

Mediciones de coeficiente de atenuación para muestras compresibles simulando tejido mamario

Rosana Pirchio, Marcela Alejandra Roldán, Gonzalo Nicolas Pérez, Ezequiel Adrián Minniti

RESUMEN

En mamografía cuasi 3D es necesario contar con maniqués compresibles que simulen mamas para la realización de controles de calidad específicos y para fines de investigación. Los maniqués disponibles son poco accesibles debido a la economía Latinoamérica, por eso se desarrollará uno más económico. Los objetivos de este trabajo fueron: caracterizar un haz de rayos X calidad Molibdeno - Molibdeno, construir muestras similares a tejido adiposo, glandular y maligno y obtener los coeficientes de atenuación.

Se construyeron muestras de siliconas, geles, aceites de silicona, microesferas de vidrio, polvo de cuarzo, ácido poliláctico y poliuretano termoplástico. Se realizaron mediciones de capas hemirreductoras para el equipo de rayos X y para las muestras en 22, 25, 28, 30, 32 y 35 kV.

Los valores de las capas hemirreductoras y de las energías equivalentes para los voltajes mencionados arriba fueron 0.26, 0.30, 0.32, 0.34, 0.35 y 0.37 mm de Aluminio y 13.95, 14.61, 15.03, 15.28, 15.52 y 15.77 keV, respectivamente. Entre los resultados obtenidos mencionamos que las capas hemirreductoras para las muestras con gel + Thinner + microesferas, gel + Thinner + cuarzo y gel + silicona + Thinner + microesferas, para 15 keV, fueron 7.03 mm, 7.16 mm y 3.97 mm, respectivamente.

Se concluye que los valores de las muestras de gel + Thinner + microesferas y gel + Thinner + cuarzo podrían simular el tejido adiposo y la muestra de gel + silicona + Thinner + microesferas podría simular tejido maligno y glandular cambiando las proporciones de las microesferas.

Palabras claves: Maniqué Antropomórfico; Mamografía; Capa hemirreductora.

ABSTRACT

In quasi 3D mammography, it is necessary to have compressible phantoms that simulate breasts for specific quality controls and for research purposes. The available phantoms are not very accessible due to Latinoamerican economy, so a more economical phantom will be developed. The objectives of this work were: to characterize the X ray beam in Molybdenum-Molybdenum quality, to build samples like adipose, glandular, and malignant tissue and to obtain the attenuation coefficients.

Samples were built with silicones, gels, silicone oils, glass microspheres, quartz powder, polylactic acid and thermoplastic polyurethane.

Half value layer measurements were performed for X ray equipment and samples at 22, 25, 28, 30, 32 y 35 kV.

Values of half layer and equivalent energy for the voltages mentioned above were 0.26, 0.30, 0.32, 0.34, 0.35 and 0.37 mm of Aluminum and 13.95, 14.61, 15.03, 15.28, 15.52 y 15.77 keV, respectively. Among the results obtained we can mention that the half value layer for the samples of gel + Thinner + microspheres, gel + Thinner + quarts and gel + silicone + Thinner + microspheres, for 15 keV, were 7.03 mm, 7.16 mm and 3.97 mm, respectively.

Recibido: 03/2023 Aceptado: 06/2023

It was concluded that the samples of gel + Thinner + microspheres and gel + Thinner + quartz could simulate adipose tissue and the sample of gel + silicone + Thinner + microspheres could simulate malign and glandular tissue, changing the microspheres proportions.

Keywords: *Antropomorphic phantom; Mammography; Half value layer
Measurements of attenuation coefficients for compressible samples simulating breast tissue*

1. -INTRODUCCIÓN

La mamografía digital FFDMM es una técnica de imágenes ampliamente utilizada para el screening, detección precoz del cáncer de mama y seguimiento de enfermedades. La tecnología más moderna es la tomosíntesis digital de mama (cuasi 3 D) y se creó para aumentar la sensibilidad y la especificidad de la mamografía convencional [1-3]. En el mercado existen diferentes maniqués o maniqués para la realización de controles de calidad de las imágenes mamográficas. En los últimos años se diseñaron maniqués antropomórficos de mama para: la realización de tareas específicas de investigación, entrenamiento de médicos y técnicos, control de software de procesamiento de imágenes, calibración de equipos, desarrollo de nuevos métodos de imágenes, mejoras en los controles de compresión/contraste - resolución y optimización de prácticas de adquisición de imágenes [4-8]. Los mismos debían tener similar: absorción a los rayos X, densidad, dureza e imagen mamográfica, para asegurar reproducir lo mejor posible a una mama real. Revisando la literatura, los maniqués fueron hechos con diferentes materiales tal como alcohol polivinílico (PVAL), cloruro polivinil (PVC), geles de siliconas, TPU (poliuretano termoplástico), PLA (ácido poliláctico), ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), resinas epoxy con polímeros, entre otros materiales y algunos moldes fueron realizados con impresoras 3D [9-11]. Diferentes propiedades mecánicas de los materiales fueron estudiadas incluyendo: elasticidad, viscoelasticidad, coeficiente de atenuación y densidades [10-14]. En los países latinoamericanos es muy difícil comprar fantasmas debido a su alto costo, por eso se realizan desarrollos propios, específicamente a cada necesidad. Un inconveniente que aparece en el mercado argentino es que no hay tantos materiales disponibles (siliconas, geles y otros) y además de que los costos de estos son elevados.

El presente trabajo es una continuación de otro [15-16] en el que el objetivo fue diseñar maniqués de mama que sean compresibles, económicos, reproducibles y fáciles de construir. En estos desarrollos se van cambiando los materiales y porcentajes hasta obtener muestras que cumplan con las condiciones de atenuación en rayos X y densidad requeridas.

2.- METODOLOGÍA

2.1.- CARACTERIZACIÓN DE LAS ENERGÍAS DE RAYOS X CON ÁNODO Y FILTRO MOLIBDENO-MOLIBDENO

Las mediciones de atenuación de rayos X se realizarán en energías de Molibdeno-Molibdeno (Mo-Mo), para comenzar, porque en el Laboratorio Secundario de Dosimetría de la Comisión de Energía Atómica se dispone de un equipo Ital Structure con tal característica. Para la caracterización de las energías de los rayos X se calcularon las capas hemirreductoras (CHRs) en 22, 25, 28, 30, 32 y 35 kVp en 7 mA. Una cámara de ionización Radcal 6M se colocó a 60 cm del foco centrada en el haz. Láminas de Aluminio de pureza 99.9 % con espesores de 0.2, 0.25, 0.3, 0.4 y 0.5 mm se interpusieron al haz, a una distancia de 30 cm respecto al foco.

La cámara de ionización se unió a un electrómetro Keithley y se utilizó un cronómetro digital para medir el tiempo de colección de las cargas. La configuración de mediciones se muestra en la Figura 1.

Se realizaron 3 mediciones de carga acumulada para cada espesor de las láminas, obteniéndose valores promedios con su dispersión. Se graficaron las cargas colectadas por unidad de tiempo en función de los espesores de las láminas y los puntos experimentales fueron ajustados por una función exponencial, considerando solo el haz primario. Para ello se utilizó la ecuación:

$$\frac{\Delta Q}{\tau} = e^{(Ax+B)} \quad (1)$$

donde $\frac{\Delta Q}{\tau}$ son las cargas acumuladas por unidad de tiempo, x es el espesor de las láminas (en mm), A y B son los coeficientes de ajuste.

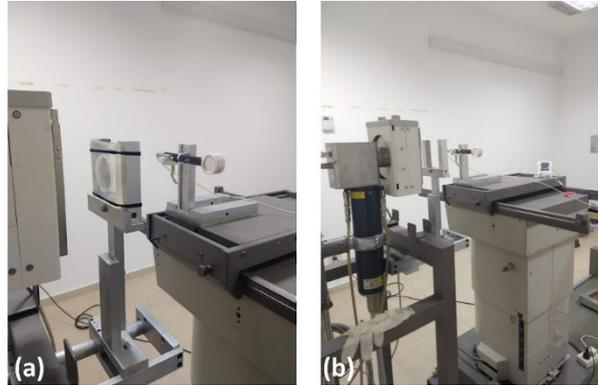


Figura 1

Configuración empleada para el cálculo de las CHRs. (a) Mediciones de la carga acumulada con láminas de Aluminio. (b) Mediciones de carga acumulada sin atenuador. Fuente: elaboración propia.

Se calculó la CHR a partir de los valores de los valores de "A" que corresponden a los coeficientes de atenuación lineal (μ). Se utilizó la siguiente ecuación [10]:

$$CHR = \frac{\mu}{\ln(2)} \quad (2)$$

Los valores de CHR obtenidos en este trabajo se compararon con los de bibliografía [17-18]. También se graficaron dichos valores en función del voltaje y los puntos experimentales fueron ajustados por una función del tipo cuadrática [19]:

$$CHR = CV^2 + DV + E \quad (3)$$

donde V es el voltaje en kV y C, D, E son los coeficientes de ajuste.

Por último, utilizando los valores de los coeficientes de atenuación másico se realizó una interpolación en la curva de Energía vs dicho coeficiente, obtenida de bibliografía [17-18] y se obtuvieron los correspondientes valores de energía efectiva.

2.2.- CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS

Los materiales utilizados en este trabajo fueron: gel, silicona (Eurochem Starsil Flex Silicona Platino 00-30 y Smooth On Inc. Dragon Skin FX Pro), cuarzo en polvo (mesh 250), microesferas de vidrio (mesh 140 a 270), aceite de silicona Thinner y Wacker (100 y 1000 cps), TPU y PLA. Estos materiales fueron seleccionados por sugerencias de expertos en polímeros y por análisis propio.

Las muestras con aceite de silicona fueron confeccionadas calentándolas a temperatura de 80 grados y usando dispersión obtenida con un agitador magnético, velocidad media. Esto se realizó por 15 minutos hasta que desaparecieron las burbujas. Las siliconas y aceites de siliconas fueron desgasificados con una bomba de vacío. El enfriado en estos casos fue rápido colocando las muestras en un recipiente con agua a 5 °C, aproximadamente.

Las muestras con silicona fueron tratadas de acuerdo con especificaciones de los fabricantes y expertos consultados, también desgasificándolas. Para todos los materiales, se realizaron muestras cilíndricas de 9 cm de radio y altura 5 mm, 7 mm y 11 mm.

Se obtuvieron los coeficientes de atenuación y los valores de las CHRs siguiendo las condiciones y pasos mencionados previamente. Los valores de las CHRs obtenidos para 15 keV fueron comparados con los de la Tabla 1 [20-22] que corresponden a los valores deseados.

Tabla 1
Capa hemirreductora / mm para diferentes tejidos mamarios en función de la energía.

Energía / keV	Adiposo	Glandular	Maligno	Benigno
8	1.24	0.70	0.632	0.674
11	3.14	1.81	1.59	1.64
15	7.17	4.30	3.98	4.23
20	13.59	8.69	8.10	8.45
30	24.76	18.53	17.16	17.82
Densidad / g.cm ³	0.930 ⁽¹⁾	1.040 ⁽¹⁾	1.044 ⁽²⁾	1.042 ⁽²⁾

⁽¹⁾ [21]

⁽²⁾ [22]

Para conocer las imágenes mamográficas, se realizaron muestras cilíndricas simulando tejido adiposo, glandular y maligno, de espesor 40 mm y diámetro 35 mm. Posteriormente fueron ubicadas en el tablero de un mamógrafo analógico Philips, Mo - Mo, perteneciente al Hospital Carrillo. La adquisición de la imagen se realizó con técnica manual con 27 kV con 80 mAs. En la Figura 2 se observa el equipo de rayos X, las muestras sobre el tablero y las imágenes obtenidas.



Figura 2

Mamógrafo utilizado para la obtención de las imágenes. Muestras colocadas sobre el tablero e imágenes adquiridas en modo manual.

3.- RESULTADOS Y DISCUSION

3.1.- CARACTERIZACIÓN DE LAS ENERGÍAS DE RAYOS X

En la Figura 3a se graficaron los valores de carga acumulada por unidad de tiempo en función de los espesores de aluminio y sus correspondientes ajustes, como se mencionó previamente. En tanto que en la Figura 3b se observan los valores de la CHR en función del voltaje, con su ajuste.

Del ajuste efectuado con una función cuadrática se obtuvieron R^2 igual a 0.999, $A=-1.060E-4 \pm 1.495E-5$, $B=0.014 \pm 5.148E-4$ y $C=-4.019E-4 \pm 0.004$.

En tanto que, del ajuste por una función exponencial, en la Tabla 2 se muestran los valores de los coeficientes y del R^2 para 25, 28, 30 y 35 kV.

En la Tabla 3 se observan los valores de las capas hemirreductoras y sus correspondientes valores de energía efectiva.

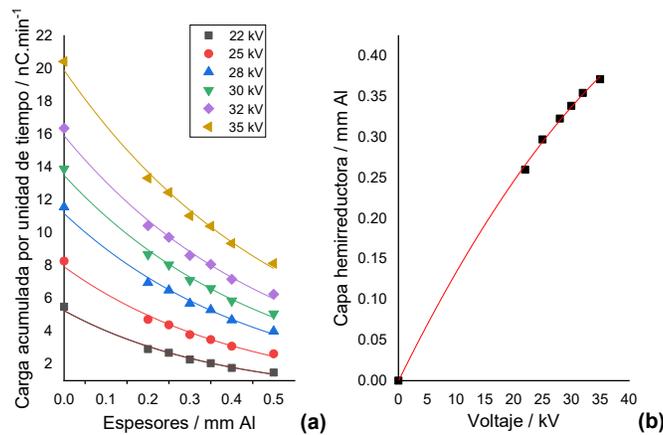


Figura 3.

a) Cargas acumuladas para diferentes espesores de láminas de Aluminio con el ajuste de una función exponencial b) Capa hemirreductora en función de voltaje con el ajuste de una función polinómica de segundo grado. Fuente: elaboración propia.

Tabla 2
Coeficientes del ajuste por una función exponencial para diferentes voltajes

	25 kV	28 kV	30 kV	35 kV
A	2.07131	2.41417	2.60279	2.99135
B	-2.33124	2.14554	2.04655	-1.86595
R ²	0.99992	0.99996	0.99998	0.99999

Las incertidumbres en los coeficientes fueron inferiores al 2%.

Tabla 3
Capa hemirreductora / mm en Mo-Mo para diferentes energías

Energía / keV	CHR / mm Al
13.95	0.26
14.61	0.30
15.03	0.32
15.28	0.34
15.52	0.35
15.77	0.37

Estos valores se compararon con los de la TRS 457 [10] y estuvieron dentro de los 0.02 mm, tal como es lo recomendado.

3.2.- CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS

En la Figura 4 se observan las muestras utilizadas para medir atenuación. En las Tablas 4 y 5 se muestran los valores de las CHRs en función de la energía para las muestras mencionadas previamente.

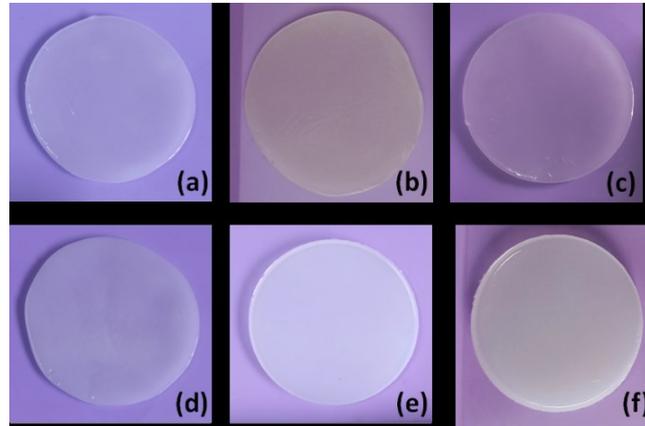


Figura 4

Muestras utilizadas para medir atenuación. a) Gel +Wacker + microesferas b) Gel + Thinner + cuarzo c) Gel + Thinner + microesferas d) Silicona + gel +Thinner + microesferas e) Silicona Starsil 0030 f) Silicona DS FX PRO. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4
 Capa hemirreductora / mm para diferentes muestras y energías

ENERGÍA / KEV	PLA	GEL + WACKER +MICROESFERAS	GEL + THINNER +MICROESFERAS	GEL + THINNER + CUARZO
13.95	3.56	5.67	5.81	5.83
14.61	4.04	6.39	6.57	6.55
15.03	4.43	6.93	7.03	7.16
15.28	4.65	7.23	7.43	7.49
15.52	4.82	7.50	7.72	7.76
15.77	4.66	7.77	7.90	8.03

Las incertidumbres fueron inferiores al 2%.

Tabla 5
Capa hemirreductora / mm para diferentes muestras y energías

ENERGÍA / KEV	TPU	GEL + SILICONA + THINNER + MICROESFERAS	STARSIL 0030	DS FX PRO
13.95	4.17	3.24	1.20	1.37
14.61	4.74	3.58	1.39	1.54
15.03	5.22	3.97	1.53	1.70
15.28	5.43	4.16	1.61	1.78
15.52	5.66	4.28	1.68	1.84
15.77	5.83	4.49	1.77	1.94

En la Figura 5 se muestra, a modo de ejemplo, un gráfico de la carga acumulada por unidad de tiempo en función de diferentes espesores para las muestras de gel + Thinner + cuarzo. En la Tabla 6 se observan los valores de los coeficientes de ajuste de la función exponencial, y el R^2 , para algunos voltajes.

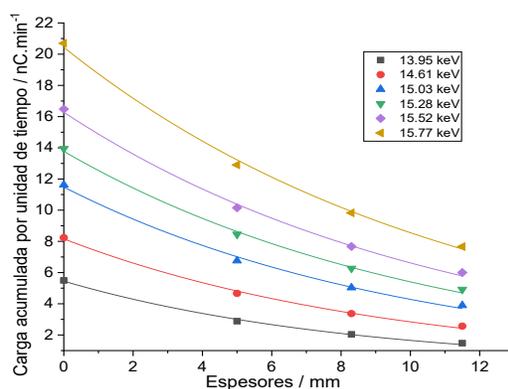


Figura 5

Mediciones de cargas acumuladas para diferentes espesores de muestras de gel + Thinner + cuarzo, con sus correspondientes curvas de ajuste exponencial. Fuente: elaboración propia.

Tabla 6
Capa hemirreductora / mm para Gel + Thinner + cuarzo en diferentes voltajes

	25 kV	28 kV	30 kV	35 kV
A	2.108	2.433	2.618	3.011
B	0.106	0.097	0.093	0.086
R^2	0.999	0.999	0.999	0.999

Con incertidumbres en los coeficientes inferiores al 2%.

En la Figura 6 se muestra, a modo de ejemplo, un gráfico de la carga acumulada por unidad de tiempo en función de diferentes espesores para las muestras de gel + silicona + Thinner + microesferas.

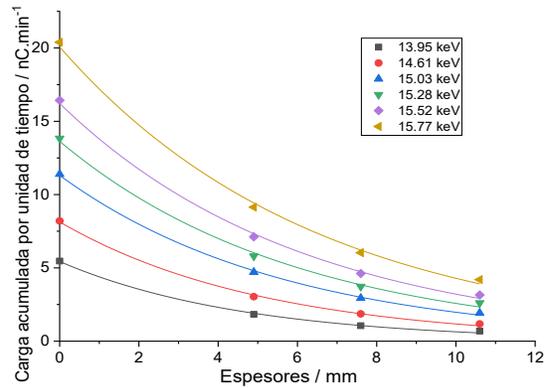


Figura 6

Mediciones de cargas acumuladas para diferentes espesores de muestras de gel + silicona + Thinner + microesferas, con sus correspondientes curvas de ajuste exponencial.

En la Tabla 7 se observan los valores de los coeficientes de ajuste de la función exponencial, y el R^2 , para algunos voltajes.

Tabla 7
Capa hemirreductora / mm para Gel + Silicona + Thinner + microesferas en diferentes voltajes

	25 kV	28 kV	30 kV	35 kV
A	2.09619	2.42577	2.61262	2.99953
B	0.1934	0.1746	0.16656	-0.15432
R^2	0.999	0.99961	0.99883	0.99921

Respecto a la caracterización del equipo de rayos X, los valores de las CHRs coinciden con los valores de TRS 457(IAEA; 2007) dentro de 0.02 mm.

En cuanto a las muestras estudiadas en este trabajo, las siliconas se descartaron de usarlas solas, debido a su alta absorción de los rayos X. El PLA tiene un valor adecuado de atenuación para simular tejido adiposo y el TPU también se descarta. Sin embargo, se podrían usar para construir moldes de mamas.

Respecto a los cálculos de los coeficientes de atenuación, se puede observar que los valores de los R^2 y de los errores fueron satisfactorios. Reduciendo la incertidumbre en el cálculo de las CHRs.

El diseño de las muestras tenía que lidiar con sacar las burbujas de aire y aceite, además de obtener una correcta difusión de la silicona y de las microesferas. Esta parte se podría seguir mejorando si se adquiere un equipo que calienta, hace vacío y dispersa, simultáneamente. Además de conseguir el mismo gel en diferentes batches, lo cual fue muy difícil.

Con referencia a la compra de los geles/microesferas, el costo es bajo pero la desventaja es que podría haber diferencias entre los lotes comprados, por lo que se sugiere comprar gran cantidad para evitar la pérdida de tiempo en volver a caracterizar dichos materiales. En un futuro, se podrían comprar materiales de laboratorios Merck, lo que aseguraría su calidad y repetibilidad.

El próximo trabajo consiste en medir densidad, calcular módulo de Young y continuar con otras muestras, sobre todo en la reproducción de tejido glandular y maligno. Hacer mediciones de densidad de las muestras realizadas en este trabajo con diferentes metodologías que implican utilizar tomografía computada y finalmente obtener imágenes mamográficas. Finalmente se podrán diseñar maniqués con forma, tamaño y detalles como la investigación lo requiera.

4.- CONCLUSIONES

Se presentó un desarrollo que permite decir en qué línea de trabajo se debe continuar, o sea con qué materiales se debe seguir y cuales se deben descartar. Las principales conclusiones obtenidas en este trabajo fueron:

- ✓ Para la construcción de moldes se utilizará TPU y PLA. No son adecuados para hacer los maniqués, debido a su atenuación en rayos X de baja energía.
- ✓ Las muestras mostraron ser compresibles.
- ✓ Las combinaciones de gel + Thinner + cuarzo y gel + silicona + Thinner + microesferas mostraron valores de atenuación comparables a la del tejido adiposo.
- ✓ La combinación de gel + Thinner + + silicona + microesferas mostró valores de atenuación superiores a la del tejido glandular y maligno

AGRADECIMIENTOS

Especialmente al Sr Kettmayer por su colaboración desinteresada, a Amalia Stefanic del Laboratorio Secundario de CNEA y a todos los compañeros del Centro Atómico Ezeiza que nos prestan instrumentos y equipos para trabajar. Hospitales....

REFERENCIAS

1. Bustamante, Paola A, 2017. Análisis de contraste y fuerzas de compresión en un estudio mamográfico utilizando un maniquí diseñado con PVAL. Maestría en Física Médica, Universidad Nacional de Cuyo, Instituto Balseiro. http://ricabib.cab.cnea.gov.ar/view/creators/Bustamante=3APaola_A=2E=3A=3A.html.
2. Dantuma, M., van Dommelen, R., & Manohar, S. Semi-anthropomorphic photoacoustic breast phantom. *Biomedical optics express*. 2019; 10(11): 5921– 5939.
3. Carpintec <http://www.carpintec.com/product/cd-phantom-for-mammography-cdmam-3-4>. Último ingreso julio 2023.
4. Cirsinc <http://www.cirsinc.com/products/modality/44/stereotacticneedle-biopsy-training-phantom>. Último ingreso junio 2023.
5. Filament2 https://filament2print.com/es/blog/16_densidades-longitudes-filamentos-impresion-3D.html. Último ingreso junio 2023.
6. Destounis, S.V., Morgan, R. and Arieno, A. Screening for Dense Breasts: Digital Breast Tomosynthesis. *American Journal of Roentgenology*. 2015; 204:2: 261-264.
7. Hammerstein, G. R., Miller, D. W., White, D. R., Masterson, M. E., Woodard, H. Q., and Laughlin, J. S. Absorbed radiation dose in Mammography. 1979; *Radiology* 130(2): 485–491.
8. He, Y., Liu, Y., Dyer, B., Boone, J., Liu, S., Chen, T., Zheng, F., Zhu, Y., Sun, Y., Rong, Y. and Qiu, J. 3D-printed breast phantom for multi-purpose and multi-modality imaging. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*. 2019; 9: 63-74.

9. Hubbell, J. H. and Seltzer, S. M., Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients (Version 1.4), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2004) (available URL: <http://physics.nist.gov/xaamdi>).
10. IAEA – International Atomic Energy Agency, Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice, Technical Reports Series No. 457, IAEA, Vienna (2007).
11. Johns, P. C. and Yaffe, M. J. X-ray characterization of normal and neoplastic breast tissues. *Physics in Medicine and Biology*. 1987; Jun;32(6):675-95.
12. Ko, M. J., Park, D. A., Kim, S. H., Ko, E. S., Shin, K. H., Lim, W., Kwak, B. S., Chang, J. M. Accuracy of Digital Breast Tomosynthesis for Detecting Breast Cancer in the Diagnostic Setting: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Korean journal of radiology*. 2021; 22(8): 1240-1252.
13. Marashdeh, M. and Abdulkarim, M. Determination of the Attenuation Coefficients of Epoxy Resin with Carbopol Polymer as a Breast Phantom Material at Low Photon Energy Range. *Polymers* 2023; 15(12):2645.
14. Nazri, N. N. A., Aris, H., Sauli, Z. and Aris, H., Sauli, Z., and Norhaimi, W., 2020. Assessment of stress and strain on women's breast tissue caused by single round malignant tumor. *AIP Conf. Proc*, 2203 (1), id 020016
15. Pirchio, R., Bustamante, P. y Pawlak, E. XXIII Congreso Argentino de Bioingeniería y XII Jornadas de Ingeniería Clínica – SABI 2022. Design of phantoms to simulate realistic breast during digital mammography studies – Art State.
16. Pirchio, R., Minniti E. y Pérez, D. XLVI Reunión Anual de la AATN 2022. Determinación de coeficientes de atenuación lineal en rayos X de baja energía para siliconas de platino.
17. Price, B. D., Gibson, A. P., Tan, L. T., Royle, G. J. Dual modality imaging of a compressible breast phantom with realistic optical and x-ray properties *Proc. Medical Imaging 2010: Physics of Medical Imaging (California, USA)* vol 7622 pp 762200-07.
18. Price B. D., Gibson A. P., Tan L. T., Royle, G. J. An elastically compressible phantom material with mechanical and x-ray attenuation properties equivalent to breast tissue. *Physics in Medicine and Biology*. 2010; 21;55(4):1177-88.
19. Gennaro, G., Avramova-Cholakova, S., Azzalini, A., Luisa Chapel, M., Chevalier, M., et al. Quality Controls in Digital Mammography protocol of the EFOMP Mammo Working group. *Physica medica: PM: an international journal devoted to the applications of physics to medicine and biology: official journal of the Italian Association of Biomedical Physics (AIFB)*, 2018; 48: 55–64.
20. Ramiao, N. G., Martins, P. S., Rykevic, R., Fernandes, A. A., Barroso, M., et al. Biomechanical properties of breast, a state-of-the-art review. *Biomechanics Modeling Mechanobiology*. 2016; 15: 1307-1323.
21. Schopphoven, S. 2015. Evaluation of DBT QC Phantoms. Workshop on QC in Breast Tomosynthesis, Vienna.
22. Sparks, J. L, Vavalle, N. A, Kasting, K. E, Long, B., Tanaka, M. L., Sanger, P. A., Schnell K., Conner-Kerr, T. A. Use of silicone materials to simulate tissue biomechanics as related to deep tissue injury. *Advanced Skin Wound Care*. 2015; 28(2):59-68.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses entre los autores, ni con ninguna institución a la que cada uno está afiliado, ni con ninguna otra institución.

Las opiniones expresadas aquí son únicamente responsabilidad de los autores y no representan la posición de la Institución o las instituciones a las que están afiliados.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Aquí los autores dejarán claro la contribución de cada uno al trabajo que se presenta según los siguientes roles de contribución establecida por la Taxonomía CRedIt:

- **Conceptualización:** Pirchio, Minniti, Pérez.
- **Curación de datos:** Roldán, Minniti.
- **Análisis formal:** aplicación de técnicas estadísticas, matemáticas, computacionales u otras técnicas formales para analizar o sintetizar datos de estudio. Pirchio R.
- **Investigación:** Minniti, Pirchio y Pérez.

- **Metodología:** Pirchio, Minniti, Pérez y Roldán
- **Administración de proyecto y de recursos:** Pirchio, Steanic y Minniti.
- **Supervisión:** Pirchio R.
- **Validación -Verificación:** de los resultados de investigación. Pérez, Roldán, Minniti.
- **Visualización:** Pirchio
- **Redacción- borrador original:** Pirchio R, Minniti, Roldán
- **Redacción – revisión y edición:** Pirchio, Pérez.

AUTORES

Rosana Pirchio, MSc Física Médica, Licenciada en Ciencias Físicas, Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina, rosanapirchio@cnea.gov.ar. <https://orcid.org/0000-0002-4414-102X>. Temas de investigación: imágenes diagnósticas, controles de calidad, dosimetría, inteligencia artificial. Trabajando en la Comisión de Energía Atómica desde 1998, becaria del OIEA, del ICTP. Publicaciones en Radiation Protection Dosimetry y Medical Physics. Experiencia en simulación Monte Carlo, dosimetría teórica y experimental, controles de calidad en equipos de radiodiagnóstico.

Gonzalo Nicolas Pérez, Técnico eléctrico, Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina, gonzaloperez@cnea.gov.ar. Temas de investigación: mamografía, calibraciones, calidad. Cursos realizados “Entrenamiento en Radiodiagnóstico” (Beca otorgada por IAEA) Realizado en Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), Brasil. Curso “Basic security in the field II” Organizado por United Nations Department of Safety and Security (UNDSS). Curso “Regional Training Course on X-ray Calibration in Secondary Standards Dosimetry Laboratories” (Beca otorgada por IAEA) Realizado en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), México. Taller regional de capacitación sobre calibración, medición y evaluación de la dosis en cristalino y extremidades. Realizado en Ministerio de Industria, Energía y Minería de Uruguay. Funciones realizadas en la CNEA: Trabajos de calidad bajo la norma ISO IEC 17025:2017. Comisionamiento de los laboratorios de calibraciones Nivel mamografía y Nivel de haces beta, realizando cálculos y mediciones de alineación, homogeneidad de campo, capa hemireductora. Participación en interlaboratorios.

Marcela Alejandra Roldán, Técnica Universitaria en Medicina Nuclear, Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina, marcelaroldan@cnea.gov.ar. Temas de investigación: calibraciones, calidad. Técnica para calibración dosimétrica en laboratorio de Rx y mamografía, Calibraciones de cámaras de ionización, Control radiactivo, determinación de kerma en aire, campo y homogeneidad, controles periódicos de barómetros y termómetros. En la Autoridad Regulatoria Nuclear: Analista en Calidad. Gestión de las capacitaciones. En la CNEA: Calibración de cámaras de ionización para Medicina Nuclear, medición de radiactividad. Asistencia Técnica a Servicios de Medicina Nuclear en lo concerniente al uso y control de calidad de activímetros. Manejo de material radiactivo. Redacción y Gestión de Certificados y asistencia técnica en la preparación de fuentes de referencia de Cs-137. Asistente, control y distribución de la documentación del Sistema de Gestión de Calidad. Instituto Dan Beninson. Ayudante de Trabajos Prácticos Asignatura “Activímetros”, para el curso de posgrado Metodología y Aplicación de Radionucleídos.

Ezequiel Adrián Minniti, Técnico en Informática, Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina, ezequielminniti@cnea.gov.ar. Temas de investigación: construcción de fantomas, desarrollo de softwares, impresora 3D. Experiencia en softwares, construcción de impresoras, desarrollo de fantomas. Trabajando con beca en la CNEA, controles de calidad, mamografía.

