagen plana; este tipo de estudio registrará una imagen de toda la arcada dentaria superior e inferior, cavidad glenoidea, articulación temporomandibular, así como algunas otras estructuras anatómicas del tercio medio de la cara, sin ningún corte en la línea media^{48,49}.

El padre de la radiografía panorámica es el Dr. Yrjö Veli Pateero, quién en 1946, en un paciente colocó una película por lingual de sus dientes en cada maxilar, y tomó dichas radiografías mientras movía al paciente mediante una silla giratoria. En 1949, coloca una película fuera de la cavidad bucal, mientras el chasis y el paciente giraban en un eje vertical. Pateero denominó a esta técnica “Pantomografía”, años después se cambia el nombre a “Ortopantomografía”.

En los últimos años con el avance de la tecnología, se han creado equipos panorámicos digitales, los cuales funcionan a base de dos sistemas: Unos tienen un sensor CCD (Charge Couple Device) que transmite la imagen directamente a un computador; otros emplean placas de fósforo fotoestimulable que al ser



estimuladas por los rayos, se someten a un lector o escáner para la obtención de la imagen.

Algunos pacientes expresan temor en caso en el que se tenga que repetir una ortopantomografía debido al tiempo prolongado que dura la exposición a los rayos al tomar una de ellas. Existe un concepto conocido como BERT (Background Equivalent Radiation Time) que compara la dosis efectiva recibida por una exposición a los rayos X en un tiempo dado, en el que la dosis efectiva de una radiografía panorámica es de 0.01 mSv, dosis que es muy baja⁴⁸.

Toda técnica radiográfica presenta ventajas y desventajas, para el caso de la ortopantomografía, se mencionarán a continuación:

Entre las ventajas se encuentran las siguientes:

- Se obtiene una imagen global de todos los dientes, sus estructuras de soporte y de los maxilares (superior e inferior); es fácil de comprender tanto para el clínico como para explicación al paciente.
- Permite una valoración rápida de cualquier patología, fractura, enfermedad periodontal o para hacer una evaluación ortodóncica.
- Para la toma de ortopantomografías, la colocación del paciente es sencilla y requiere mínima experiencia.
- Se muestran bien el suelo y las paredes medial y posterior de los senos maxilares.
- Las cabezas de ambos cóndilos se muestran en una única placa, facilitando su comparación.
- La dosis de radiación (dosis efectiva) puede ser menor que la dosis de una evaluación de boca completa con placas intraorales⁴⁹.



Entre sus desventajas se pueden considerar:

- La imagen panorámica representa sólo una sección del paciente.
- Las sombras aéreas y de partes blandas pueden superponerse a las estructuras de tejidos duros en estudio.
- Las sombras fantasmas pueden superponerse a las estructuras del plano focal.
- El movimiento del paciente produce distorsión de la imagen.
- La técnica no resulta adecuada para niños menores de seis años de edad o para algunos pacientes discapacitados por la duración del ciclo de exposición⁴⁹.

48. Urzúa N., Ricardo y Andrés, Briner B. Técnicas radiográficas dentales y maxilofaciales, aplicaciones. Amolca. 2005. Colombia. Págs. 121,178.

49. Whaites Eric, Drage Nicholas. Fundamentos de radiología dental. Elsevier Masson. 5ª ed. 2014. Pág. 184.



Se debe conocer el concepto de haz primario, para saber lo que es la radiación secundaria:

- Se define como haz primario a la radiación ionizante proveniente del tubo de rayos X, que sale por la ventana de la coraza, atraviesa la filtración y es colimado por los dispositivos pertinentes, para obtener la imagen de interés clínico.
- La radiación secundaria es la suma de la radiación dispersa y de la radiación de fuga. La radiación de fuga es la radiación generada en el tubo de rayos X y que atraviesa la coraza del mismo, exceptuando el haz primario. La radiación dispersa es la fracción del haz primario cuya dirección y energía han sido modificadas al interactuar con la materia; en diagnóstico médico con rayos X se considera al paciente como el principal dispersor de la radiación del haz primario⁵⁰.

50. NORMA Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002. Salud ambiental. [citado 04 de Diciembre del 2015]

Disponible en:

<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SSA/Normas/Oficiales/NOM-229-SSA1-2002.pdf>

Se realizó un estudio para estimar la dosis de radiación secundaria en la zona de la glándula tiroides durante la toma de ortopantomografías digitales utilizando dosímetros de tecnología OSL y verificar que dicha dosis se encuentre dentro de los límites establecidos por la norma oficial mexicana NOM-229-SSA1-2002.

Se analizaron a pacientes que acudieron a la Clínica de Admisión de la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPeI) de la Facultad de Odontología, UNAM; los cuales, con previa historia clínica fueron remitidos por una ortopantomografía digital a la Clínica de Imagenología de la DEPeI, la cual cuenta con un ortopantomógrafo digital “Instrumentarium OP200 D”.



Ilustración 1. Ortopantomógrafo “Instrumentarium OP200 D”.

El estudio se realizó en 318 pacientes.

Todos los pacientes que participaron en el estudio cumplieron los criterios de inclusión establecidos y aceptaron firmar un consentimiento informado que se les proporcionó acerca del estudio de investigación.



Ilustración 2. Paciente lee y firma consentimiento informado del estudio de investigación.

Posteriormente el investigador principal, procedió a pesar a cada paciente en una báscula y a escribir en la tabla de captura los datos correspondientes de cada paciente para su registro: Nombre, edad, sexo, peso, antecedentes hereditarios patológicos, mA, t (s), código de registro por dosímetro y firma.



Ilustración 3. Se pesa al paciente para registro de datos.



Ilustración 4. El investigador principal registró a cada paciente en la tabla de captura de datos.

Antes de la toma de la ortopantomografía, el investigador observó a cada paciente y dependiendo de su complexión corporal (grande, mediana, pequeña), procedió a colocar con cinta micropore 3 dosímetros de tecnología OSL tomando como referencia anatómica la prominencia laríngea (uno a la izquierda de ésta, otro sobre ella y otro a la derecha de ésta).



Ilustración 5. El investigador palpa al paciente, y localiza la prominencia laríngea para colocación de los dosímetros.



Ilustración 6. El investigador coloca los tres dosímetros.

El ortopantomógrafo digital se programó con 66 kV, 5 mA y 14.1 s para la toma de cada radiografía.



Ilustración 7. Programación del Ortopantomógrafo.

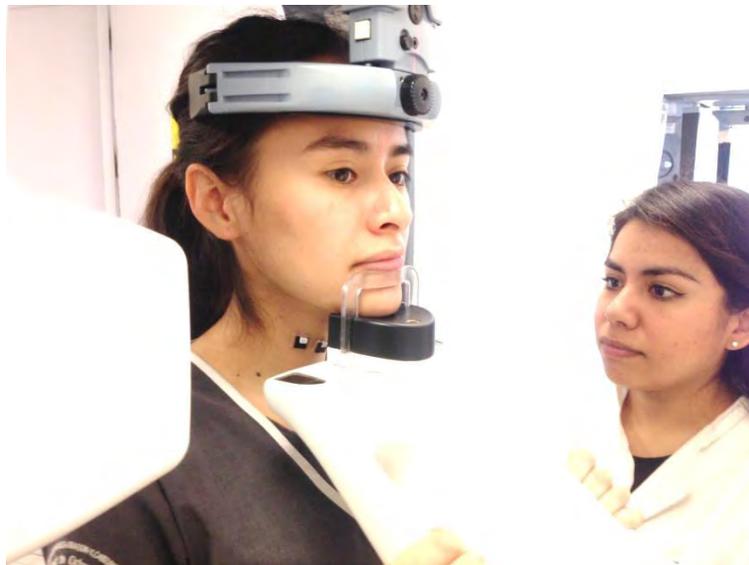


Ilustración 8. La ortopantomografía es tomada al paciente con los dosímetros colocados.

Posteriormente, el paciente ingresó a la sala en donde se le tomó la ortopantomografía con los dosímetros colocados. Y una vez tomada la radiografía, se le retiraron los dosímetros al paciente y se le entregó una copia de su consentimiento informado.

Se debe aclarar que una misma serie de tres dosímetros fueron utilizados 5 veces en pacientes de la misma complejión, de acuerdo a su género (masculino o femenino) para llevar un control de los dosímetros irradiados. Esto fue realizado debido a que la radiación que emite el ortopantomógrafo, es muy poca, y haciendo esto, se podría tener una dosis mayor para la lectura en el software OSL “Microstar® Reader”.

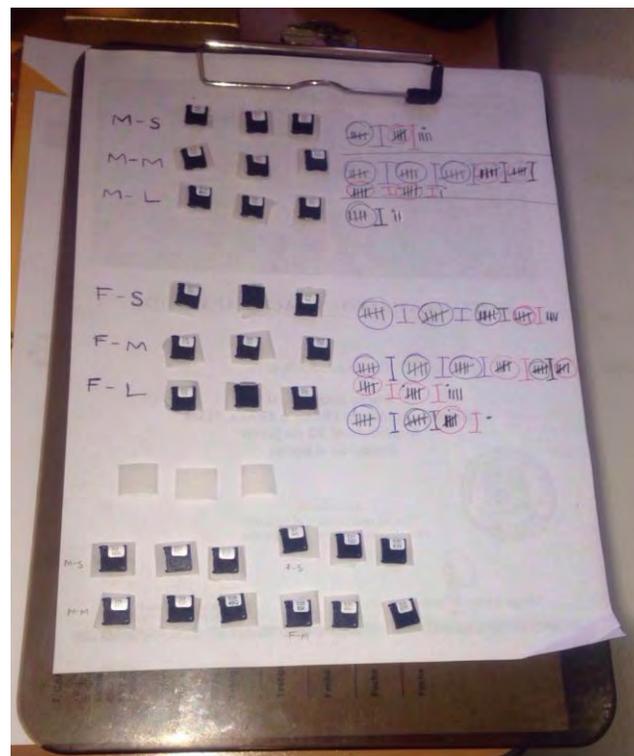


Ilustración 7. Ejemplo del control de los dosímetros, de acuerdo a género y complejión del paciente.

Cada viernes se llevaron los dosímetros a ser evaluados, al Departamento de Física en Centro Médico Nacional Siglo XXI.

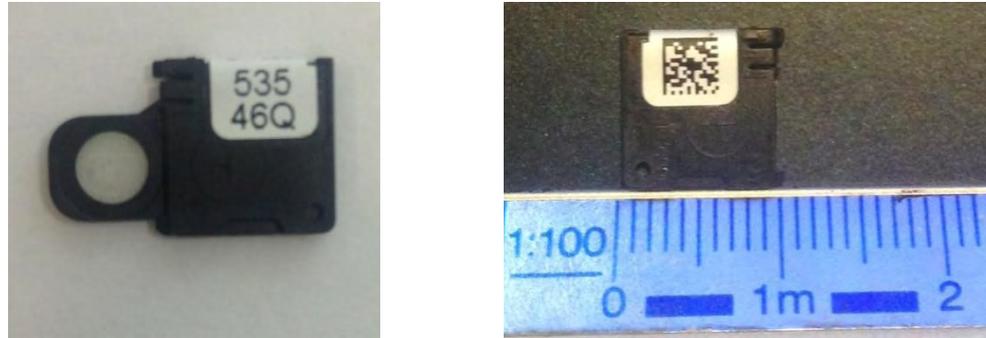


Ilustración 8. Dosímetro de luminiscencia ópticamente estimulada (OSL). Medida de 1 cm por cada lado.

Los pasos para la lectura de los dosímetros de tecnología OSL mediante el uso del software Microstar® Reader fueron los siguientes:



Ilustración 9. Equipo de software Microstar® Reader para lectura de los dosímetros de tecnología OSL.

- 1) Se coloca el dosímetro en el porta- dosímetro de plástico y después con el escáner de código se registra el dosímetro en el software.

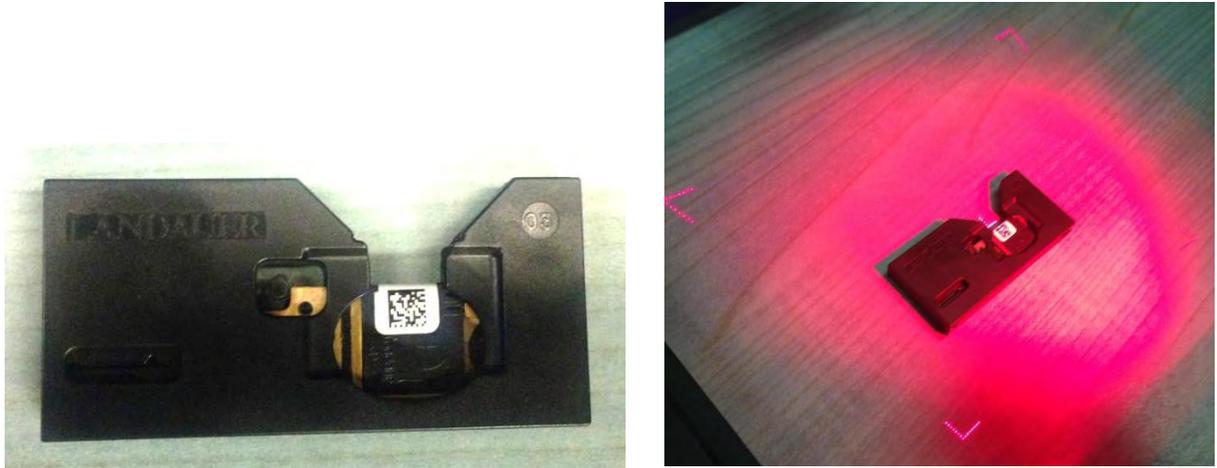


Ilustración 10. Muestra de porta-dosímetro y escaneo de dosímetro para su registro.

- 2) Se coloca el porta-dosímetro en el cargador de lectura del software y se asegura cerrándolo para su lectura posterior.



Ilustración 11. Muestra del cargador de lectura del software.

- 3) Se gira el indicador de medida para iniciar con el proceso de lectura del Software. Y automáticamente en la pantalla aparece la dosis de radiación en mSv que se registró del dosímetro OSL.



Ilustración 12. Vista del equipo de software antes de asegurar la lectura del dosímetro.

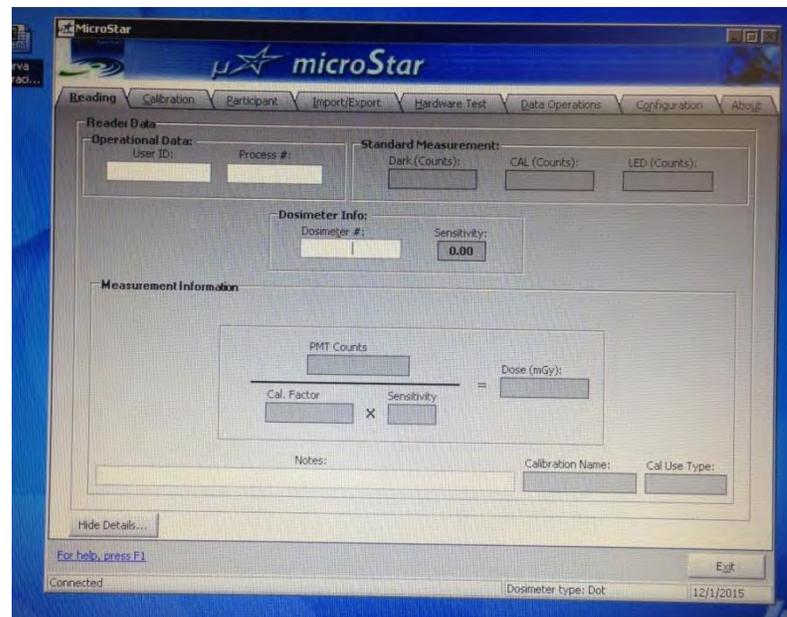


Ilustración 13. Pantalla de muestra de lectura de datos del software Microstar.

- 4) Se gira nuevamente el indicador de medida a su posición original, se abre el cargador que aloja el dosímetro y se retira para así continuar con la lectura de otro dosímetro OSL.

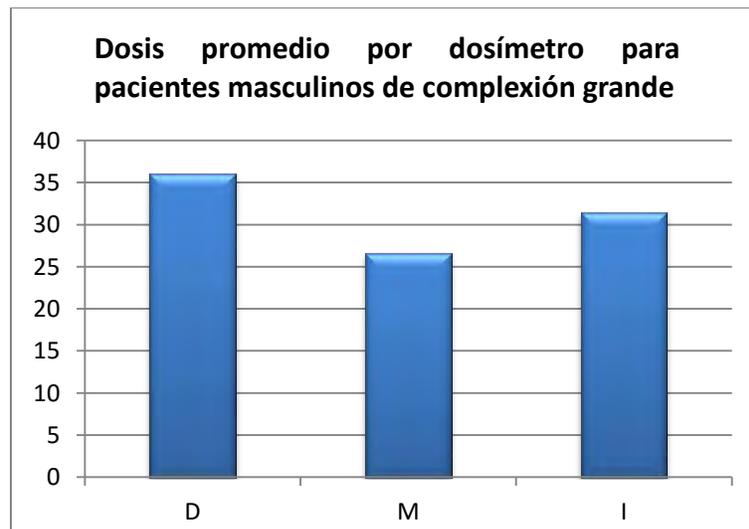


Al terminar con la lectura de todos los dosímetros, automáticamente se registraron en una hoja de cálculo de Excel todas las dosis de radiación. Posteriormente cada dosis obtenida fue dividida entre 5 para así obtener la dosis individual de cada paciente. Se obtuvieron los siguientes datos:

Resultados de la dosis de radiación

La unidad principal que utilizaremos en nuestro estudio será el Sv, debido a que como se mencionó anteriormente, es una unidad que se usa para fines de protección radiológica. Recordemos que esta medida se obtiene al multiplicar el factor de ponderación de radiación (W_R), que representa los efectos biológicos de diferentes radiaciones, por la dosis absorbida; con lo cual, para los rayos X al tener un valor de 1, la dosis absorbida y la dosis equivalente son numéricamente iguales.

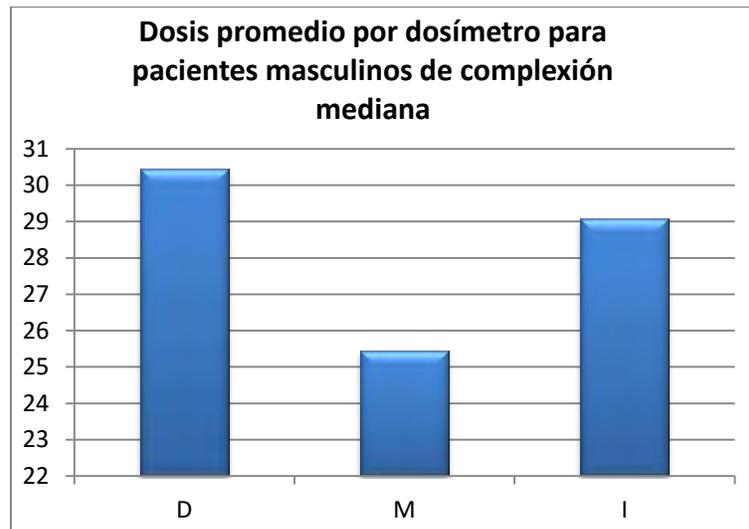
El software Microstar® Reader, al realizar la lectura de las dosis, nos proporcionó unidades de mSv, por lo que se realizó la conversión de las dosis de radiación obtenidas a μ Sv, para facilitar la lectura de las dosis a números enteros.



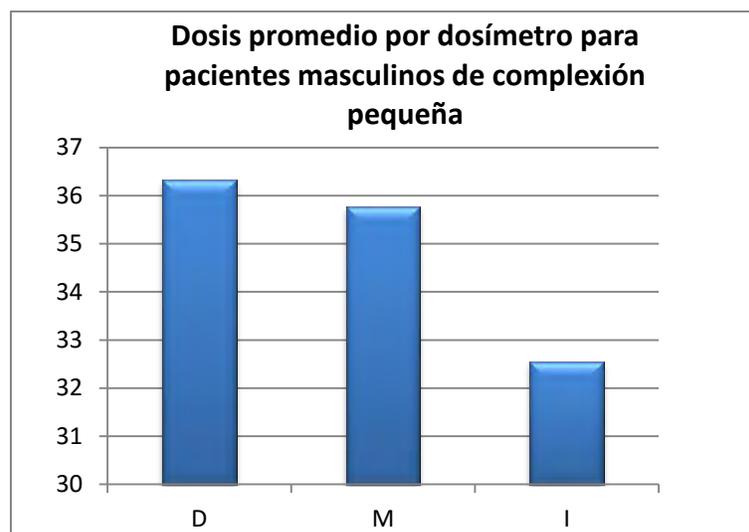
Posición de Dosímetro	Derecha	Media	Izquierda
Promedio Total de Dosis (μ sv)	30.45660876	25.45642356	29.06766842



CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.



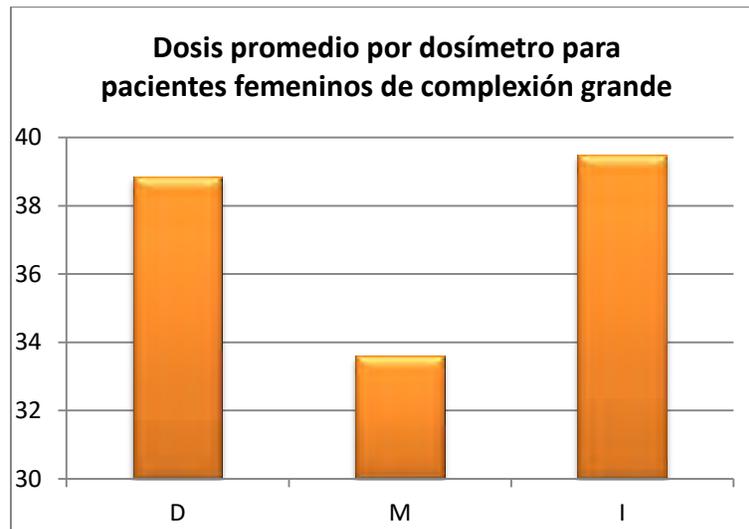
Posición de Dosímetro	Derecha	Media	Izquierda
Promedio Total de Dosis (µsv)	30.45660876	25.45642356	29.06766842



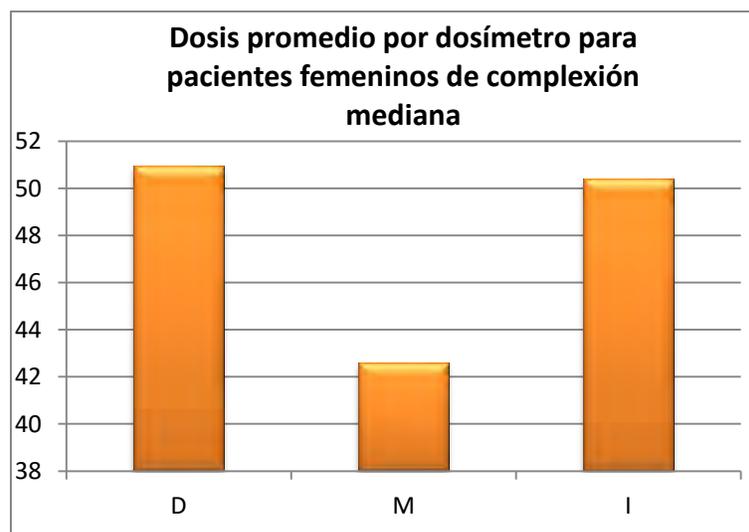
Posición de Dosímetro	Derecha	Media	Izquierda
Promedio Total de Dosis (µsv)	36.31672105	35.76226729	32.54217047



CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.



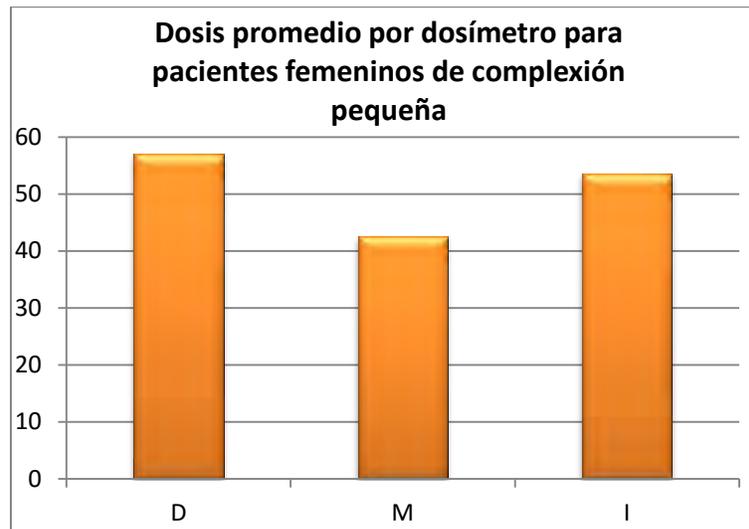
Posición de Dosímetro	Derecha	Media	Izquierda
Promedio Total de Dosis (μsv)	38.8473049	33.60487351	39.46928824



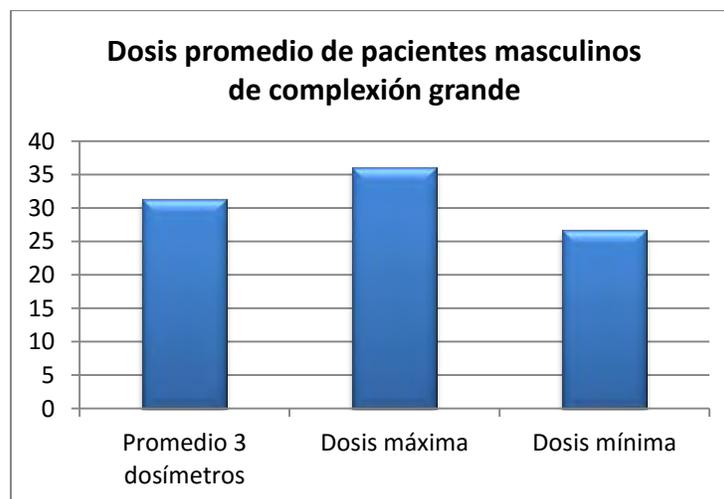
Posición de Dosímetro	Derecha	Media	Izquierda
Promedio Total de Dosis (μsv)	50.9518631	42.58935997	50.38826995



CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.

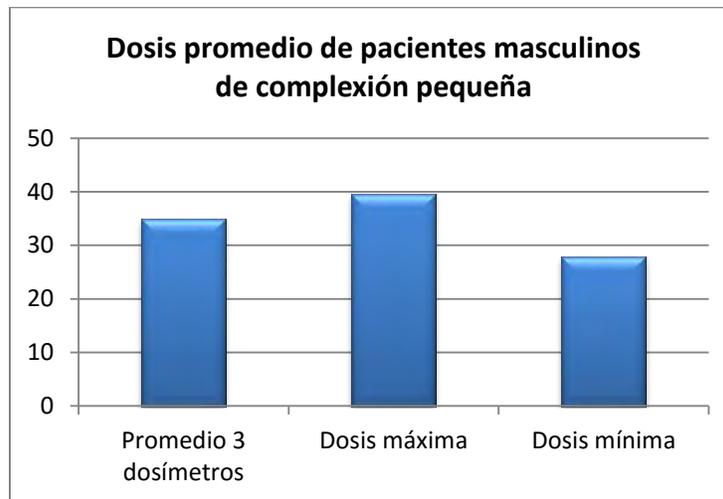
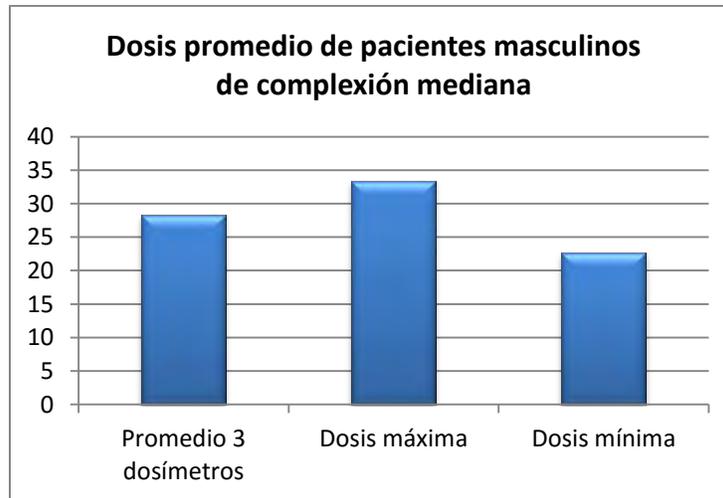


Posición de Dosímetro	Derecha	Media	Izquierda
Promedio Total de Dosis (μsv)	56.986602	42.58243622	53.61335187

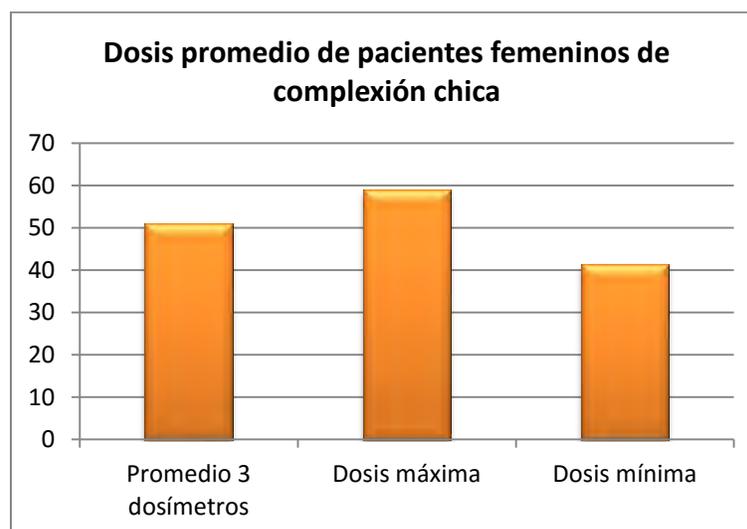
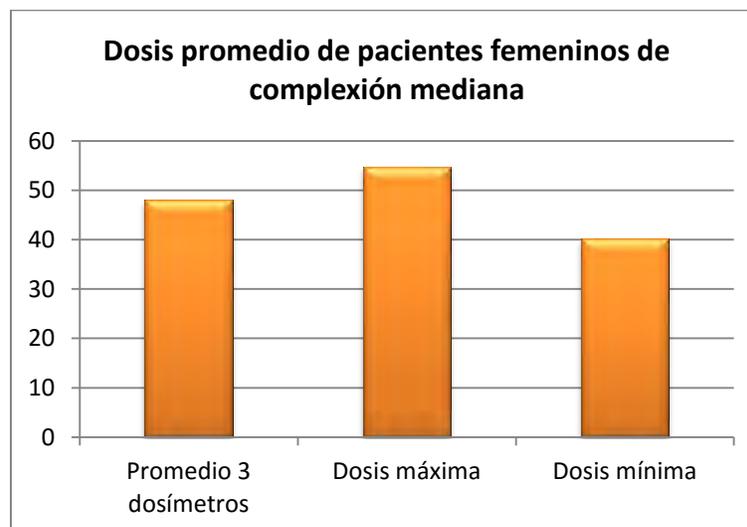
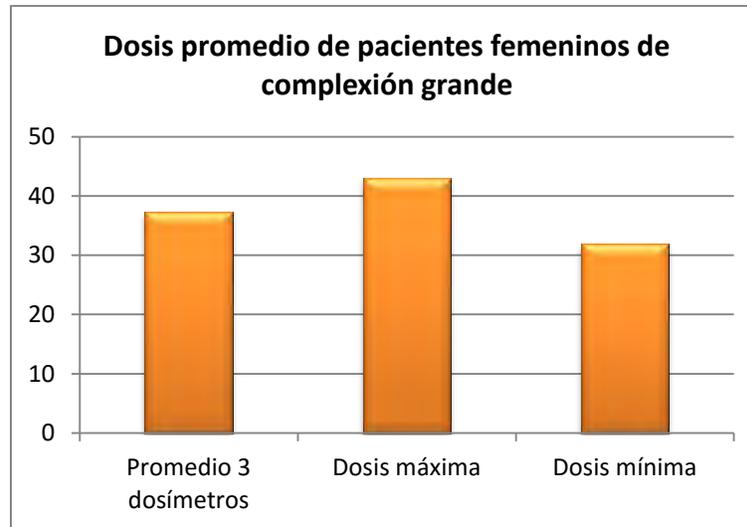




CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.



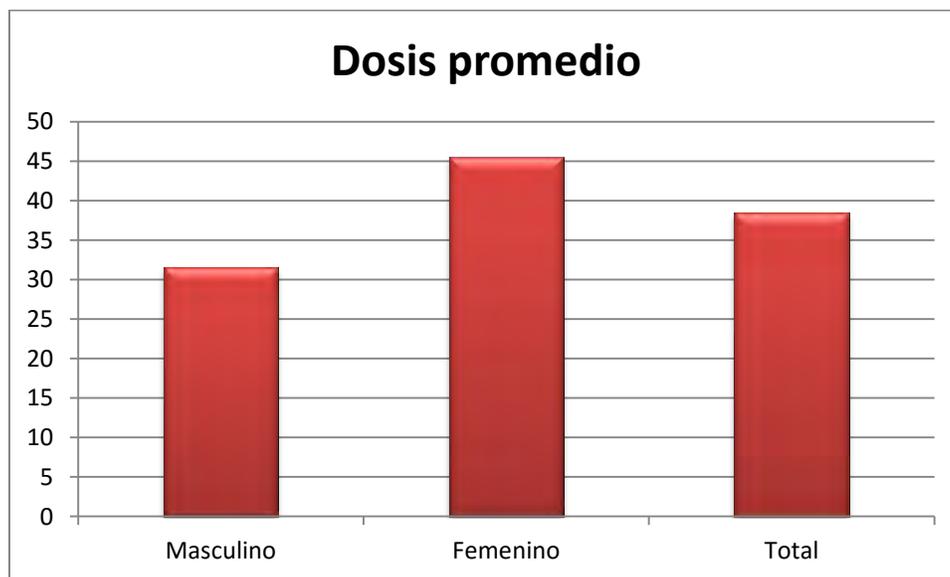
Promedio dosis (μsv) masculino	3 dosímetros	Dosis máxima	Dosis mínima
Complexión Grande	31.35684786	36.03949417	26.62977417
Complexión Mediana	28.32690025	33.42996991	22.64861287
Complexión Pequeña	34.8737196	39.57946815	27.8079884





CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.

Promedio dosis (μsv) femenino	3 dosímetros	Dosis máxima	Dosis mínima
Compleción Grande	37.30715553	43.07679185	31.89886195
Compleción Mediana	47.97649766	54.76500199	40.25374891
Compleción Pequeña	51.06079669	58.8864785	41.39986003



	Promedio Masculino	Promedio Femenino	Promedio Total
Dosis (μsv)	31.5191559	45.44815	38.48365293



Análisis de resultados

En este estudio de investigación se obtuvo 38.48 μsv como valor promedio de dosis de radiación en la zona de tiroides durante la exposición a ortopantomografías digitales, por lo que de acuerdo a los límites más bajos (es decir, los del público) establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002, se tendrían que tomar en un solo día, aproximadamente 130 ortopantomografías en un mismo paciente para causar un efecto estocástico (5 mSv); y para causar un efecto determinístico (50mSv) en un solo día, en un mismo paciente se tendrían que tomar aproximadamente 1,300 ortopantomografías.

Otro de los objetivos de este estudio de investigación fue el de comparar los resultados obtenidos de las dosis de radiación secundaria en la zona de tiroides por medio del uso de dosímetros OSL con resultados obtenidos en otros estudios por medio del uso de dosímetros OSL y termoluminiscentes durante la toma de ortopantomografías digitales.

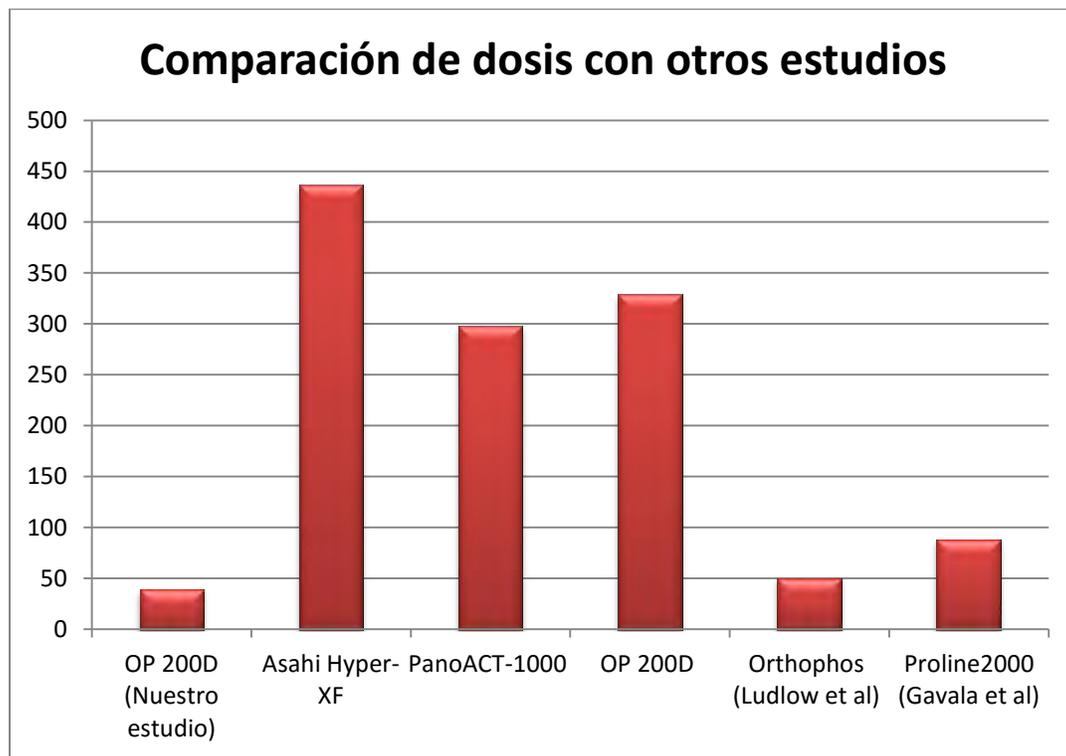
En un estudio realizado en el 2010 (A Endo y Cols), en un maniquí antropomórfico equivalente de tejido se midieron las dosis de órganos durante la toma de ortopantomografías de tres unidades panorámicas de rayos X diferentes, comparando las dosis obtenidas con el uso de dosímetros OSL con los valores de dosis obtenidas con dosímetros TLD por los autores Ludlow y Gavala. Las unidades panorámicas emplearon los siguientes parámetros de funcionamiento: Hyper-XF (Asahi Roentgen, Kyoto, Japón), 78 kV, 10 mA, 12 s; PanoACT-1000 (Axion Japón, Tokio, Japón), 80 kV, 6 mA, 12 s; y OP 200D (Instrumentarium, Finlandia), 66 kV, 10 mA, 17,6 s. Con el fin de obtener lecturas fiables con los dosímetros, éstos fueron expuestos 100 veces a la radiación para el PanoACT-1000 y OP 200D, y 50 veces para el Hyper-XF. El número de tomas de ortopantomografías se decidió sobre la base de los parámetros de funcionamiento de los ortopantomógrafos. A continuación, la dosis acumulativa de radiación obtenida después de las tomas se dividió por el número de repeticiones de exposición a la radiación para cada máquina, obteniendo así la dosis de órgano por cada exposición.



En esta investigación nos enfocaremos en los valores obtenidos en la tiroides, que es nuestro sitio de interés anatómico.

TEJIDO	OP 200D (66 kV/5 mA/14.1 s)	<i>Asahi Hyper-XF (78 kV/10 mA/12 s)</i>	<i>PanoACT-1000 (80 kV/6 mA/12 s)</i>	<i>OP 200D (66 kV/10 mA/17.6 s)</i>	<i>Orthophos (Ludlow et al) (66 kV/16 mA/14.1 s)</i>	<i>Proline2000 (Gavala et al) (66 kV/8 mA/18 s)</i>
Tiroides	38.48	437	298	329	50	88

Tabla 1. Dosis de órganos, en μSv , durante la toma de ortopantomografías por A Endo y Cols con el uso de dosímetros OSL; y por Ludlow y Gavala usando dosímetros TLD. Dato marcado en azul, es la dosis obtenida en nuestro estudio.



51. Endo, A., Katoh, T., Kobayashi, I., Joshi, R., Sur, J., & Okano, T. (2012). Characterization of optically stimulated luminescence dosimeters to measure organ doses in diagnostic radiology. *Dentomaxillofacial Radiology*, 41(3), 211–216. doi:10.1259/dmfr/98708146



Se debe aclarar que las dosis proporcionadas por el estudio de A Endo y Cols fueron dadas en unidades de mGy, pero para fines y comparación de nuestro estudio fueron convertidas en μSv .

En comparación con el promedio de dosis de radiación en nuestro estudio y con las dosis obtenidas con dosímetros OSL por exposición a las tres unidades panorámicas, no exhibieron valores similares. Sin embargo, los experimentos de Ludlow y Gavala que utilizaron dosímetros TLD son los que exhibieron dosis de radiación en un rango similar que la obtenida en nuestro estudio utilizando dosímetros OSL.

En nuestro estudio también se observó que en comparación con el género masculino, las dosis de radiación obtenidas en el género femenino incrementan $14 \mu\text{Sv}$, lo cual es debido a que las mujeres en cuestión de morfología anatómica son más pequeñas, siendo un factor para que los dosímetros registraran más cantidad de radiación.



XI. CONCLUSIONES

En este estudio comprobamos que las dosis de radiación obtenidas, en la zona de la glándula tiroides durante la toma de ortopantomografías digitales, se encuentran por debajo de las dosis umbral requeridas para producir reacciones tisulares (efectos deterministas). Sin embargo, como odontólogos debemos estar conscientes sobre los efectos estocásticos que pueden desarrollarse y presentarse con cualquier dosis de radiación.

En comparación con los resultados de diversos estudios realizados y con las dosis obtenidas en ellos, podemos concluir que las variaciones son inevitables debido a que nuestro estudio se realizó en personas a diferencia de los otros estudios en donde las pruebas fueron realizadas en maniquís antropomórficos; también un factor que pudo influir fue el de la colocación de los dosímetros en los maniquís y también por el parámetro de funcionamiento (kV, mA y t (s)) establecido para cada ortopantomógrafo, que como investigamos influye en la cantidad y calidad de los rayos X.

En la práctica odontológica, en la toma de radiografías no es común el uso de dosímetros, sin embargo por medio de la dosimetría podemos mantener un mejor control de la cantidad de radiación que es emitida a los pacientes, de la dosis de radiación y de la sensibilidad del tejido frente a la radiación, para así prevenir en algún momento los posibles efectos nocivos de la radiación ionizante.

Es primordial que como odontólogos conozcamos los límites de dosis establecidos para la toma de radiografías que se establecen en normas internacionales y nacionales; en específico tener mejor conocimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002 que establece un reglamento de protección y seguridad radiológica en el diagnóstico médico, siendo una guía principal que nos orienta de manera específica para tomar las medidas adecuadas para la protección radiológica.



XII. Anexo 1:



CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN MÉDICA



Título del Protocolo: CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.

Investigadores principales: Lourdes Yatzil Ávalos Piña, Esp. Marino Crispín Aquino Ignacio, Esp. Alejandra Rodríguez Hidalgo, C.D. María Del Carmen Granados Silvestre, Mtro. Jesús Gerardo Gutiérrez Márquez.

Sede donde se realizará el estudio: Clínica de Imagenología de la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPeI) de la Facultad de Odontología, UNAM.

Nombre _____ del _____ paciente:

A usted se le está invitando a participar en este estudio de investigación médica. Antes de decidir si participa o no, debe conocer y comprender cada uno de los siguientes apartados. Este proceso se conoce como consentimiento informado. Siéntase con absoluta libertad para preguntar sobre cualquier aspecto que le ayude a aclarar sus dudas al respecto.

Una vez que haya comprendido el estudio y si usted desea participar, entonces se le pedirá que firme esta forma de consentimiento, de la cual se le entregará una copia firmada y fechada.

1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

Mantener un adecuado control de las dosis de radiación que reciben los pacientes en cada toma de radiografía panorámica, para así prevenir y disminuir los posibles efectos dañinos de la radiación ionizante.



2. OBJETIVO DEL ESTUDIO.

A usted se le está invitando a participar en un estudio de investigación que tiene como objetivo medir la dosis de radiación que recibe la zona en donde se localiza la glándula tiroides durante la toma de radiografías panorámicas mediante el uso de dosímetros de tecnología OSL (Cristales de Luminiscencia Ópticamente Estimulada) que serán colocados en pacientes entre 18 y 40 años de edad, tomando como referencia la prominencia laríngea (nuez de adán) y así con este estudio verificar si la dosis de la radiación se encuentra dentro de los límites internacionales de protección radiológica establecida.

Se espera que las diferencias sean mínimas en comparación con las dosis establecidas internacionalmente.

3. BENEFICIOS DEL ESTUDIO.

En un estudio realizado anteriormente por otros investigadores se ha observado que el uso de dosímetros OSL (Cristales de Luminiscencia Ópticamente Estimulada), así como el proceso de lectura de éstos, es más simple, rápido y fácil comparado con los dosímetros TLD (Termoluminiscencia).

Este estudio permitirá que en un futuro, los odontólogos puedan beneficiarse del conocimiento obtenido con el presente estudio.

4. PROCEDIMIENTOS DEL ESTUDIO.

A los pacientes que acepten participar en el estudio de investigación, se les proporcionará un consentimiento informado, el cual deberán firmar. Posteriormente cada paciente, antes de la toma de la radiografía panorámica, se le colocarán 3 dosímetros de tecnología OSL tomando como referencia “la nuez de adán” en la parte frontal del cuello (uno a la izquierda de ésta, otro en medio y otro a la derecha de ésta).

Cada viernes los dosímetros OSL se llevarán para ser evaluados al Centro Médico Nacional Siglo XXI, llevando así cada semana un control de los mismos.



5. RIESGOS ASOCIADOS CON EL ESTUDIO.

Este estudio no produce daños que comprometan al paciente físicamente.

6. ACLARACIONES.

- Su decisión de participar en el estudio es completamente voluntaria.
- No habrá ninguna consecuencia desfavorable para usted, en caso de no aceptar la invitación.
- Si decide participar en el estudio puede retirarse en el momento que lo desee, aún cuando el investigador responsable no se lo solicite, pudiendo informar o no, las razones de su decisión, la cual será respetada en su integridad.
- No tendrá que hacer gasto alguno durante el estudio.
- No recibirá pago por su participación.
- En el transcurso del estudio usted podrá solicitar información actualizada sobre el mismo, al investigador responsable.
- La información obtenida en este estudio, utilizada para la identificación de cada paciente, será mantenida con estricta confidencialidad por el grupo de investigadores.
- Si considera que no hay dudas ni preguntas acerca de su participación, puede, si así lo desea, firmar la Carta de Consentimiento Informado que forma parte de este documento.

7. CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO.

Yo, _____ he leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactoria. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos. Convengo en participar en este estudio de investigación. Recibiré una copia firmada y fechada de esta forma de consentimiento.

Firma del participante o del padre o tutor



CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.

Testigo 1

Testigo 2

Fecha

Fecha

Fecha

Esta parte debe ser completada por el Investigador (o su representante):

He explicado al Sr(a)._____la naturaleza y los propósitos de la investigación; le he explicado acerca de los riesgos y beneficios que implica su participación. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible y he preguntado si tiene alguna duda. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar investigación con seres humanos y me apego a ella.

Una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas, se procedió a firmar el presente documento.

Firma del investigador

Fecha



8. CARTA DE REVOCACIÓN DEL CONSENTIMIENTO.

Título del Protocolo: CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.

Investigadores principales: Lourdes Yatzil Ávalos Piña, Esp. Marino Crispín Aquino Ignacio, Esp. Alejandra Rodríguez Hidalgo, C.D. María Del Carmen Granados Silvestre, Mtro. Jesús Gerardo Gutiérrez Márquez.

Sede donde se realizará el estudio: Clínica de Imagenología de la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPeI) de la Facultad de Odontología, UNAM.

Nombre _____ del _____ paciente:

Por este medio deseo informar mi decisión de retirarme de este protocolo de investigación por las siguientes razones: (Este apartado es opcional y puede dejarse en blanco si así lo desea el paciente)

Si el paciente así lo desea, podrá solicitar que le sea entregada toda la información que se haya recabado sobre él, con motivo de su participación en el presente estudio.

Firma del participante o del padre o tutor

Testigo

Testigo



CUANTIFICACIÓN DE LA RADIACIÓN SECUNDARIA CON DOSÍMETROS DE LUMINISCENCIA ÓPTICAMENTE ESTIMULADA EN LA ZONA DE TIROIDES DURANTE LA EXPOSICIÓN A ORTOPANTOMOGRAFÍAS DIGITALES.

Fecha

Fecha

Fecha

(Se deberá elaborar por duplicado quedando una copia en poder del paciente)



XIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Whaites, Eric; Drage, Nicholas. Fundamentos de radiología dental. 5ª ed. Elsevier Masson. 2014. Págs.: 16-184.
2. American Cancer Society. Cancer facts & figures. Atlanta, GA: American Cancer Society, 2014.
3. Bahreyni Toossi, M., Akbari, F., & Bayani Roodi, S. (2012). Radiation Exposure to Critical Organs in Panoramic Dental Examination. *Acta Med Iran*, 50(12), 809-813.
4. Endo, A., Katoh, T., Kobayashi, I., Joshi, R., Sur, J., & Okano, T. (2012). Characterization of optically stimulated luminescence dosimeters to measure organ doses in diagnostic radiology. *Dentomaxillofacial Radiology*, 41(3), 211–216. doi:10.1259/dmfr/98708146
5. Akselrod MS, Botter-Jensen L, McKeever SWS. Optically stimulated luminescence and its use in medical dosimetry. *Radiat Measure* 2010; 41: 78–99.
6. Madrigal Lomba Ramón. La Radiología: Apuntes históricos. *Rev. Med. Electrón.* 2009, Ago. [citado 2015 Nov 29]; 31(4). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242009000400019&lng=es
7. Historia de la Radiología Oral y Maxilo-Facial. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/29891/1/historia.pdf>
8. Brandan María Ester, Rodolfo Díaz Perches y Patricia Ostrosky. La Radiación al Servicio de la Vida. Fondo de Cultura Económica. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/099/htm/ec_6.htm



9. ¿Cuáles son las partes de un átomo? [citado 29 de Noviembre del 2015]
Disponble en: <http://microrespuestas.com/como-se-llaman-las-partes-de-un-atomo/>
10. Riesgos Específicos
Protección contra Radiaciones. Protección contra radiaciones ionizantes. Parte 1. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: <https://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=2969>
11. White, Stuart C. Michael J. Pharoah. Radiología Oral principios e interpretación. Editorial Elsevier Science. 4a Edición. Pág 4-34.
12. Recaredo A. Gómez Mattaldi. Radiología odontológica. Editorial Mundi. 2a Edición. 1975. Pág. 1-25.
13. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: http://www.tv411.org/sites/default/files/ESScience7_A3_Q1.png
14. “Hágase la luz” y la luz se hizo...onda electromagnética (II) [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: <https://xabierjota.wordpress.com/2013/02/13/hagase-la-luz-y-la-luz-se-hizo-onda-electromagnetica-ii/>
15. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: <http://image.slidesharecdn.com/radiologiadef-101023223815-phpapp01/95/radiologia-def-14-638.jpg?cb=1422674738>
16. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: <http://es.slideshare.net/pacolacalle/tubo-de-rayos>
17. NORMA Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002. Salud ambiental. [citado 04 de Diciembre del 2015] Disponible en: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SSA/Normas/Oficiales/NOM-229-SSA1-2002.pdf>
18. Frommer, Herbert H.; Jeanine, Stabulas-Savage. Radiología dental. El Manual Moderno. 9th ed. 2011. Pág. 24-32.



19. [citado 3 de Diciembre del 2015] Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inverse_square_law.svg
20. Marín, Grisales Marta E. Principios básicos de la función tiroidea. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: http://www.endocrino.org.co/files/Principios_Basicos_de_la_Funcion_Tiroidea.pdf
21. Cáncer de tiroides. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: <http://mundoasistencial.com/cancer-de-tiroides/>
22. Schünke, Michael. et. al. Prometheus: Texto y Atlas de Anatomía. Tomo 3. Cabeza, cuello y neuroanatomía. Editorial Panamericana. 2° Edición. Pág. 200.
23. Gartner, Leslie. James L. Hiatt. Histología, texto y atlas. Editorial McGraw-Hill Interamericana. Pág. 272.
24. American Thyroid Association. Cáncer de Tiroides. [citado 29 de Noviembre del 2015] Disponible en: http://www.thyroid.org/wp-content/uploads/patients/brochures/espanol/cancer_de_tiroides.pdf
25. D. Andisco, S. Blanco, A.E. Buzzi. Dosimetría en radiología. Revista Argentina de Radiología, Volumen 78, Issue 2, Abril–Junio 2014. Págs. 114-117, ISSN 0048-7619, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rard.2014.06.010>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004876191400012X>)
26. Hernández-Flórez, Crithian Eduardo. (2012). Editorial. Medicas UIS, 25(3), 179-187. [citado 04 de Diciembre del 2015] Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-03192012000300001&lng=en&tlng=es.
27. Publicación 103 ICRP. Senda Editorial S.A. 2007. Págs. 34, 77-78, 86.
28. Vimal K. Sikri. Fundamentos de radiología dental. 4ª edición. Amolca. 2012.
29. Dosimetría personal. OSL (Optical Stimulated Luminescence). [citado 11 de Diciembre del 2015] Disponible en: http://www.asesoresenradiaciones.com.mx/dosimetria_personal.html



30. Measurement method of an exposed dose using the nanoDot dosimeter. [citado 11 de Diciembre del 2015] Disponible en: http://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing_poster&task=viewsection&pi=128615&ti=426493&searchkey=
31. Urzúa N., Ricardo y Andrés, Briner B. Técnicas radiográficas dentales y maxilofaciales, aplicaciones. Amolca. 2005. Colombia. Págs. 121,178.
32. Endo, A., Katoh, T., Kobayashi, I., Joshi, R., Sur, J., & Okano, T. (2012). Characterization of optically stimulated luminescence dosimeters to measure organ doses in diagnostic radiology. *Dentomaxillofacial Radiology*, 41(3), 211–216. doi:10.1259/dmfr/98708146