

Diseño de Maniquí Compresible Adiposo, Glandular y Mixto para su Uso en Estudios Mamográficos

Design of Adipose, Glandular and Mixed Compressible Phantom for Using in Mammography Studies

Presentación: 8-9/10/2024

Doctoranda:

Rosana PIRCHIO

Comisión Nacional de Energía Atómica - Argentina
rosanapirchio@cnea.gob.ar

Director:

Claudio DELRIEUX

Codirector:

Eduardo RODRÍGUEZ

Resumen

Existe una necesidad real de contar con maniqués compresibles y económicos que simulen diferentes tipos de mamas para efectuar estudios de investigación, controles de calidad y para otras aplicaciones, en el campo de la mamografía.

Durante varios años se fue estudiando y desarrollando diferentes modelos de maniqués para simular mamas en estudios mamográficos para cumplimentar la parte experimental del doctorado. En este trabajo se muestran los resultados finales, incluyendo materiales empleados, densidades, unidades de Hounsfield, coeficientes de atenuación lineal, coeficientes elásticos e imágenes mamográficas y tomográficas.

Palabras clave: Mamografía, Maniquí compresible, Tejidos mamarios.

Abstract

There is a real need for compressible and economical manikins that simulate different types of breasts for research studies, quality control and other applications in mammography field.

For several years, different models of mannequins to simulate breasts were studied and developed in mammographic studies to complete the experimental part of the doctorate. In this work, results are shown, including materials used, densities, Hounsfield units, linear attenuation coefficients, elastic coefficients and mammographic and tomographic images.

Keywords: Mammography, Compressible phantom, Breast tissues.

Introducción

La mamografía digital FFDM es una técnica ampliamente utilizada para el diagnóstico precoz del cáncer de mama. En el mercado existen diferentes 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 (Kaufhold 2010, Schopphoven 2015, Dantuma et al., 2019).

En diferentes publicaciones se muestran desarrollos de maniqués compresibles, económicos, reproducibles y fáciles de construir. Algunos maniqués fueron realizados con alcohol polivinílico (PVAL), cloruro polivinil (PVC), geles de siliconas y algunos moldes fueron realizados con impresoras 3D (Price et al., 2010, Sparks et al., 2015, Bustamante, 2017, Pirchio et al., 2022). Diferentes propiedades mecánicas de los materiales que simulan la mama fueron estudiadas incluyendo: elasticidad, vielasticidad, coeficiente de atenuación y densidades.

La elasticidad fue cuantificada con el módulo de Young (E) el cual es dependiente del protocolo de medición (Price et al., 2010, Sparks et al., 2015, Bustamante, 2017). Algunos autores (Uborá, 2022) utilizaron probetas de diámetro 29.0 ± 0.5 mm y espesor 12.5 ± 0.5 mm de acuerdo con ASTM D395-03. Realizaron una compresión hasta alcanzar un espesor del 25 % con ciclos de carga y descarga. Las muestras fueron comprimidas en las velocidades: 12, 50 y 100 mm min⁻¹, observaron que el E no cambió significativamente con la velocidad de compresión. El E para Dragon Skin fue muy alto para simular el tejido mamario y el Ecoflex 00-30 fue óptimo para simular fibroadenomas (Cardone et al., 2012).

En otro trabajo hicieron las pruebas mecánicas (Umamoto et al., 2014, Piazza et al., 2012) con una compresión de hasta un 30 % del espesor inicial y tasas de compresión de 1.6, 2.5 and 5 %/s. Otros autores (Spark et al., 2015) utilizaron Dragon Skin 10, Ecoflex 00-10, and Ecoflex 00-30 con probetas cilíndricas de diámetro 35.8 mm y altura de 24.5 mm. La prueba uniaxial de compresión consistió en comprimir con tasa de 1,0% /s hasta la máxima compresión que fue el 25 %. Los valores picos de deformación fueron para Dragon Skin 10 AF, Ecoflex 00-10, y Ecoflex 00-30 iguales a $73,0 \pm 5,2$, $12,1 \pm 0,75$, y $24,0 \pm 1,7$ kPa, respectivamente para una presión de 0,25 kPa. (Spark et al., 2015).

Finalmente, en este trabajo de doctorado, se diseñaron maniqués antropomórficos compresibles que simulan una mama real (Pirchio et al., 2022; Pirchio et al., 2023). Se utilizó silicona y aceite de silicona de Smooth On Inc., microesferas de vidrio y gel de parafina. Las muestras obtenidas representaron tejido adiposo, glandular y mixto, lesiones malignas y benignas. Se realizaron mediciones de densidad, coeficiente de atenuación, densidades, unidades de Hounsfield, coeficientes de atenuación lineal, coeficientes elásticos y se obtuvieron imágenes mamográficas y tomográficas.

Desarrollo

1- Para el diseño del maniqué para simular una mama, se tomaron en cuenta los valores de bibliografía de una mama real. En la Tabla 1 se muestran diferentes muestras/tejidos con sus correspondientes valores de densidad, coeficiente de atenuación lineal para Molibdeno Molibdeno en 15 keV y el Módulo de Young. Estos últimos fueron obtenidos para un rango de fuerza de compresión por unidad de área (kPa) entre 1 y 1,2.

2- Diseño de muestras

Para finalizar el trabajo que se venía realizando en años anteriores (Pirchio et al., 2022; Pirchio et al., 2023), se diseñaron las muestras finales (similares a una mama compresible) con diferentes concentraciones de gel, microesferas de vidrio, Thinner (Smooth On Inc.), aceite de silicona (Wacker 1000) y Dragon Skin FX Pro. El tratamiento consistió en calentar y dispersar las mezclas, luego quitarle las burbujas con una bomba de vacío y posteriormente enfriarlas a temperatura ambiente.

3- Mediciones de coeficiente de atenuación

Se construyeron muestras de 10 x 10 cm² y diferentes espesores para medir el coeficiente de atenuación. Las mismas fueron interpuestas en un haz de rayos X (Molibdeno Molibdeno) en un rango de 25 kV a 35 kV. En la Fig. 1 se muestra la cámara de ionización, la muestra interpuesta al haz de rayos X y el equipo de rayos X (Pirchio et al., 2023).

Muestras / Tejidos	Densidad / g cm ⁻³	Coefficiente de atenuación / mm ⁻¹	Módulo de Young / kPa
Ecoflex 00-30	1.07 ⁽¹⁾	1.53 ⁽¹⁾	69 ⁽¹⁾
Dragon Skin 10 AF	1.07 ⁽²⁾	1.62 ⁽²⁾	152 ⁽²⁾
Wacker 1000 / Thinner	0.90 ⁽³⁾	-----	-----
Dragon Skin FX Pro	1.062 ⁽⁴⁾	1.70 ⁽⁴⁾	262 ⁽⁴⁾
Adiposo	0.930 ^(5, 6)	7.17 ^(5, 6)	19.08 ± 4.99 ⁽⁷⁾
Glandular	1.040 ^(5, 6)	4.30 ^(5, 6)	16.99 ± 4.92 ⁽⁷⁾
Maligno	1.044 ^(5, 6)	3.98 ^(5, 6)	30.50 ± 11.46 ⁽⁷⁾
Benigno	1.042 ^(5, 6)	4.23 ^(5, 6)	12.30 ± 4.29 ⁽⁷⁾

Tabla 1: Muestras de diferentes tipos de materiales y tejidos con su correspondiente densidad, coeficiente de atenuación (15 keV) y Módulo de Young

⁽¹⁾ Ecoflex 00-30

⁽²⁾ Dragon Skin 10

⁽³⁾ Pirchio et al., 2023

⁽⁴⁾ Dragon Skin FX Pro

⁽⁵⁾ Price et al., 2010

⁽⁶⁾ Ramiao et al., 2016

⁽⁷⁾ Umemoto et al., 2014



Figura 1: Equipo de rayos X y set up utilizado para las mediciones de coeficientes de atenuación lineal.

4- Mediciones de densidad y unidad de Hounsfield

Se construyó una curva de densidad en función de unidades de Hounsfield (UH) utilizando un maniquí CATPHAN y un equipo de CT Toshiba (120 kV protocolo de tórax espesor de corte 2mm). Posteriormente se ubicaron diferentes muestras sobre la camilla y se obtuvieron UH para varios cortes axiales desde el centro de la muestra.

5- Mediciones de Módulo de Young

Se utilizó un equipo Instron y las muestras (altura 40 mm y diámetro 20 mm) fueron comprimidas hasta un 20 % de la longitud inicial. A partir de los valores de fuerza de compresión, área de la muestra y longitud, se obtuvo el módulo de Young (rango entre 0 y 0.1 mm/mm). En la Fig. 2 se observa el equipo utilizado y las etapas de compresión de una muestra.

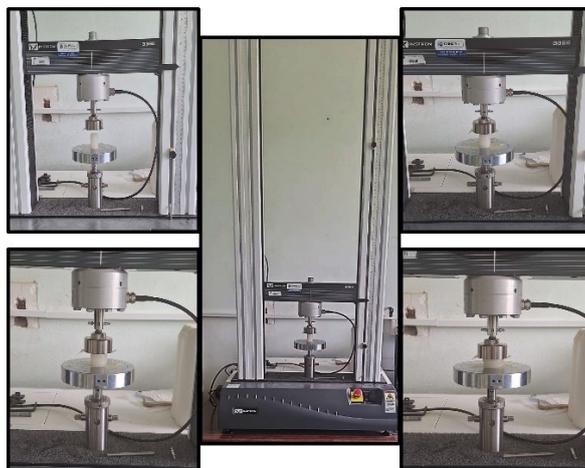


Figura 2: Equipo Instron y muestras comprimidas a diferentes espesores

Resultados

En la Fig. 3 se observan las muestras utilizadas para los estudios de compresión, mediciones de densidad, así también como el equipo de tomografía computada y las imágenes obtenidas.

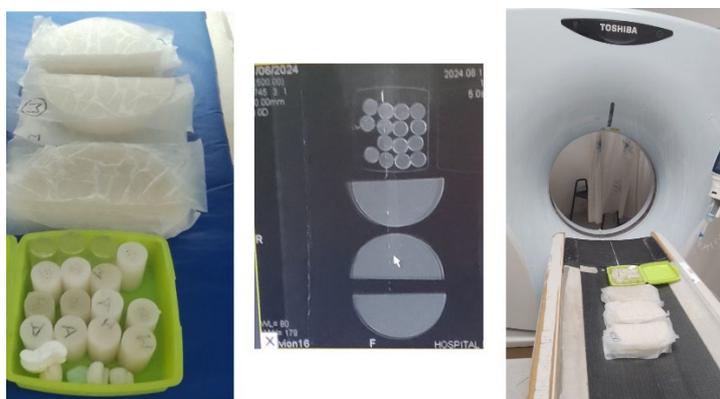


Figura 3: Muestras cilíndricas y muestras con forma de mama comprimida, equipo de CT y las correspondientes imágenes.

En la Tabla 2 se observan los resultados de UH, densidad, densidad electrónica, Módulo de Young y coeficiente de atenuación para diferentes muestras. Incertidumbre en los coeficientes de atenuación fue aproximadamente del 3 %, valores similares a los de bibliografía. Los valores de los coeficientes están de acuerdo con los de publicaciones (Hammerstein, 1979; Dance et. al; 2010; Johns et al; 1987).

Respecto a los valores del Módulo de Young para el tejido adiposo, glandular, benigno y maligno, comparado con bibliografía (Umamoto et. al, 2014) que muestra iguales formas de compresión, podemos concluir que están dentro del intervalo de incertidumbre. Lo mismo sucede para los valores de las siliconas.

Cabe aclarar que en general, la variación de los valores encontrados en bibliografía para densidades, Módulo de Young, y atenuación son muy amplios porque dependen de muchos parámetros físicos. El módulo de Young depende de la forma de la compresión, por eso se tomaron los que se obtuvieron en condiciones similares o los

que son ampliamente reconocidos. Respecto a los valores de HU, estos están de acuerdo con los de bibliografía (Akuoko et al., 2021).

Muestra	Unidades de Hounsfield	Densidad promedio/ g cm ⁻³	Densidad electrónica promedio/ e cm ⁻³	Módulo de Young / kPa	Coefficiente Atenuación / mm ⁻¹
Gel	-190.94 ± 12.83	0.82 ± 0.02	0.91 ± 0.02	28.92 ± 4.63	10.61
Microesferas de vidrio	807.343 ± 6.84	1.48 ± 0.02	1.51 ± 0.02		
Wacker 1000	143.142 ± 5.92	1.11 ± 0.02	1.12 ± 0.02		
92% Gel, 8% Wacker 1000	-174.36 ± 6.12	0.85 ± 0.02	0.93 ± 0.02		6.98
92% Gel, 4% Thinner, 4% Microesferas (Adiposo)	-132.81 ± 7.95	0.89 ± 0.02	0.96 ± 0.02	24.76 ± 6.30	7.03
70 % Gel, 16 % DSB 8 % Thinner, 6 % microesfera (maligno)	-67.58 ± 3.25	0.98 ± 0.02	1.00 ± 0.02	24.00 ± 5.20	3.91
75 % Gel, 16 % DSB 6 % Thinner, 3 % microesfera (glandular)	-11.57 ± 1.93	0.98 ± 0.02	1.03 ± 0.02	32.16 ± 6.12	4.57
72 % Gel, 16 % DSB 2 % Thinner, 10 % microesferas (benigno)	-24.48 ± 1.96	0.98 ± 0.02	1.03 ± 0.02	19.87 ± 6.36	4.02
(mixto) 50%/50%	-90.12 ± 4.90	0.95 ± 0.02	0.96 ± 0.02	24.54 ± 5.45	5.52
Ecoflex 00-30	-----	-----	-----	65.82 ± 5.28	1.53
Dragon Skin 10 AF	-----	-----	-----	164.91 ± 9.72	1.70

Tabla 2: Muestras de diferentes tipos de materiales y tejidos con su correspondiente densidad, coeficiente de atenuación (15 keV) y Módulo de Young, obtenidas en este trabajo

Finalmente, en la Fig. 4 se observan las muestras cilíndricas, las lesiones benignas y malignas y el mamógrafo con la muestra de mama compresible. También se muestran las imágenes obtenidas en 28 kV 80 mAs y espesor 56 mm.

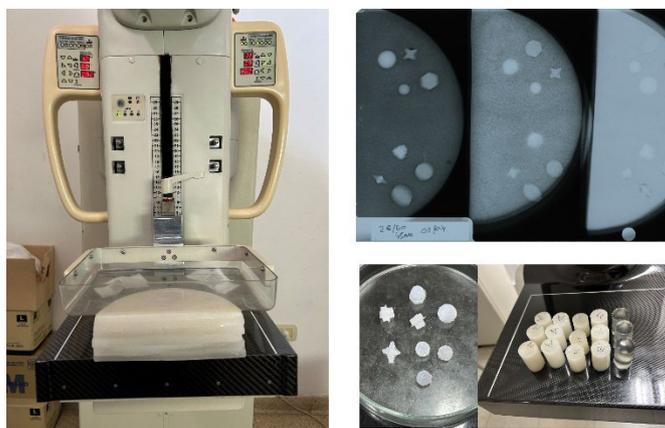


Figura 4: Mamógrafo con el maniquí, muestras cilíndricas y las lesiones malignas y benignas. Imágenes de maniquí adiposo, glandular y mixto obtenidos con el mamógrafo.

Conclusiones

Podemos concluir que se logró diseñar satisfactoriamente maniqués simulando mamas adiposas, glandular y mixtas, así como lesiones benignas y malignas. Las lesiones también se podrán simular con silicona Ecoflex 00-30. Mejores resultados generales, como densidad y HU, podrán ser obtenidos empleando materiales provenientes de Laboratorios químicos y mejores equipamientos (bomba de vacío y otros elementos).

El próximo paso de desarrollo podría ser comprar material y equipamiento adecuado y tratar de reproducir lo realizado hasta ahora, para poder proveer estos maniqués a hospitales y clínicas. Respecto al doctorado, estas imágenes serán clasificadas con redes neuronales/base de imágenes con el objeto de probar si se puede distinguir los diferentes tipos de tejidos simulados y las lesiones.

Referencias

- Akuoko, D.E., Osorio, D.E., Herk, P.M., & Aznar, D.M. (2021). Hounsfield-based Automatic Evaluation of Volumetric Breast Density on Radiotherapy CT-Scans.
- Bustamante, Paola A. (2017). Análisis de contraste y fuerzas de compresión en un estudio mamográfico utilizando un maniquí diseñado con PVAL. Tesis (Maestría en Física Médica), Universidad Nacional de Cuyo, Instituto Balseiro, Bariloche.
- Carbone, M., Condino, S., Mattei, L., Forte, P., Ferrari, V., Mosca, F. (2012). Anthropomorphic ultrasound elastography phantoms – Characterization of silicone materials to build breast elastography phantoms Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 492-494.
- Dantuma, M., van Dommelen, R., Manohar, S. (2019). Semi-anthropomorphic photoacoustic breast phantom, Biomedical optics express, 10(11), 5921–5939.
- Ecoflex 00-30. https://www.smooth-on.com/tb/files/ECOFLEX_SERIES_TB.pdf Recuperado 10 agosto 2024
- Dragon Skin 10. https://www.smooth-on.com/tb/files/DRAGON_SKIN_SERIES_TB.pdf Recuperado 10 agosto 2024
- Dragon Skin FX Pro. https://www.smooth-on.com/tb/files/DRAGON_SKIN_FX_PRO_TB.pdf Recuperado 10 agosto 2024
- Hammerstein G. R., Miller D. W., White D. R., Masterson M. E., Woodard H. Q., and Laughlin J. S. (1979). Absorbed radiation dose in Mammography, Radiology 130(2), 485–491
- Johns P.C. and Yaffe M.J. (1987) X-ray characterisation of normal and neoplastic breast tissues. Phys Med Biol. Jun;32(6):675-95. doi: 10.1088/0031-9155/32/6/002. PMID: 3039542.
- Kaufhold A. (2010). Control de la calidad en el diagnóstico radiológico con instrumentos de medición de PTW.
- Li, W, Belmont, B., Greve, J.M., Manders, A.B., Downey, B.C., Zhang, X., Xu, Z, Guo, D, Shih, A. (2016). Polyvinyl chloride as a multimodal tissue-mimicking material with tuned mechanical and medical imaging properties. Medical Physics, 43(10), 5577-5592.
- Pirchio, R., Pawlak, E., Bustamante, P. (2022). Design of phantoms to simulate realistic breast during digital mammography studies – Art State. SABI_XXIII Congreso Argentino de Bioingeniería y XII Jornadas de Ingeniería Clínica – SABI.
- Pirchio R. et al. (2023) Mediciones de densidad y coeficientes de atenuación para muestras compresibles simulando tejido mamario. SABI XXIV Congreso Argentino de Bioingeniería y XII Jornadas de Ingeniería Clínica – SABI.
- Price B D, Gibson A P, Tan L T, Royle G J. (2010). Dual modality imaging of a compressible breast phantom with realistic optical and x-ray properties. Proceeding Medical Imaging: Physics of Medical Imaging, 7622, 762200-762207.

- Price B.D., Gibson A.P., Tan L.T., Royle G.J. (2010). An elastically compressible phantom material with mechanical and x-ray attenuation properties equivalent to breast tissue, *Physics Medicine Biology*. 21;55(4), 1177-1188.
- Ramião, N. G., Martins, P. S., Rynkevic, R., Fernandes, A. A., Barroso, M., & Santos, D. C. (2016). Biomechanical properties of breast tissue, a state-of-the-art review. *Biomechanics and modeling in mechanobiology*, 15(5), 1307–1323. <https://doi.org/10.1007/s10237-016-0763-8>
- Schopphoven S. (2015). Evaluation of DBT QC Phantoms. Workshop on QC in Breast Tomosynthesis, Vienna.
- Sparks, J.L, Vavalle, N, A, Kasting K.E, Long B, Tanaka, M.L., Sanger P.A., Schnell K., Conner-Kerr T.A. (2015). Use of silicone materials to simulate tissue biomechanics as related to deep tissue injury. *Advances in Skin and Wound Care*, 28(2), 59-68.
- Uhora project. Wearable Device for Breast Self-Examination: Palpreast Disponible en <https://platform.ubora-biomedical.org/projects/eb95b284-014c-4709-90f4-87a1f07968b9/WP4/ResultsFromVitroOrVivo>
- Umamoto, T., Ueno, E., Matsumura, T., Yamakawa, M., Bando, H., Mitake, T., & Shiina, T. (2014). Ex vivo and in vivo assessment of the non-linearity of elasticity properties of breast tissues for quantitative strain elastography. *Ultrasound in medicine & biology*, 40(8), 1755–1768. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2014.02.005>