XXXII SIMPOSIO PERUANO DE FISICA
1er CONGRESO INTERNACIONAL DE FISICA

Caracterización y evaluación de materiales de fabricación aditiva para aplicaciones en radioterapia clínica con fotones de 6 MeV

Wendy Analy Vilca Luna[1], Danny Giancarlo Apaza Veliz[1]

[1]Laboratorio de Nuevos Materiales y Dataciones, Escuela Profesional de Física, Facultad de Ciencias Naturales y Formales, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú

Resumen

Se caracterizaron piezas de PLA fabricadas por impresión 3D (FDM) para evaluar su uso como materiales equivalentes a tejido en radioterapia clínica con fotones de 6 MeV. Se imprimieron cilindros de 19,95 × 20 mm con cuatro patrones de relleno (giroide, rectilíneo, panal y cúbico) y densidades de relleno de 10 % a 100 %, que se alojaron en un fantoma de acrílico circular y se escanearon en el tomógrafo del IREN SUR. En la actualidad el patrón de relleno giroide se observa que a 80 kVp, la media de Unidades Hounsfield (UH) crece de forma lineal con el relleno, de −150,0 HU (10 %) a 239,8 UH (100 %), y la desviación estándar baja de 10,6 a 5,2 UH. Al compararlos con rangos de referencia de TC, los valores cubren tejido adiposo, agua, tejido blando y hueso esponjoso.

Fabricación de las muestras

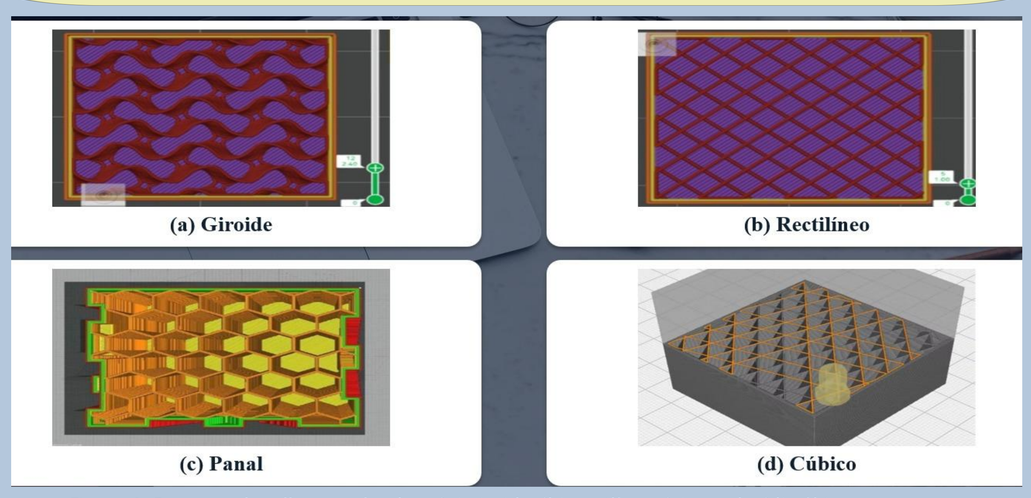


Figura 1. Patrones de relleno evaluados : (a) giroide, (b) rectilíneo, (c) panal y (d) cúbico.

Introducción

La fabricación aditiva permite producir fantomas y accesorios dosimétricos personalizados y de bajo costo para radioterapia** [1,2]**. Sin embargo, el patrón y el porcentaje de relleno modifican la densidad efectiva y la dispersión de las UH, y no existen protocolos de QA estandarizados.

***Objetivo:** caracterizar, mediante tomografía computarizada, piezas de PLA (FDM) con distintos patrones y porcentajes de relleno, e identificar qué configuraciones se aproximan a tejidos de interés en radioterapia con fotones de 6 MeV.*

Desarrollo Experimental

- ***Cilindros de PLA de 19,95 × 20 mm, impresos en Bambu Lab X1 Carbon (boquilla 0,4 mm, capa 0,08 mm).***
- ***Cuatro patrones y relleno de 10 % a 100 %, alojados en un fantoma de acrílico.***
- ***TC Toshiba Aquilion (IREN SUR): 80, 100 y 120 kVp, corte de 2,0 mm, FOV de 25 cm.***
- ***ROI circular central y perfiles de UH: media, mínimo, máximo y desviación estándar.***



Figura 2. Tomógrafo Toshiba Aquilion del IREN SUR, utilizado para la adquisición de las imágenes.

Posicionamiento de ROI y observaciones

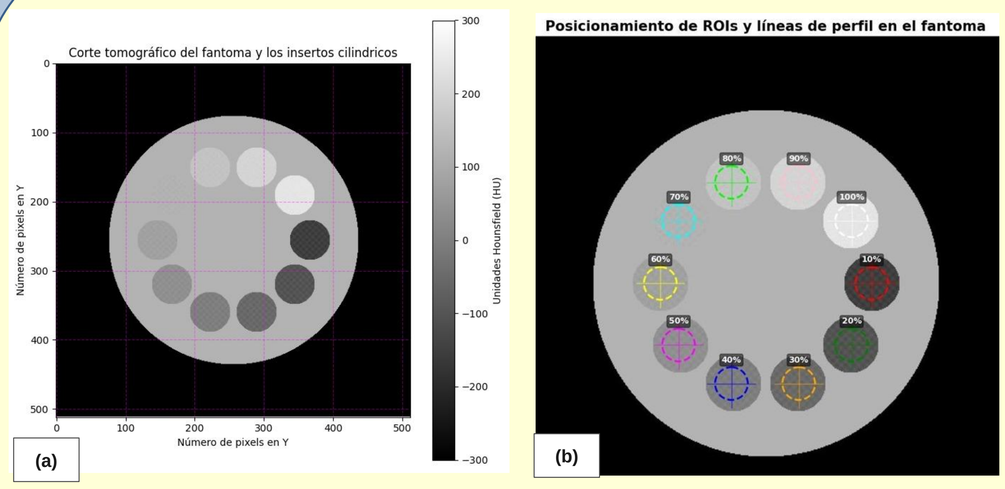


Figura 3. (a) Corte tomográfico del fantoma con los insertos cilíndricos. (b) Posicionamiento de los ROI y de las líneas de perfil; las etiquetas indican el porcentaje de relleno.

- ***ROI circular central y perfiles de UH a 0°, 45°, 90° y 135° (Figura 3): media, mínimo, máximo y desviación estándar.***
- ***Ajuste lineal (80 kVp): UH = 4,28·DR − 181,3 (R^2 = 0,997).***
- ***Menor dispersión a mayor relleno (10,6 a 5,2 UH)***

RESULTADOS OBTENIDOS

Respuesta UH vs. relleno: patrón giroide, 80 kVp

Relleno (%)	Media (HU)	D.E. (HU)	Mín. a máx. (HU)	Equivalente de referencia
10	−150,0	10,6	−178,4 a −122,7	Bajo el rango de grasa
20	−100,2	9,9	−125,5 a −73,1	Tejido adiposo (límite inferior)
30	−50,1	9,3	−75,8 a −23,0	Tejido adiposo
40	−0,1	8,0	−25,5 a 20,9	Agua
50	40,0	7,2	12,0 a 61,0	Tejido blando / músculo
60	80,4	6,7	56,0 a 100,1	Entre hígado y hueso
70	120,1	6,0	100,8 a 138,2	Hueso esponjoso (inf.)
80	160,0	6,0	136,3 a 181,9	Hueso esponjoso
90	199,7	5,5	182,9 a 221,1	Hueso esponjoso
100	239,8	5,2	223,4 a 253,9	Hueso esponjoso

Tabla 1. Media, desviación estándar (D.E.) y rango de UH por porcentaje de relleno (PLA giroide, 80 kVp), con su equivalente de referencia de TC.

PERFILES DE UH POR CILINDRO

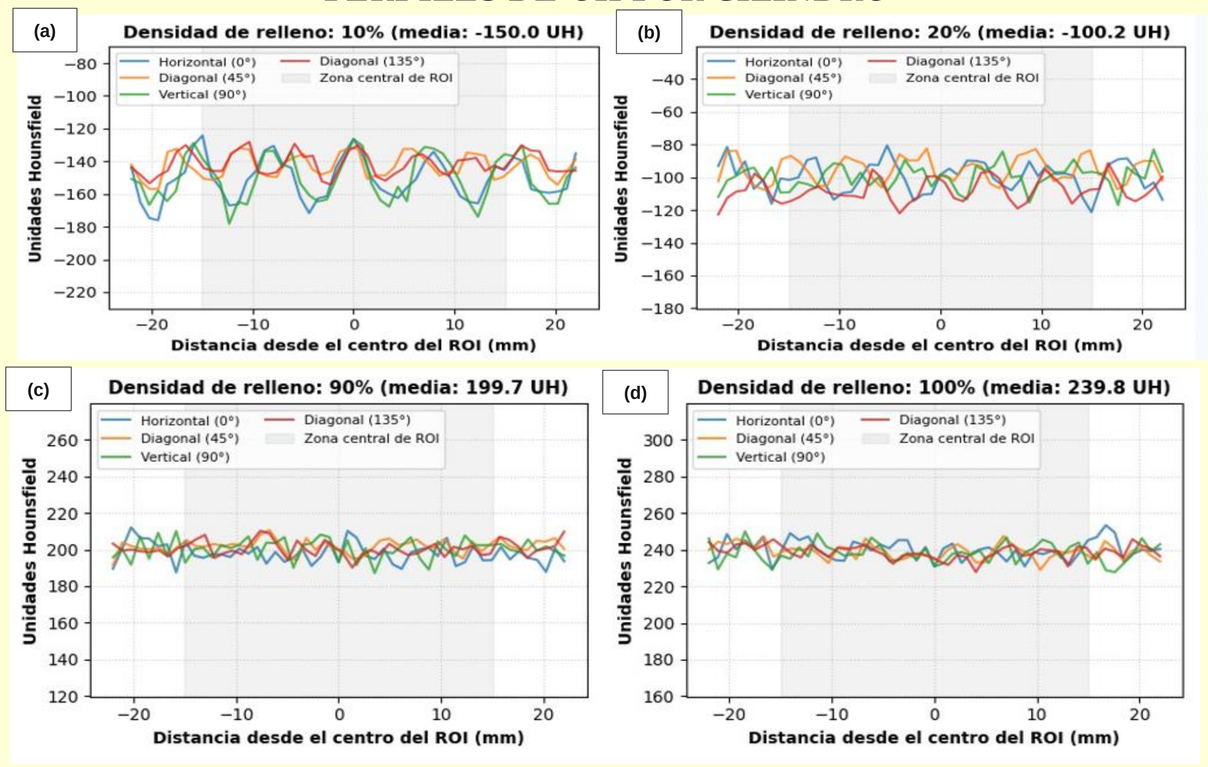


Figura 4. Perfiles de UH a lo largo de los cilindros de relleno giroide (80 kVp): (a) 10 %, (b) 20 %, (c) 90 % y (d) 100 %. La zona sombreada es la zona central del ROI.

UH en función del porcentaje de relleno

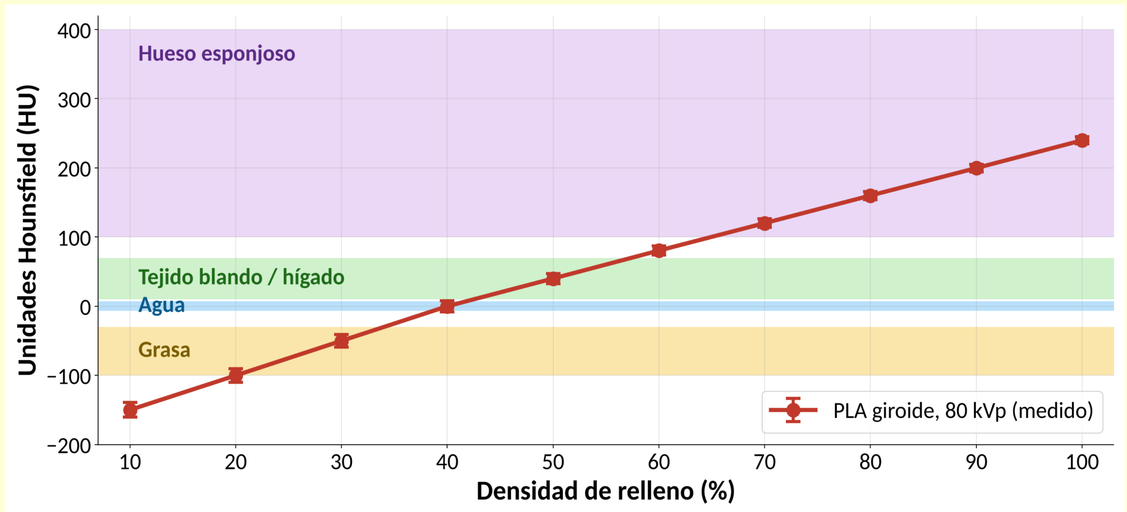


Figura 5. UH en función del porcentaje de relleno (giroide, 80 kVp). Las bandas indican los rangos de referencia de TC: grasa, agua, tejido blando / hígado y hueso esponjoso.

Conclusiones:

- ✓ **Se fabricaron 40 cilindros de PLA (FDM): cuatro patrones, relleno de 10 % a 100 %, influye significativamente en las Unidades Hounsfield obtenidas mediante tomografía.**
- ✓ **A 80 kVp, las UH del patrón giroide crecen de forma lineal con el relleno (−150,0 a 239,8 UH) y su dispersión disminuye.**
- ✓ **Relleno de 20–30 % ≈ grasa, 40 % ≈ agua, 50 % ≈ tejido blando y ≥ 70 % ≈ hueso esponjoso; el pulmón aún no se alcanza.**
- ✓ **La equivalencia dosimétrica a 6 MeV queda por validar con cámara Farmer, TPS y placa de referencia.**

Referencias

1. Choi Y. et al. Appl. Sci. 2022; 12(19):9768. doi:10.3390/app12199768
2. Albantow C, Brown S. J. Med. Radiat. Sci. 66:42–49.
3. Bustillo JPO et al. Phys. Med. 2025; 130:104904. doi:10.1016/j.ejmp.2025.104904
4. Madamesila J et al. Phys. Med. 2016; 32(1):242–247. doi:10.1016/j.ejmp.2015.09.013
5. Stone JR et al. Phys. Eng. Sci. Med. 2026. doi:10.1007/s13246-026-01698-3
6. ICRU Report 44. Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement. 1989.