

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ANTENA MULTIBANDA FLEXIBLE TIPO BOW-TIE

Brayan Alexander Gallego Orozco

Tecnología en Telecomunicaciones

Erick Estefen Reyes Vera

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2016

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En este trabajo se muestra un análisis numérico del comportamiento de una antena flexible y multi-banda altamente compacta y eficiente. Para lograr esto, se partió de un diseño inicial de una antena tipo Bow-Tie a la cual se le hacen modificaciones sobre el parche de la antena cambiando así su estructura física y por ende su respuesta en frecuencia. Adicionalmente se ha modelado el comportamiento de dicha antena cuando sobre el plano tierra son grabadas estructuras metamateriales resonantes, logrando de esta manera que la antena inicial se comporte como una antena multi-banda debido a dicha alteración. En ambos casos se han empleado un sustrato flexible comercial cuya referencia es el Ultralam 3850HT ya que posee las características físicas y eléctricas que van acorde con las necesidades para la elaboración de este proyecto.

Para llevar a cabo este análisis se empleó el método de elementos finitos a través del software comercial HFSS. Lo cual nos permitió realizar análisis paramétricos del comportamiento de dichas antenas con el fin de encontrar resultados óptimos que a la postre nos ayudaran a lograr nuestro objetivo, el cual consistía en obtener una antena flexible multi-banda tipo Bow-Tie. Los resultados obtenidos en este trabajo de grado, sin duda constituyen una base para futuros trabajos empleando antenas flexibles.

Palabras clave: Antena flexible, antenas multi-banda, antenas de microcinta, serigrafía, antena Bow-Tie.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer al profesor Erick Reyes Vera ya que fue el que me guio durante este proceso de investigación y elaboración del trabajo de grado ya que sus buenos aportes e interés ayudaron a un buen desempeño de este; también agradecer a Daniel Alejandro Cataño porque fue una fuente de apoyo en el momento requerido y sus buenos consejos ayudaron al progreso del proyecto.

Mis demás compañeros de la universidad agradezco su apoyo y estímulo para seguir por este camino. Agradezco al Instituto Tecnológico Metropolitano por haberme prestado los elementos requeridos para un buen desarrollo de este proyecto.

Por ultimo quiero agradecer a mis padres y familiares que siempre estuvieron dándome su apoyo, haciendo que mejore en este proceso de formación, dándome el ánimo necesario para seguir adelante.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

HFSS: Simulador estructural de alta frecuencia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	8
3. METODOLOGÍA.....	11
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	27
REFERENCIAS	28
APÉNDICE.....	¡Error! Marcador no definido.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la comunidad científica ha despertado un gran interés por dispositivos flexibles y multi-banda ya que su fácil implementación, bajos costos de fabricación y reducción de espacios debido a sus pequeñas dimensiones hacen que este tipo de antenas sean un buen foco en tecnologías futuras (Ramírez Artunduaga, 2007). Al hablar de antenas flexibles lo más atractivo es su diminuto espesor en el sustrato, su flexibilidad lo que la hacen una buena opción a la hora de aplicaciones como lo son los WBAN ya que esta nueva tendencia en la investigación se trata de implementar dispositivos sobre tejidos como las prendas de vestir que llevamos en nuestra vida cotidiana, con ello recurrir a este tipo de antenas es la mejor opción (Kurian, 2014). Debido a las diferentes bandas de frecuencia utilizados en comunicaciones móviles e inalámbricas hacen de las antenas multi-banda otro foco en el ámbito investigativo debido a la demanda en la industria ya que con esto se aumenta la eficiencia de los dispositivos ya que con una sola antena puede haber varios sistemas de comunicaciones y todo ellos a diferentes frecuencias.

Lo primero que se busca al diseñar una antena flexible es el tipo de sustrato utilizado, esto es un parámetro importante ya que debido a las características de este sustrato será verás correcto funcionamiento de las antenas; uno de estos sustratos es el PDSM, con este sustrato flexible y un respectivo diseño del parche de la antena se hacen simulaciones, sometiendo a la antena a diferentes curvaturas, así lograr demostrar que esta antena es adecuada para aplicaciones inalámbricas y flexibles (Rahman & Rahim, 2015). Debido a que las antenas flexibles son relativamente nuevas en el área investigativa se pretende sacar su mayor potencial, para ello se somete a cambios; uno de los cambios que se pueden generar es reducir el material del elemento conductor utilizado en el parche de una antena tipo Bow-Tie y someter la antena a curvaturas, para ello se realiza un análisis sobre cómo se comporta la densidad de corriente en el parche de la antena con el resultado de encontrar donde se concentra la mayor cantidad de corriente, finalizado esto y después de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

unas previas simulaciones se llega a la conclusión de que se puede reducir el material del elemento conductor utilizando un delineado de la antena Bow-Tie y esto no afecta de manera sustancial la frecuencia de resonancia de la antena (Durgun et al., 2011).

Las antenas multi-banda por otro lado, plantea un foco investigativo orientado a simplificar en una sola antena el mayor número de sistemas de comunicaciones para ello se pueden realizar tanto modificaciones en el parche como en el plano tierra. Una de estas modificaciones se puede hacer por estructuras de metamateriales, como pueden ser triángulos resonadores tanto en el parche como en el plano tierra, con esto se generar tres bandas de frecuencia para aplicaciones como WiMax y WLAN con la ventaja de tener una estructura simple y fácil fabricación (Zhu et al., 2015). Otra de las modificaciones que se podrían hacer sería tomar una estructura conocida como una antena tipo Bow-Tie y generar cambios en dicha antena como pueden ser dos ranuras en los triángulos que componen este tipo de antenas y de esta manera generar hasta tres bandas de frecuencia dependiendo de las ranuras realizadas en el parche de la antena, al tener múltiples frecuencia se podrían tener múltiples sistemas de comunicaciones inalámbrica lo que resulta mucho más fácil y eficiente (Liu, Jiang, Guan, Lei, & Li, 2013). Las modificaciones en el plano tierra también es un buen método para generar nuevas bandas de frecuencia, con nuevos esquemas como una antena vivaldi, este tipo de antenas tiene modificaciones tanto en el plano tierra como en el parche, al hacer esto se pueden generar múltiples bandas de frecuencia para transmisión en UHF en el cual se pueden utilizar sustratos flexibles para tener mayores beneficios en la antena, tanto para su fabricación como implementación (Presse & Marie, 2013).

En este trabajo se pretende entrelazar las antenas flexibles con las multi-bandas y así obtener los beneficios de estas para lograr generar antenas mucho más eficientes, con más reducción en sus espacios, fáciles de fabricar y con un alto rendimiento debido a la posibilidad de tener múltiples sistemas de comunicaciones inalámbricas en un mismo dispositivo.

2. MARCO TEÓRICO

La utilización de antenas microstrip se ha ido incrementando cada vez más en la industria debido principalmente a su practicidad, bajos costos de fabricación, tamaño compacto, su facilidad de instalación hace que sea muy llamativa y utilizada en equipos móviles, sistemas de seguridad y demás aplicaciones en las cuales necesiten las características de este tipo de antenas.

La estructura básica de este tipo de antenas es un parche metálico muy delgado colocado encima de una placa dieléctrica que también es delgada con una permitividad relativa asociada a este dieléctrico y a su vez otra capa metálica muy delgada que actuará como plano tierra como se muestra en la figura 1. El parche que es el elemento radiador puede tener varias configuraciones dependiendo de la forma o estructura de este, como lo pueden ser cuadrado, triangular, elíptica, rectangular o modificado a través de la grabación de fractales, metamateriales o ranuras obre este.

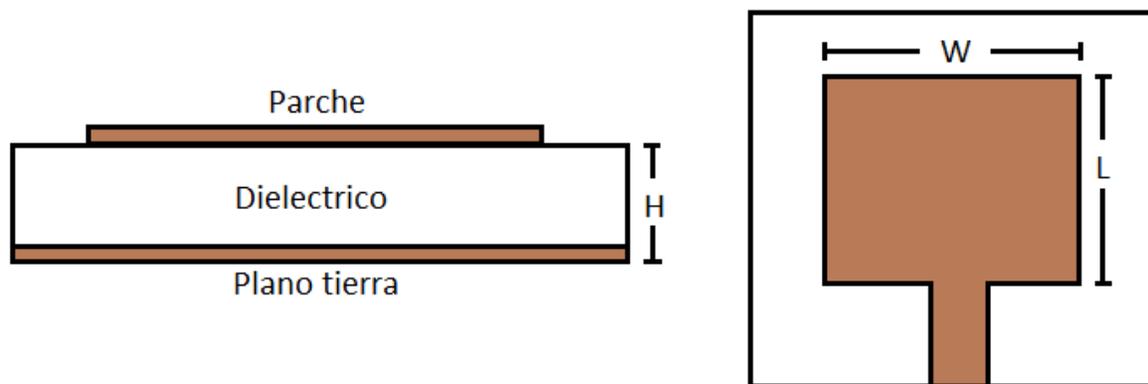


Figura 1. Estructura de antena microstrip de costado y de frente respectivamente.

La forma de alimentación más utilizada en este tipo de antenas es por línea microstrip o por cable coaxial. La alimentación por línea microstrip consiste en conectar por medio de cintas conductoras, una al radiador y la otra al plano tierra; el problema que presenta este tipo de alimentación es que se pueden presentar radiaciones espurias lo cual genera pérdidas en la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

potencia. Por el contrario la alimentación por cable coaxial consiste en conectar el conductor interno del cable coaxial con el radiador de la antena y la malla con el plano tierra, este tipo de alimentación hace que se reduzcan drásticamente las pérdidas por radiaciones espurias.

Un caso particular en el diseño de este tipo de antenas es mostrado a continuación, en donde se presenta el procedimiento adecuado para diseñar una antena microstrip con parche rectangular como el de la Figura 1. Para el diseño de este tipo de antenas se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- **Constante dieléctrica efectiva:** Básicamente la constante dieléctrica efectiva es la constante dieléctrica de un material dieléctrico uniforme y esto genera unas líneas de campo eléctrico con características eléctricas constantes. Para hallar esta constante se utiliza la siguiente formula:

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{1/2}$$

- **Longitud efectiva:** Debido a que la longitud del parche L es menos a la longitud eléctrica de la antena debido a las líneas de campo eléctrico; por ello la longitud efectiva es la longitud física del parche L más un ΔL a ambos lados extremos del parche, para ello se tiene la siguiente formula:

$$L_{eff} = L + \Delta L$$

Para poder hallar ese ΔL se tiene la siguiente relación con la constante dieléctrica efectiva:

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{ref} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{ref} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}$$

- **Frecuencia de resonancia:** La frecuencia de resonancia de la antena microstrip rectangular está asociada con su longitud efectiva como se muestra en la siguiente formula:

$$f_r = \frac{C}{2L_{eff}\sqrt{\epsilon_{ref}}}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Teniendo en cuenta que la velocidad de propagación $C = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$

- **Proceso de diseño:** Lo primordial en este proceso de diseño es saber las longitudes de nuestro parche W y L_{eff} , para hallar estos dos valores se hará lo siguiente:

Primero se hallará W con la siguiente formula:

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

Después de esto se determina cual es la constante dieléctrica con la formula mostrada anteriormente; teniendo estos valores ya se puede calcular de cuanto es el ΔL para así saber la longitud eléctrica de la antena.

Para determinar la longitud efectiva de la antena se utiliza la siguiente formula:

$$L_{ef} = \frac{C}{2f_r \sqrt{\epsilon_{ref}}}$$

Al tener los valores anteriormente mencionados podemos calcular cual va a ser la longitud física del parche de nuestra antena (L) utilizando la siguiente ecuación:

$$L_{eff} = L + \Delta L$$

Al tener todos estos parámetros se comienza con la elaboración de la antena. (Ramírez Artunduaga, 2007)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Fase 1: En esta fase se realiza un proceso de búsqueda bibliográfica y estudio de la teoría relacionada con antenas microstrip flexibles con el fin de entender el proceso de diseño de estas antenas. Y además identificar la importancia de cada uno de los parámetros involucrados en el proceso de diseño como lo son el tipo de sustrato, el grosor del sustrato, las dimensiones del parche, la geometría, etc.

Fase 2: En la segunda fase del trabajo se lleva a cabo un proceso de validación. Para ello se realiza la simulación de una antena previamente analizada por algún autor reconocido en el campo de este tipo de antenas.

Para llevar a cabo este análisis se emplea software comercial, en nuestro caso HFSS para realizar la simulación de la antena y de esta manera validar que el procedimiento seguido en el software es el correcto.

Fase 3: Una vez fue validado el procedimiento, se procedió a realizar un análisis del comportamiento de la antena sobre un material flexible cuya referencia es Ultralam 3850 HT. Donde adicionalmente se realizan modificaciones secuenciales sobre el parche para determinar los cambios de comportamiento de los parámetros eléctricos de la antena al ser grabadas sobre el parche un conjunto de ranuras.

Fase 4: En esta cuarta fase del trabajo se hace un proceso de fabricación basado en los resultados obtenidos en la fase anterior. Para llevar a cabo esta fase se hace necesario emplear la técnica de serigrafía para la fabricación de las antenas flexibles. Esto es necesario ya que al tener un material tan delgado la CNC puede generar rupturas del sustrato y por ende generar alteraciones con respecto a la fase de simulación del trabajo.

Fase 5: Se realizó una caracterización experimental de las antenas construidas empleando el analizador de redes vectorial FSH8 marca Rhode & Schwartz. Seguido

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de esto se hace un análisis comparativo con los resultados predichos en la fase de simulación en HFSS.

Fase 6: Se realiza un informe de la práctica.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Validación de la metodología de trabajo

Al ver en la actualidad el notable interés por parte de la industria hacia los dispositivos diseñados con materiales flexibles se estableció una búsqueda para tener unas bases claras sobre las necesidades que hay y como poder satisfacerlas. Esta búsqueda fue realizada por medio de la base de datos con la que cuenta el Instituto Tecnológico Metropolitano en el cual se encontró un artículo que cumple con varias de las necesidades buscadas, este titula *“Design, simulation, fabrication and testing of flexible Bow-Tie antennas”*, en el cual se implementa una antena Bow-Tie tipo parche utilizando como sustrato un plástico delgado y un material conductor de aluminio.

Para su simulación se utilizará el software HFSS, con el cual podremos ver de forma cercana cómo será el comportamiento de la antena y de esta manera corroborar la eficiencia de la misma; para su simulación se utilizará el sustrato mostrado en la figura 2.

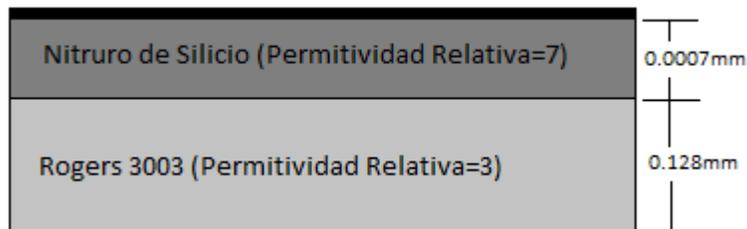


Figura 2. Sustrato utilizado para simulación en HFSS

Este sustrato es el que más se acerca a las propiedades eléctricas del sustrato que se utiliza de manera experimental mediante el uso de los materiales de la librería de HFSS. Los parámetros del parche con el cual se simulará la antena serán los mostrados en la figura 3.

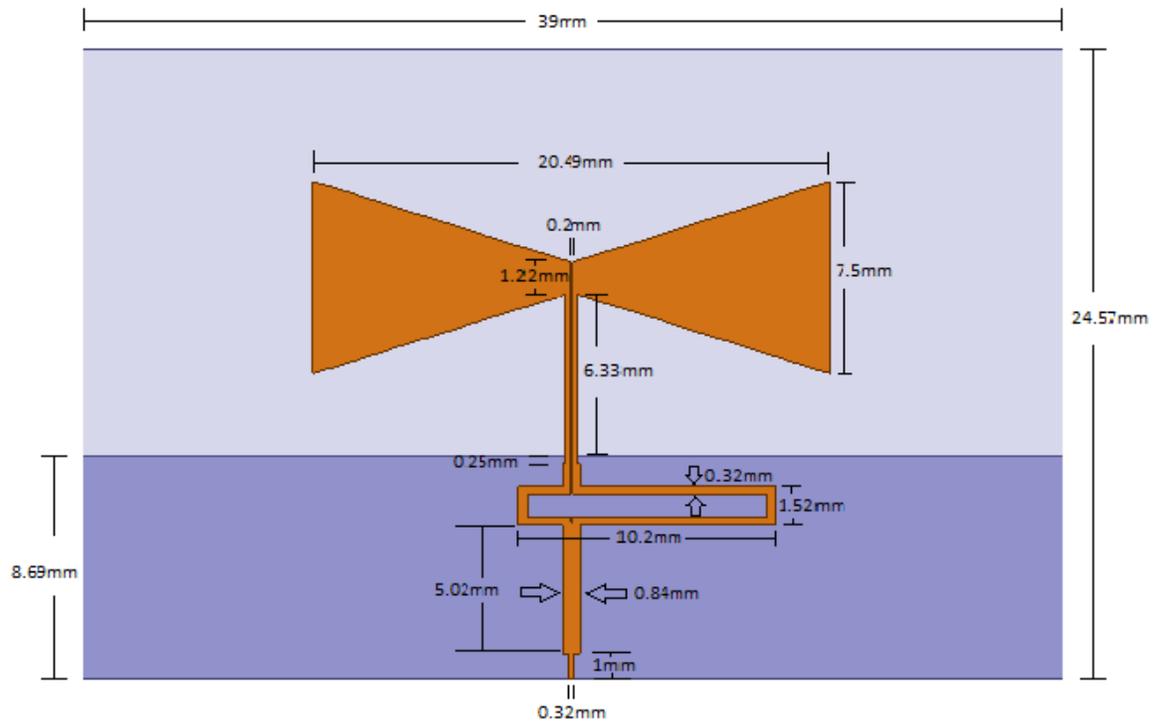


Figura 3. Parámetros de Antena Bow-Tie para simulación en HFSS.

Aunque la mayoría de parámetros de la antena los sacamos del artículo, algunas de estas longitudes se calcularon y no fueron tomadas del informe por falta de datos en este, lo que nos lleva a que en nuestra simulación haya un margen de error latente.

Una vez finalizada la simulación de la antena, tenemos el resultado del parámetro S11 mostrado en la figura 4, el cual tiene una frecuencia de resonancia de 7GHz, esto se desfasa unos 0.5GHz del resultado mostrado en el artículo como consecuencia de que algunos parámetros debieron ser asumidos como se mencionó anteriormente.

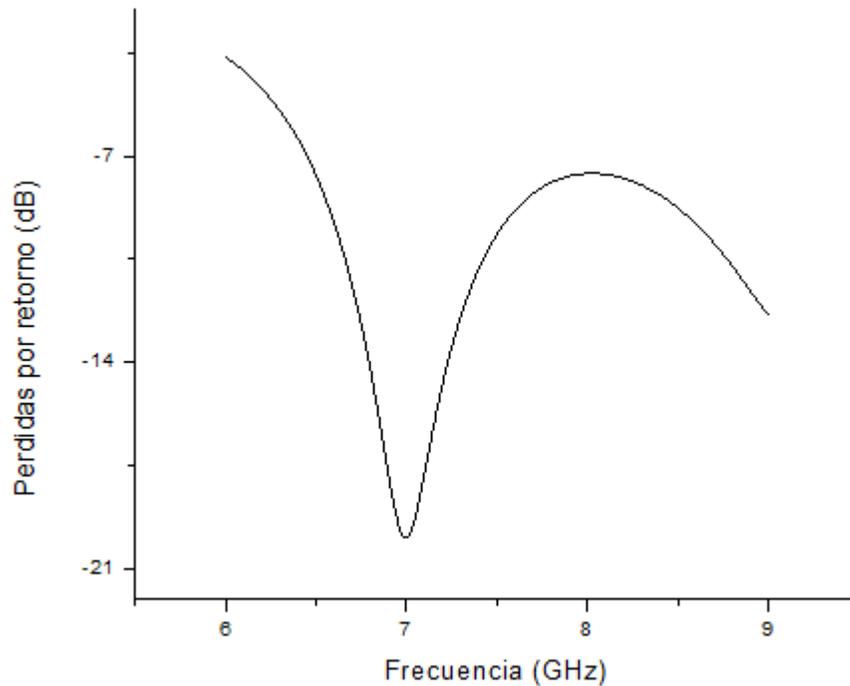


Figura 4. Parámetro S11 obtenido para la antena de la Figura 3.

4.2 Diseño de antena multi-banda flexible tipo Bow-Tie

4.2.1 Modificaciones en el parche

Para llevar a cabo esta fase de diseño se parte de la antena ilustrada en la Figura 3 presentada en la sección anterior, sobre la cual se hará unas modificaciones en el parche y así analizar posibles alteraciones en su simulación.

- **4.2.1.1 Cambio de sustrato**

Para esta antena se utilizará un sustrato comercial cuya referencia es Ultralam 3850 HT, este es un materia flexible cuyo grosor es 0.05 mm y está recubierto por ambas cara con una capa de cobre de grosor 9 μm (Rogers, 2016).

El resultado de la simulación al cambiar el sustrato se puede ver en la figura 5. En esta figura se puede ver como a la frecuencia de 7 GHz se ha trasferido la potencia a otras frecuencias anteriores a esta, por ello se utilizó un rango de frecuencias mucho más alto para su simulación y así poder notar la variable que hubo en 4 GHz y 2.5 GHz.

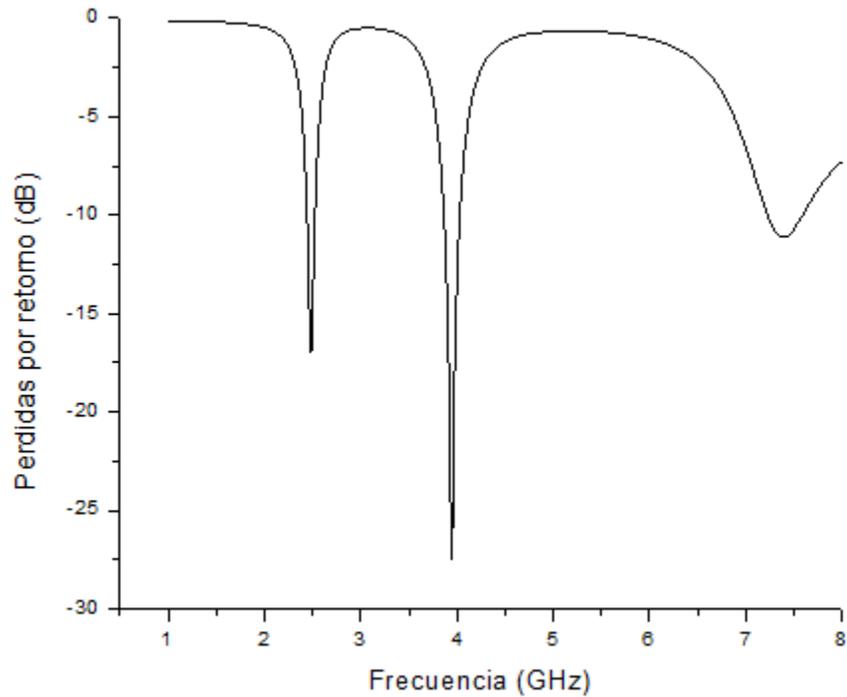


Figura 5. Parámetro S11 con sustrato dieléctrico Ultralam 3850 HT.

- **4.2.1.2 Alteración en el parche de la antena**

Teniendo en cuenta que la mayor parte de la densidad de corriente se concentra en los bordes de la antena, se va a reducir su parche conductor por una línea y paulatinamente se le irán añadiendo más brazos a la antena con el fin de observar su comportamiento. (Durgun et al., 2011)

En la figura 6 se puede observar las 4 reestructuraciones del parche y en la figura 7 se ve el comportamiento del S11 para cada una de estas variaciones.

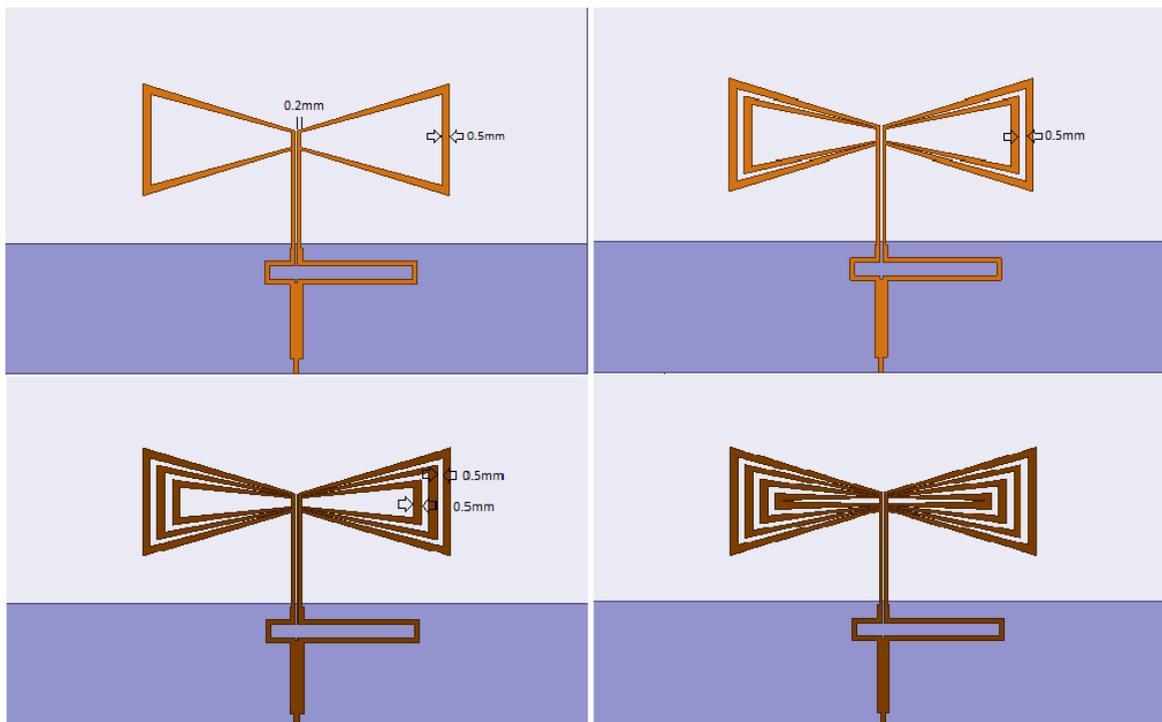


Figura 6. Reestructuraciones de antena Bow-Tie

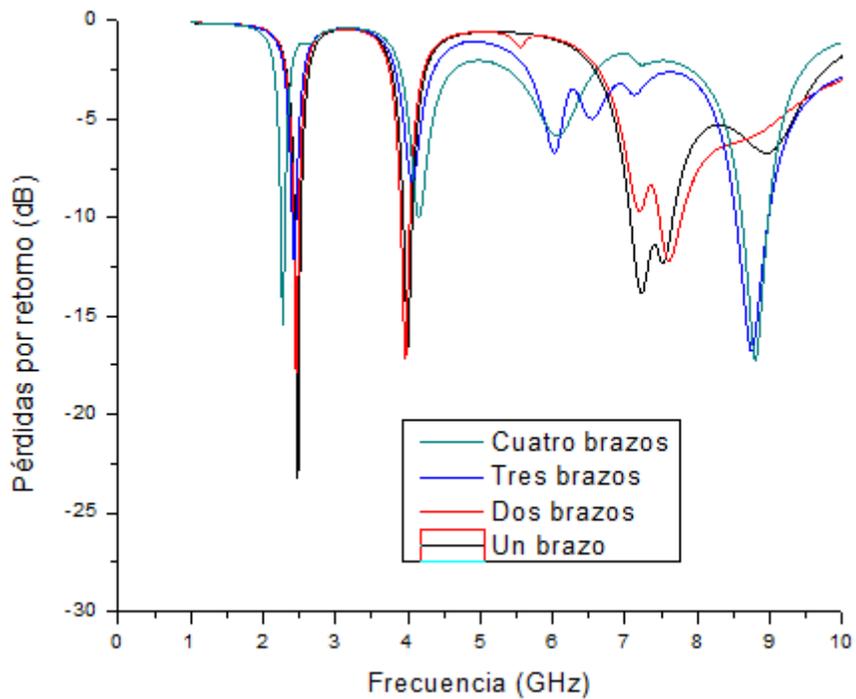


Figura 7. Perdida por retorno de las cuatro configuraciones analizadas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Primero nos enfocaremos en la antena con solo un brazo de la figura 6 y 7, en la cual se puede observar que al cambiar el diseño de nuestra antena no se alteró la frecuencia de resonancia, pero también puede evidencia un aumento en las perdidas por retorno en comparación con el prototipo anterior mostrado en la figura 5, pero este aumento de pérdidas por retorno no es muy significativa lo cual demuestra que la densidad de corriente de esta antena se encuentra más que todo en los bordes de la misma.

Ahora se empezará a añadirle “brazos” a la antena y seguir observando el cambio generado, ahora se podrá la atención en la antena con 2 brazos de la figura 6 y 7. Como se observa en la figura se pone el otro brazo a 0.5mm del anterior para así poder generar un mayor número de ellos y ver con más detalle cómo se comporta la antena antes tales cambios. En comparación con la simulación que se muestra en la figura 7 donde solo se tenía un brazo en la antena, se puede ver una mayor eficiencia en el parámetro S11 de esta antena con dos brazos ya que como aún esta tan cerca de los bordes de la antena que es donde se encuentra la mayor cantidad de densidad de corriente produce que su eficiencia sea un poco mayor sin alterar la frecuencia de manera significativa.

Después de esto a la antena se le pondrá otro brazo el cual están separados 0.5mm del brazo anterior; en la figura 6 se puede ver claramente el cambio que se le aplicó a la antena, dicha antena ahora tiene 3 brazos. Al terminar la nueva alteración de la antena se procede a simular y así observar cual es el comportamiento y que beneficios se puede sacar de esto.

En la figura 6 en el delineado azul se muestra el parámetro S11 de la antena en el cual nos muestra como las bandas de frecuencia disponibles que había anteriormente se perdieron y quedó la banda de frecuencia utilizable a 2.4 GHz con unas pérdidas de retorno de -12 dB, pero también cabe notar que al abrir un poco más el rango de frecuencias de la simulación aparece una nueva banda de frecuencia a 8.75 GHz con unas perdidas por retorno de -16.8 dB, esta nueva banda no aparece

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

en las anteriores simulaciones. Con el fin de mejorar los resultados mostrados anteriormente con la antena de 3 brazos donde apareció una nueva banda de frecuencia, se va a poner un cuarto brazo y así mirar que cambios se obtiene en estas bandas dadas por el parámetro S11. La nueva antena se puede ver en la figura 6, donde se destaca que es el último brazo que le pondremos a nuestra antena ya que si se ponen más se perdería la uniformidad.

En la figura 7 se puede observar el parámetro S11 de la antena con cuatro brazos por el delineado verde donde se observa una mejora notable en las perdidas por retorno de estas dos bandas de frecuencia. En la frecuencia de 2.3 GHz hay unas perdidas por retorno de -15.4 dB y en la siguiente banda de frecuencia utilizable, tiene una frecuencia de 8.8 GHz con sus respectivas perdidas por retorno de -17.2 dB; en comparación con la antena de 3 brazos no hubo cambios importantes en la frecuencia central de resonancia y también la antena con 4 brazos resultó siendo un poco más eficiente ya que bajaron sus respectivas perdidas por retorno.

4.2.2 Modificaciones en el plano tierra

Para llevar a cabo este apartado se tomará de nuevo el diseño base de la antena mostrado en la figura 3 y teniendo de sustrato comercial Ultralam 3850 HT como se muestra en la sección 4.2.1.1 de las alteraciones del parche, con esta antena se harán unas modificaciones en el plano tierra con estructuras de metamateriales en forma de hexágonos, de esta manera se analizarán los resultados que presente el parámetro S11 al someter la antena a diferentes variantes de su estructura en el plano tierra como lo son la posición en la que se encuentre el metamaterial y el tamaño físico de este .

- **4.2.2.1 Metamaterial hexagonal al lado izquierdo del plano tierra**

Al saber que la estructura de metamaterial provee a la antena unas mejoras, se empezará poniendo esta estructura al lado izquierdo del plano tierra como se muestra en la figura 8.

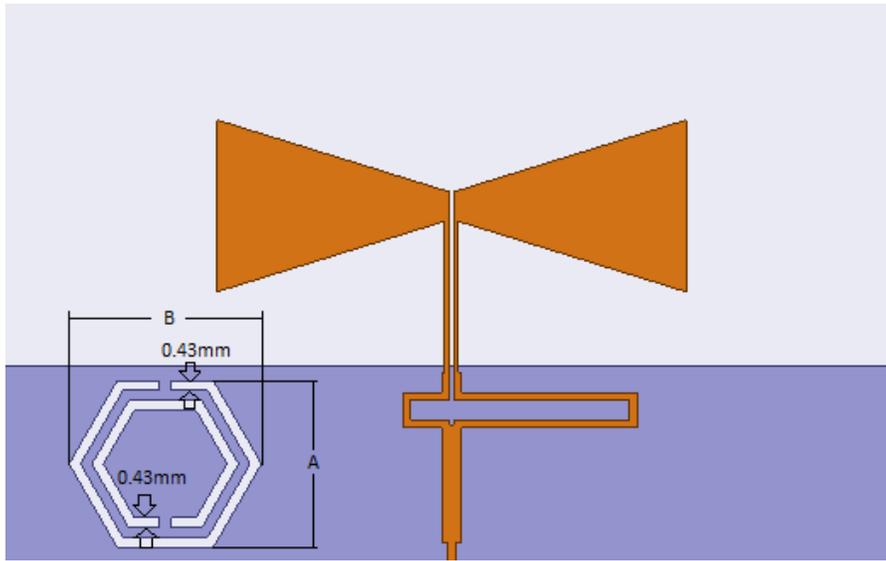


Figura 8. Antena Bow-Tie con metamaterial en plano tierra-lado izquierdo

Como se puede observar en la figura 8 el grosor de nuestra estructura de metamaterial es una constante de 0.43, pondremos a variar su largo denominado con la letra A y su ancho denominado B; al variar estos dos parámetros en nuestro plano tierra variará también nuestro parámetro S11 como se muestra en la figura 9 donde vemos dicho parámetro y los cambios generados ante la variación de A y B.

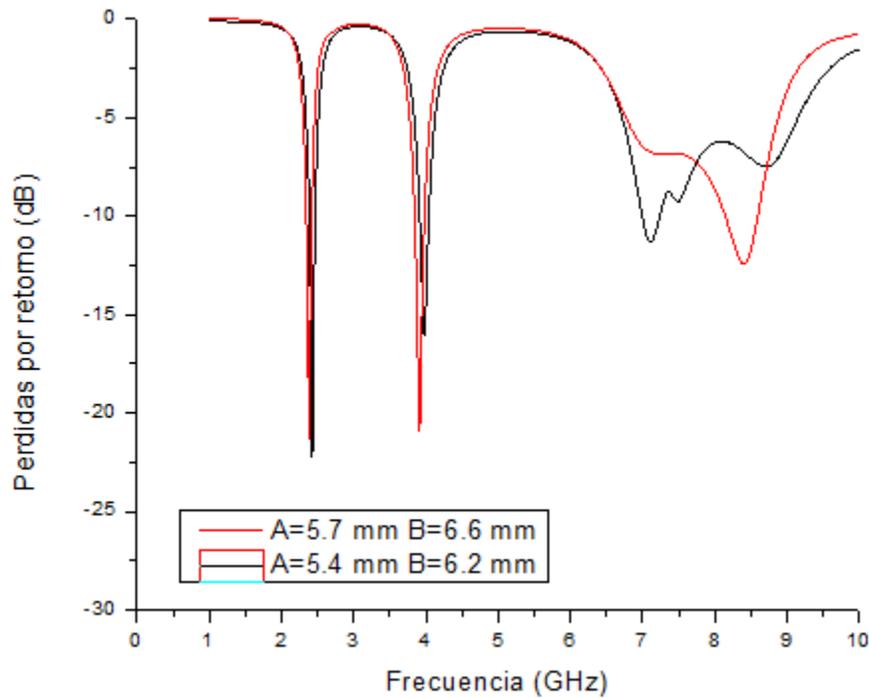


Figura 9. Parámetro de antena Bow-Tie con metamaterial en lado izquierdo del plano tierra. Variación de ancho y largo del metamaterial.

En la figura 9 se muestra la variación que hay en el parámetro S11 al cambiar el ancho y largo del metamaterial; aunque los dos picos principales no variaron mucho, pero al ver el tercer pico se puede ver el delineado negro el cual tiene una frecuencia central de 7.1 GHz con unas pérdidas por retorno de -11.3 dB y el delineado rojo tiene una frecuencia central de 8.4 GHz con unas pérdidas de retorno de -12.6 dB; con esto se puede ver que el delineado rojo tiene mayor eficiencia en todas sus bandas de frecuencia y en la tercera banda se puede sacar un ancho de banda mucho mayor que de las bandas anteriores a esta.

- 4.2.2.2 Metamaterial hexagonal en el centro del plano tierra**

En este caso vamos a mover la estructura de metamaterial al centro del plano tierra con las mismas especificaciones que en el caso anterior; con un grosor de 0.43 mm, una altura A y un ancho B variables como se muestra en la figura 10 y así analizar su comportamiento.

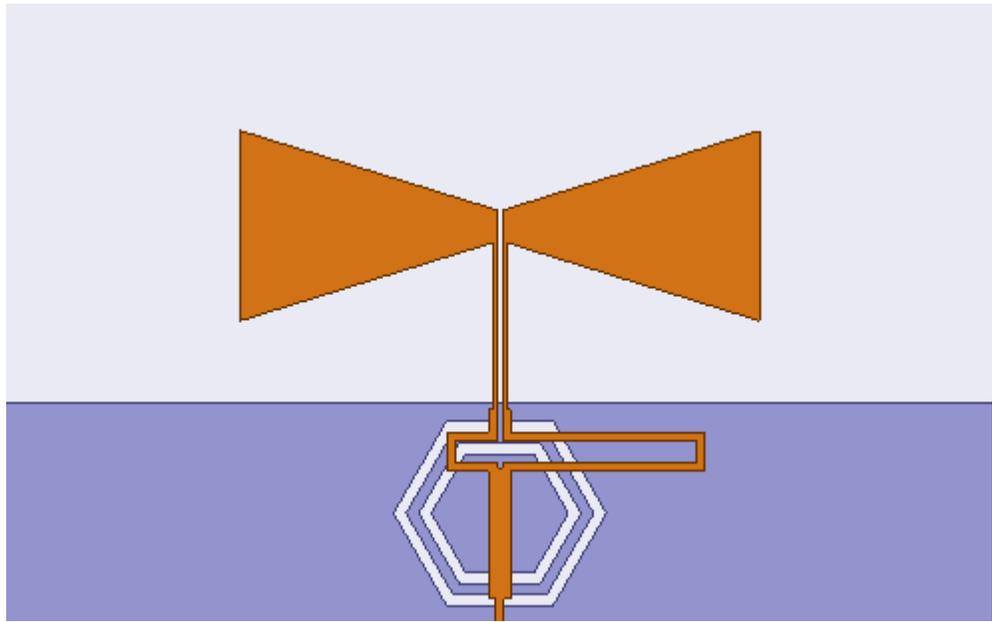


Figura 10. Antena Bow-Tie con metamaterial en plano tierra-central

Al estar el metamaterial en todo el centro del plano tierra queda justo por encima de la línea de alimentación, por lo cual se verá aumentada sus pérdidas por retorno como se puede ver en la figura 11.

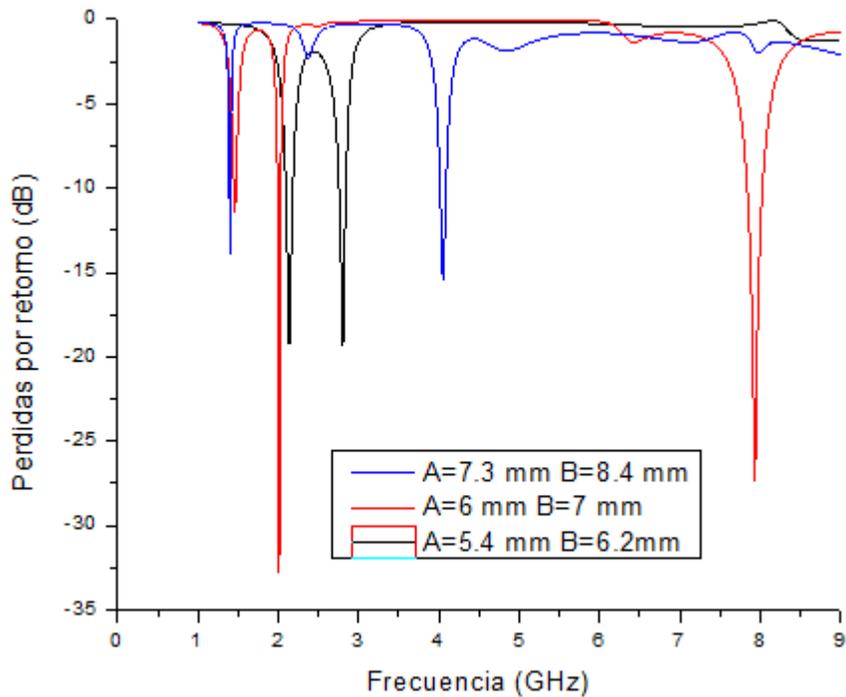


Figura 11. Parámetro de antena Bow-Tie con metamaterial en el centro del plano tierra. Variación de ancho y largo del metamaterial.

En la figura 11 se puede ver como el delineado azul y negro tiene dos bandas de frecuencia en las cuales se puede trabajar ya que están por debajo de los -10 dB de pérdidas de retorno y se podrían utilizar para aplicaciones Dual-Band, en el caso del delineado rojo se observa que en dicho parámetro quedaron disponibles 3 bandas de frecuencia, la primera con una eficiencia baja ya que no sobrepasa por mucho los -10dB que se necesitan para que haya una funcionalidad en la antena pero las otras dos bandas de frecuencia que le siguen a esta tienen una alta eficiencia ya que sus pérdidas por retorno son mínimas.

- **4.2.2.3 Metamaterial Hexagonal al lado derecho del plano tierra**

Ahora se pondrá el metamaterial en el lado derecho del plano tierra sin que interfiera con ninguna parte de la línea de alimentación de la antena, teniendo un grosor fijo de 0.43 mm, una altura A y un ancho B variables como se muestra en la figura 12.

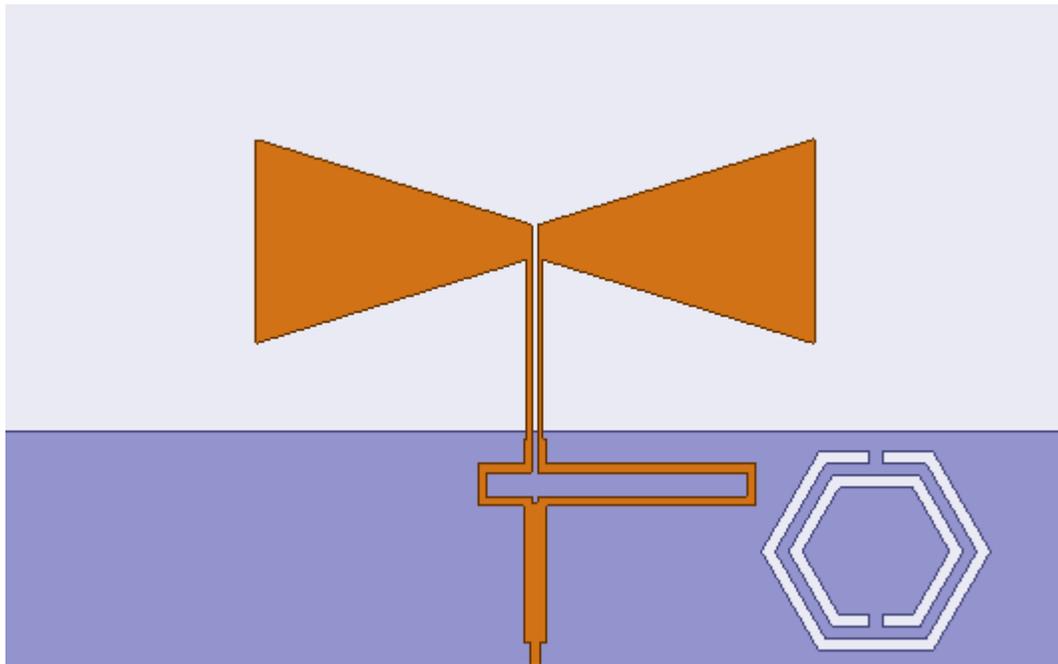


Figura 12. Antena Bow-Tie con metamaterial en plano tierra-lado derecho

El parámetro S11 mostrado en la figura 13 de la antena Bow-Tie con el metamaterial en el lado derecho del plano tierra muestra en el delineado rojo se generan tres bandas de frecuencia de las cuales la última banda presenta un ancho de banda

considerable lo cual es importante para la implementación de este tipo de antenas ya que mejora la trasmisión que se pueda presentar por dicha antena.

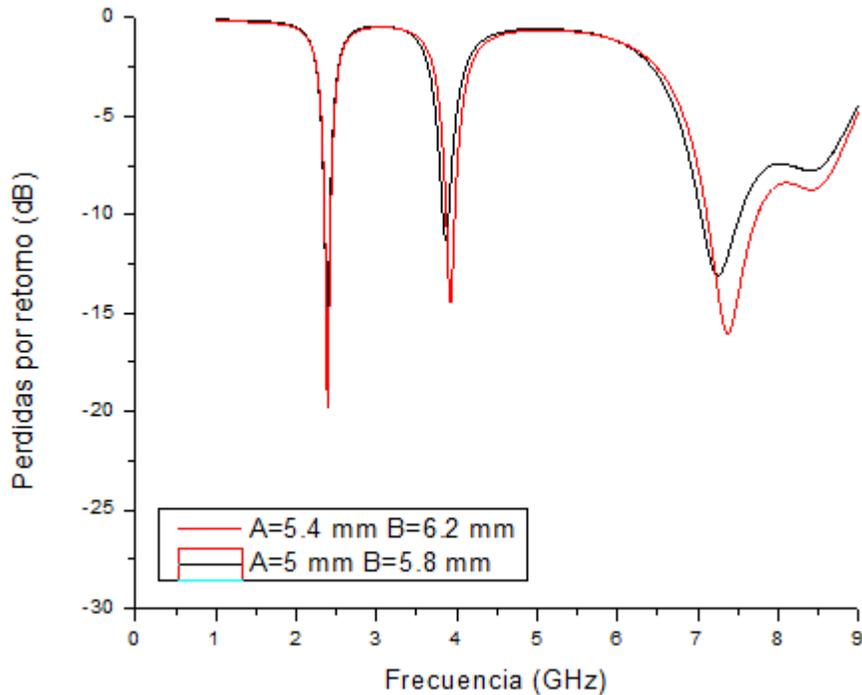


Figura 13. Parámetro S11 de antena Bow-Tie con metamaterial en el lado derecho del plano tierra. Variación de ancho y largo del metamaterial.

- 4.2.2.4 Metamaterial Hexagonal a ambos lados del plano tierra**

Al ver en la sección 4.2.2.2 que al poner la estructura de metamaterial en el centro se ven reducidas en algunos casos la eficiencia de la antena se opta por solo poner la estructura de metamaterial en ambos lados del plano tierra sin afectar el centro que es donde se encuentra la línea de alimentación y así mirar por medio del parámetro S11 la variación de este para sacar los mejores resultados. Como en los casos anteriores se tendrá un grosor constante de 0.43 mm, una altura A y un ancho B variables; este nuevo diseño se puede ver claramente en la figura 14.

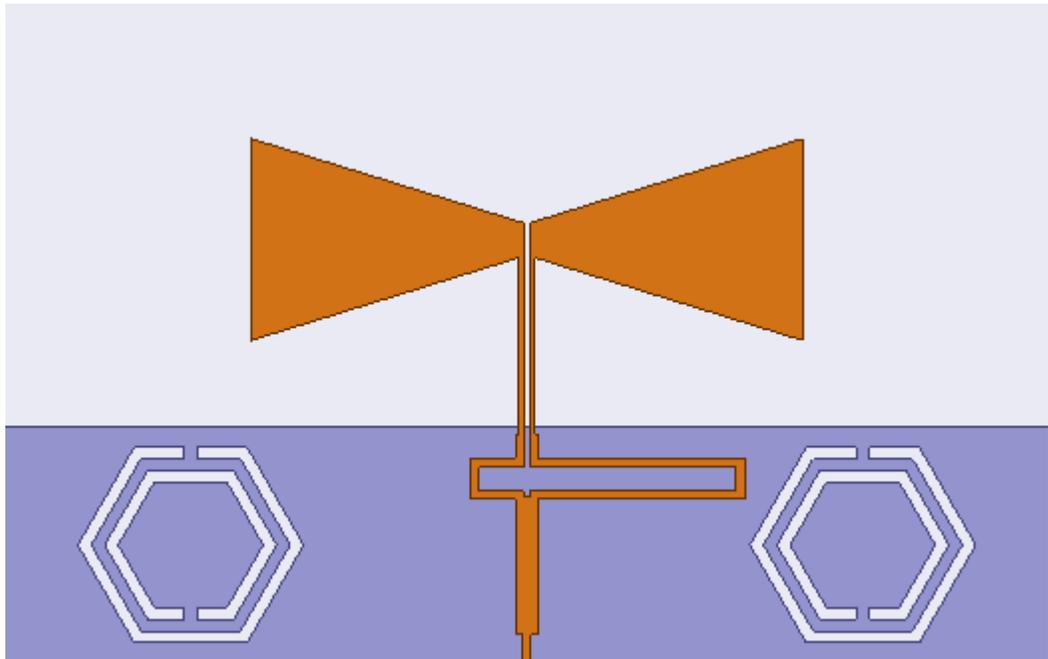


Figura 14. Antena Bow-Tie con metamaterial en plano tierra-ambos lados.

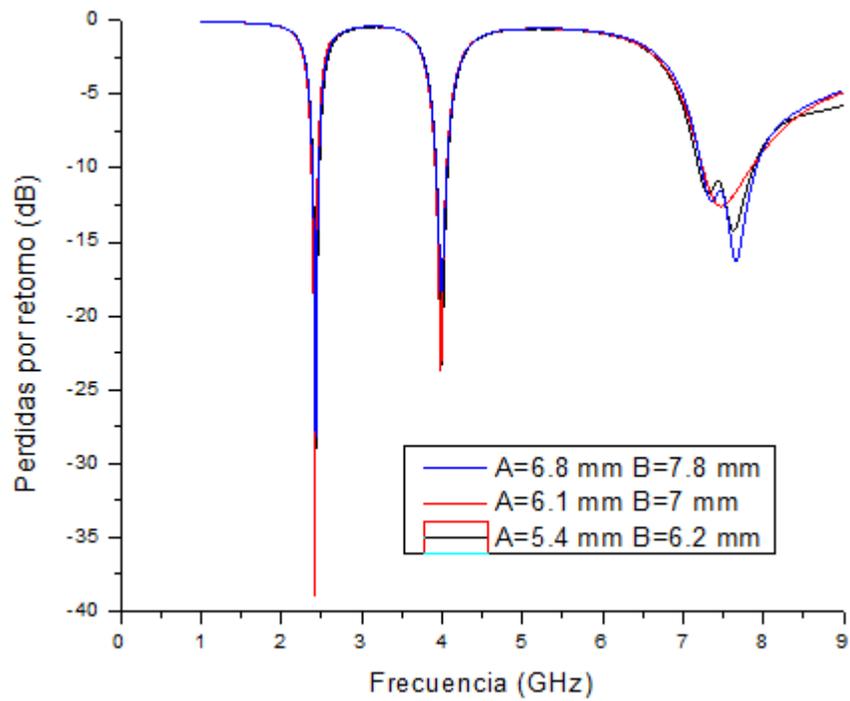


Figura 15. Parámetro S11 de antena Bow-Tie con metamaterial en ambos lados del plano tierra. Variación del ancho y largo del metamaterial

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la figura 15 se puede ver el parámetro S11 de este nuevo diseño de antena donde en las dos primeras bandas de frecuencia se ve que no hubo cambios sustanciales en la frecuencia de resonancia, pero se nota que en el delineado rojo muestra una alta eficiencia en las dos primeras bandas de frecuencia, mucho más que en los otros; cabe notar que en la tercer banda de frecuencia baja mucho la eficiencia de la antena pero hay un ancho de banda mucho mayor que en las bandas de frecuencia anteriores a esta. Si comparamos las tres líneas en la última banda de frecuencia se puede ver como el delineado azul tiene menos pérdidas por retorno que el resto pero el delineado rojo tiene un mayor ancho de banda pero unas pérdidas de retorno mayores.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Los resultados obtenidos en este trabajo evidencian que a través de las modificaciones geométricas del parche y el plano tierra con ranuras o metamateriales, es posible generar cambios en el número de picos de resonancia de una antena. Encontrando que para el caso en el cual se emplearon metamateriales, los cambios en la posición y número de picos de resonancia son más significativos. Al tener múltiples bandas de frecuencia se puede utilizar en diferentes sistemas de comunicaciones inalámbricas como en la banda libre ISM y al ser flexibles poseen mayor en la implementación en cualquier tipo de dispositivos.

En trabajos futuros se puede implementar este tipo de antenas en WBAN ya que sus características se acomodan a las necesidades requeridas de este tipo de aplicaciones, al ir avanzando la tecnología los dispositivos electrónicos flexibles son cada vez más populares por ellos las antenas flexibles y multi-banda son un gran aporte a este tipo de dispositivos. Adicionalmente se espera a futuro llevar a cabo la fase experimental del trabajo e implementarlo en aplicaciones asociadas a sensores o comunicaciones inalámbricas ya que al obtener 2 o más bandas abre la posibilidad de implementar una banda como transmisora y las otras como receptoras de información.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Durgun, A. C., Member, S., Balanis, C. A., Fellow, L., Birtcher, C. R., & Allee, D. R. (2011). Design , Simulation , Fabrication and Testing of Flexible Bow-Tie Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, *59*(12), 4425–4435. <http://doi.org/10.1109/TAP.2011.2165511>
- Kurian, J. (2014). Flexible Microstrip Patch Antenna using Rubber Substrate for WBAN Applications. *Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, 983–986. <http://doi.org/10.1109/IC3I.2014.7019760>
- Liu, H., Jiang, H., Guan, X., Lei, J., & Li, S. (2013). Single-Feed Slotted Bowtie Antenna for Triband Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, *12*, 1658–1661. <http://doi.org/10.1109/LAWP.2013.2294751>
- Presse, A., & Marie, J. (2013). Broadband UHF Flexible Vivaldi Antenna. *Antennas and Propagation Conference (LAPC)*, (November), 277–280. <http://doi.org/10.1109/LAPC.2013.6711900>
- Rahman, H. A., & Rahim, S. K. A. (2015). Dual band PDMS Based Flexible Antenna for Wearable Application. *RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-BIOS), 2015 IEEE MTT-S 2015 International Microwave Workshop Series on*, 193–194. <http://doi.org/10.1109/MAP.2009.5251188>
- Ramírez Artunduaga, J. (2007). *Antenas-conceptos básicos simplificados de funcionamiento y diseño* (Primera ed). Bogotá, Colombia.
- Rogers, C. (2016). Ultralam[®] 3850ht. Retrieved from <https://www.rogerscorp.com/acs/products/63/ULTRALAM-3850HT-Laminates.aspx>
- Zhu, C., Li, T., Li, K., Su, Z., Wang, X., & Zhai, H. (2015). Electrically Small Metamaterial-Inspired Tri-Band Antenna with Meta-mode. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, *14*, 1738–1741. <http://doi.org/10.1109/LAWP.2015.2421356>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO____ ACEPTADO____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Bryan Gallego

FIRMA ASESOR Erick Pavez Vera

FECHA ENTREGA: 19/05/2016

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO____ ACEPTADO____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	MODALIDAD TRABAJO DE GRADO PRODUCTO OBTENIDO EN TALLERES O LABORATORIOS DEL ITM		Código	FDE 146
	Registro de actividades y cumplimiento de horas / Talleres o Laboratorios de DOCENCIA		Versión	02
			Fecha	2015-09-30

Documento de identidad:	1036670306		
Nombre completo del estudiante:	Brayan Alexander Gallego Orozco		
Programa académico ITM:	Tecnología en Telecomunicaciones		
Nombre completo del Docente Asesor:	Erick Reyes Vejo		
Fecha de iniciación del producto (aaaa/mm/dd):	2016/02/16	Fecha de terminación del producto (aaaa/mm/dd):	19/05/2016
Nombre Taller o Laboratorio:	Laboratorio de Óptica, Fibras y Visión Artificial		
Ubicación:	Bogotá, Sede 2, Laboratorio 4011		
Campus:	Fraternidad		

Fecha			Actividad desempeñada por el estudiante	Hora Ingreso	Hora salida	Total horas	Firma Laboratorista	Firma Estudiante
A	M	D						
16	02	16	Investigación sobre antenas	8:00	12:00	4	Erick Reyes	Brayan Gallego
16	02	18	Investigación sobre antenas	8:00	12:00	4	Erick Reyes	Brayan Gallego
16	02	23	Investigación sobre antenas	8:00	12:00	4	Erick Reyes	Brayan Gallego
16	02	25	Investigación sobre antenas	8:00	12:00	4	Erick Reyes	Brayan Gallego
16	03	01	Investigación sobre antenas	8:00	12:00	4	Erick Reyes	Brayan Gallego
16	03	03	Investigación sobre antenas	8:00	12:00	4	Erick Reyes	Brayan Gallego
16	03	08	Investigación sobre antenas	8:00	12:00	4	Erick Reyes	Brayan Gallego
16	03	10	Simulación de antena Bow-Tie	8:00	12:00	4	Erick Reyes	Brayan Gallego
16	03	29	Simulación de antena Bow-Tie	8:00	12:00	4	Erick Reyes	Brayan Gallego
16	05	31	Simulación de antena Bow-Tie	8:00	11:00	4	Erick Reyes	Brayan Gallego

