

Diseño de una Antena Patch fabricada con Materiales de Prendas de Vestir: un estudio bajo simulaciones

Wearable Patch Antenna Design: a study under simulations

^aEdwin Jonathan Jabonero Ramírez ^bEduardo Rodríguez Araque

 ^a Estudiante de Ingeniería en Telemática, edwin.jabonero@unicafam.edu.co. Fundación Univeritaria Cafam – Unicafam. Bogotá, D.C., Colombia

 ^b Doctor en Ingeniería, eduardo.rodriguez@unicafam.edu.co. Fundación Univeritaria Cafam – Unicafam. Bogotá, D.C., Colombia

Recibido: Mayo 22 de 2021 **Aceptado:** Agosto 27 de 2021

Forma de citar: E.J. Jabonero-Ramírez, E. Rodríguez-Araque, "Diseño de una Antena Patch fabricada con Materiales de Prendas de Vestir: un estudio bajo simulaciones", *Mundo Fesc*, vol 11, no. S2 pp. 20-32, 2021.

Resumen

En la última década las comunicaciones centradas en el cuerpo humano (body-centric communications) o a su alrededor, han tomado gran relevancia en el campo de las comunicaciones móviles inalámbricas y con una amplia gama de aplicaciones, tales como las aplicaciones médicas, en emergencia y socorro, militares, de geoposicionamiento y ubicación, en la industria de la logística, entre otros. Parte esencial de estas aplicaciones de telecomunicaciones es llevada a cabo por las antenas vestibles (wearable antennas). En este artículo se presenta el diseño de una antena patch vestible, utilizando materiales y accesorios de prendas de vestir. Esta antena fue diseñada para trabajar en la frecuencia de 4.15 GHz, frecuencia utilizada por las bandas de operación de sistemas satelitales (Banda C) y que también están siendo estudiadas para ser implementadas en tecnologías 5G. El patch radiante fue diseñado con un botón metálico que es utilizado como accesorio en los pantalones jeans, y el substrato dieléctrico simulado fue del mismo material textil de jean con una permitividad relativa de 1.6 y espesor de 1.56 mm. Este trabajo presenta resultados de patrón de radiación, ganancia, coeficiente de reflexión y eficiencia bajo análisis numérico con software especializado. Se destacan los buenos resultados de la ganancia, siendo ésta de 8 dBi, y con respecto a la eficiencia, se obtuvo un valor de 76.88 % para esta antena patch vestible propuesta.

Palabras clave: Antena Patch, diseño, parámetros de radiación, textiles, vestible.

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: e.rodriguez83@uniandes.edu.co



Abstract

In the last decade, communications centered on the human body (body-centric communications) or focused around the body, have taken on great relevance in the field of wireless mobile communications and with a wide range of applications, such as medical, emergency and relief, military, geopositioning and location, in the logistics industry, among others. An essential part of these telecommunications applications is carried out by wearable antennas. This article presents the design of a wearable patch antenna, using materials and accessories for clothing. This antenna was designed to work at the 4.15 GHz frequency, a frequency used by the operating bands of satellite systems (Band C) and which are also being studied to be implemented in 5G technologies. The radiant patch was designed with a metal button that is used as an accessory in jeans, and the simulated dielectric substrate was made of the same jean textile material with a relative permittivity of 1.6 and a thickness of 1.56 mm. This work presents results of radiation pattern, gain, reflection coefficient and efficiency under numerical analysis with specialized software. The good results of the gain stand out, being this one of 8 dBi, and with respect to the efficiency, a value of 76.88 % was obtained for this proposed wearable patch antenna.

Keywords: Design, patch antenna, radiation parameters, textiles, wearable.

Introducción

En los últimos años el diseño, desarrollo y uso de antenas vestibles (wearables antennas) ha tenido un rápido crecimiento en aplicaciones, dispositivos y sistemas de telecomunicaciones móviles inalámbricos. Una de las principales ventajas de éstas antenas es que son diseñadas para ser parte de las prendas de vestir y, dicionalmente utilicen los materiales de las prendas en su construcción parcial o total.

Las antenas vestibles desempeñan hoy en día, un rol muy importante en muchos campos y aplicaciones [1], entre ellas las médicas (monitoreo de signos vitales) [2] [3], de socorro [4] y bomberos [5], de geoposicionamiento y navegación [6], en la industria para la identificación por radiofrecuencia (RFID) [7] [8], entre otros, dada la flexibilidad, y ser confortables dentro de las prendas de vestir.

Todos estas aplicaciones concentradas en sistemas de telecomunicaciones centradas o alrededor del cuerpo humano (Body-centric Communications) [9], o redes de comunicaciones de área corporal (Body Area Network – BAN [10]), han venido siendo

investigadas y desarrolladas en un amplio rango de frecuencias, desde las bandas de frecuencias de FM, pasando por las bandas de uso satelital, hasta las bandas de frecuencias de ondas milimétricas [11] [12] para aplicaciones para 5G.

Ahora bien, la integración y construcción adecuada y confiable de las antenas con prendas de vestir, y aún más, sabiendo que los mismo materiales son parte de la estructura de la antena, son algunos de los retos a los que se enfrentan los diseñadores de antenas. Las propiedades y características electromagnéticas de los materiales de las prendas de vestir (textiles, botones, remaches, entre otros), hacen que estos deban ser caracterizados a fin de ser integradores en los procesos de diseño y cálculo electromagnético [13].

Lo anterior, sin dejar de lado la interacción que experimenta la antena con el cuerpo y tejido humano, haciendo que parámetros tales como el patrón de radiación se distorsione, la frecuencia de resonancia se desplace, la impedancia de la antena modifique su valor haciendo difícil la adaptación con la línea de transmisión, y la eficiencia y otros parámetros se degraden,

hacen que la integración y funcionamiento de las antenas vestibles tengan hoy en día especial atención por investigadores y desarrolladores de antenas.

El auge de las antenas vestibles ha venido, también, desembocando en el desarrollo de diferentes materiales que se combinan con las prendas de vestir a fin de mejorar el funcionamiento y desempeño de las antenas vestibles. Surge entonces, los materiales electrotexiles que al ser combinados con los materiales de las prendas de vestir (algodón, latex, fibras sintéticas, cuero, entre otras) generan una estructura propicia y adecuada para darle soporte, confiabilidad, flexibilidad y confortabilidad a este tipo de tecnología de antenas [1] [12][14][15][16][17] [18].

Sin embargo, los diferentes materiales electrotexiles desarrollados en laboratorios especializados que, presentan propiedad y características electromagnéticas adecuadas, no están aún al alcance de la industria local. Pero, no es obstáculo para seguir desarrollando antenas con materiales propios de las prendas de vestir, como los botones, broches y remaches metálicos utilizados, por ejemplo en los pantalones jeans.

Valiéndose de tan solo materiales de prendas de vestir, se planteó en esta investigación diseñar y analizar una antena con tecnología microcinta, es decir una antena Patch vestible [19], utilizando remaches y/o botones metálicos como estructura radiante para el diseño y desarrollo de la estructura radiante (Patch radiante), y como substrato dieléctrico el material textil de jean.

Existen algunas investigaciones donde se plantea el uso de este tipo de botones [20] [21] [22] [23], y otros estudios donde se estudian las características y parámetros electromagnéticos de los textiles típicos con los que se fabrican las prendas de vestir,

encontrando insumo para el proceso de diseño y simulación del diseño propuesto en este trabajo.

El propósito de este trabajo fue demostrar que textiles y accesorios metálicos de las prendas de vestir que utilizamos en el diario vivir pueden ser utilizados como estructura dieléctrica y estructura radiante (patch), respectivamente, en bandas de frecuencia de radiocomunicaciones móviles celulares, aplicaciones satelitales en la banda C [24] [25], y sistemas de telecomunicaciones 5G [26].

En las siguientes secciones del artículo se presentará el proceso de diseño de la antena propuesta, la geometría base de simulación, los resultados y discusión sobre los parámetros de rendimiento como el patrón de radiación, ganancia, coeficiente de reflexión y la eficiencia de la antena propuesta, y finalmente, se presentan las conclusiones y trabajo futuro.

Materiales y Métodos

En el proceso de diseño de la antena patch vestible propuesta, se establecieron un número de etapas, comenzando con la etapa de requerimientos y parámetros de diseño, junto con información relacionada a los materiales textiles y de accesorios de prendas de vestir utilizados, para luego pasar a la etapa de simulaciones con software especializado, buscando establecer, a través de parámetros específicos de las antenas, su funcionamiento y desempeño.

Con base en los resultados arrojados por el simulador, la siguiente etapa buscó ajustar los parámetros y variables de diseño a fin de mejorar el rendimiento de la antena con base en el patrón de radiación, eficiencia y coeficiente de reflexión.

Etapas: Etapa 1: Requerimientos y Parámetros de

Diseño.

Durante la etapa de diseño, y antes de ella, la preocupación de los investigadores era encontrar a nivel local los materiales sobre los cuales se desarrollaría el diseño de la antena vestible con tecnología microcinta (Antenas Patch) [19]. Se analizaron diferentes materiales textiles desarrollados en laboratorios especializados [1], con características metálicas denominados electrotexiles [12] [16] y sistemas textiles vestibles [27] [28], buscando la posibilidad de importarlos.

Las antenas basadas en tecnología Microcinta, es decir las antenas Patch, han venido siendo utilizadas ampliamente en aplicaciones móviles inalámbricas, sistemas satelitales, aplicaciones militares, en aeronaves comerciales y espaciales, donde el tamaño, peso y rendimiento, son factores importantes en dichas aplicaciones.

Adicionalmente, estas antenas son de bajo perfil, ajustables a superficies planas y/o curvas, simples y de bajo costo en su manufactura utilizando tecnologías de circuitos impresos, junto a ello, se pueden encontrar con geometrías y tamaños diferentes y ajustables a las frecuencias de resonancia [19].

Por lo anterior, la decisión para diseñar una antena Patch fue tomada, esto sin dejar de lado las diferentes investigaciones y desarrollos de la tecnología de antenas patch en prendas de vestir para diferentes aplicaciones móviles inalámbricas [29] [30] [24] [31] [32].

La investigación llevó a replantear los electrotexiles, y otros sistemas textiles vestibles, y buscar otros materiales comunes utilizados como accesorios en la prendas de vestir, derivando en la selección de botones metálicos como los utilizados en los

remaches de los pantalones jeans (esquinas de los bolsillos de la prenda), para lo cual fundamentamos la investigación sobre diferentes trabajos realizados al respecto, encontrando que dichos botones presentaban características metálicas y radiantes muy apropiadas para la estructura radiante de la antena patch vestible propuesta, como lo expresado en las investigaciones de [33] [21] [23].

Para tal fin, se modeló en software CAD un botón (remache) metálico, tomando medidas reales para este fin. El modelo CAD obtenido se presenta en la figura 1, el cual fué luego importarlo al software de simulación electromagnética en formato adecuado para ello.

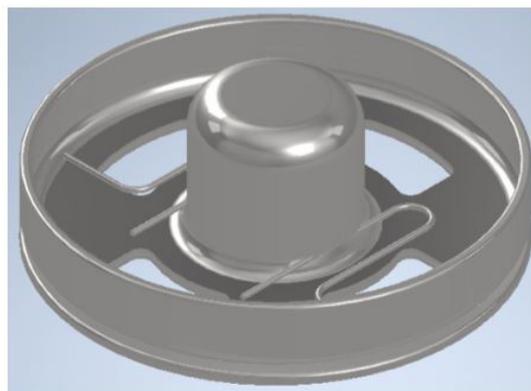


Figura 1. Modelo CAD del botón metálico (remache) seleccionado para el diseño de la antena propuesta.

Con base en la geometría y dimensiones de este botón, se presentó un nuevo reto de diseño, dadas las características geométricas y de forma, que harían de los cálculos electromagnéticos un proceso de análisis de cierta complejidad, en el que se tuvo en cuenta los cálculos electromagnéticos de antenas patch circulares del modelo de cavidad, junto a procesos de ajustes sobre el modelo geométrico de la antena patch con base en el botón metálico seleccionado.

Teniendo como base la geometría del botón en el procesos de diseño, uno de los requerimientos fundamentales para el

diseño de antenas Patch es la frecuencia de resonancia del diseño. Este requerimiento está en función del diámetro del círculo para antenas patch circulares [19]. Sin embargo, el botón metálico no representaba un círculo totalmente plano, lo cual haría que el reto de diseño sobre la frecuencia de diseño fuese interesante.

Dentro de los sistemas de comunicaciones inalámbricas se encuentran en el futuro cercano las tecnologías inalámbricas 5G. Frente a esto, se decidió seleccionar una frecuencia que estuviese en bandas de frecuencia de los próximos sistemas y aplicaciones de telecomunicaciones 5G, y que, adicionalmente estuviesen siendo utilizadas por sistemas de telecomunicaciones satelitales, con el fin de que este diseño tuviese la posibilidad de aplicarse en dispositivos y sistemas de gran cobertura geográfica, buscando aplicaciones de posicionamiento, ubicación y vigilancia, entre otras relacionadas con la posibilidad de ubicar personas en zonas de riesgo y en eventos adversos en los que los sistemas satelitales desempeñan un papel importante. Para ello, se seleccionó la frecuencia de 4.15 GHz de la banda C para sistemas de telecomunicaciones de sistemas satelitales, y que dadas las características de propagación electromagnética y otras referentes a su baja susceptibilidad a la atenuación por lluvia, entre otras propiedades, la hacen propicia para aplicaciones en 5G [26] [30] [34] [25].

Una vez seleccionada la frecuencia de diseño, se procedió con los cálculos electromagnéticos, sobre la base del modelo de cavidad, planteado en [19], y tomado en esta investigación para estimar el diámetro del círculo radiante de la antena patch. Las expresiones matemáticas utilizadas para estimar el diámetro fueron tomadas de [19]. Sin embargo, dadas las características geométricas del botón metálico, que lo hacen particularmente complejo en términos del

análisis del modelo de cavidad, se decidió trabajar sobre la base del diámetro del botón metálico medido, y en las etapas de simulación y de ajustes de los parámetros de diseño, realizar los cambios requeridos para ajustarse a la frecuencia de diseño.

En cuanto a las propiedades de conductividad del botón metálico seleccionado, se tuvo en cuenta para el diseño, los valores pre-establecidos por el software de simulación de campos electromagnéticos utilizado para el diseño y análisis de la antena propuesta.

Dada la experiencia de los autores, y de las investigaciones analizadas, se concluye que el material definido como PEC (Perfect Electrical Conductor) y que por defecto lo incorpora el simulador, permite generar resultados muy satisfactorios en términos de los parámetros de desempeño de las antenas de esta tecnología.

La tecnología de antenas Patch requiere una estructura que le de soporte, flexibilidad y rigidez, esta estructura por lo general, es un sustrato dieléctrico de cierto espesor y valor de permitividad electromagnética, y que desempeña un papel importante en el análisis, diseño y comportamiento electromagnético de ésta tecnología, que influyen en el desempeño de la antena.

Ahora bien, para el diseño propuesto, la estructura que le da soporte, flexibilidad y comportamiento electromagnético (en relación con el dieléctrico y su permitividad), se seleccionó el material textil de jean, el cual es un textil ampliamente utilizado en las prendas de vestir cotidianas.

Dentro del diseño de este material, se requirió el conocimiento de la permitividad relativa y espesor del material de jean, parámetros fundamentales en el diseño y simulación de las antenas patch. Para esto, las investigaciones en [30] [31] [13], utilizaron este textil para el diseño de sus

antenas, encontrando que el valor típico utilizado para la constante dieléctrica para éste textil de $\epsilon_r = 1.6$.

La investigación en [18], presenta un estudio sobre la determinación de las constantes dieléctricas de los materiales textiles que pueden ser usados como sustrato dieléctrico para el diseño y desarrollo de antenas para aplicaciones de antenas vestibles, y que nuevamente presenta el valor de $\epsilon_r = 1.6$, como valor típico para el dieléctrico del jean. El segundo parámetro fue el espesor, para ello se tomó el textil y se midió obteniendo un valor promedio de 1.56 mm, el cual fue utilizado como parámetro de diseño en las siguientes etapas de la investigación.

Etapas de Simulaciones.

En esta etapa, el modelo CAD elaborado con base en las medidas de longitud del botón metálico se importó al software de simulación para los fines propuestos. El simulador seleccionado y que los autores han venido trabajando es FEKO del desarrollador ALTAIR [35].

Este simulador permitió, bajo la extensión y formato CAD adecuado, importar el modelo del botón metálico, y agregar el sustrato dieléctrico del textil seleccionado (jean) como una estructura geométrica, definida por un ancho, un largo y el espesor, éste último establecido en la etapa de diseño.

Con respecto al ancho y largo del sustrato dieléctrico, estas dimensiones se tomaron de diseños preliminares de antenas patch rectangulares realizadas en la investigación, con el fin de analizar el comportamiento

de los efectos de borde y truncamiento del plano de tierra que deben ser realizados en los estudios básicos de teoría de antenas y que pueden ser estudiados con profundidad en [19].

Para el diseño, las dimensiones del sustrato dieléctrico fueron: 65.8 mm x 55.41 mm x 1.56 mm (ancho, largo y espesor), y con una constante dieléctrica, $\epsilon_r = 1.6$.

La geometría del diseño de antena patch vestible propuesta se puede observar en la figura 2. Allí se presentan dimensiones adicionales que describen la geometría del botón metálico, y como éste botón se une al sustrato dieléctrico (simulando el jean) y al punto de alimentación de potencia (feed) de la antena. La Figura 3, muestra dos vistas de la antena patch vestible propuesta construida en el simulador mencionado anteriormente.

Una vez diseñada y construida la geometría de la antena Patch, sobre la base de los criterios, parámetros y requerimientos del diseño, se realizaron ajustes y configuraciones al simulador buscando eliminar errores electromagnéticos generados en simulaciones previas, que permiten al diseñador poder manipular las estructuras a fin de cumplir con los parámetros de simulación establecidos por el software.

Esto garantiza que los cálculos electromagnéticos numéricos realizados por el software generen resultados muy precisos en función de los parámetros de rendimientos de la antena bajo prueba.

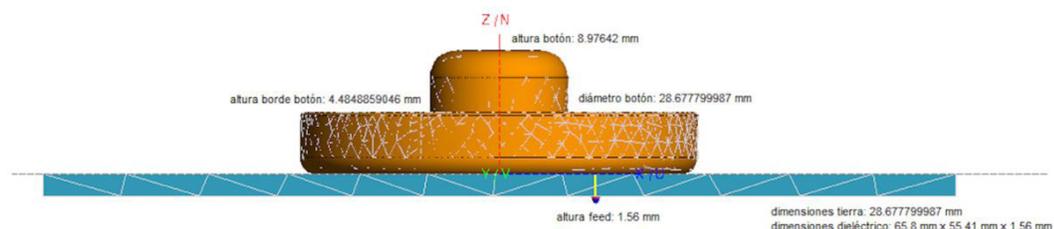


Figura 2. Geometría de la antena patch vestible generada en el simulador electromagnético.

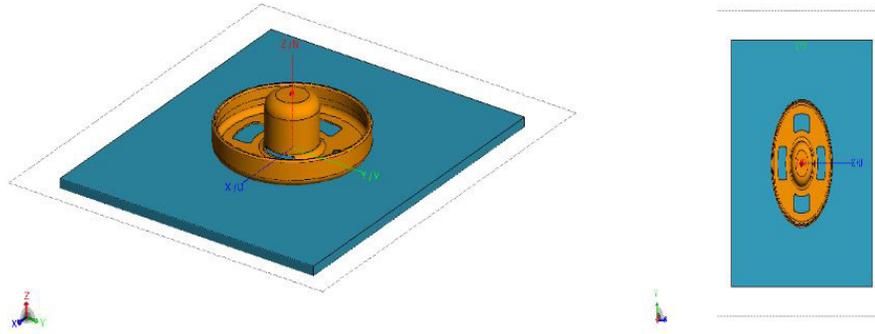


Figura 3. Vistas lateral de la antena patch vestible propuesta (figura de la izquierda), y vista superior de la antena (figura de la derecha).

Para analizar el desempeño de la antena propuesta, se establecieron los parámetros de patrón de radiación, ganancia, eficiencia y coeficiente de reflexión. Para ello, el software se configuró para que al final entregará los resultados solicitados, incorporando los parámetros del material dieléctrico, el espesor del substrato dieléctrico y la frecuencia de diseño.

Etapa de ajustes y verificación del diseño.

En esta etapa, el proceso de diseño y las sesiones de simulaciones surtió efecto. Con base en los parámetros de rendimiento de la antena, entramos a analizar los resultados de las simulaciones, en cuanto a su patrón de radiación, ganancia, eficiencia y coeficiente de reflexión. De este análisis, se realizaron ajustes en la dimensión del diámetro del patch radiante, es decir el botón metálico.

Para llegar a presentar las dimensiones de la geometría de la antena patch vestible propuesta, mostradas en la figura 2, surtieron un conjunto de simulaciones donde se analizó el coeficiente de reflexión, con el fin de establecer si la antena propuesta se encontraba operando en la frecuencia de diseño.

El coeficiente de reflexión, es un parámetro que nos permite identificar con precisión la frecuencia donde la antena está resonando, si

ésta frecuencia no coincide con la frecuencia de diseño, es necesario modificar el diámetro del patch radiante, es decir el botón metálico, y otros parámetros de diseño, esto se realizó con base en el análisis electromagnético y fórmulas de diseño establecidas para ello en [19]. Unido a este análisis, se realiza una verificación sobre el patrón de radiación, con el fin de entender el comportamiento electromagnético de campo lejano de la antena propuesta.

En la tabla 1, se presentan las dimensiones y parámetros de diseño finales para la antena patch vestible propuesta, basada en un botón metálico y el jean como substrato dieléctrico.

Especificación	Medidas
Diámetro del Patch (botón metálico)	28.6778 mm
Alto total del botón	8.9764 mm
Alto del borde exterior del botón	4.4849 mm
Espesor del Substrato	1.5600 mm
Ancho del Substrato	65.800 mm
Largo del Substrato	55.410 mm
Constante dieléctrica del textil (jean)	1.6

Tabla 1. Dimensiones del diseño de la antena patch vestible propuesta.

Resultados y Discusión

Para el análisis de desempeño de la antena propuesta se tomaron los parámetros de patrón de radiación, ganancia, eficiencia y

coeficiente de reflexión. Para futuros análisis será necesario realizar un análisis detallado de la densidad de corriente superficial del botón metálico (patch radiante), con el fin de conocer con detalle el comportamiento de esta frente a la geometría particular del botón, junto con un análisis más profundo del comportamiento electromagnético del botón, a través de los modos característicos, buscando potenciar la geometría y optimizar las dimensiones.

La figura 2 presenta el comportamiento espacial de radiación de la antena patch vestible propuesta, es decir el patrón de radiación. Las figuras 2a. y 2b., se muestran el comportamiento del patrón de radiación desde dos vista, y en las figura 2c, se presenta el plano-E de la ganancia de la antena, y en la figura 2d. Se tiene el plano-H de la ganancia. Se observa claramente una ganancia máxima de 8 dBi en la frecuencia de resonancia ($F_r = 4.15$ GHz), resultado muy satisfactorio considerando que el patch radiante, es decir el botón metálico no es una estructura que se pueda modelar como un

círculo perfecto, y que en vista de su forma no era predecible encontrar un comportamiento espacial de radiación como el obtenido.

Con respecto al resultado del coeficiente de reflexión en la figura 3a., podemos observar que la antena está resonando en la frecuencia de diseño, es decir a la frecuencia de 4.15 GHz. Esto se logró con una serie de ajustes adicionales realizados en un proceso continuo de simulaciones, donde se analizaba el resultado del coeficiente y se ajustaba la posición del punto de alimentación de potencia (feed) de la antena sobre el patch radiante, es decir sobre el botón metálico.

El coeficiente de reflexión es un parámetro que establece la capacidad de acoplamiento de la antena con la línea de transmisión. Es muy importante dado que, esta adaptación garantiza la transferencia de energía y potencia de la fuente de información a la antena, cuando ésta esta en modo transmisión, y de la misma forma cuando la antena está en modo recepción.

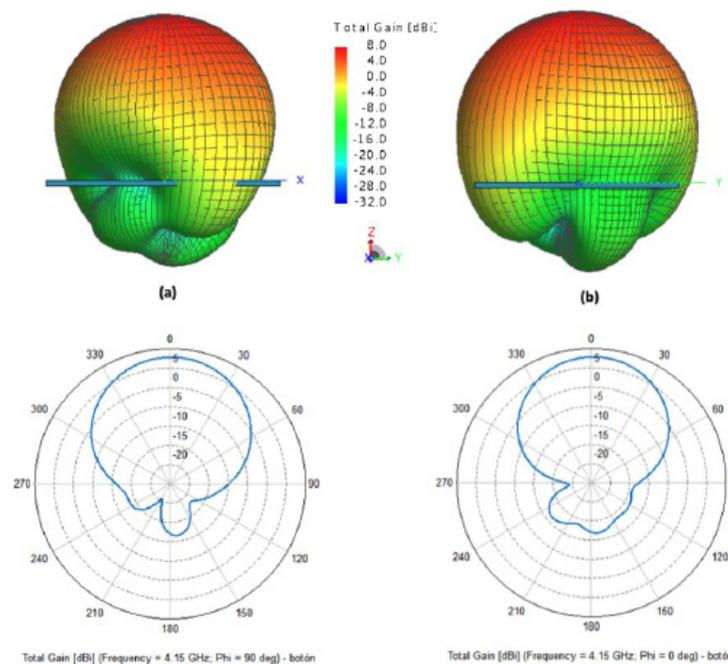


Figura 2. Patrón de Radiación de la antena patch vestible propuesta en la frecuencia de resonancia, $F_r = 4.15$ GHz. (a) Patrón en 3D vista con corte z-x. (b) Patrón en 3D vista con corte z-y. (c) Patrón en 2D plano-E. (d) Patrón en 2D plano-Hderecha.

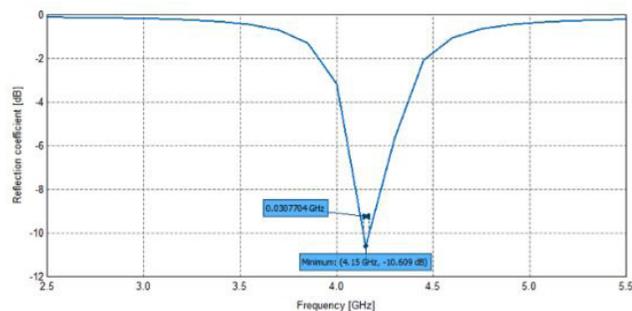
Se busca que el coeficiente de reflexión, medido en dB, sea muy negativo (o muy pequeño, cercan a cero, esto en una escala lineal), esto garantiza poca reflexión de ondas electromagnéticas entre la antena y la línea, un mejor comportamiento del patrón de radiación y una buena eficiencia de la antena.

En la curva del coeficiente (figura 3a.) podemos establecer el ancho de banda de la antena de 30.8 MHz (a -10 dB). Considerando la tecnología de antenas Patch donde el ancho de banda se espera que se encuentren entre el 3 % al 5 % de la frecuencia de resonancia, el valor del ancho de banda obtenido fue menos de lo esperado.

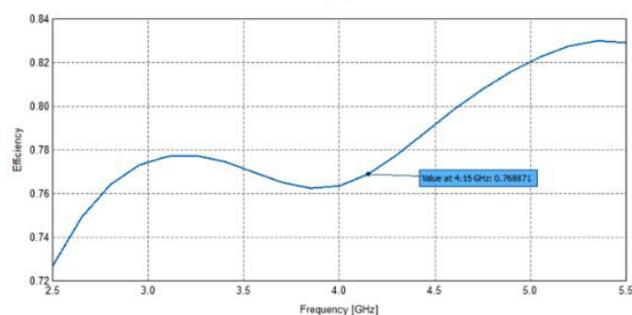
Sin embargo, este parámetro puede ser susceptible a ser mejorado en posteriores etapas de refinado y optimización de las dimensiones del botón y la posición del feed de la antena, esto último hará que mejore la adaptación de la antena con un menor valor del coeficiente de reflexión. Sin embargo, para aplicaciones en la banda C y en tecnologías 5G, el ancho de banda obtenido es suficiente.

Con respecto a la eficiencia, la figura 3b. presenta una curva donde se observa el comportamiento de la eficiencia de la antena versus la frecuencia. La eficiencia está estrechamente relacionada con el coeficiente de reflexión, y se espera que si el coeficiente de reflexión tiende a cero, la eficiencia tiende a aumentar. Sin embargo, las antenas patch no son consideradas de alta eficiencia, debido a la estructura dieléctrica necesaria para la radiación, y efectos indeseados de ondas superficiales al interior del dieléctrico.

A pesar de las características propias de las antenas patch, y, la eficiencia de 0.7688 (76.88 %), a la frecuencia de resonancia (y de diseño, $F_r = 4.15$ GHz) de la antena diseñada, es un valor considerablemente alto respecto a la tecnología, y a los materiales de diseño utilizados (botón metálico y el textil de jean como sustrato).



(a)



(b)

Figura 3. (a) Coeficiente de Reflexión de la antena patch vestible. (b) Eficiencia de la antena

Conclusiones

El diseño y análisis de resultados de rendimiento de una antena patch vestible propuesta para aplicaciones en la Banda C y tecnologías de 5G fue presentado en este trabajo. El diseño de la antena contempló el uso de materiales textiles para su construcción (modelos CAD en software especializado), incluyendo un botón metálico como patch radiante y para el substrato se seleccionó el jean como material dieléctrico de la antena.

Se simularon parámetros de rendimiento como el patrón de radiación, ganancia, eficiencia y coeficiente de reflexión, con muy buenos resultados de simulación. La ganancia de la antena fue de 8 dBi, resultado muy satisfactorio frente a los materiales y geometrías utilizadas para el diseño. Un muy buen coeficiente de reflexión, un aceptable ancho de banda y una buena eficiencia de la antena, concluyen que el diseño de la antena patch vestible propuesta presentó un muy buen rendimiento, pero susceptible de ser optimizada y con la capacidad de ser utilizada en aplicaciones de comunicaciones móviles inalámbricas en la banda C y tecnologías 5G en un futuro.

En etapas subsecuentes se espera ajustar y optimizar el feed de la antena, y realizar un análisis de la distribución de la corriente a fin de realizar ajustes a las dimensiones del botón metálico, que incidirá en los demás parámetros de rendimiento de la antena propuesta.

Referencias

- [1] Z. Wang, L. Zhang and J. Volakis, "Textile Antennas for Wearable Radio Frequency Applications," *Textiles and Light Industrial Science and Technology (TLIST)*, vol. 2, no. 3, pp. 105-112, 2013
- [2] E. Thangaselvi and K. Jeyanthi, "Implementation of flexible denim nickel copper rip stop textile antenna for medical application," *Cluster Computing*, vol. 22, pp. 635-645, 2019
- [3] S. Manna, T. Bose and R. Bera, "Wearable Antennas for Medical Application: A Review," *Advances in Electronics, Communication and Computing*, vol. 443, pp. 115-130, 2018
- [4] A. Baroni, P. Nepa and H. Rogier, "Wearable self-tuning antenna for emergency rescue operations," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 10, no. 2, pp. 173-183, 2016
- [5] P. Torre, L. Vallozzi, C. Hertleer, H. Rogier, M. Moeneclaey and J. Verhaevert, "Indoor Off-Body Wireless MIMO Communication With Dual Polarized Textile Antennas," *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, vol. 59, no. 1, pp. 631-642, 2011
- [6] R. Bharadwaj, S. Swaisaenyakorn, C. Parini, J. Batchelor and A. Alomainy, "Localization of Wearable Ultrawideband Antennas for Motion Capture Applications," *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS*, vol. 13, pp. 507-510, 2014
- [7] C. Occhiuzzi, S. Cippitelli and G. Marrocco, "Modeling, Design and Experimentation of Wearable RFID Sensor Tag," *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, vol. 58, no. 8, pp. 2490-2498, 2010
- [8] P. Nepa and H. Rogier, "Wearable Antennas for Off-Body Radio Links at VHF and UHF Bands," *IEEE Antennas & Propagation Magazine*, vol. October, pp. 30-52, 2015

- [9] K. Ito, N. Haga, M. Takahashi and K. Saito, "Evaluations of Body-Centric Wireless Communication Channels in a Range From 3MHz to 3GHz," *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, no. 7, pp. 2356-2363, 2012
- [10] A. Kittur and G. Vairavel, "Understanding Textile Antenna by Reviewing and Simulating It for High Data Rates Applications," *Advances in Smart System Technologies, Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1163, pp. 189-207, 2021
- [11] K. Venugopal and R. Heath, JR, "Millimeter Wave Networked Wearables in Dense Indoor Environments," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1205-1221, 2016.
- [12] N. Chahat, M. Zhadobov, S. Muhammad, L. Le Coq and R. Sauleau, "60-GHz Textile Antenna Array for Body-Centric Communications," *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, vol. 61, no. 4, pp. 1816-1824, 2013.
- [13] A. Kavitha and J. Swaminathan, "Design of flexible textile antenna using FR4, jeans cotton and teflon substrates," *Microsystem Technologies*, vol. 25, no. 1311-1320, 2019.
- [14] K. Agarwal, Y. Guo and B. Salam, "Wearable AMC Backed Near-Endfire Antenna for On-Body Communications on Latex Substrate," *IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, PACKAGING AND MANUFACTURING TECHNOLOGY*, vol. 6, no. 3, pp. 346-358, 2016.
- [15] J. Siden, M. Fein, A. Koptuyg and H. Nilsson, "Printed antennas with variable conductive ink layer thickness," *IET Microw. Antennas Propagations*, vol. 1, no. 2, pp. 401-407, 2007
- [16] K. Koski, L. Sydänheimo, Y. Rahmat-Samii and L. Ukkonen, "Fundamental Characteristics of Electro-Textiles in Wearable UHF RFID Patch Antennas for Body-Centric Sensing Systems," *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, vol. 62, no. 12, pp. 6454-6462, 2014
- [17] O. Artamonovs, G. Balodis and J. Blums, "Electrical properties of the conductive pigments for flexible antennas," in *14th Biennial Baltic Electronics Conference (BEC2014)*, Tallin, Estonia, 2014
- [18] S. Sankaralingam and B. Gupta, "Determination of Dielectric Constant of Fabric Materials and Their Use as Substrates for Design and Development of Antennas for Wearable Applications," *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, vol. 59, no. 12, pp. 3122-3130, 2010
- [19] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2016
- [20] H. Xiaomu, S. Yan and G. Vandenbosch, "Wearable Button Antenna for Dual-Band WLAN Applications With Combined on and off-Body Radiation Patterns," *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, vol. 65, no. 3, pp. 1384-1387, 2017
- [21] S. Chen, T. Kaufmann, D. Ranasinghe and C. Fumeaux, "A Modular Textile Antenna Design Using Snap-on Buttons for Wearable Applications," *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, vol. 64, no. 3, pp. 894-903, 2016

- [22] V. Jeoti, T. Saeidi, S. Mahmood, Z. Abidin and M. Rehman, "Design of Dual-Band Wearable Crescent-Shaped Button Antenna for WLAN Applications," *Intelligent Computing and Innovation on Data Science*, vol. 118, pp. 457-464, 2020
- [23] B. Sanz, F. Huang and J. Batchelor, "Covert dual-band wearable button antenna," *ELECTRONICS LETTERS*, vol. 42, no. 12, 2006
- [24] A. Yadav, V. Singh and H. Mohan, "Performance Analysis of Wearable Textile Antenna Under Different Conditions for WLAN and C-Band Applications," in *International Conference on Intelligent Computing and Smart Communication 2019, Algorithms for Intelligent Systems*, Singapur, 2019
- [25] P. Saha, R. Dash and D. Ghoshal, "A Compact Uplink-Downlink Band Switchable Wideband Antenna for C-band Satellite Applications," in 2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), Delhi-NCR, India, 2020
- [26] E. Lagunas, C. Tsinos, S. Sharma and S. Chatzinotas, "5G Cellular and Fixed Satellite Service Spectrum Coexistence in C-Band," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 72078-72094, 2020
- [27] C. Hertleer, A. Tronquo, H. Rogier, L. Vallozzi and L. Langenhove, "Aperture-Coupled Patch Antenna for Integration Into Wearable Textile Systems," *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS*, vol. 6, pp. 392-395, 2007
- [28] H. Rogier, "Textile Antenna Systems: Design, Fabrication, and Characterization," in *Handbook of Smart Textiles*, Singapore, Springer Science+Business Media, 2015, pp. 433-458
- [29] S. Sankaralingam and B. Gupta, "DEVELOPMENT OF TEXTILE ANTENNAS FOR BODY WEARABLE APPLICATIONS AND INVESTIGATIONS ON THEIR PERFORMANCE UNDER BENT CONDITIONS," *Progress In Electromagnetics Research B*, vol. 22, pp. 53-71, 2010
- [30] S. Ashok Kumar and T. Shanmuganatham, "Design and Performance of Textile Antenna for Wearable Applications," *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, vol. 19, pp. 352-355, 2018
- [31] E. Thangaselvi and K. Jeyanthi, "Implementation of flexible denim nickel copper rip stop textile antenna for medical application," *Cluster Computing*, vol. 22, pp. 635-645, 2019
- [32] A. Dierck, H. Rogier and F. Declercq, "A Wearable Active Antenna for Global Positioning System and Satellite Phone," *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, vol. 61, no. 2, pp. 532-538, 2013
- [33] X. Hu, S. Yan and G. Vandenbosch, "Compact Circularly Polarized Wearable Button Antenna With Broadside Pattern for U-NII Worldwide Band Applications," *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, vol. 67, no. 2, pp. 1341-1345, 2019
- [34] A. Biswas, S. Roy and U. Chakraborty, "A Wide Band Microstrip Antenna integrated with Complementary Split Ring Resonator (CSRR) for WLAN and C Band Applications," in 2017 *IEEE International Conference*

*on Computational Intelligence
and Computing Research (ICCIC),
Coimbatore, India, 2017*

- [35]Altair, "<https://altairuniversity.com/feko-student-edition/>," 2020. [Online]. Available: <https://altairuniversity.com/feko-student-edition/>. [Accessed 21 9 2020]