

FABRICACIÓN DE UNA ANTENA TIPO PATCH CON SPLIT RING RESONATOR (SRR) CON MATERIALES VESTIBLES PARA SER USADA COMO SENSOR DE DEFORMACIÓN DE LA CAJA TORÁCICA.

MANUFACTURE OF A PATCH-TYPE ANTENNA WITH SPLIT RING RESONATOR (SRR) WITH WEARABLE MATERIALS TO BE USED AS A SENSOR FOR DEFORMATION OF THE RIB CAGE.

Carlos Alberto Londoño González
Carlos.Londonog@comunidad.ush.edu.co

Jaidiver Alonso Giraldo Ochoa
Jaidiver.Giraldoo@comunidad.ush.edu.co

Julián Arango Toro
Julian.arango@salazaryherrera.edu.co
Institución Universitaria Salazar y Herrera
No. ORCID (0009-0004-7728-1637)
No. Autor Redalyc (2)
País Colombia

Recepción: 22/ 03/ 2024
Aceptación: 01/07/2025

DOI: <https://doi.org/10.15765/a7xr3f93>

Resumen

El proceso respiratorio es esencial para el intercambio gaseoso en el cuerpo humano, implica la inhalación de oxígeno y la exhalación de dióxido de carbono. Durante la inspiración, los músculos intercostales y el diafragma se contraen, expandiendo la caja torácica y permitiendo que los pulmones se llenen de aire. La exhalación ocurre cuando estos músculos se relajan y la caja torácica se reduce, expulsando el aire de los pulmones. Monitorear estos cambios es esencial en diferentes campos médicos tales como: anestesia, apnea del sueño, control de neonatos, entre otros. Como resultado de estos movimientos en la caja torácica produce una deformación en la piel es por esto que se ha generado un gran interés en medir con gran sensibilidad la deformación torácica, para lo cual Presti et al., abordó la construcción de un sensor flexible cuyo uso es desarrollar un sistema portátil para la monitorización respiratoria y cardíaca. Por otro lado, Nikbakhtnasrabadi et al., propuso una antena de parche de micro tira elástica a base de textiles, en donde

se usó tejido de punto plateado para la lámina textil, deformable como sensor de tensión para medir deformaciones en el cuerpo humano. Por otra parte, Soury et al., realizó una revisión bibliográfica sobre sensores de deformación capacitivos y ópticos usados comúnmente en atención médica personalizada. Si bien, dichas antenas son pequeñas y portátiles, no han sido fabricadas o no logran adaptarse anatómicamente al cuerpo humano, incidiendo de forma adversa en la adquisición de las variables fisiológicas. En este trabajo de investigación se utiliza el método PHVA que inicia con la selección y caracterización de los textiles tela arena y Flex PCB, se utiliza el software CST Studio Suite para la simulación, luego se elabora de manera manual el corte y fabricación de la antena; para verificar el resultado experimental se empleó el analizador de redes vectorial para medir la respuesta de la antena en el espacio libre. Finalmente, se procederá a realizar mediciones en pacientes para evaluar la usabilidad y confiabilidad del sensor.

Palabras clave

Sensor, textil, caja torácica, respiración, deformación

INTRODUCCIÓN

Es fundamental para la salud humana monitorear de cerca el proceso respiratorio, ya que es vital para el intercambio de gases en el cuerpo. Durante la inhalación, el oxígeno se lleva a los pulmones y luego se transmite a la sangre por los alvéolos, mientras que el dióxido de carbono, un producto de desecho, se elimina del torrente sanguíneo hacia los pulmones para exhalarlo. Este intercambio gaseoso es crucial para mantener niveles adecuados de oxígeno en el cuerpo y para eliminar el exceso de dióxido de carbono, que puede ser tóxico si se acumula en niveles altos en la sangre.

Algunas de las técnicas más importantes para el monitoreo de la frecuencia respiratoria o deformación de la caja torácica incluyen la observación visual del ciclo respiratorio, la palpación del tórax, la auscultación con un fonendoscopio y el uso de dispositivos de monitoreo como sensores de flujo, sensores de presión y contadores manuales de respiraciones. Estos métodos proporcionan información valiosa sobre la salud respiratoria del paciente, aunque para una valoración completa se recomienda realizar una gasometría arterial.

En la literatura actual, se mencionan investigaciones sobre el uso de antenas tipo parche construidas con diversos dieléctricos para detectar la deformación en el tórax causada por la respiración. Aunque estas antenas son compactas y portátiles, tienen dificultades para adaptarse anatómicamente al cuerpo humano. Esto afecta negativamente la adquisición precisa de datos fisiológicos debido a su alta bioimpedancia, lo que conduce a una mayor atenuación de la señal. Como resultado, la sensibilidad del sensor disminuye y se pierde información importante durante la recolección de datos, lo que afecta negativamente la confiabilidad de la medición.

En este trabajo se propone diseñar una antena tipo patch como sensor de deformación de caja torácica, el dispositivo está concebido con materiales flexibles vestibles (telas) y el diseño incorpora en la antena tipo patch los anillos resonadores para mejorar su eficiencia y un mejor control de la frecuencia de resonancia, por ende, se busca ofrecer una solución funcional para censar de manera no invasiva de la deformación de la caja torácica.

Este documento está estructurado de la siguiente manera: la sección 2, titulada "Materiales y Métodos", detalla todo el proceso de desarrollo del sensor. En la sección 3, llamada "Resultados", se presentan y

explican las fases de la metodología aplicada, que incluyen el diseño, la construcción, la calibración y la optimización de la antena para usarla como sensor de deformación del tórax. Además, se verifica la efectividad, fiabilidad y facilidad de uso de este sensor en entornos de laboratorio, empleándolo en tres pacientes con distintos estados médicos. Finalmente, en el Capítulo 5, "Conclusiones", se resumen los descubrimientos más importantes alcanzados para cada uno de los objetivos planteados y se sugieren direcciones prometedoras para investigaciones futuras

MÉTODO

La metodología del proyecto se basa en el enfoque Planear, Hacer, Verificar y Actuar (PHVA), el cual fue empleado para abordar el problema de investigación relacionado con el diseño de un sensor de deformación torácica basado en antenas Patch con materiales dieléctricos vestibles.

Después de haber revisado la literatura, se seleccionaron algunos materiales textiles como (arena y tela blanca), algunos materiales conductores, como (flexPCB y Ripstop). A los textiles se les realizó la correspondiente caracterización mecánica, para esto se utilizó la máquina de ensayos universal del ITM y para la caracterización electromagnética se empleó la jaula de Faraday. Se seleccionan los materiales dieléctricos y conductores y se combinan para realizar simulaciones electromagnéticas en el software CST. Después de realizar varias simulaciones, se analizan los resultados del parámetro $S_{1,1}$. Como vamos a utilizar el software CST y esta cuenta con una librería donde estos materiales no están caracterizados, para esto creamos los materiales, ingresamos la permitividad relativa, las pérdidas tangenciales y el espesor tanto para los materiales dieléctricos como para los conductivos, utilizando las ecuaciones clásicas que se presentan en (poner cita del libro de balanis) se diseña un parche tradicional y siguiendo ([referencia bibliográfica](#)) se utiliza un anillo rectangular con un corte, después de realizar todo esto simulamos en el dominio del tiempo con esto miramos la respuesta en el parámetro $S_{1,1}$, perdidas por retorno e impedancia, si al momento de realizar la simulación la respuesta no coincide realizamos un proceso de ajustar los parámetros hasta encontrar las respuestas deseadas

El diseño de la antena se realizó en el CST Studio| y se solucionó en el dominio del tiempo. Luego de simular la antena y que todos los parámetros de diseño estén ajustados, se procede a exportar los archivos Gerber tanto del parche como del dieléctrico. Luego de generar los archivos Gerber se procede a configurar todos los parámetros de corte en software Flatcam en donde se crearon de herramientas virtuales, con una punta tipo V de 0.1 mm con ángulo de 30° una profundidad en Z de -0,0400, movimiento libre en Z de 2 mm, y movimiento X, Y mientras corta de 250, velocidad en profundidad de 40 una velocidad en el motor de 12000 RPM. Después de tener los archivos, Gcode se lleva al software Candle el cual permite comunicar el código gcode y la CNC. Para tener un corte preciso se debe crear un mapa de alturas, el cual permite tener un corte homogéneo del material conductor.

Acá deben de contar sobre el proceso de fabricación y de cómo se va a realizar la medición de la antena en el espacio libre.

Actuar

El proceso de monitoreo de la respiración comienza con la selección de una antena adecuada, seguida de la implementación de un protocolo de medición detallado para evaluar las deformaciones torácicas



asociadas a los movimientos respiratorios. Este protocolo incluye inicialmente la recopilación de la historia clínica del paciente, cubriendo datos personales, antecedentes familiares y personales. La exploración física, realizada por un fisioterapeuta especializado, es esencial para determinar las zonas exactas de medición en el tórax mediante inspección visual, palpación y percusión, marcando áreas específicas para medir la deformación torácica.

Este proceso meticuloso ayuda a identificar la región torácica más sensible a los cambios respiratorios, basándose en medidas antropométricas precisas tomadas manualmente. La evaluación se enfoca en diferentes zonas del tórax para asegurar la captura precisa de datos de información. Tras la caracterización y calibración de la antena, junto con la anamnesis detallada, se procede a las mediciones en tres pacientes seleccionados: dos con patologías que influyen en la deformación torácica y un deportista de alto rendimiento, utilizando un Analizador de Redes Vectorial (VNA) y software especializado para capturar datos precisos sobre la deformación.

La antena se adhiere al tórax del paciente con material mínimo para evitar alterar su funcionamiento. Durante las pruebas, se realizan mediciones en diferentes condiciones (con y sin ropa, en regiones laterales y anteriores del tórax) para determinar la ubicación óptima del sensor. Los datos recogidos se analizan mediante software especializado, evaluando la información en relación con los cambios de frecuencia y estableciendo la sensibilidad del sensor a través de la pendiente de la relación lineal entre estas variables.

Para validar la confiabilidad del sensor, se efectúan pruebas adicionales, comparando los resultados con la evaluación inicial del experto clínico. Este análisis estadístico incluye la correlación de Pearson y el coeficiente de determinación para evaluar la consistencia y precisión de las mediciones del sensor en relación con las observaciones clínicas. Estos pasos críticos aseguran la confiabilidad y precisión del sensor en el monitoreo de la respiración, ofreciendo una herramienta valiosa para el seguimiento de la salud respiratoria.

RESULTADOS

Usar telas como materiales dieléctricos en lugar de placas rígidas permite la implementación de antenas y sensores pequeños y flexibles. En este trabajo se empleó tela Bell la cual tiene una permitividad relativa de $\epsilon_r = 1.9387$, pérdidas tangenciales de $\tan\delta = 0.04832$ y un espesor de $h = 0.61 \text{ mm}$

En la Tabla 1 se evidencian los resultados después de emplear las ecuaciones descritas en (Balanis, 2005):

| Dieléctrico | Conductor | W_p | L_p | x_o | y_o | w_l |
|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | |

Colocar la imagen que construimos ayer y con esta construyo el análisis.



DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

La evaluación de las técnicas para detectar las variaciones en la deformación de la caja torácica ha revelado una diversidad de métodos con sus respectivos beneficios y limitaciones. Tradicionalmente, se ha utilizado la medición manual con cinta métrica, conocida como técnica cruzada, para registrar la deformación en puntos específicos de la caja torácica, aunque este método está sujeto a errores aleatorios y de procedimiento. Los avances tecnológicos han usado dispositivos portátiles de grabación que ofrecen la ventaja de recolectar datos a distancia, económicos y ampliamente demandados, aunque presentan desventajas como su menor sensibilidad y el largo tiempo requerido para el monitoreo de pacientes. La incorporación de la fibra óptica como sensor para monitorear la deformación torácica ha mostrado una sensibilidad prometedora, especialmente en la medición del ciclo respiratorio, aunque enfrenta desafíos cuando se despegue de la pared torácica debido al movimiento del tejido. Sin embargo, las investigaciones no han considerado el historial clínico del paciente, lo que limita la predictibilidad de los resultados del sensor. Por otro lado, la tecnología de radiofrecuencia, incluyendo el uso de radar, ha permitido detectar movimientos fisiológicos de la caja torácica inalámbricamente, cambiando de fase en señales de radar reflejadas. No obstante, su aplicación se ha restringido a pacientes en reposo y en posición supina. Las aplicaciones móviles se destacan por reducir costos y permitir un monitoreo en tiempo real, aprovechando las capacidades de los smartphones. A pesar de ello, la efectividad de estas aplicaciones depende de la calidad del hardware y software del dispositivo, enfrentándose a problemas como la limitada cobertura y la posible pérdida de datos. Actualmente, estas aplicaciones se limitan al diagnóstico de patologías respiratorias. Finalmente, las antenas patch se han explorado por su capacidad para detectar cambios en la deformación torácica a través de variaciones en su frecuencia de resonancia. Aunque han demostrado ser sensibles a la respiración superficial y profunda, su eficacia disminuye cuando entran en contacto con la piel o se someten a flexiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balanis, C. (2005). Antenna Theory. In *Microstrip Antennas* (pp. 1–1073).