

Sistema de bioimpedancia eléctrica para monitoreo de salud en mascotas

Jesús Martín del Campo-Ledesma¹, Gloria Jocelyn Azamar-Ríos¹, Froylán Israel Albarrán-Tamayo²
y Marysol García-Pérez¹

¹Universidad La Salle Bajío, Facultad de Ingenierías y Tecnologías. León, Guanajuato, México.

²Universidad la Salle Bajío, Facultad de Veterinaria. León, Guanajuato, México.

jm174839@lasallebajio.edu.mx, gar77485@lasallebajio.edu.mx,
falbarrant@lasallebajio.edu.mx y mgarciap@lasallebajio.edu.mx

Resumen. La evaluación precisa y no invasiva del estado nutrimental en mascotas representa un desafío para la medicina veterinaria, debido a que los métodos convencionales, como las escalas visuales de condición corporal, son subjetivos y limitados. Aunque existen técnicas bioquímicas más exactas, su naturaleza invasiva genera estrés en los animales y puede alterar los resultados. Frente a esta problemática, se desarrolló un prototipo electrónico basado en bioimpedancia para estimar en tiempo real la composición corporal —principalmente grasa y músculo— mediante el análisis de propiedades eléctricas del tejido biológico, como resistencia y capacitancia. El dispositivo incluye etapas de amplificación, protección, medición e inyección controlada de señal, procesadas con un Arduino Mega y un módulo de relevadores que permiten una configuración de cuatro hilos para mediciones precisas y seguras. Inicialmente, se calibró el sistema con componentes eléctricos conocidos y se validó preliminarmente en un sujeto humano, evaluando la sensibilidad ante diferentes condiciones superficiales de la piel. Los resultados mostraron cambios significativos en la impedancia total, resistencia, reactancia y capacitancia equivalente al aplicar gel antibacterial y crema para manos, demostrando la capacidad del sistema para detectar variaciones eléctricas del tejido. Estos hallazgos respaldan la viabilidad del dispositivo para aplicaciones clínicas y veterinarias. Como siguientes pasos, se planea validar el sistema en mascotas y desarrollar una interfaz que traduzca los datos eléctricos en indicadores útiles para el monitoreo nutricional, contribuyendo así a la modernización y ética del cuidado animal mediante tecnología avanzada.

Palabras Clave: Bioimpedancia eléctrica, salud nutricional, animales.

1 Descripción de la problemática prioritaria abordada

La vigilancia del estado nutricional de las mascotas sigue siendo un desafío para la medicina veterinaria. Los métodos disponibles se basan principalmente en la inspección visual mediante escalas de condición corporal, como la desarrollada por Nestlé Purina PetCare Center y la WSAVA [1], [2]. Aunque útiles, estas evaluaciones dependen del criterio del observador, lo que limita su precisión para cuantificar grasa, músculo y agua corporal [3].

Otra estrategia consiste en medir componentes sanguíneos como la glucosa, el colesterol y los triglicéridos. Sin embargo, la toma de muestra es invasiva y estresante para los animales, lo cual puede alterar los parámetros que se busca medir [4]. Por ello, la práctica veterinaria continúa recurriendo a métodos no invasivos pero subjetivos, que dificultan el seguimiento detallado de intervenciones nutricionales.

En contraste, la nutrición humana ha incorporado desde los años noventa técnicas estandarizadas como la bioimpedancia eléctrica (BIA), capaz de estimar con fiabilidad la composición corporal a partir de principios físicos bien definidos [5]. Esta experiencia sugiere que la BIA podría adaptarse a animales de compañía, siempre que se desarrollen protocolos específicos para cada especie.

Ante esta necesidad, se propone el diseño de un sistema electrónico no invasivo que determine en tiempo real los porcentajes de grasa y músculo mediante el análisis de propiedades eléctricas del tejido biológico, particularmente la resistencia y la capacitancia [6]. El prototipo incluirá un circuito de medición de precisión y algoritmos para convertir las señales en indicadores de composición corporal, iniciando su validación en gatos por su menor variabilidad morfológica. La implementación de esta tecnología brindará a los veterinarios datos objetivos para tomar decisiones nutricionales informadas y mejorar la salud y calidad de vida de los animales de compañía.

2 Objetivo

Desarrollar un dispositivo electrónico no invasivo, basado en el análisis de las propiedades eléctricas del tejido biológico, que permita estimar en tiempo real la composición corporal en mascotas, con el fin de proporcionar información objetiva y cuantificable que apoye el seguimiento de su salud nutricional y facilite la toma de decisiones clínicas en medicina veterinaria.

3 Propuesta teórico-metodológica

Como primer prototipo, se desarrolló un sistema capaz de medir redes de impedancia artificiales que simulan el comportamiento de un sistema biológico con características resistivo-capacitivas. En esta fase inicial, no se realizaron pruebas en animales. Para el diseño se tomó como referencia el AFE4300 de Texas Instrument, analizando cada una de sus etapas con el fin de replificarlas y crear un prototipo funcional de bajo costo [7]. Además, como este tipo de sistemas están pensados para uso humano se decidió realizar un sistema propio para poder hacer las adaptaciones necesarias, específicamente pensando en mascotas. La Figura 1 muestra el diagrama de bloques con las diferentes etapas que integran el prototipo.

El prototipo incluye etapas de amplificación, protección y medición para estimar parámetros eléctricos del cuerpo de forma segura. Se amplifica la señal, se estabiliza con un seguidor de voltaje, y se rectifica a media onda para adecuarla al microcontrolador. Una resistencia de referencia permite calcular la impedancia corporal. El sistema utiliza Arduino Mega para el procesamiento de datos y un módulo de relevadores que gestiona la inyección de señal mediante una configuración de cuatro hilos (dos de inyección y dos de referencia a tierra), asegurando una medición precisa y segura.

Para los primeros protocolos de prueba, únicamente se realizaron pruebas con arreglos de resistencia, midiendo los valores de cada una de ellas y posteriormente con arreglos resistivo-capacitivo calculando el valor de cada uno de los elementos del circuito. Posteriormente se realizó una validación preliminar en un sujeto humano. Para esta última, se tomaron tres medidas: una sin interferencias, otra tras aplicar gel antibacterial y una tercera después de aplicar crema para manos, con el fin de observar variaciones en los parámetros de impedancia.

4 Discusión de resultados

La Figura 2 muestra las señales obtenidas y verificadas en el osciloscopio al final de las etapas clave del prototipo, lo que permitió confirmar el funcionamiento adecuado del sistema. Una vez realizada esta verificación, se procedió al diseño de la placa de circuito impreso (PCB) del sistema electrónico completo, con el objetivo de iniciar las pruebas de calibración y validación del prototipo. La Figura 3 presenta una vista 3D del diseño del PCB elaborado.

Como se muestra en la Tabla 1, al aplicar gel antibacterial sobre la piel, la impedancia total se ve afectada principalmente en su componente resistivo, registrándose un aumento en la resistencia. Esto se debe a la formación de una capa adicional sobre el cuerpo que modifica el paso de corriente. Por otro lado, al aplicar crema para manos, se observa un incremento aún mayor en la impedancia total, esta vez con un impacto más notable en la reactancia capacitiva. Este fenómeno se debe a que la crema, al contener lípidos, se comporta como un dieléctrico dentro del sistema, actuando de manera similar a un capacitor y alterando las mediciones del componente en el sistema de bioimpedancia. Este incremento sugiere que ambas sustancias interfieren con el paso de

la corriente eléctrica, aumentando la oposición al flujo, pero en diferente magnitud. El resultado de capacitancia equivalente es coherente con el aumento de la reactancia capacitiva, ya que capacitancia y reactancia están inversamente relacionadas.

5 Conclusiones y perspectivas futuras

El prototipo desarrollado, conformado por etapas de amplificación, protección, medición e inyección controlada de señal, demostró ser funcional y efectivo en la adquisición de datos eléctricos del cuerpo mediante un diseño electrónico compacto y seguro. Las señales obtenidas en el osciloscopio durante las pruebas iniciales permitieron validar el funcionamiento del circuito y avanzar hacia el diseño de la placa PCB, lo que facilitó la realización de pruebas de calibración y validación preliminar. Los resultados obtenidos muestran que el sistema es sensible a variaciones en las condiciones superficiales de la piel, registrando cambios significativos en la impedancia total, resistencia, reactancia y capacitancia equivalente ante la aplicación de distintas sustancias. En conjunto, los resultados respaldan la viabilidad del dispositivo para aplicaciones clínicas o veterinarias, siempre que se mantengan condiciones controladas durante las mediciones. En las siguientes etapas del proyecto se buscará validar el sistema con gatos domésticos y se buscará desarrollar una interfaz que traduzca estos valores de impedancia en datos que aporten al seguimiento y diagnóstico de la salud nutricional de las mascotas. La innovación tecnológica en este campo abre nuevas oportunidades para un manejo más ético y eficiente del bienestar animal.

6 Agradecimientos

Los autores agradecen a la Salle Bajío por el financiamiento del proyecto: "Desarrollo de biotecnología para evaluar salud en perros y gatos".

7 Referencias

- [1] R. D. Kealy *et al.*, "Effects of diet restriction on life span and age-related changes in dogs," *J Am Vet Med Assoc*, vol. 220, no. 9, pp. 1315–1320, May 2002, doi: 10.2460/JAVMA.2002.220.1315.
- [2] L. Freeman *et al.*, "WSAVA Nutritional Assessment Guidelines," *J Small Anim Pract*, vol. 52, no. 7, pp. 385–396, Jul. 2011, doi: 10.1111/J.1748-5827.2011.01079.X.
- [3] L. S. Rae, J. S. Rand, and L. C. Ward, "Measuring body composition in dogs using bioelectrical impedance spectroscopy," *Veterinary Journal*, vol. 304, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.tvjl.2024.106067.
- [4] P. Chloupek, I. Bedanova, J. Chloupek, and V. Vecerek, "Changes in Selected Biochemical Indices Resulting from Various Pre-sampling Handling Techniques in Broilers," *Acta Vet Scand*, vol. 53, no. 1, p. 31, May 2011, doi: 10.1186/1751-0147-53-31.
- [5] K. Berneis and U. Keller, "Bioelectrical impedance analysis during acute changes of extracellular osmolality in man," *Clinical Nutrition*, vol. 19, no. 5, pp. 361–366, 2000, doi: 10.1054/CLNU.2000.0133.
- [6] P. M. Swantek, J. D. Crenshaw, M. J. Marchello, and H. C. Lukaski, "Bioelectrical impedance: a nondestructive method to determine fat-free mass of live market swine and pork carcasses," *J Anim Sci*, vol. 70, no. 1, pp. 169–177, 1992, doi: 10.2527/1992.701169X.
- [7] "AFE4300 data sheet, product information and support | TI.com." Accessed: Sep. 22, 2025. [Online]. Available: https://www.ti.com/product/AFE4300?utm_source=chatgpt.com

Figuras y Tablas



Figura 1. Diagrama de bloques de las etapas consideradas en el prototipo



Figura 2. Comprobación de las etapas de amplificación, seguidor de voltaje y rectificador de la señal en el osciloscopio.

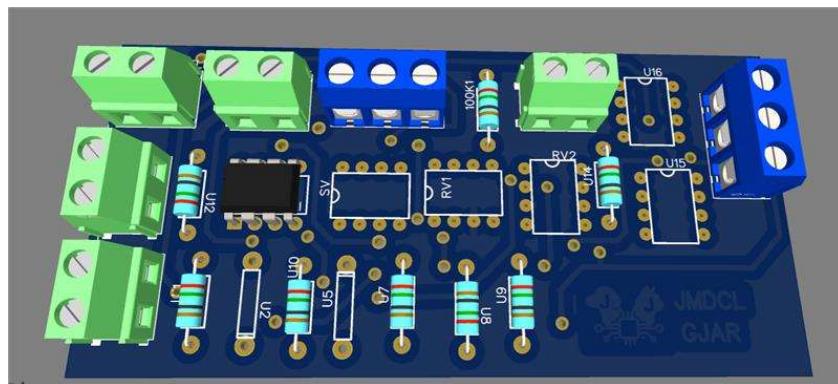


Figura 3. Vista 3D del circuito electrónico.

Tabla 1. Valores de impedancia en las tres pruebas de validación

Estado	Impedancia total (Ω)	Componente resistivo (Ω)	Reactancia Capacitiva (Ω)	Capacitancia equivalente (nF)
Sin interferencias	9,095.07	7,584.25	5,019.91	0.66
Gel antibacterial	12,848.94	10,714.55	7,091.81	0.46
Crema para manos	14,575.73	12,154.49	8,044.88	0.41