

# Respuesta electrodérmica, pletismografía y tomografía por impedancia

Camilo Alvarez Bravo, Valentina Rodríguez, Jose Machado

**Resumen**—In this report, a bibliographic review is carried out about the techniques that allow, by means of measuring the variation of the impedance in time, to determine pathological factors associated to such change. Likewise, other applications are presented such as the generation of images or tomography by means of a "mapping" of the impedance in a specific volume conductor.

## 1. INTRODUCCIÓN

EL bioelectromagnetismo es una disciplina que examina los fenómenos eléctricos, electromagnéticos y magnéticos que surgen en los tejidos biológicos [1]. La interacción entre los campos electromagnéticos intrínsecos en la anatomía humana (debido a su composición química), con los campos electromagnéticos externos, suponen ciertas variaciones en las propiedades eléctricas de los tejidos. Una de estas propiedades que ha venido sumando interés a los investigadores a través de los años, es la medición de la impedancia del tejido vivo [2] y con ello, el esfuerzo e interés de la comunidad científica para medir y cuantificar las variaciones de esta [3]. La impedancia al paso de la corriente en algún tejido, como se mencionó, no es constante y varía principalmente por cambios en el volumen sanguíneo y otros procesos fisiológicos en el individuo [4]. Existen diversas metodologías para medir dichas variaciones en la impedancia de un tejido biológico cuando este presenta patologías, pero por lo general, el objetivo es que la técnica utilizada sea lo menos invasiva posible [3]. En este artículo, se abarcan las diversas técnicas y aplicaciones existentes en cuanto a este tema, se consideran las ventajas y desventajas de cada una y bajo qué parámetros son útiles o no.

## 2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan de manera breve y detallada cada uno de los métodos que se estudian en este documento.

### 2.1. Pletismografía por impedancia

Se conoce como pletismografía por impedancia, al método de determinación los cambios de volumen

en los tejidos del cuerpo; esto se realiza mediante la medición de impedancia eléctrica en la superficie del cuerpo.

A partir de la teoría de campo de plomo electromagnético, se sabe que cualquier cambio en la conductividad de una región produce una señal de impedancia, el cual conservara una relación proporcional entre la cantidad de corriente que fluye en la región estudiada.

De esta manera, se considera el análisis matemático para un conductor de volumen no homogéneo, cuya conductividad está en función de la posición. Se consideran los aportes de esta no homogeneidad, añadiendo términos a la solución, como tal aproximamos términos del volumen del conductor, tomándolo como un conjunto de regiones; las cuales son homogéneas, resistivas e isotrópicas, de lo cual se destaca que la intensidad del campo eléctrico se relaciona linealmente con la densidad de corriente. Un conductor de volumen no homogéneo puede dividirse en un número finito de regiones homogéneas, cada una con un límite. En estos límites tanto el potencial eléctrico como el componente normal de la densidad de corriente deben ser continuos. Llegando así a la ecuación 1,

$$4\pi\sigma\Phi(r) = \int_V J_i \cdot \nabla\left(\frac{1}{r}\right)dv + \sum_j \int_S j(\sigma_j'' - \sigma_j')\Phi\nabla\frac{1}{r} \cdot dS_j \quad (1)$$

El primer término a la derecha describe la contribución de la fuente de volumen, y el segundo término la contribución de la no homogeneidades dentro del conductor de volumen.

Para medir el cambio de impedancia se llega al razonamiento matemático, que conduce a esta relación entre los cambios de impedancia medidos y los cambios de conductividad dentro de un conductor de volumen [1], estableciendo así la ecuación 2,

$$\int_V \frac{1}{\Delta\sigma} J_{LE}(t_0) \cdot J_{LI}(t_1) dv \quad (2)$$

Esta ecuación se puede aplicar en un marco temporal más largo, para lograr reducir la incertidumbre sobre cómo varía la impedancia a lo largo del corazón y el torso. Teniendo en cuenta la impedancia dada en los tejidos y la frecuencia a la que son expuestos, de ahí extraeremos la información que nos sea útil; esto se rige a partir de la ecuación 3, mostrando así el modelo de tres elementos de impedancia tisular que exhibe una única constante de tiempo.

$$Z_f = Z_\infty + \frac{R_0 - R_\infty}{1 + j\omega\tau^{(1-\alpha)}} \quad (3)$$

## 2.2. Tomografía por impedancia

La tomografía por impedancia eléctrica utiliza el principio físico de la impedancia para evaluar diferentes propiedades tisulares [5]. Es un método de construcción de imágenes no invasivo que permite obtener una sección transversal plana de una estructura tridimensional [6]. Esta técnica hace uso del amplio espectro de valores de resistividad eléctrica que presentan los tejidos biológicos para realizar la construcción de una imagen representativa de los valores de resistividad que componen al órgano analizado.

Al igual que en la pletismografía de impedancia, también en la tomografía de impedancia se alimenta la corriente y se mide el voltaje a través de diferentes pares de electrodos para así evitar el error ocasionado debido a la impedancia del contacto [1]. Para llevar a cabo el proceso de reconstrucción de la imagen tomográfica se resuelve un problema de condiciones de contorno debido a que las mediciones de la tensión eléctrica se realizan con electrodos superficiales y no se obtienen datos de valores de impedancia interiores de forma directa.

Entre los métodos más conocidos para realizar la tomografía por impedancia se encuentran:

1. El método de Sheffield: Para realizar esta medición, se toman dos electrodos contiguos de los 16 aplicados y se inyecta una corriente en ellos que afectará a toda la superficie. En ese momento se toman mediciones de tensión de a pares adyacentes en el resto de los electrodos. Si suponemos que hemos aplicado la corriente en los dos primeros electrodos, se miden las tensiones ocasionadas entre el tercero y el cuarto, cuarto y quinto hasta el electrodo 15 y 16. Culminando así la primera estimulación y medición [7].

2. método de oposición: En este caso, la corriente se aplica en dos electrodos opuestos 180 grados y la medición se realiza a todos los electrodos restantes tomando uno fijo como referencia. Este método ofrece una mejor distribución de la sensibilidad, al ser más uniforme el paso de la corriente por la región del cuerpo [8].
3. método cruzado o diagonal: En este método, la primera inyección de corriente se da entre dos electrodos no contiguos dejando uno sólo entre ellos. El electrodo intermedio es el electrodo 1, por lo que la corriente se aplica entre el electrodo 'n' y el 2. Una vez aplicada esta corriente se miden trece diferencias de potencial, todas referidas al electrodo 1 y con cada uno de los electrodos que han quedado libres.
4. método trigonométrico: En este método se inyecta la corriente en todos los electrodos y se mide la diferencia de potencial en todos los electrodos aplicados, manteniendo un electrodo como referencia. razón por la que se necesitan para 'n' electrodos, 'n/2' generadores de corriente. Las tensiones de contorno son medidas con respecto a un solo electrodo referido a tierra. Por lo que para 'n' electrodos se obtienen 'n-1' voltajes medidos. Para la siguiente medición se rotan las mediciones un electrodo. Una de las grandes desventajas de este método es la cantidad de generadores de corriente que se hacen necesarios.

## 2.3. Respuesta electrodérmica

La respuesta galvánica de la piel (GSR), también denominada actividad electrodérmica (EDA) y conductancia de la piel (SC), es la medida de las continuas variaciones en las características eléctricas de la piel. Nos enfocaremos en el fenómeno de la conductancia.

Para entender el fenómeno de conductancia, causada por la variación de la sudoración del cuerpo humano. La teoría tradicional del análisis de la respuesta galvánica de la piel está basada en la suposición de que la resistencia de la piel varía con el estado de las glándulas sudoríparas de la piel. La sudoración del cuerpo humano está regulada por el Sistema Nervioso Autónomo (SNA). En particular, si la rama simpática (SNS) del Sistema Nervioso Autónomo está muy excitada, la actividad de la glándula sudorípara también aumenta, lo que a su vez aumenta la conductancia de la piel, y viceversa. De esta forma, la conductancia de la piel puede ser una medida de las respuestas del Sistema Nervioso Simpático humano.

El interés en la conductancia entre los electrodos de la piel, generalmente colocados en la superficie palmar, surgió debido a la participación de las glándulas

sudoríparas en esta medición. Dado que la actividad de las glándulas sudoríparas, a su vez, está controlada por la actividad nerviosa simpática, esta medición se ha considerado como una forma ideal de controlar el sistema nervioso autónomo.

### 3. ANÁLISIS

En esta sección se realiza un análisis para determinar las aplicaciones, ventajas y desventajas de las metodologías expuestas anteriormente.

Respecto a la pletismografía por impedancia se puede decir que, que la impedancia-cardiografica es una gran herramienta para conocer el gasto cardíaco relativo y las variaciones de volúmenes los tejidos del cuerpo que se puedan presentar, aunque hay que tener ciertas consideraciones respecto a los casos en los que se puede aplicar, ya que, en su recorrido histórico, nos muestra que, si se aplica en casos que presenten condiciones de hipoxia, drogas, maniobras de ventilación, entre otros, afectaría rotundamente el rendimiento de esta técnica.

La principal ventaja de este método es que es de tipo no invasiva e inofensiva, además de brindar tratamientos alternativos y menos rigurosos a los pacientes les garantiza un método eficaz y fiable.

Las aproximaciones realizadas para el tórax, respecto a tejidos y líquidos, nos permite una mejor estimación del planteamiento matemático, sin usar una generalización, lo que nos permite más adelante en estudios futuros tener nuestras propias consideraciones en el sistema, dependiendo de la naturaleza del paciente a tratar.

Como se había mencionado, Para realizar una prueba de tomografía por impedancia, corresponde la utilización de electrodos conductores que se colocan en la piel del paciente para aplicar pequeñas corrientes alternas con el fin de medir las variaciones del potencial eléctrico para un número de configuraciones distintas de corriente aplicada y así determinar las variaciones en la impedancia para luego reconstruirlas en una imagen haciendo uso de un algoritmo. Una de las limitaciones más grandes de la técnica de tomografía por impedancia, es la resolución espacial de la imagen obtenida, este problema se presenta debido a la solución numérica del problema matemático que representa esta situación. Se sabe que, teóricamente, la imagen obtenida por este método seguirá siendo inferior a la imagen dada por rayos X y la ecografía, por lo que la aplicación del mismo se limitará a monitoreo en lugar de aplicaciones de imágenes anatómicas precisas, sin embargo, esta técnica se torna interesante de estudiar debido a que es un método económico y no ionizante, a diferencia de los dos métodos

de tomografías mencionados anteriormente. Entre las aplicaciones más comunes de esta técnica en el ámbito clínico se encuentran: Proporcionar imágenes de la distribución regional de la ventilación y los cambios del volumen pulmonar, monitoreo no invasivo de la función del corazón y el flujo sanguíneo, detección oportuna de cáncer de piel y de seno, monitoreo de tratamiento hipertérmico, mamografías, localización de focos epilépticos y el monitoreo de lesiones óseas.

Para la técnica de EDR, centramos el análisis en el área de la psicofisiología, relacionamos con los estudios en los que se desea una medida cuantitativa, para la caracterización de la actividad simpática, esta técnica ha sido uno de los índices psicofisiológicos más empleado como correlato de procesos psicológicos, ya que desde el principio se ha relacionado con la emoción. Es una medida psicofisiológica dotada de un alto nivel de sensibilidad, lo indica los cambios cognitivos.

Sin embargo, no cabe duda de que la respuesta se produce a menudo a estímulos que dependen para su eficacia de su importancia fisiológica en contraposición a su intensidad física.

### 4. CONCLUSIONES

Aunque existen indicaciones de lo peligrosos que podrían ser los campos electromagnéticos para los organismos vivos, a lo largo de los años, se les ha encontrado un sinnúmero de beneficio en cuanto a su aplicación en el campo de la salud. Muchos de estos avances científicos han permitido mejorar notoriamente la calidad de vida de las personas por medio de la detección, monitoreo y tratamiento de patologías que acechan la vida de un ser humano. Los estudios analizados previamente son una muestra de que la utilización de del bioelectromagnetismo en aplicaciones clínicas, brindan un diagnóstico efectivo y con un alto grado de fiabilidad (dependiendo claro de ciertas condiciones médicas), por lo que se logró evidenciar la importancia de conocer y entender, los parámetros bioelectromagnéticos que son intrínsecos al ser humano, y cómo artificialmente podemos interactuar con estos.

### REFERENCIAS

- [1] J. Malmivuo y R. Plonsey, Bioelectromagnetism , 1st ed. Nueva York: Oxford university press, 1995, pp. 541-575.
- [2] J. Warren y VanRavenswaay, "Impedancia eléctrica del cuerpo humano", Science Direct , 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article>
- [3] M. Moncada, M. Saldarriaga, A. Bravo y C. Pinedo, Medición de Impedancia Eléctrica en Tejido Biológico . Cali, 2020, pp. 3-6.

- [4] Hernández Rivera y Suaste Gómez, Pletismografía de impedancia basada en electrodos de Polipirrol para el sentido de la frecuencia cardíaca . Ciudad de México, 2020, pp. 1-3.
- [5] Tomografía de impedancia eléctrica pulmonar: funcionamiento, utilidad e imágenes en la práctica clínica”, Medicina-intensiva.com . [En línea]. Disponible: <http://www.medicina-intensiva.com/2014/09/A197.html>.
- [6] Dell’Osa, Antonio. (2015). Tomografía por impedancia eléctrica: breve revisión.
- [7] Electrical Impedance Tomography. Webster J G. Adam Hilger Series of Biomedical Engineering, NY, USA, 1990
- [8] Riera J, Riu PJ, Casan P, Masclans JR. Tomografía de impedancia eléctrica en la lesión pulmonar aguda. Medicina Intensiva 2011; 35: 509-517.
- [9] Tutsky AS, Tremblay LN. Multiple system organ failure. Is mechanical ventilation a contributing factor? Am J Respir Crit Care Med 1998; 157: 1721-1725.
- [10] Bronzat, A. et al. (1960). Relationship between P.G.R. and measures of extraversion, ascendance and neuroticism. Jmal of Psychology, 50, 193-195.
- [11] Cosculluela, A. y Guillén, F. (1985). Dzyerencias individuales en registros psicofisiológicos: Ansiedad, stress, actividad electrodermal, ritmo cardíaco y ritmo respiratorio. Tesina de Licenciatura. Universidad de Barcelona.
- [12] Electrical impedance tomography: a review of current literature. Jongschaap H C N , Wytch R , Hutchison J M S , Kulkarni V. European journal of Radiology 18 165-174 (1994).
- [13] Bioelectrical Impedance Methods for Noninvasive Health Monitoring: A Review, Tushar Kanti Bera
- [14] Electrical Impedance Tomography (EIT) and Its Medical Applications: A review. Harikumar R , Prabu R , Raghavan S. Internacional Journal of Soft Computing and Engineering ISSN: 2231-2307, Volumen-3, Issue-4 (2013)