

PROPUESTA PARA LA RECONSTRUCCIÓN EN 3D APLICADO A LA DETECCIÓN DE TUMORES USANDO TOMOGRÁFIA DE IMPEDANCIA ELÉCTRICA

*A 3D PROPOSAL RECONSTRUCTION APPLIED TO THE
DETECTION OF TUMORS USING ELECTRICAL
IMPEDANCE TOMOGRAPHY*

Juan Carlos Gómez Cortés

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
m1703042@itcelaya.edu.mx

Juan Prado Olivarez

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
juan.prado@itcelaya.edu.mx

José Javier Díaz Carmona

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
javier.diaz@itcelaya.edu.mx

José Alfredo Padilla Medina

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
alfredo.padilla@itcelaya.edu.mx

Jorge Alberto García Muñoz

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
jorge.garcia@itcelaya.edu.mx

Alejandro Israel Barranco Gutiérrez

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
israel.barranco@itcelaya.edu.mx

Recepción: 3/octubre/2023

Aceptación: 30/noviembre/2023

Resumen

Existe un interés especial por el uso de la tomografía de impedancia eléctrica (TIE) dentro del sector médico, mencionando sus aplicaciones en la obtención de imágenes pulmonares y la detección de tumores en la mama. Una de las limitantes al usar la tomografía de impedancia eléctrica en aplicaciones médicas es la baja resolución de las imágenes obtenidas. En este trabajo se muestra el uso de reconstrucciones 3D para representar una mama con tumores. Se discute la ventaja

de una representación 3D para un prediagnóstico fácil y rápido y su impacto en el uso de la tomografía de impedancia eléctrica como herramienta para la detección de tumores de mama que puede ser utilizada por el público médico en general. Se propone un método para facilitar la representación en 3D de la tomografía de impedancia eléctrica utilizando el diseño orientado a entidades y componentes que facilita la programación del algoritmo de reconstrucción.

Palabras Clave: COMSOL, MATLAB, reconstrucción 3D, tomografía de impedancia eléctrica.

Abstract

There is special interest in the use of electrical impedance tomography (EIT) within the medical sector, mentioning its applications in lung imaging and breast tumor detection. One of the limitations when using electrical impedance tomography in medical applications is the low resolution of the images obtained. In this paper we show the use of 3D reconstructions using MATLAB to represent a breast with tumors. The advantage of a 3D representation for easy and fast pre-diagnosis and its comparison with a simulation in COMSOL is discussed. A method is proposed to facilitate the 3D representation of electrical impedance tomography using entity and component-oriented design which facilitates the programming of the reconstruction algorithm.

Keywords: COMSOL, MATLAB, 3D imaging, electrical impedance tomography.

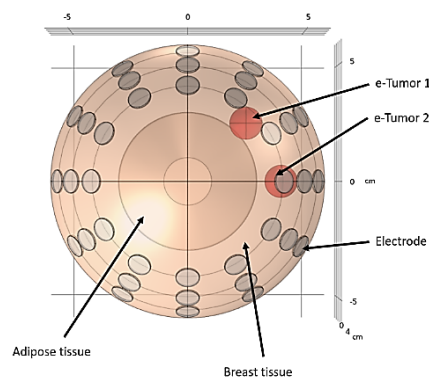
1. Introducción

La tomografía de impedancia eléctrica (TIE) es una técnica de imágenes médicas no invasiva que se utiliza para visualizar la distribución de impedancia eléctrica dentro de un objeto [Wang, 2022], generalmente aplicada al cuerpo humano con fines de diagnóstico o investigación [Gómez, 2022a]. La TIE funciona mediante la inyección de corriente eléctrica a través de electrodos colocados en la superficie del objeto en estudio (en este caso, el cuerpo humano). La corriente eléctrica fluye a través de los tejidos y órganos internos, y la resistencia eléctrica varía según las propiedades eléctricas de los diferentes tejidos [Zhu, 2023]. Los tejidos con alta

conductividad eléctrica permiten un mayor flujo de corriente, mientras que los tejidos con baja conductividad ofrecen una mayor resistencia al flujo de corriente [Rigaud, 1996]. Se sabe que las propiedades eléctricas entre un tumor y un tejido se distinguen fácilmente, lo que supone una ventaja cuando se utiliza la TIE para la detección. La TIE es una técnica de imagen relativamente segura y no invasiva, ya que utiliza corrientes eléctricas muy bajas que no causan un riesgo significativo para el paciente [Cherepenin, 2002]. La posibilidad de visualizar estas anomalías en un escenario tridimensional (imágenes 3D) ayuda a los médicos a tomar decisiones más informadas sobre el diagnóstico y el tratamiento [Xu, 2021]. Aunque cabe señalar que una reconstrucción 3D requiere un mayor consumo de potencia de procesamiento informático, metodologías de medición más complejas y una mayor cantidad de sensores en comparación con una reconstrucción 2D [Gómez, 2022b].

2. Métodos

COMSOL es una herramienta CAE (Ingeniería asistida por computadora) que permite simular modelos 3D mediante análisis eléctrico y obtener mediciones en puntos de interés, siendo una herramienta muy útil para la simulación de tomografía de impedancia eléctrica [Gómez, 2023c]. Se generó una simulación utilizando el software COMSOL con propiedades eléctricas similares a las reales. El diseño de la mama es una semiesfera basada en una copa B estándar y tiene las siguientes dimensiones: 6 cm de base y 4.6 cm de altura. En el modelo (Figura 1), se utilizan electrodos para emular los electrodos que se utilizan en los experimentos TIE.



Fuente: elaboración propia.

Figura 1 Componentes del modelo de la mama.

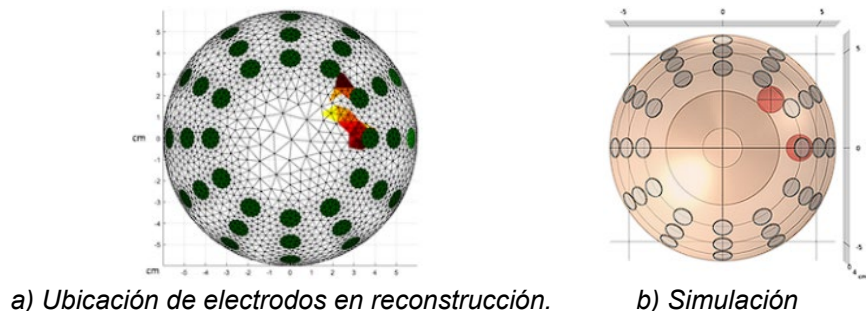
Hay 36 electrodos divididos en tres niveles de 12 electrodos cada uno, en el modelo se insertaron dos emuladores de tumores (e-tumores) en forma de esferas, ambos e-tumores con un diámetro de 1.4 cm; El e-tumor 1 tiene su centro en las coordenadas (x, y, z) de (2.5, 2, 2.5) cm. El e-tumor 2 tiene su centro en las coordenadas de (0, 2, 4) cm. Los e-tumores se definieron con parámetros de conductividad eléctrica (σ - Siemens por metro): tejido adiposo (adipose tissue) $\sigma = 0.023$ S/m, e-tumor $\sigma=1.125$ S/m, tejido mamario (breast tissue) $\sigma=0.225$ S/m.

El sistema entidad componente (ECS) [Muratet, 2020] es un enfoque arquitectónico utilizado para gestionar la complejidad y la reutilización de código. En este enfoque, se tienen tres elementos importantes en el sistema:

- Entidades: Cada tumor podría considerarse una entidad de la reconstrucción final. Cada tumor tiene una geometría y un tamaño definidos.
- Componentes: Los componentes representan las coordenadas (x, y, z) que se utilizarán para ubicar la entidad (tumor) dentro de la reconstrucción final.
- Selector: Cada combinación lógica activa o desactiva diferentes componentes en la reconstrucción final.

3. Resultados

Los resultados que comparan el modelo COMSOL y la reconstrucción 3D propuesta se muestran a continuación. La figura 2 muestra la vista superior de la reconstrucción y la simulación, en la reconstrucción (a) se agregaron electrodos para que coincidan con la simulación (b) y sirvan como referencia para identificar la posición de los tumores.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2 Comparación de vistas superiores.

La figura 3 muestra la vista lateral de la reconstrucción y la simulación, se puede observar que la reconstrucción de los tumores está a una altura similar en la reconstrucción (a) con respecto a la simulación (b). Aunque la reconstrucción no presenta la misma forma esférica en los e-tumores, comparte una posición similar (x, y, z).

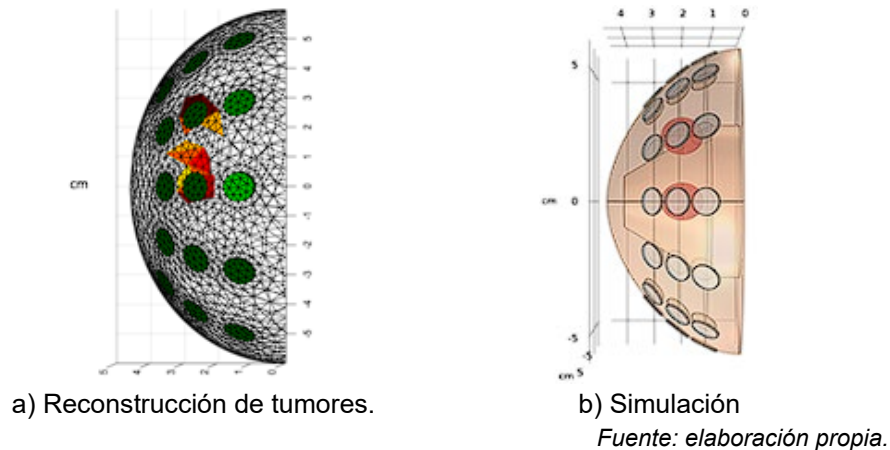


Figura 3 Comparación de vistas laterales.

4. Discusión

En una comparación entre una vista isométrica de la reconstrucción y la simulación, hay una aproximación en la posición de los e-tumores, aunque la geometría es diferente. En la simulación (b) los contornos del objeto son precisos y su superficie muestra una curvatura suave. Los colores y texturas están claramente diferenciados. En la reconstrucción (a) Los bordes pueden parecer más rugosos y la superficie puede mostrar irregularidades debido a la discretización de los elementos finitos. Los colores y texturas pueden aparecer más borrosos o pixelados en comparación con la imagen original. A pesar de estas limitaciones, el e-tumor todavía es reconocible. La reconstrucción está simplificada para facilitar el análisis visual de los resultados.

5. Conclusiones

Al emplear un sistema de componentes de entidad (ECS) para la reconstrucción de la tomografía de impedancia eléctrica, el consumo computacional de la

reconstrucción se reduce al reutilizar entidades y componentes para generar diferentes configuraciones 3D que permiten representar los e-tumores en una geometría definida, en este ejemplo un seno. Este sistema es modular por lo que en futuros trabajos es posible agregar más elementos de interés para ser representados en la reconstrucción y aunque se deben caracterizar con experimentación (cicatrices, conductos linfáticos, implantes mamarios etc.), este tipo de programación permite agregar modificaciones según las necesidades de experimentación sin afectar otras partes del sistema. Este tipo de propuesta de proyecto facilita enormemente la depuración y mantenimiento del código.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Wang, M. "Electrical impedance tomography," Elsevier eBooks, pp. 31–76, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823015-2.00019-4>.
- [2] Gómez Cortés, J. C.; Olivarez, J. P.; Diaz Carmona, J. J.; Padilla Medina, J. A. J.; Muñoz, A. G. and Barranco Gutiérrez, A. I. Electrical Impedance Tomography Simulation for Detection of Breast Tumors Based on Tumor Emulators, IEEE Xplore, Jul. 01, 2022.
- [3] Zhu, L.; Lu, W.; Soleimani, M.; Li, Z. and Zhang, M. Electrical Impedance Tomography Guided by Digital Twins and Deep Learning for Lung Monitoring, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, pp. 1–1, Jan. 2023, doi: <https://doi.org/10.1109/tim.2023.3298389>.
- [4] Rigaud, B.; Morucci, JP.; Chauveau, N. Bioelectrical impedance techniques in medicine part I: bioimpedance measurements second section: impedance spectrometry Crit. Rev. Biomed. Eng.24.257–351. 1996.
- [5] Cherepenin, V.; Karpov, A.; Korjenevsky, A.; Kornienko, V.; Kultiasov, Y.; Ochapkin, M.; Trochanova O. & Meister, J. Three-dimensional EIT imaging of breast tissues: System design and clinical testing. Medical Imaging, IEEE Transactions on. 21. 662 - 667. 2002. 10.1109/TMI.2002.800602.
- [6] Gómez Cortés, J.C.; Díaz Carmona, J.J.; Padilla Medina, J.A.; Calderon, A.E.; Gutiérrez, A.I.B.; Gutiérrez López, M.; Prado Olivarez. J. Electrical Impedance Tomography Technical Contributions for Detection and 3D

- Geometric Localization of Breast Tumors: A Systematic Review. *Micromachines* 2022, 13, 496. <https://doi.org/10.3390/mi13040496>.
- [7] Xu, F.; Li, M.; Li, J. and Jiang, H. Diagnostic accuracy and prognostic value of three-dimensional electrical impedance tomography imaging in patients with breast cancer, *Gland surgery*, vol. 10, no. 9, pp. 2673–2685, Sep. 2021, doi: <https://doi.org/10.21037/gs-21-348>.
- [8] Gómez Cortés, J. C.; Matheus Troconis, C.; Diaz Carmona, J. J.; Padilla Medina, J. A.; Prado Olivarez, J. and Barranco Gutiérrez, A. I. Simulación en 3D de Tomografía de Impedancia Eléctrica para la Detección de Tumores en la Mama con Interconexión en MATLAB y COMSOL, *8a Jornada de Ciencia Y Tecnología Aplicada*, vol. 5, no. 1, pp. 138–142, Jun. 2022.
- [9] Muratet, Mathieu and Garbarini, D. *Accessibility and Serious Games: What About Entity-Component-System Software Architecture?*, Springer eBooks, pp. 3–12, Jan. 2020, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-63464-3_1.