

Desarrollo de un sistema de medición y diagnóstico de la apnea del sueño mediante una antena tipo parche y una aplicación móvil

Development of a sleep apnea measurement and diagnosis system using a patch-type antenna and a mobile application

Julian Arango Toro

Institución Universitaria Salazar y Herrera
julian.arango@salazaryherrera.edu.co

Mauricio González

Universidad de Medellín
magonzalez@udemedellin.edu.co

Diana Tobón Vallejo

Universidad de Antioquia
diana.tobon@udea.edu.co

Tipo de Artículo: Investigación científica y tecnológica

DOI: 10.21500/20275846.8020

Recibido: 2025-03-28

Revisado: 2025-07-08

Aceptado: 2025-09-05

Referenciar así: J. Arango Toro et al., “Desarrollo de un sistema de medición y diagnóstico de la apnea del sueño mediante una antena tipo parche y una aplicación móvil,” *Ingenierías USBMed*, vol. 16, n.º 2, pp. 20-23, 2025.

Resumen. La apnea obstructiva del sueño (OSA, por sus siglas en inglés) es un trastorno respiratorio grave que afecta a aproximadamente mil millones de personas entre 30 y 69 años en todo el mundo. La OSA se caracteriza por episodios de interrupción (apnea) o reducción (hipopnea) de la respiración debido al colapso de la vía aérea superior. Tradicionalmente, la polisomnografía (PSG) ha sido el estándar de oro para diagnosticar la OSA, puesto que mide variables fisiológicas como la actividad cerebral, los movimientos oculares, la actividad muscular, el ritmo cardíaco y la respiración. Sin

embargo, la PSG tiene limitaciones en términos de capacidad de captura de datos, clasificación de eventos respiratorios y requiere de un entorno controlado para su ejecución.

Este estudio se propone desarrollar un nuevo sistema de medición y diagnóstico para OSA utilizando un sensor de deformación torácica. Dicho sistema está basado en una antena parche vestible e integra un analizador de redes vectoriales para la adquisición de datos durante el sueño. El sistema registrará la deformación de la caja torácica durante la inhalación y exhalación, apoyado en estrategias de detección de patrones para clasificar índices de apnea. La precisión y confiabilidad del sistema se validarán comparando sus resultados con los obtenidos mediante PSG. Esto último a través de estudios de casos en pacientes y la evaluación de un especialista en medicina del sueño.

Dicho enfoque innovador podría revolucionar el diagnóstico de la OSA, pues ofrece una detección temprana y precisa, la cual, a su vez, facilita la intervención y los tratamientos oportunos para mejorar la calidad de vida de los pacientes. Al superar las limitaciones de la PSG, este sistema promete mayor accesibilidad, comodidad y eficacia en el diagnóstico de la apnea del sueño.

Palabras Clave. Apnea obstructiva del sueño, polisomnografía, antena parche vestible, índices de apnea, eventos respiratorios

Abstract. Obstructive sleep apnea (OSA) is a severe respiratory disorder during sleep, affecting approximately 1 billion people between 30 and 69 years old worldwide. OSA is characterized by episodes of breathing interruption (apnea) or reduction (hypopnea) due to the collapse of the upper airway. Traditionally, polysomnography (PSG) has been the gold standard for diagnosing OSA, measuring physiological variables such as brain activity, eye movements, muscle activity, heart rhythm, and respiration. However, PSG has limitations in terms of capacity for capturing data, classification of respiratory events, and the need for a controlled environment for its execution.

This study proposes a new measurement and diagnostic system for OSA using a thoracic deformation sensor based on a wearable patch antenna, integrated with a vector network analyzer for data acquisition during sleep. The system records the deformation of the chest during inhalation and exhalation, using pattern detection strategies to classify apnea indices. The accuracy and reliability of the system are validated by comparing its results with those obtained through PSG, using case studies in patients and the evaluation of a sleep medicine specialist.

This approach could contribute to the diagnosis of OSA, offering early and accurate detection, resulting in timely intervention and treatment to improve the quality of life of patients. By overcoming the limitations of PSG, this system could increase accessibility, comfort, and effectiveness in the diagnosis of sleep apnea.

Keywords. Obstructive sleep apnea, polysomnography, wearable patch antenna, apnea indices, respiratory events



I. Introducción

El síndrome de apnea del sueño es uno de los trastornos respiratorios más prevalentes, afectando a cerca de mil millones de personas entre los 30 y 69 años en el mundo [1]. Esta condición se caracteriza por episodios repetidos de obstrucción parcial o completa de la vía aérea superior durante el sueño, generando hipoxemia, fragmentación del descanso y aumento del riesgo cardiovascular y metabólico [2]. El estándar de referencia para su diagnóstico sigue siendo la polisomnografía, ya que permite un análisis integral de la actividad cerebral, respiratoria, cardíaca y muscular [3]. Sin embargo, el avance en tecnologías portátiles ha impulsado el desarrollo de dispositivos médicos emergentes que buscan complementar este procedimiento. Entre ellos, el modelo SCOPER agrupa variables fisiológicas clave (sueño, cardiovascular, oximetría, posición, esfuerzo respiratorio y respiración), mientras que la Prueba de Apnea del Sueño en el Hogar (HSAT) utiliza equipos portátiles para estudios domiciliarios [4], [5]. Asimismo, dispositivos comerciales como Morphea permiten estudios tipo III o IV según la clasificación de la Academia Americana de Medicina del Sueño (AASM), aunque aún enfrentan desafíos en la detección precisa de eventos respiratorio [6], [7].

Los sensores de fibra óptica ofrecen una solución prometedora debido a su sensibilidad y resistencia a las interferencias [8], [9]. Asimismo, la integración del internet de las cosas (IoT) y el aprendizaje automático también prometen mejoras en portabilidad y precisión, aunque presentan desafíos en el monitoreo en tiempo real y la adaptación anatómica [10], [11]. Una investigación en antenas tipo parche e identificación por radio frecuencia (RFID) mostró que estas presentan potencial para medir la respiración sin contacto directo. Además, se halló que la tecnología wifi información del estado del canal (CSI), aunque también se muestra válida, cuenta con limitaciones en sensibilidad y adaptación anatómica [12]. Por ello, los autores de dicha investigación subrayan la necesidad de dispositivos confiables y anatómicamente adecuados para la detección de trastornos del sueño, enfocados en superar los desafíos de sensibilidad y adaptación anatómica.

En consecuencia, este proyecto se centra en desarrollar un sistema de diagnóstico para apnea del sueño mediante el diseño y construcción de antenas tipo parche y tecnología IoT integradas en vestibles. El objetivo es crear un sensor portátil y mínimamente invasivo que irá colocado en la región toracoabdominal y será capaz de

monitorear eventos respiratorios y transmitir datos a la nube para su análisis y posterior envío a una aplicación móvil. Con ello se busca ofrecer una herramienta precisa y fiable para el monitoreo de la deformación torácica, mediante la cual se pueda mejorar el diagnóstico y tratamiento de la apnea del sueño y así impactar positivamente en el sector de la salud y la telemedicina.

II. Método

El proyecto se centra en desarrollar antenas de parche textiles destinadas al monitoreo de la salud, especialmente al diagnóstico de la apnea del sueño. Para ello, se sugirió el modelo PHVA (planificar, hacer, verificar, actuar) con el fin de garantizar mejoras continuas en calidad y eficiencia. Se seleccionaron materiales dieléctricos y conductores óptimos, con estos se diseñaron y simuló las antenas utilizando CST Studio Suite 2022. Esto se explica en detalle en [13]. Las antenas se fabricaron con técnicas de control numérico computarizado (CNC) y corte láser, y su posterior respuesta se midió con un analizador de redes vectorial NanoVNA V2. Posteriormente, se aplicarán técnicas estadísticas y de aprendizaje de máquina para analizar los datos de los pacientes y diagnosticar la apnea del sueño. Los resultados serán validados con polisomnógrafo estándar. El proceso seguirá un enfoque iterativo para optimizar tanto el diseño de las antenas como la metodología de diagnóstico, según lo indica el modelo PHVA, como asegurar fiabilidad y precisión.

III. Resultados

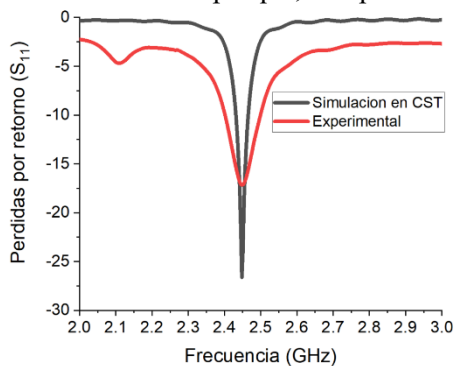
Se optó por materiales textiles comunes y conductores para antenas parche debido a su disponibilidad y sus propiedades dieléctricas. Los textiles elegidos incluyen campañita, Sakura, Memphis y Bell, mientras que los conductores son láminas de cobre flexible y telas como Taffeta, ShieldiT Super, Ni/Cu Risptop Fabric y Soft&Safe. Tras algunas investigaciones, se encontró que Memphis y Shieldit Super son sensibles a deformaciones, lo cual es vital para la flexibilidad en los dispositivos portátiles. Se desarrolló un método económico para estimar permitividad relativa y pérdidas tangenciales, a través del cual se demostró un comportamiento lineal sobre 2 GHz y una disminución exponencial respectivamente, cruciales ambos para los dispositivos flexibles. La caracterización electromagnética del textil Memphis se realizó mediante el método de cavidad resonante, seleccionando la frecuencia de 2.45 GHz por pertenecer a la banda ISM. Se obtuvo una permitividad relativa de $\epsilon_r = 1.7506$ y una tangente de pérdida $\tan\delta = 0.03833$. El espesor



del material, medido con un micrómetro Mitutoyo, fue de 0.76 mm. Para la caracterización mecánica se evaluó el módulo elástico considerando pequeñas deformaciones ortotrópicas y lineales. El módulo de Young obtenido fue de 174 kPa, lo que lo hizo adecuado para aplicaciones en antenas y sensores vestibles.

Además, se emplearon las ecuaciones de [14] junto a propiedades dieléctricas del Memphis para diseñar antenas parche en el *software* CST. De este modo, se pudo asegurar una respuesta a 2.4 GHz y 50 Ω. También se calcularon la longitud de onda, longitud eléctrica, las dimensiones del parche, la permitividad efectiva y otros parámetros. En la construcción del sensor, se utilizaron textiles y material conductor termofusible Shieldit Super con conectores versión subminiatura A (SMA) para reducir al máximo la atenuación por inserción.

En las pruebas realizadas con el analizador de redes vectorial NanoVNA V2 se compararon las respuestas en frecuencia obtenidas experimentalmente con las simulaciones en CST (Figura 1). Se observó una diferencia clara en el ancho de banda experimental respecto al simulado, lo cual puede atribuirse a tolerancias en la fabricación manual, la rugosidad del material textil y las variaciones en el montaje. Este resultado es relevante porque, a pesar de dichas



diferencias, la frecuencia de resonancia coincidió en torno a los 2.45 GHz, perteneciente a la banda ISM, y las pérdidas por retorno (S_{11}) alcanzaron valores de -14 dB en la medición experimental, que se consideran adecuados para garantizar un buen acoplamiento ($S_{11} < -10$ dB). Por tanto, se confirma que la antena es funcional para aplicaciones de transmisión en sistemas vestibles.

Figura 1. Dieléctrico Memphis y conductor ShieldIT Super

Más adelante, se planea integrar las antenas en sistemas IoT para monitorizar a pacientes con trastornos del sueño. Ahora bien, antes de realizar pruebas en pacientes, se contará con apoyo de expertos para el análisis y procesamiento de los datos. Luego, se realizarán pruebas en un entorno controlado para validar

la calidad del sistema telemétrico. Estas permitirán identificar los problemas presentes en el sistema antes de su uso en pacientes. Si bien, en este momento se están evaluando técnicas estadísticas y de reconocimiento de patrones para analizar datos, aún no se ha definido qué técnica se utilizará.

La validación del sistema incluirá técnicas como validación cruzada y separación de conjuntos de datos, junto a estudios clínicos para evaluar efectividad en pacientes reales. Se compararán los resultados con el estándar polisomnógrafo con el fin de evaluar consistencia. Si los resultados no son consistentes, se ajustarán las etapas de adquisición sensorial del sistema. En la etapa de adquisición y clasificación, se compararán los resultados con el polisomnógrafo como estándar de oro. Si hay discrepancias, se realizarán ajustes en el sistema.

IV. Discusión y conclusiones

Los avances en tecnología biomédica han dado lugar a alternativas más eficientes y amigables para el diagnóstico de la apnea del sueño. Aunque la polisomnografía es el estándar, los dispositivos portátiles como HSAT, Morpheo y SCOPER ofrecen una opción fiable y menos compleja, para monitorear variables clave como la deformación torácica, saturación de oxígeno y frecuencia cardíaca. Innovaciones como el uso de fibra óptica y radiofrecuencia, junto con la integración de IoT y aplicaciones móviles, prometen reducir costos y permitir el monitoreo en tiempo real. La última técnica, que utiliza antenas de parche para medir cambios en la frecuencia de resonancia, representa un avance significativo hacia sistemas portátiles interconectados con la nube para el monitoreo y predicción de eventos respiratorios, pues ofrece una solución no invasiva y versátil que puede abordar problemas de congestión en instalaciones de salud en países como Colombia.

Se evidenció que la antena-sensor parche permitió censar y medir indirectamente la deformación de la caja torácica durante los procesos de la respiración de una forma no invasiva, rápida y sin requerir la fijación de cables o electrodos directamente en el cuerpo de los pacientes. Además, se realizaron pruebas en diferentes partes del tórax de los pacientes e incluso cuando estos se encontraban en diferentes posiciones (sentados, de pie y acostados) para validar sus patrones de comportamiento, lo cual permitió analizar las mejores variantes para el protocolo de medición.

Referencias



- [1] S. Rahman, S. Chowdhury, M. Rasheduzzaman, and A. Doulah, "Artificial Intelligence-Based Algorithms and Healthcare Applications of Respiratory Inductance Plethysmography: A Systematic Review," *Algorithms*, vol. 17, no. 6, págs. 1-32, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/a17060261>.
- [2] J. Shang et al., "A flexible catheter-based sensor array for upper airway soft tissues pressure monitoring," *Nat. Commun.*, vol. 16, no. 1, págs. 1-12, 2025, doi: [10.1038/s41467-024-55088-y](https://doi.org/10.1038/s41467-024-55088-y).
- [3] B. Lechat et al., "Multinight Prevalence, Variability, and Diagnostic Misclassification of Obstructive Sleep Apnea," *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, vol. 205, no. 5, págs. 563-569, 2022, doi: [10.1164/rccm.202107-1761OC](https://doi.org/10.1164/rccm.202107-1761OC).
- [4] F. Mendonça, S. S. Mostafa, A. G. Ravelo-García, F. Morgado-Dias, and T. Penzel, "Devices for home detection of obstructive sleep apnea: A review," *Sleep Med. Rev.*, vol. 41, págs. 149-160, 2018, doi: [10.1016/j.smrv.2018.02.004](https://doi.org/10.1016/j.smrv.2018.02.004).
- [5] J. H. Park, C. Wang, and H. Shin, "FDA-cleared home sleep apnea testing devices," *npj Digit. Med.*, vol. 7, no. 1, 2024, doi: [10.1038/s41746-024-01112-w](https://doi.org/10.1038/s41746-024-01112-w).
- [6] D. R. Hillman, "Is Continuous Positive Airway Pressure All There Is? Alternative Perioperative Treatments for Obstructive Sleep Apnea," *Anesthesiology*, vol. 137, no. 1, págs. 1-3, Jul. 2022, doi: [10.1097/ALN.0000000000004251](https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000004251).
- [7] M. M. Adeva-Andany, A. Domínguez-Montero, E. Castro-Quintela, R. Funcasta-Calderón, and C. Fernández-Fernández, "Hypoxia-Induced Insulin Resistance Mediates the Elevated Cardiovascular Risk in Patients with Obstructive Sleep Apnea: A Comprehensive Review," *Rev. Cardiovasc. Med.*, vol. 25, no. 6, 2024, doi: [10.31083/j.rcm2506231](https://doi.org/10.31083/j.rcm2506231).
- [8] F. Kanwal et al., "Remote monitoring of sleep disorder using FBG sensors and FSO transmission system enabled smart vest," *Eng. Res. Express*, vol. 6, no. 2, 2024, doi: [10.1088/2631-8695/ad48da](https://doi.org/10.1088/2631-8695/ad48da).
- [9] X. Zhang, C. Wang, T. Zheng, H. Wu, Q. Wu, and Y. Wang, "Wearable Optical Fiber Sensors in Medical Monitoring Applications: A Review," *Sensors*, vol. 23, no. 15, 2023, doi: [10.3390/s23156671](https://doi.org/10.3390/s23156671).
- [10] S. Dong et al., "Remote Respiratory Variables Tracking with Biomedical Radar-Based IoT System during Sleep," *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 11, págs. 19937-19948, 2024, doi: [10.1109/JIOT.2024.3367932](https://doi.org/10.1109/JIOT.2024.3367932).
- [11] F. Siyahjani, G. G. Molina, S. Barr, and F. Mushtaq, "Performance Evaluation of a Smart Bed Technology against Polysomnography," *Sensors*, vol. 22, no. 7, 2022, doi: [10.3390/s22072605](https://doi.org/10.3390/s22072605).
- [12] X. Yang, X. Yu, L. Xie, H. Xue, M. Zhou, and Q. Jiang, "Sleep Apnea Monitoring System Based on Commodity WiFi Devices," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 69, no. 2, págs. 2793-2806, 2021, doi: [10.32604/cmc.2021.016298](https://doi.org/10.32604/cmc.2021.016298).
- [13] J. Arango Toro, W. F. Montes Granada, and S. M. Yepes Zuluaga, "Design and implementation of a wearable patch antenna that serves as a longitudinal strain sensor," *Text. Res. J.*, vol. 91, no. 23-24, págs. 2795-2812, 2021, doi: [10.1177/00405175211013828](https://doi.org/10.1177/00405175211013828).
- [14] C. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*. State, United: WILEY INTERSCIENCE, 2005.