

CARACTERIZACION DEL MANIQUI REX PARA IMPLEMENTACION DE CONTROLES DE CALIDAD EN EQUIPOS GENERADORES DE RAYOS X

Roas¹, N., Somarriba¹, F., Castillo¹, A., Villegas¹, E., Canales¹, G.

¹Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua UNAN-Managua

RESUMEN

El Reference Phantom for Diagnostic X Ray Equipment REX, o simplemente maniquí REX, de la PTW es utilizado para realizar pruebas de controles de calidad a equipos generadores de rayos X tanto de grafía como fluoroscopia, con él se pueden evaluar la calidad de imagen y parámetros dosimétricos de los equipos. El propósito de este trabajo es implementar el uso de este maniquí en los controles de calidad de forma rutinaria. Para ello se utilizó un equipo marca SIEMENS modelo 07030518 que cumple con las características antes especificadas, designado a diagnóstico con funcionalidad para toma de placas instantáneas y fluoroscopia. Se tomaron placas radiográficas a 60, 70 y 81 kV, estas se digitalizaron para ser analizadas con el programa ImageJ. Se hicieron pruebas de resolución, contraste y ruido sobre las imágenes digitalizadas. Los parámetros dosimétricos evaluados fueron los factores de transmisión, atenuación y la dosis de entrada, en cuanto a la calidad de imagen se evaluó el contraste, control automático de dosis; se midieron las densidades ópticas sobre la placa de 70 y 81 kV según recomendaciones del fabricante del maniquí, para realizar la curva sensitometría de la película así como la resolución y estimación del punto focal del equipo. Se verificó que algunos de los resultados estaban en concordancia con lo que se esperaba lo cual era comprobar el desempeño del maniquí.

1. INTRODUCCIÓN

No existe una definición objetiva de la calidad de imagen, es más bien cuestión del juicio subjetivo del observador, existen varios factores que degradan la calidad de la imagen, algunos de los cuales se deben a las propiedades inherentes al sistema de imagen, tales como la resolución espacial, la resolución de energía, la falta de uniformidad o la distorsión, además de los propios del paciente y el sistema, es por tales razones que se hace necesaria la evaluación de la calidad de imagen por medios de sistemas físicos tales como los Phantom o maniquí fabricados para tal fin. Con el objetivo de contar con una herramienta más en el Laboratorio de Física de Radiaciones y Metrología de la UNAN-Mangua es que se realizó la caracterización del maniquí REX para implementación de controles de calidad en equipos generadores de rayos X.

En el contexto anterior el REX Phantom (ilustración I), [1] es un maniquí de aluminio desarrollado para el control de calidad de equipos de rayos X convencionales y fluoroscopios. Contiene diversas estructuras de distintas densidades para ser visualizadas en radiografía o monitores utilizados en fluoroscopia, grupos de líneas de distinto espaciamiento para estimar la resolución de la imagen, y una cuadrícula para distorsión, junto con un dosímetro y densitómetro, puede ser utilizado para analizar los resultados.

Las especificaciones técnicas del maniquí de referencia REX son las siguientes:

Un tamaño de (250 x 250 x 27) mm y un peso de 4,2 kg. Está compuesto de 25 mm de Al y 2 mm de PMMA (fibra acrílica), calidad de radiación 25 mm Al y filtración inherente en voltaje efectivo de 80 kV para calidad de radiación normal de diagnóstico.



Ilustración 1. REX phantom

Tiene 15 pares rectangulares de líneas de resolución de plomo: de 0,8Lp/mm a 9,5 mm en pasos de $4\sqrt{2}$ Lp/mm relativo a 1 Lp/mm. Cada par de líneas con modulación de dosis 0,17 (DCF=1,4 en 80 kV); la resolución visible R(MTF) se mide en $MTF= 7,5\%$ (marca de referencia con contraste visible mínimo 0,03 y gradiente de película 2,75).

Rejilla con líneas rectangulares distanciadas (10 mm de distancia) con líneas centrales y marcas triangulares para tamaños de campo de 200 cm² y 400 cm². Cuadrados centrales (100 x 100) mm y círculos centrales (140 mm de diámetro).

Para el posicionamiento presenta una marca de orientación "R" y ranuras A.P./P.A. Marcas para la posición del dosímetro y láminas de atenuaciones adicionales, detectables en la imagen. Todas las características anteriores le dan una versatilidad para su utilización en los controles de calidad en los equipos generadores de rayos X.

2. MATERIALES Y METODO

El objetivo de este trabajo es caracterizar el maniquí Phantom REX de referencia para control de calidad en equipos de diagnóstico para ello se realizaron mediciones utilizando detectores de radiación en conjunto con el maniquí REX en un equipo fluoroscopia y convencional (grafía) posteriormente se llevaron a cabo los cálculos necesarios para verificar el buen funcionamiento del fluoroscopia. Además se determinaron los factores de atenuación, resolución, tamaño de campo, dosis de entrada, dosis de transmisión, longitud de punto focal, densidades ópticas de puntos de referencia, niveles de contraste y otros parámetros.

2.1 Materiales

Equipo de fluoroscopia

Maniquí REX

Accesorios para posicionamiento del REX (4 tornillos largos y 4 cortos)

Lámina de 50 mm de grosor de PMMA (2 láminas de 20 mm + 1 lámina de 10 mm)

Lámina de 1,5 mm de grosor de cobre

Multímetro PTW NOMEX para mediciones de dosis

Placas radiográficas

Negatoscopio

Densitómetro

Cinta métrica

2.2 Procedimiento de medición

2.2.1 Ubicación del maniquí

- El maniquí se ubicó según lo descrito en el manual, se enroscaron los 4 tornillos largos en el maniquí REX y se colocó sobre la mesa. (ilustración 2)
- Se ajustó el tamaño de campo a 20x20 cm, y se centró usando la luz de campo del equipo y las líneas guía del maniquí.
- Con el equipo en modo de fluoroscopia, se realizó un disparo para observar la resolución de la imagen, que corresponde al grupo de líneas de resolución con mayor Lp/mm que sea claramente visible en la pantalla del equipo.



Ilustración 2.- Imagen del maniquí REX en la pantalla del equipo en modo fluoroscopia.

2.2.2 Toma de radiografías

- Con el maniquí sobre la mesa, se ajustó el tamaño de campo a 20 x 19,3 cm y se centró nuevamente.
- Se tomó 3 placas radiográficas convencionales a 60kV, 70kV y 81kV. Con 10 mAs fijo.
- Se digitalizaron las radiografías y se analizaron con el programa ImageJ.

2.2.3 Resolución en modo de rayos X

- Se colocaron las placas radiográficas en el negatoscopio.
- Se observó en los grupos de líneas de resolución del maniquí reflejados en la radiografía, cuál era el grupo con el mayor Lp/mm que todavía fuera claramente visible. Se anotó este valor como la resolución.
- Se digitalizó la imagen del grupo de líneas de resolución del REX con un escáner a 3200 ppp (píxeles por pulgada o dpi en inglés), y se analizaron con el programa ImageJ.

2.2.4 Factores de atenuación de dosis

- Se colocó el multímetro NOMEX debajo del maniquí, sobre la mesa del equipo de fluoroscopia, para medir dosis en la salida del maniquí (ilustración 3).
- Se realizaron mediciones de dosis en cada disparo con el equipo desde 70kV a 121kV.
- Se repitieron las mediciones, con el multímetro colocado encima del maniquí, para obtener los valores de dosis en la entrada.
- Se calcularon los factores de atenuación de dosis del maniquí en función del kilo voltaje del equipo.

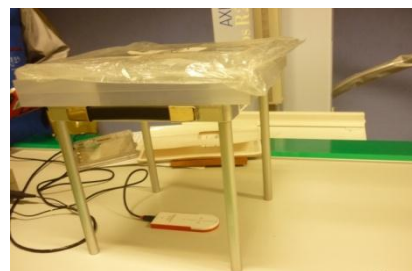


Ilustración 3. Maniquí REX + 50 mm de PMMA con el multímetro NOMEX debajo, posicionado con 4 tornillos largos de soporte sobre la mesa del equipo fluoroscopia.

2.2.5 Control Automático de Dosis

- Se ajustó el equipo en modo de control automático de dosis, con protocolo de abdomen.
- Se colocó el maniquí REX sobre la mesa del equipo con el multímetro NOMEX debajo.
- Se realizó un disparo y se anotaron tanto los datos del equipo (cámara integrada) como los medidos por el NOMEX.
- Se colocaron 50 mm de PMMA encima del maniquí y se repitió el procedimiento.
- Se añadieron 1,5mm de cobre sobre los 50 mm de PMMA y se repitió el procedimiento.

2.2.6 Transmisión de dosis producida

- Se colocó el maniquí REX sobre una mesa, de la manera indicada en el manual (con los 4 tornillos cortos de soporte) y se colocó el tubo de la unidad móvil sobre el maniquí. Se posicionó el multímetro NOMEX bajo el maniquí.
- Se midió la distancia del tubo de rayos X al NOMEX, que fue de 0,853 m. Se ajustó el tamaño de campo a 20 x 20 cm.
- Se ajustó el equipo para trabajar en modo de tórax, con un mAs de 8.
- Se fue variando el kV desde 60 a 100 en el equipo, y se midió la dosis de salida con el NOMEX para cada valor del kV.

2.2.7 Medición de densidades ópticas

- Se colocó la placa radiográfica de 70 kV en el negatoscopio.
- Se midieron las densidades ópticas en las áreas de contraste doble (círculos y cuadrados), en los tres círculos de baja resolución, en el área de contraste de doble sector y en el área de ennegrecimiento de referencia.
- Se repitió la medición con la placa de 81 kV.

2.2.8 Punto focal

Para esto se midió la distancia del tubo de rayos X del equipo al maniquí y al intensificador de imagen, que debe ser la misma a la que se realizaron las exposiciones de las placas.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los datos de las 3 placas radiográficas a 60, 70 y 81 kV se muestran en la tabla 1

No.	kV	mAs	ms	Campo (cm)
1	60	10,05	20,3	20 x 19,3
2	70	10,05	22,5	20 x 19,3
3	81	10,06	26,8	20 x 19,3

Tabla 1.- Datos de kV, mAs, tiempo de exposición y tamaño de campo para las distintas radiografías del REX tomadas con el equipo.

3.1 Resolución

Para la resolución, en el modo de fluoroscopia se obtuvo un valor de 1,7 Lp/mm (líneas por milímetro), con el equipo a 60kV y 6,8mAs.

En las tres placas de rayos X convencional se obtuvo un valor de 2,8 Lp/mm de resolución a simple vista.

En una imagen ampliada digitalmente (escaneada a 3 200 dpi) se obtuvo un valor de 3,4 Lp/mm. Para obtener este valor se utilizó el analizador de imágenes ImageJ. Se hizo un perfil de cada grupo de líneas de resolución (un gráfico que representa el valor de gris en cada pixel a lo largo de una línea en la imagen). Los perfiles para los grupos de 3,4 Lp/mm y 4,0 Lp/mm se presentan en la ilustración 4. En el primer perfil (correspondiente al grupo de 3,4 Lp/mm, resolución máxima) pueden distinguirse con claridad 4 mínimos centrales que corresponden a los valores de gris más oscuros de las 4 líneas.

En el segundo perfil (de 4,0 Lp/mm) ya no es posible, ya que esa resolución es mayor a la de la imagen. Los valores de resolución obtenidos con el REX se resumen en la tabla 2.

Imagen	kV	Lp/mm
Fluoroscopia	60	1,7
Rayos X	60	2,8
	70	2,8
	81	2,8
Rayos X ampliada	70	3,4

Tabla 2.- Valores de la resolución expresados en Lp/mm para diferentes valores de kV y en diferentes modalidades.

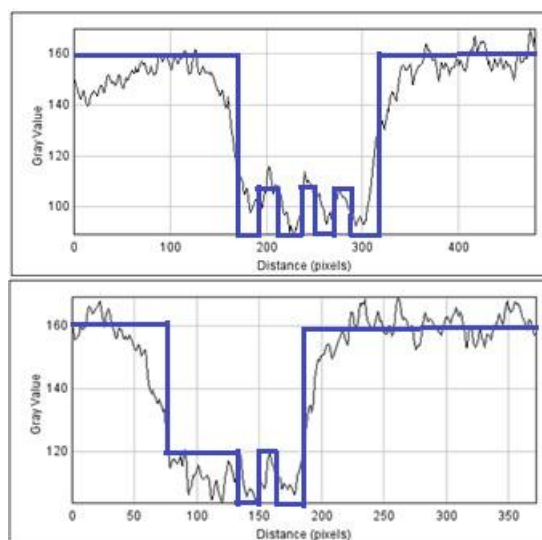


Ilustración 4. Perfiles para 3,4 Lp/mm y 4,0 Lp/mm.

3.2 Contraste y uniformidad en la imagen

Para la estimación del contraste de las imágenes se utilizó la región de las radiografías que contenía los círculos y cuadrados de diferentes densidades. Se utilizó el ImageJ para encontrar el valor mínimo y máximo de grises en cada una de las placas, y se calculó el contraste con la ecuación de Michelson [3]:

$$C = \frac{I_{m\acute{a}x} - I_{m\acute{i}n}}{I_{m\acute{a}x} + I_{m\acute{i}n}} \text{ Ec. 1}$$

En este caso, $I_{m\acute{a}x}$ corresponde al valor máximo de gris e $I_{m\acute{i}n}$ al valor mínimo. El valor de gris que puede tomar un pixel en la imagen va de 0 a 256.

kV	Contraste	σ del tono de gris
60	0,72	6,24
70	0,48	5,83
81	0,40	4,68

Tabla 3.- Contraste y desviación del tono de gris de la imagen en dependencia del kV.

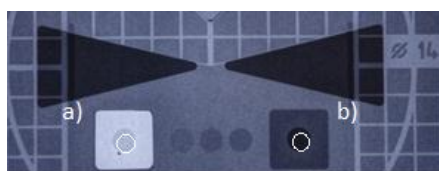


Ilustración 5. Regiones de la placa para a) mínimo y b) máximo de grises.

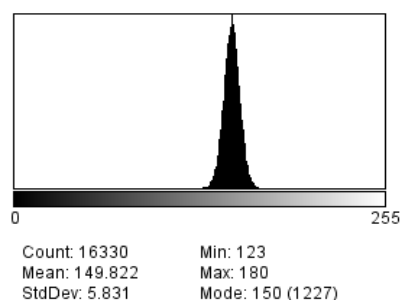
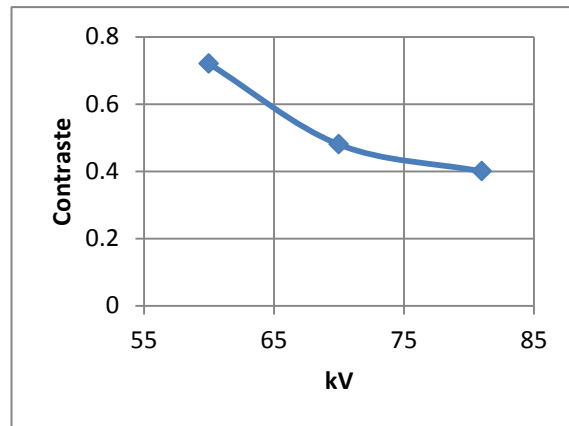


Ilustración 6.- Histograma de frecuencias de tonos de gris del área de ennegrecimiento de referencia (radiografía a 70kV).

Para estimar la uniformidad de la imagen se analizó con el ImageJ en una región del maniquí de densidad uniforme (el área de ennegrecimiento de referencia). Se realizó un histograma con las frecuencias de aparición de cada valor de ennegrecimiento por pixel en dicha zona de la imagen, correspondiente a una zona del maniquí uniforme, y se calculó la desviación estándar σ de los datos. Esta desviación estándar se toma como referencia para el nivel de ruido. Los cálculos se muestran en la tabla 3.



Gráfica 1.- Contraste vs kV

Por otro lado se observa que el contraste de la imagen disminuye a medida que aumenta el kilo voltaje, pero la calidad de esta aumenta. La desviación del tono de gris o valor de ennegrecimiento disminuye cuando se aumenta el kilo voltaje, por tanto disminuye el ruido de la imagen, esto se muestra en la gráfica 1.

Por tanto se puede concluir que a medida que el kV aumenta el contraste en la imagen va disminuyendo de manera exponencial así mismo el ruido también disminuye lo que proporciona una mejor imagen.

3.3 factores de atenuación de dosis

Los resultados de las mediciones de dosis en la entrada y la salida del maniquí se muestran en la tabla 4. También los valores de tiempo, kV y HVL medidos con el multímetro NOMEX. Se incluyen el factor de atenuación calculada y el de referencia incluido en el manual del maniquí REX.

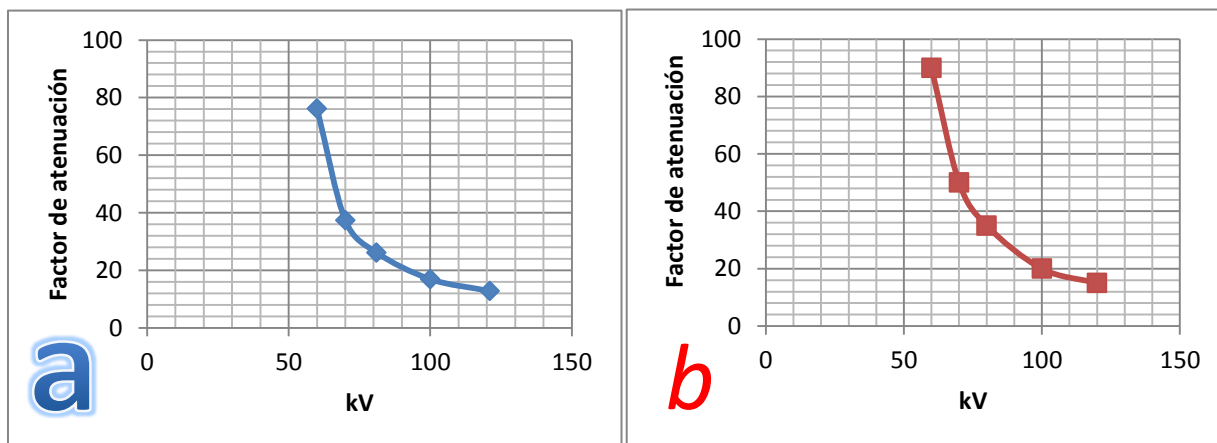
Para cada valor medido se muestra la técnica equivalente: tórax a alto voltaje y tórax a bajo voltaje. El factor de atenuación se calcula con la ecuación:

$$F_p = \frac{K_E}{K_T} \text{ Ec. 2}$$

Donde K_E es el kerma en la entrada y K_T el kerma en la salida del maniquí (kerma de transmisión).

kV	Equivalente	KERMA entrada (μGy)	KERMA salida (μGy)	kV medido (entrada)	tiempo (ms)	mAs	HVL	Fp	Fp ref.	Diferencia [%]
60	tórax bajo kV	401,3	5,265	60,2	25	10	2,58	76	90	8,43
70	tórax bajo kV	572,1	15,29	70	23,5	10	2,99	37	50	14,94
81	tórax bajo kV	785,7	29,98	81,3	27,5	10	3,48	26	35	14,75
100	tórax alto kV	1,210	71,34	100,3	34	10	4,23	17	20	8,11
121	tórax alto kV	1,749	136,4	120	40,5	10	4,72	13	15	7,14

Tabla 4.- Factores de atenuación de dosis del maniquí REX, en función del kV del equipo, y mediciones de dosis en la entrada y salida del maniquí. Los valores en rojo fueron los valores obtenidos con el NOMEX al momento de las mediciones.



Gráfica 2.- Factores de atenuación de dosis medidos(a) y de referencia (b) en función del kV.

Se graficaron los factores de atenuación de dosis del maniquí REX en función del kV para los valores de referencia y los valores calculados, y se observa que en ambas curvas el factor de atenuación desciende rápidamente conforme aumenta el kilo voltaje en el equipo.

Se puede observar que los factores de atenuación decaen exponencialmente respecto al aumento de kV lo que quiere decir que entre mayor kV se utilice mayor penetración tendrá el haz de radiación y que la diferencia entre la atenuación de referencia y la medida en un equipo diferente (rendimiento, HVL, Etc.) son menores al 15%

3.4 Control Automático de dosis

Las medidas para el control automático de dosis fueron hechas con el equipo de fluoroscopia en el modo de protocolo de abdomen. Se midieron los valores del tiempo de exposición, kilo voltaje, dosis, carga y número de pulsos. Los valores medidos se muestran en la tabla 5 a continuación.

Material	Valores Indicados en el equipo				Valores Medidos (NOMEX)			
	kV	mAs	tiempo (ms)	mA	pulso	Dosis (μGy)	kV	tiempo (ms)
25 mm Al (REX)	77	5,5	14	0,37	2	0,89	113,5	14,8
25mm Al + 50 mm PMMA	77	16,63	42	0,40	1	11,74	80	42,5
25 mm+ 50mm PMMA + 1,5mm Cu	77	63,55	100	0,64	1	6,29	85	100

Tabla 5.- Mediciones de los parámetros dados por el equipo en modo de control automático de dosis con protocolo de abdomen.

Con respecto al control automático de exposición se puede notar que los niveles de dosis no están en el mismo orden esto se debe a que el equipo no está compensando adecuadamente.

3.5 Dosis de Transmisión

Se anotaron los datos medidos en la tabla 6. El valor Y_t de la transmisión de dosis se calculó a partir de las mediciones, con la ecuación:

$$Y_T = \frac{K_T * r_t^2}{(I * t)} \text{ Ec. 3}$$

Siendo

K_T Kerma en aire transmitido

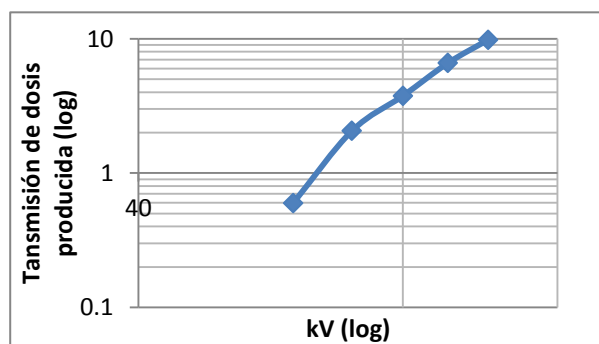
r_t la distancia del foco al detector

I es corriente en mA

t es el tiempo de exposición

kV	K_T (μGy)	Distancia (m)	Exposición mAs	Y_t ($\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{mAs}$)
60	6,561	0,853	8	0,60
70	22,65	0,853	8	2,06
80	41,29	0,853	8	3,76
90	72,48	0,853	8	6,59
100	107,9	0,853	8	9,81

Tabla6.- Mediciones para el cálculo de la transmisión de dosis producida.



Gráfica 3.- Transmisión de dosis producida en función del kV (escala logarítmica).

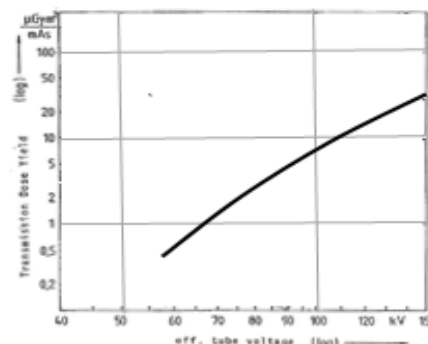


Ilustración 7.- Transmisión de dosis producida en función del kV (curva de referencia)

De la gráfica anterior de los datos calculados del rendimiento del equipo Vs el kilo voltaje para el maniquí (25mm de Al equivalente a tórax). Se puede confirmar que existe una similitud en las graficas (calculadas y de referencia del maniquí REX), y que el rendimiento del equipo incrementa con los kV.

3.6 Densidades ópticas, gradación de película y curva de ennegrecimiento

Se midieron las densidades ópticas en las distintas zonas del maniquí en las radiografías hechas a 70 y 81 kV utilizando un densitómetro. Las mediciones se registraron en la tabla 7, y se incluyen los factores de contraste de dosis de atenuación incluidos en el manual de referencia.

Zona	Densidad Óptica a 70 kV	Densidad Óptica a 81 kV	Factores de contrastes de dosis de atenuación
Doble Sector D₂ ó K_{DS}			
Izquierdo	0,63	0,73	1,4
0.045Derecho	0,66	0,73	1,4
Círculos			
Izquierdo k2	0,42	0,43	0,7
1	0,56	0,61	1,04
2	0,57	0,62	1,06
3	0,58	0,63	1,08
Derecho k4	0,68	0,73	1,4
Cuadrados			
Izquierdo k1	0,41	0,42	0,6
Derecho k3	0,64	0,68	1,2
D ₁ referencia	0,57	0,57	1

Tabla 7.- Densidades ópticas en distintas regiones del maniquí.

La gradación de la película utilizada puede determinarse mediante la ecuación

$$G = \frac{D_2 - D_1}{\log K_{DS}} \text{ Ec. 4}$$

Para este caso, G=1,1.

Con este dato se puede calcular la velocidad de la película S utilizada mediante la ecuación

$$s = (K_0/K_N) = \frac{k_{IM}K_0}{K_{IM}} \text{ Ec. 5}$$

$$\text{Donde } k_N = k_{Im} \cdot 10^{(D_1-1)/G}$$

$$k_{Im} = 10^{(D_2-D_1)/G} = 0,4$$

$$K_0 = 1000 \mu Gy$$

$$\text{Con } K_{IM} = 2,3 \mu Gy$$

$$s \cong 177$$

El contraste de 1 mm de espesor de aluminio se calcula por

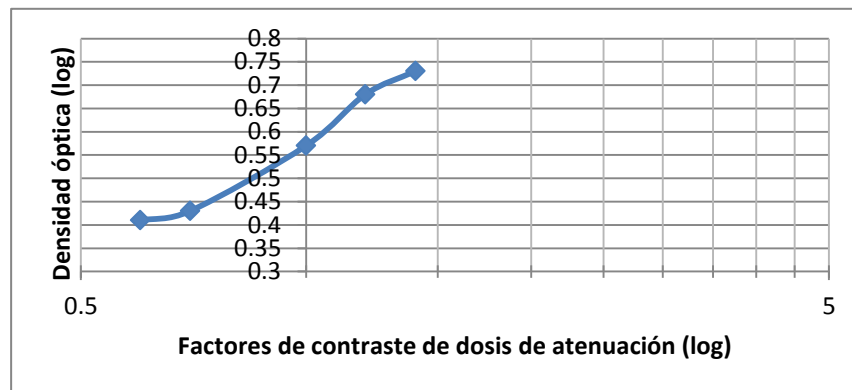
$$D(k_4) - D(k_2) \text{ Ec. 6}$$

y es igual a **0,30** para 81kV en este caso.

Factores de contrastes de dosis de atenuación		Densidad Óptica a 81 kV
D(k4)	0,6	0,42
D(k3)	0,7	0,43
D ₁	1	0,57
D(k2)	1,2	0,68
D(k1)	1,4	0,73

Tabla 8.- Datos de la curva de ennegrecimiento.

La curva características [2] o de ennegrecimiento o característica se grafica con ambos ejes en escala logarítmica. Los datos utilizados para construir la curva son los de la tabla 8, en el orden indicado en el manual del REX para su utilización como sensitómetro.



Gráfica 4.- Curva de ennegrecimiento de la película.

Se puede notar fácilmente que se obtiene una curva característica de las películas radiográficas con pie, parte lineal y hombro, pudiendo ser utilizada para calcular el contraste y velocidad de la película

3.7 Longitud del punto focal

La longitud del punto focal del equipo de fluoroscopia puede estimarse fácilmente con una ecuación muy sencilla:

$$b = \frac{a_{Im}}{a_{Im}-1} * \frac{1}{R_n} \text{ Ec. 7}$$

donde $a_{Im} = r_{Im}/r_p$, R_n es la resolución máximo observada, r_{Im} la distancia del tubo de rayos X al intensificador de imagen y r_p la distancia al fantoma. b es el punto focal.

r_{Im} (cm)	r_p (cm)	a_{Im}	R (Lp/mm)	b (mm) medido	b(mm) referencia
140	79,5	1,23	1,7	1,65	1.60

Tabla 9.- Datos para el cálculo de longitud de punto focal.

El valor del punto focal medido es aproximadamente igual al punto focal de referencia del equipo

3.8 Desviación del campo

La desviación del campo es simplemente la diferencia entre los valores indicados en el equipo y vistos con el haz de luz con los medidos sobre la placa radiográfica y con ayuda de la cuadrícula del maniquí.

Longitudes	Indicado	Medido	Desviación
Horizontal (cm)	20	19,9	0,1
Vertical (cm)	20	19,3	0,7

Tabla 10.- Medición de las desviaciones de campo.

Los valores de las longitudes del campo dado por el equipo y los medidos de las placas radiográficas están dentro de las tolerancias del protocolo español.

4. CONCLUSIONES

Se logró caracterizar el Phantom REX de referencia para control de calidad en diagnóstico. Verificando que cumpliera con todas las especificaciones técnicas descritas en el manual además que los accesorios estándares propios del mismo se encontraron completos y en buen estado.

Se hizo la medición de varias características del REX (factores de atenuación de dosis, transmisión de dosis producida). Se determinó la resolución en el equipo de fluoroscopia, longitud del punto focal y desviación del campo, y se utilizó el maniquí para medir las condiciones del equipo en modo de control automático de dosis. Se determinó el contraste de las películas radiográficas tomadas. Se graficó la curva característica de la película radiográfica, se estimó la gradación y la velocidad de la película utilizando el maniquí como sensitómetro.

A partir de los datos obtenidos de los equipos y los datos calculados se pudo observar que el maniquí phantom REX se encuentra en condiciones óptimas para realizar controles de calidad a equipos de rayos X (grafía) y fluoroscopia.

5. REFERENCIA

[1](s.f.). Reference Phantom for Diagnostic X Ray Equipment REX: Specifications - User Instructions - Definitions. Freiburg, Alemania: Physikalisch Technische Werkstätten - PTW Freiburg.

[2]Alcaraz Baños, M. (2009). Protección Radiológica y garantía de calidad en radiodiagnóstico. Curva característica de la película radiográfica. Obtenido de Universidad de Murcia.: <https://webs.um.es/mab/miwiki/doku.php?id=temas>

[3]International Atomic Energy Agency. (2014). Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students. Vienna, Austria: IAEA.