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

DISEÑO, FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ANTENAS TIPO PARCHE ELABORADAS A PARTIR DE ADHESIVOS CONDUCTIVO SOBRE SUSTRATO FR4

Andrés Felipe Giraldo Muñoz

Ingeniería Mecatrónica

Director: MSc. Alberto Mauricio Arias Correa

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

8/08/2016

 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

RESUMEN

Durante los últimos años, investigadores de diversos centros han fabricado y caracterizado antenas tipo parche utilizando materiales conductivos diferentes a los metálicos (grafito, grafeno, polianilina, polímeros conductivos), así como sustratos rígidos y flexibles (FR4 y kapton, básicamente). El presente proyecto, presenta la caracterización de antenas tipo parche con adhesivo conductivo estampado sobre sustrato FR4 como dieléctrico; fabricadas en el laboratorio de Óptica, visión artificial y fotónica del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM). Para lograrlo se diseñó un protocolo de fabricación, que permitió definir los pasos lógicos y ordenados del proceso de fabricación efectiva y repetible. Se fabricaron cinco antenas siguiendo el protocolo, se midieron los valores generados por las mismas utilizando un analizador de espectros y se compararon dichos resultados entre sí. Los resultados demostraron que el pico de resonancia para el cual se hicieron los cálculos de diseño (4GHz), se presentó de manera reiterada en todas las antenas, pero con diferentes valores de pérdidas por retorno. También se determinó que la utilización del adhesivo conductivo elegido (adhesivo comercial), permite que las antenas fabricadas con él, resuenen en un ancho de banda más amplio al que se obtiene cuando se utiliza una antena tipo parche fabricada con FR4 tradicional (recubrimiento de cobre). Todos estos resultados y conclusiones, se constituyeron en aportes valiosos para los desarrollos de la línea de investigación en Visión Artificial y Fotónica del ITM, que actualmente realiza investigaciones relacionadas con la fabricación y aplicación de antenas tipo parche con materiales no convencionales.

Palabras claves: Antena parche, Polímero conductivo, Carbón, Diseño de antenas, Ancho de banda.

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

RECONOCIMIENTOS

Agradecer primeramente a mis padres, hermanos y familiares, que, debido a consecuentes percances en el transcurso de este proceso, el apoyo incondicional que me demostraban era un arma poderosa en la que me acogí para asumir cada una de las metas propuestas y superar tales adversidades.

Agradecimientos especiales al Profesor Mauricio Arias Correa (Magister en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia); quien me ha proporcionado conocimientos metodológicos y profesionales para desempeñarme como investigador.

Agradezco también el apoyo de los Profesores Erick Reyes (Magister en Ciencias Físicas, Universidad Nacional de Colombia) y Francisco López Giraldo (Doctor en Física, Universidad de Antioquia); por el acompañamiento y orientación en cada una de las etapas del presente trabajo.

A la Línea de Investigación en Visión Artificial y Fotónica, agradezco por brindarme los recursos físicos y la infraestructura sin los cuáles no habría finalizado este proyecto con igual calidad.

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

ACRÓNIMOS

SMA: Sub-Miniatura Versión A.

EVA: Etilenvinilacetato.

FR4: Fibra de vidrio y resina epoxi.

GHz: Gigahercio.

ITM: Instituto Tecnológico Metropolitano.

CNC: Control Numérico Computarizado

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

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	8
2. MARCO TEÓRICO	10
SUSTRATO DIELECTRICO FR4.	10
ADHESIVO CONDUCTIVO.	10
CONECTOR COAXIAL SMA.....	11
MAQUINA RUTEADORA (CNC).	12
MULTIMETRO FLUKE.....	13
ANALIZADOR DE ESPECTROS VECTORIAL.	14
FUENTES CIENTÍFICAS	15
3. METODOLOGÍA.....	21
3.1. Diseño de protocolo de fabricación de antenas.	21
3.1.1. Diseño de antena tipo parche.....	22
3.1.2. Determinación de procedimiento de fabricación.....	23
3.2. Elaboración de antenas a partir de materiales adhesivos conductivos.....	26
3.2.1. Fabricación a partir de protocolo.	26
3.2.2. Medición de antenas.	28
3.3. Caracterización del desempeño de las antenas.....	28
3.3.1. Análisis de valores obtenidos.	29
Análisis antena 1.....	29
Análisis antena 2.....	31
Análisis antena 3.....	32
Análisis antena 4.....	33
Análisis antena 5.....	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	39
REFERENCIAS	41

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

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

1. INTRODUCCIÓN

Diversos autores han diseñado, fabricado y caracterizado antenas tipo parche basadas en materiales conductivos tales como grafeno y compuestos poliméricos conductivos. Sin embargo, la fabricación y caracterización de antenas tipo parche basadas en adhesivos conductivos constituidos por partículas de carbono y EVA, es una tarea poco trabajada y aún no verificada en el campo de las telecomunicaciones. Un análisis de los resultados obtenidos a partir de las mediciones de las antenas fabricadas, permitió establecer sus ventajas con respecto al ancho de banda y su patrón de radiación. Se realizaron además comparaciones entre las mediciones realizadas a una antena fabricada en cobre sobre FR4 y en adhesivo conductivo sobre el mismo sustrato, utilizando en ambos casos el mismo diseño. Las diferencias, ventajas y desventajas de utilizar adhesivos conductivos en la fabricación de antenas tipo parche, podrán ser claramente establecidas.

En este trabajo se pretende caracterizar antenas tipo parche elaboradas a partir de adhesivos conductivos sobre sustrato FR4. Lo primero que se pretende hacer es diseñar un protocolo de fabricación de antenas con base en adhesivos conductivos, después de terminado este diseño, se elaboraran antenas a partir de materiales adhesivos conductivos y se finaliza con caracterizar el desempeño de las antenas fabricadas, con base en sus mediciones.

El siguiente proyecto para el capítulo I se estará presentando el marco teórico, el cual se explica cuáles son los parámetros, indicaciones y materiales para la correcta construcción de las antenas tipo parche. El capítulo II abarca la metodología con la cual se llevará a cabo el proyecto, allí se encontrarán los métodos propicios de como diseñar, fabricar y caracterizar las antenas tipo parche.

El capítulo III es tenido en cuenta para analizar los resultados y discusiones, por tanto, en este ítem se mirará los valores arrojados por las antenas tipo parche al momento de hacer las mediciones y se discutirá cómo se comporta el material adhesivo conductivo respecto a el material de cobre. El capítulo IV se tiene en consideración para mirar las conclusiones, en las cuales queda en evidencia y clarifica si se cumplieron los objetivos propuestos y se analizara que se puede trabajar a futuro con los materiales adhesivos conductivos.

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

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

2. MARCO TEÓRICO

SUSTRATO DIELECTRICO FR4.

El sustrato FR4 es un compuesto de fibra de vidrio, resinas con buenas propiedades aislantes y también genera buena estabilidad térmica y mecánica. El FR4 ocasiona una serie de efectos en el campo eléctrico que generan las pistas y los planos del circuito impreso. El efecto principal es el aumento de la capacitancia, debido a la inclusión dentro del campo eléctrico de un material dieléctrico. Hay que tener en cuenta además que el dieléctrico introduce un retardo de propagación de las señales eléctricas, respecto a la propagación en el vacío (Veraguas, 2006).

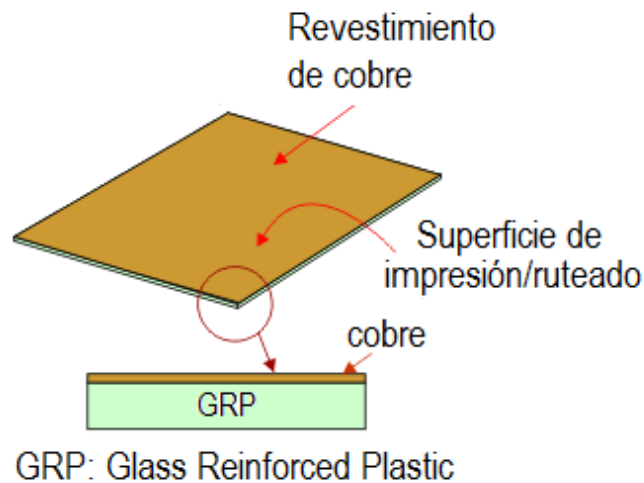


Figura 1. Elemento cuadrado que ilustra gráficamente el sustrato dieléctrico FR4.

Tomado de: <http://www.technologystudent.com/pcb/pcbcnc.htm>

ADHESIVO CONDUCTIVO.

El adhesivo conductor (comercialmente denominado Wire Glue), es un elemento usado en el campo de la electrónica, desarrollado por la empresa norteamericana Anders Products y comercializada desde el año 2005. Se trata de una mezcla de partículas de carbón por medio de un compuesto aglomerante. La activación de la mezcla se hace luego de pasado determinado tiempo (aproximadamente 24 horas) después de su aplicación. El resultado es una pasta seca adherida a la superficie sobre la cual es aplicada y que puede ser usada como conductor eléctrico.



Figura 2. Uso común del adhesivo conductivo como elemento de unión de cables en circuitos eléctricos. A la derecha se aprecia el contenedor del adhesivo conductivo comercial Wire Glue de Anders Products. Tomado de:

<http://www.thinkgeek.com/product/b70c/>

CONECTOR COAXIAL SMA

Los conectores SMA (sub miniatura versión A), son dispositivos de conexión coaxial RF, desarrollados en la década de 1960, como conectores para cables coaxiales con mecanismo de unión roscado. Tiene una tiene una resistividad de 50 ohmios, tiene un excelente rendimiento trabajando en un rango de frecuencia de 0 a 17 GHz. Los conectores SMA se dividen de acuerdo al método de instalación en: SMA tipo PCB, que tiene cuatro patas y un conductor que va a través del PCB (Printed circuit board) verticalmente; el SMA tipo PCB de ángulo recto, que es igual al anterior pero su entrada está girada un ángulo de 90 grados. El SMA de montaje en el borde, el cual se puede montar en el PCB desde su borde lateral, no hay ángulos rectos y el pin central del conector es igual a la longitud del pin central del conector (Paleček, 2012).

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

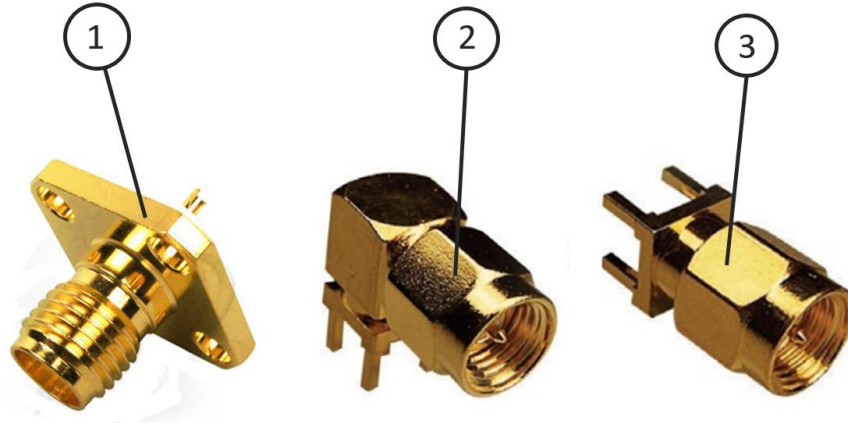


Figura 3. Conectores coaxiales sub miniatura versión A, tipo PCB. El primero (1), es el SMA con línea central a través del PCB; (2) es el SMA en ángulo recto y (3) el SMA tipo PCB de montaje en el borde. Tomado de: <http://amphenol-middle-east.com/en/products/military-aerospace/rf-solutions/standard-rf-connectors>

MAQUINA RUTEADORA (CNC).

La máquina de control numérico computarizado (CNC) es una herramienta utilizada en el grabado de piezas, ruteado de PCB's, corte y arranque de viruta en materiales metálicos (entre otras). Entre las diversas marcas del mercado, el Laboratorio de la línea de investigación en Visión Artificial y Fotónica del ITM, adquirió la Ruteadora CNC marca VEVOR para elaborar PCB's sobre sustrato FR4. La CNC VEVOR (de referencia 6040Z4Z), funciona en tres ejes coordenados X, Y y Z, y trae un cuarto eje desplegable, tiene área definida por distancias máximas en X= 580[mm], en Y= [400] y en Z= 65[mm] con velocidad máxima para el husillo de 24000 [rpm]. Tiene además una bomba refrigerante que transporta agua a través de mangueras hasta el husillo, lo cual permite mantener estable la temperatura del husillo evitando recalentamiento. La CNC trabaja con el software Mach 3 de versión libre- que permite comunicar la CNC con un computador a través del puerto paralelo (centronics). Una estación de control, permite graduar la velocidad del husillo a través de variación de frecuencia, así como activar y desactivar la bomba del sistema.

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

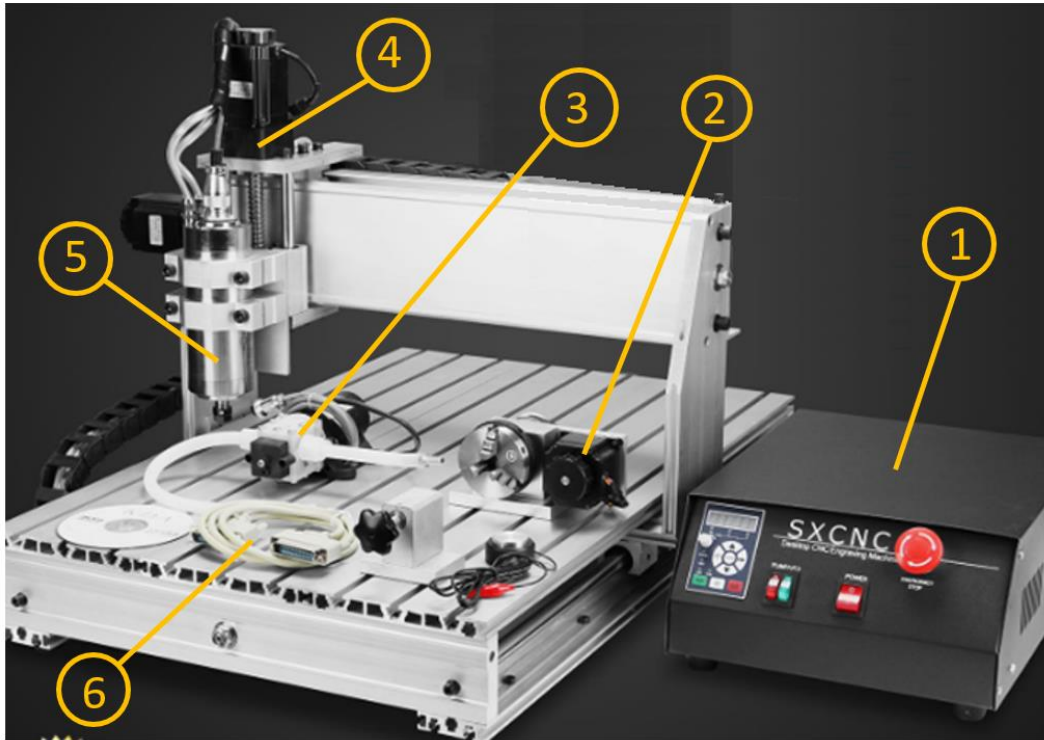


Figura 4. Máquina CNC con cada uno de sus componentes: 1. Gabinete de control (encendido y apagado del dispositivo); 2. Cuarto eje o husillo; 3. Bomba refrigerante; 4. Motor del eje Z; 5. Husillo principal; 6. Cable Centronics para conexión a PC. Editada del original en: <http://www.ebay.es/itm/CNC-ROUTER-ENGRAVER-ENGRAVING-MACHINE-6040Z-4-AXIS-DESKTOP-DRILLING-MILLING-/111964553108>

MULTIMETRO.

Es una herramienta de medición, utilizada en la industria electrónica, apto para el mantenimiento de instalaciones comerciales. En particular, el multímetro marca FLUKE, referencia 117, tiene las siguientes características: función automática de tensión en AC o DC, baja impedancia, medidas precisas en cargas no lineales, resistencia, continuidad, frecuencia y capacidad.

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



Figura 5. Multímetro marca Fluke, de uso comercial, con perilla selectora para realizar medidas de: voltaje directo, voltaje continuo (AC y DC), de mili-voltios a voltios, corriente (AC y DC), resistividad, continuidad eléctrica y frecuencia. Tomado de <http://www.tme.eu/es/details/flk-117/multimetros-digitales-portatiles/fluke/fluke-117/>

ANALIZADOR DE ESPECTROS VECTORIAL.

El analizador de espectros portátil R&S FSH fue diseñado principalmente para que fuera usado en laboratorios como elemento de mantenimiento y aplicaciones de servicio, se puede configurar para optimizar la comodidad del manejo y el ángulo de visión de la pantalla, tiene un soporte plegable en la parte trasera para hacer el apoyo del dispositivo. Tiene la opción de medir frecuencia en rangos que se destacan de 100 KHz a 8GHz Y pérdidas por retorno que oscilan en una escala de 0 a 100 dBm.

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



Figura 6. Analizador de espectros con teclado numérico, perilla variador de frecuencia, display dinámico, botones variadores de frecuencia y decibelios. Tomado de:

https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuals/gb_1/f/fsh_1/archive_27/FSH_Quick_Start_Manual_Espanol_12.pdf

FUENTES CIENTÍFICAS

Trabajos recientes han presentado el diseño, simulación, fabricación y caracterización de antenas tipo parche, desarrolladas con elementos no tradicionales tales como grafito, grafeno, carbono y polímeros conductivos, sobre sustratos rígidos o flexibles. De igual manera trabajos anteriores presentan el análisis de materiales orientados a su implementación en la fabricación de antenas tipo parche. Se presenta a continuación el análisis de los trabajos más relevantes, relacionados con la problemática a tratar, por medio del desarrollo de este trabajo.

Un estudio de los polímeros conductivos y sus composiciones es presentado en (Strumpler & Glatz-Reichenbach, 1999), en el cual se analizan sus propiedades eléctricas, interacción mecánica y térmica, así como las interacciones eléctricas de los compuestos. En el trabajo se da una atención preferencial a la microestructura de las partículas y se analiza la física de

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

los puntos de contacto y la evolución de la temperatura durante el flujo de corriente a través de los compuestos. Del estudio se obtuvieron conclusiones importantes para el uso de compuestos poliméricos conductivos se pudieron obtener, entre ellos que la contracción del polímero durante el procesamiento puede inducir alta tensión interna lo cual reduce la resistencia entre las partículas y además puede inducir grietas y conducir a un fallo durante su utilización. Es necesario tener en cuenta que, en la etapa de producción, la expansión térmica de la matriz de polímero ejerce una influencia considerable en la conductividad eléctrica del mismo. Por otro lado, los materiales compuestos conductores son muy sensibles a los cambios en la resistencia entre partículas debido a influencias ambientales. Otra conclusión importante es que los materiales de relleno metálicos en los compuestos basados en polímeros, pueden oxidar fácilmente, reduciendo drásticamente la conductancia total del compuesto polímero-metal.

Un material de interés particular para la fabricación de antenas tipo parche es el denominado negro de humo. En (Huang, 2002) se estudió el negro humo como carga conductora combinándolo con polímeros y mezclas de polímeros. Se tuvo en cuenta la estructura del polímero, el peso molecular, la tensión superficial, y las condiciones del procedimiento en la resistividad eléctrica y las propiedades físicas de los materiales compuestos. Se hacen combinaciones de polímeros con el fin de crear materiales compuestos que reduzcan la carga en el negro humo.

El humo negro tiene una forma amorfa de carbono con una estructura similar al del grafito, más del 90% de este material es producido actualmente por el proceso de horneado, en el cual el aceite se descompone térmicamente para formar partículas de humo negro, tal proceso produce que el diámetro del material varié de 10 a 100nm y con un área superficial de 25 a 1500 m²/g. Cuando el humo negro se utiliza como material conductivo, este arroja tres propiedades principales: tamaño de la partícula (área superficial), la estructura y la química superficial del humo negro. El área superficial se determina por el método de absorción de gas o por el índice de yodo, para los diferentes tamaños el autor hizo una mezcla con un caucho para obtener una separación de partículas de 10 a 28nm. Se encontró que la resistividad era una función exponencial de la distancia y fue independiente del tamaño de la partícula. El aumento de la superficie se traduciría entonces en la disminución de las brechas entre polímeros y agregados conductores. Una conclusión muy importante de este trabajo, es que, para generar conductividad eléctrica, el negro de humo requiere de concentraciones altas en combinaciones de negro de humo con polímeros.

Las antenas microstrip son de gran importancia, porque tienen ciertas ventajas como bajo perfil, bajo costo en la construcción del circuito impreso, se pueden tener infinidad de

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

diseños y también puede ser aplicable para diversas configuraciones, en (Kanade, 2015) se presenta el modelado, simulación, fabricación y análisis de las antenas microstrip tipo parche (parche rectangular), así como de su línea de alimentación. Los autores diseñaron antenas de parche rectangular con líneas de alimentación modificadas para simular aplicaciones de comunicación inalámbrica que funcionaban a una frecuencia de 2,4 GHz. Los parámetros tenidos en cuenta para caracterizar las antenas fueron la constante dieléctrica (ϵ_r), el grosor del sustrato (h) y frecuencia de resonancia de la antena (f_r). Las dimensiones de los parches se establecieron por medio de su longitud (L) y su ancho (W). El sustrato utilizado para fabricar la antena estudiada, fue el FR4. Los resultados obtenidos para las antenas tipo parche en sustrato FR4 (constante dieléctrica $\epsilon_r=4,4$), son frecuencias de 2,223 GHz, 2,26 GHz y 2,395. Las pérdidas de retorno fueron respectivamente de -11,767 dB, -10,45 dB y -19,96. Se estableció que la línea de alimentación juega un papel muy importante para determinar las pérdidas por retorno y el aumento de su patrón de radiación. También que, al generar discontinuidades en la línea de alimentación, se podían reducir considerablemente las pérdidas por retorno en la antena tipo parche, lo cual a su vez aumentaría la radiación y se mejoraría el desempeño.

Una antena de banda ultra-ancha, basada en poliimida, es presentada en (Khaleel et al., 2012). La antena utiliza un sustrato de (kapton) y es alimentada por una guía de ondas coplanar linealmente cónica (CPW). Las mediciones demuestran que la antena trabaja en una banda de frecuencias que oscila entre 2,2 a 14,3 GHz, abarcando tanto bandas industriales, médicas y científicas (ISM) y la banda estándar UWB (3,1 a 10,6 GHz). En el diseño y estudio paramétrico se tuvo en cuenta el software CST microwave studio, que se basa en la técnica de integración finita y el diseño final se verifica con un método de elementos finitos. Durante el análisis de la antena, los autores tuvieron en cuenta: la elección del sustrato, el diseño de la antena, la fabricación, el desempeño y las características de radiación. Como sustrato se utilizó el kapton debido a sus propiedades físicas, químicas y eléctricas (factor de potencia baja en un rango de frecuencia amplio), constante dieléctrica de 3,4 y tangente de pérdida de 0,002. Tiene un perfil bajo (50,8 μm) y buena resistencia a la tracción de 165 MPa a 73°F, una rigidez eléctrica de 3.500 a 7.000 V/mil, y un índice de temperatura de -65°C a 150°C.

El diseño de la antena propuesta se basa en un elemento radiante de forma elíptica. Al ajustar el eje mayor del radiador, la frecuencia de resonancia del modo dominante puede ser obligada a cubrir la banda de 2,45 GHz a 10,06 GHz, la alimentación CPW ofrece una ventaja ya que el elemento radiante y el plano de tierra se imprimen en el mismo sustrato. Durante la fabricación, una tinta conductora basada en nanopartículas se depositó sobre el kapton por medio de una impresora de inyección de tinta de material 2831 Dimatix DMP

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

seguido de un recocido térmico a 100°C durante 9 h por un horno industrial LPKF ProtoFlow. Cabe señalar que tres capas de tinta se aplicaron sobre el sustrato para lograr un patrón sólido y continuo. Los tres conductores CPW se fijaron a un conector SMA.

La simulación arrojó una adaptación de impedancias mejorado en el rango de frecuencia de 2,2 a 14,3 GHz, mientras que –a manera de comparación- el diseño de la antena convencional presentaba una desviación alrededor de la región de 8.2 hasta 9.6 GHz en la que la pérdida de retorno superaba el límite estándar de 10 dB. La antena mantuvo un diagrama de radiación omnidireccional en ambas frecuencias. Se encontró que la variación de la ganancia estaba dentro de 2 dB en los valores estándar de la banda UWB 3.1 a 10.6 GHz. Los valores de ganancia son alrededor de 1,7 dB en la banda ISM de 2.45 GHz.

Los resultados experimentales en comparación con los simulados son muy buenos para la antena diseñada. Por otro lado, la antena demuestra una muy baja susceptibilidad a la degradación del rendimiento debido a los efectos de flexión en términos de adaptación de impedancia y diagramas de radiación de campo lejano, lo que lo hace adecuado para la integración en dispositivos electrónicos flexibles modernos.

En (Hamouda et al., 2014), se llevó a cabo la simulación y realización de una antena tipo patch de materiales compuestos a base de nanotubos de carbono (CNT) y polianilina (PANI). La antena está diseñada para funcionar en una frecuencia de 4,5 GHz. El material dieléctrico tiene es un Rogers RT/Duroid 5870 con permitividad de 2,35 y una tangente de pérdidas de 0,0012.

Para el análisis de la antena se tomaron tres valores de espesor PANI (50, 70, 110 micras), con el fin de evaluar la ganancia porque el espesor de los compuestos combinados afectaba la conductividad influyendo esto el desempeño esperado de la antena. Los estudios se hacen tomando en cuenta que las pérdidas por retorno, la ganancia y el diagrama de radiación cumplan con los diseños específicos. La alimentación se conecta directamente al parche. Se hacen por medio de dos elementos: alimentación microstrip o alimentación coaxial. La utilizada fue la coaxial que tiene como ventajas la colocación en cualquier parte del compuesto, con el fin que tenga la impedancia de entrada deseada. Se reportó como posible desventaja de la antena el espesor del sustrato.

Las ganancias de las antenas aumentan con el grosor del parche. Por ejemplo: para las ganancias equivalentes a 4,92 dBi, 5,3 y 5,6 dBi, sus espesores son respectivamente iguales a 50, 70 y 110 micras. No obstante, los diagramas de radiación no se ven afectados por el grosor del compuesto. Lo reflejado es que en términos de frecuencia resonante el diseño

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

quedo bien implementado. Para un espesor de 50 micras, lo que se obtuvo fue: -10 dB BW de alrededor de 327,5 MHz o 7,27%.

Después de medir la antena y obtener los correspondientes patrones de radiación, los autores concluyeron que es posible desarrollar antenas tipo parche de buen desempeño utilizando la mezcla PANI/CNT. Las comparaciones realizadas con antenas tradicionales basadas en cobre, demostraron que las antenas PANI/CNT son buenas candidatas para aplicaciones donde se requieran compromisos de bajo costo, flexibilidad y bajo peso. Este material es de gran interés en futuras aplicaciones a electrónica vestible. También se determinó que esta combinación se puede emplear con el fin de miniaturizar las antenas tipo parche en particular en términos de espesor.

En (Yogeesh, Parrish & Akinwande, 2015) se presenta el diseño, simulación, fabricación y caracterización de antenas planas de grafito tipo parche, que resuenan a una frecuencia de 2,4 GHz. Las antenas son fabricadas a partir de hojas de grafito pirolítico adheridas a un sustrato flexible de poliimida (kapton).

Las poliimidias (PI) constituyen un grupo de polímeros de gran fortaleza, aislantes de comprobada estabilidad térmica, que son resistentes al calor y a los agentes químicos. El grafito pirolítico, por otro lado, es un material de carbono que se compone de una estructura atómica altamente alineada, lo que garantiza una conductividad más alta que las alcanzadas por los materiales de grafito y grafeno, de uso conocido en la fabricación de antenas tipo parche. El pin central de un conector tipo SMA, es unido al parche de la antena, utilizando un pegamento epóxico cargado con partículas de plata.

Las antenas fabricadas, fueron sometidas a deformación (flexión), utilizando un dispositivo mecánico, para estudiar cómo la deformación afectaba los *parámetros S* de la antena y para analizar el efecto memoria, según el cual la antena debería presentar los mismos valores de *parámetros S* para cada radio de curvatura obtenido durante la deformación si se miden los *parámetros S* a medida que se obtienen diferentes radios convexos y luego se retorna desde ellos midiendo de nuevo. Los resultados obtenidos demuestran que los radios de curvatura generados por la deformación mecánica de las antenas, tienen poco efecto en la variación de la frecuencia de resonancia, generando esto a su vez, un efecto muy bajo de la memoria.

En el trabajo se evidencian problemas relacionados con la alimentación a través del conector SMA, lo cual se pudo establecer por fluctuaciones presentadas durante las mediciones.

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

En (Hamouda et al., 2015) por otro lado, se presenta el diseño, fabricación y caracterización de una antena tipo parche a base de un compuesto de polianilina dopada (PANI) y nanotubos de carbono multi-pared (MW-CNT), sobre un sustrato de kapton. La antena fabricada, trabajó en bandas de frecuencia de: 1,8 a 2,8 GHz y 4,5 a 7 GHz. El uso de la mezcla de polímero conductor (PANI) con nanotubos de carbono multi-pared altamente conductores presenta un rendimiento aceptable en comparación con los materiales metálicos tradicionales utilizados para fabricar antenas. Los resultados obtenidos son muy buenos porque las antenas mostraron buenas pérdidas por retorno y el diagrama de radiación aceptable. También se evidencia que la banda de frecuencia tiene unos valores amplios, siendo esto bueno para el área de las telecomunicaciones.

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

3. METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta el objetivo general de este trabajo: *“caracterizar antenas tipo parche elaboradas a partir de adhesivos conductivos sobre sustrato FR4”*; Se propuso una metodología de trabajo que permitiera lograr el objetivo a partir de etapas y actividades, según la cual, cada etapa corresponde al logro de un objetivo específico.

La primera etapa corresponde al *“Diseño de protocolo de fabricación de antenas”*. Parte del diseño de una antena tipo parche y llega hasta la verificación del proceso de manera que se garantice que es metódico, repetible y que cumple con los requerimientos de diseño.

En la segunda etapa: *“Elaboración de antenas a partir de materiales adhesivos conductivos”*, la antena previamente diseñada, se fabrica, siguiendo el protocolo definido (cuatro antenas iguales, en total). Esta etapa realimenta a la primera, pues obviamente al aplicar el protocolo se pueden encontrar aspectos por mejorar en beneficio del producto final. El uso de herramientas de medición es de gran importancia en esta etapa para verificar los valores de continuidad y resistencia eléctrica del adhesivo usado y determinar cómo cambia, desde su aplicación hasta su curado definitivo.

La *“Caracterización del desempeño de las antenas”*, constituye la etapa 3. En ésta, analizan las mediciones obtenidas del conjunto de antenas fabricadas. Esto permite establecer los rangos de frecuencia y las pérdidas por retorno.

También se realiza un análisis comparativo entre las mediciones de la antena tipo parche de cobre sobre sustrato de FR4 y las antenas tipo parche de adhesivos conductivos sobre FR4, para una misma geometría de diseño. Con esto se podrá obtener conclusiones acerca de las diferencias y ventajas de un método de fabricación sobre el otro.

3.1. Diseño de protocolo de fabricación de antenas.

Debido a la novedad que se propone en cuanto al uso de adhesivo conductivo sobre sustrato FR4 (diferente al tradicional, cobre sobre sustrato FR4), es necesario diseñar un protocolo de fabricación. Tres actividades principales se llevan a cabo para alcanzar este objetivo: Diseño de la antena tipo parche; Determinación del proceso de fabricación y Verificación del proceso.

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

3.1.1. Diseño de antena tipo parche.

El diseño de la antena tipo parche, partió de los cálculos presentados en (Balanis, 2016), para el diseño de una antena en FR4 (recubrimiento de cobre sobre GRP), con una geometría específica (ver figura 7).

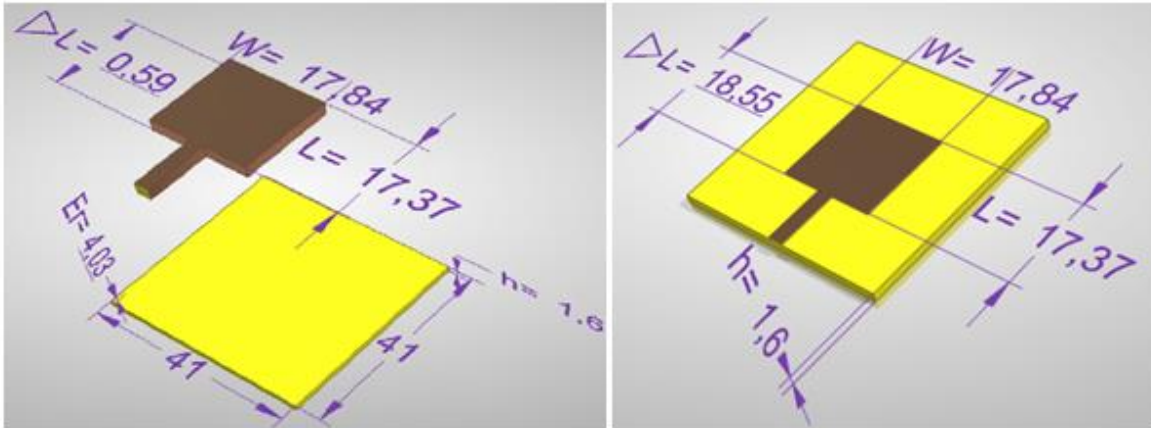


Figura 7. Geometría de la antena diseñada. En el lado izquierdo de la figura, se puede apreciar el parche conductor y el sustrato FR4 por separado; cada elemento con sus dimensiones, así como la permitividad del sustrato. En el lado derecho, se aprecia la geometría de la antena y sus dimensiones: longitud (L), ancho (W), delta de la longitud (ΔL) y el espesor del sustrato (h).

A partir de la geometría presentada, se obtienen las variables para calcular la permitividad eléctrica efectiva por medio de la ecuación (1):

- Ancho del parche (W)= 17,84mm
- Longitud del parche(L)=17,37mm
- Espesor del dieléctrico (h)=1,3mm
- Permitividad eléctrica relativa del dieléctrico (E_r)=4,5

$$E_{reff} = \frac{E_r+1}{2} + \frac{E_r-1}{2} * [1 + 12 * \frac{h}{W}]^{-1/2} \quad (1)$$

$$E_{reff} = \frac{4,5+1}{2} + \frac{4,5-1}{2} * [1 + 12 * \frac{1,3}{17,84}]^{-1/2} = 4,0282 \quad (2)$$

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

De (2), con permitividad eléctrica efectiva $E_{reff} = 4,0282$, se obtuvo el delta de la longitud (ΔL) utilizando la ecuación (3):

$$\Delta L = 0,412 * h * \frac{(E_{reff}+0,3)*(\frac{W}{h}+0,264)}{(E_{reff}-0,258)*(\frac{W}{h}+0,8)} \quad (3)$$

$$\Delta L = 0,412 * 1,3 * \frac{(4,0282+0,3)*(\frac{17,84}{1,3}+0,264)}{(4,0282-0,258)*(\frac{17,84}{1,3}+0,8)} = 0,592 \quad (4)$$

Conocidos E_{reff} y ΔL , se obtuvo la frecuencia de resonancia (F_r) de la antena.

$$f_r = \frac{C}{2*\sqrt{E_{reff}}*(L+2\Delta L)} \quad (5)$$

Donde C=velocidad de la luz en el vacío.

$$f_r = \frac{3*10^8}{2*\sqrt{4,0282}*(17,37+2*(0,592))} = 4,02 \quad (6)$$

De (6), se obtuvo la frecuencia de resonancia de la antena. Este cálculo teórico, obtenido en la etapa de diseño, será comparado con mediciones que se realizarán sobre la antena fabricada en una etapa posterior.

3.1.2. Determinación de procedimiento de fabricación.

Un total de cuatro antenas fueron fabricadas con las características geométricas y valores presentados en las ecuaciones de (1) a (6).

La novedad en la fabricación, consiste en la utilización del adhesivo conductor, que se aplicó sobre el sustrato del FR4, en reemplazo de la tradicional capa de cobre usada en las antenas tipo parche (Srfi et al., 2010; Balanis, 2016).

Para la fabricación, se eligió la Sala 2 (sala de prototipado 2D y 3D) del Laboratorio de Óptica, Visión artificial y Fotónica; localizado en el sótano 2 del bloque M, en la Sede Fraternidad del Instituto Tecnológico Metropolitano.

El procedimiento utilizado para la fabricación fue el siguiente:

Insumos y equipos. En primera instancia, fueron seleccionados materiales, insumos y equipos, necesarios para la fabricación de las antenas. La lista se presenta en el cuadro 1.

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

Cuadro 1. Insumos y equipos utilizados en la fabricación de las antenas.

Insumo	Equipo
Adhesivo conductor con partículas de carbono y aglomerante.	Pie de rey, con graduación en milímetros.
Conector SMA de montaje en borde.	Multímetro
Máscara de PLA impresa en 3D	Espátula
Lámina de sustrato FR4, sin cobre.	Impresora 3D.
	Pinzas de sujeción

Procedimiento.

- Se recorta una lámina de FR4 sin cobre, con dimensiones de 41mm X 41mm, para utilizarla como sustrato dieléctrico de la antena, utilizando la ruteadora CNC.
- Luego, se imprime una máscara en PLA de 0.5mm de espesor, con las dimensiones geométricas de la antena ($W= 17,84mm$; $L=17,37mm$; $h=1,3mm$), utilizando la impresora 3D. Se verifican dimensiones por medio del pie de Rey
- La máscara se prensa sobre el sustrato con pinzas de sujeción para evitar que se mueva.
- Se aplica una capa de adhesivo conductor sobre el FR4 enmascarado y se homogeniza con una espátula.
- Se retira la máscara de PLA.
- El adhesivo aplicado se deja secar por 24 horas.
- Se encaja un conector coaxial SMA para PCB en el borde del sustrato, uniendo el microstrip de la antena con la línea central del coaxial.
- Se aplica una cantidad mínima de adhesivo conductor para garantizar la unión entre el SMA y las líneas tanto de señal como de tierra de la antena.
- Se utiliza un multímetro para medir la resistencia y la conductividad entre la antena y el pin de salida (y de tierra), del conector SMA.
- Si hay continuidad entre los puntos, la señal de la antena podrá ser analizada, de otra forma, la antena es descartada.

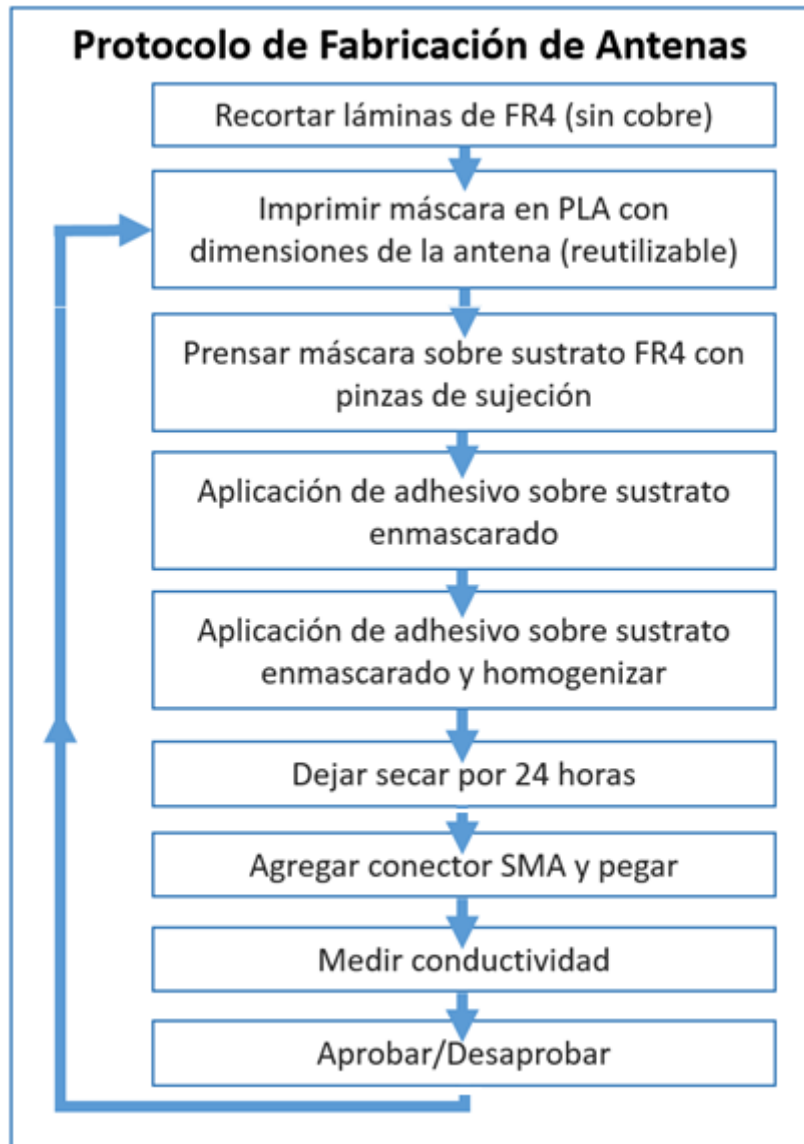


Figura 8. Diagrama de flujo del protocolo de fabricación de las antenas con sustrato FR4 y adhesivo conductor, con conector coaxial SMA de conexión en el borde.

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

3.2. Elaboración de antenas a partir de materiales adhesivos conductivos.

Una vez definido el protocolo de fabricación de las antenas tipo parche, utilizando sustrato FR4 y adhesivo conductivo, se procedió a ejecutar la etapa de fabricación, que se presenta de manera detallada en esta sección.

3.2.1. Fabricación a partir de protocolo.

Una lámina de FR4, es introducida en una solución de agua y cloruro férrico para eliminar el recubrimiento de cobre de una de sus caras.

Posteriormente, la lámina es recortada utilizando la ruteadora CNC marca VEVOR (referencia 6040Z4Z (figura 4) con una fresa de corte, para dejar recuadros de material con dimensiones exactas de 41mm X 41mm (según requerimientos de diseño presentados en la sección 3.1.1).

Sobre el recuadro de sustrato FR4, se estampó la antena tipo parche utilizando un adhesivo conductivo comercial (Wire Glue de Anders Products –figura 2-). Dada la importancia de mantener la geometría de la antena especificada por los valores de $W= 17,84mm$; $L=17,37mm$ (básicamente), se diseñó e imprimió una máscara en PLA (ácido poliláctico), por medio de la impresora 3D.

La máscara impresa se fijó sobre el sustrato de FR4, con el propósito de estampar con el adhesivo (figura 9).

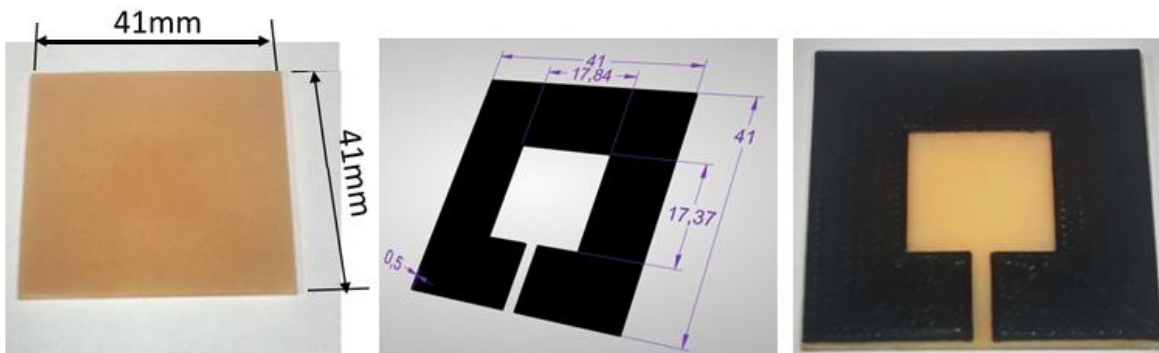


Figura 9. Dimensionamiento de lámina de FR4, diseño de máscara y aplicación de la máscara impresa en PLA a la lámina para proceder a la estampación.

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

El adhesivo conductivo se aplica a la lámina enmascarada y se homogeniza la superficie con una espátula, para allanar la superficie de la antena y evitar que su altura sea mayor a 0.5mm. De igual manera se estampa toda la superficie posterior de la lámina, que se comportará como la masa de dieléctrico, configurándose así lo que denominamos anteriormente como antena tipo parche.

El tiempo de secado mínimo es de 24 horas, lo ideal sin embargo es dejar secar por un periodo entre 24 y 48 horas para que la conductividad del material sea más alta.

Un conector SMA tipo PCB de borde, se encaja en la lámina con la línea de señal haciendo contacto con el strip de la antena y con la línea de tierra haciendo contacto con la masa (cara posterior de la lámina). El conector se une por medio de adhesivo conductivo para garantizar la conductividad.

Después del periodo de secado, se utiliza un multímetro para medir la continuidad entre la línea de señal del conector y la correspondiente salida en el conector. Similar procedimiento se sigue con la línea de tierra.

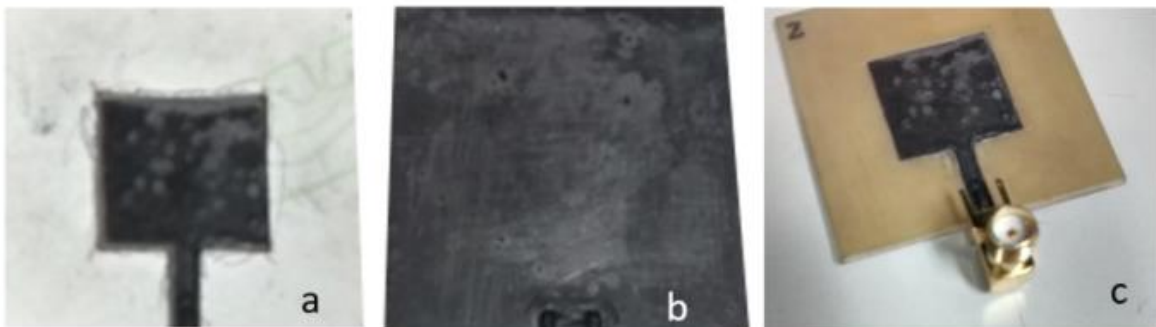


Figura 10. En la imagen (a), se aprecia el estampado de adhesivo conductivo sobre lámina de FR4. En (b), la cara posterior recibe de manera similar, adhesivo conductivo para conformar la tierra de la antena. El resultado final, después del secado de la antena y con un conector SMA acoplado se aprecia en (c).

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

3.2.2. Medición de antenas.

El proceso de medición de las antenas, evidenció la efectividad del proceso de fabricación. De igual manera, la medición permitió verificar los cálculos teóricos realizados durante la etapa de diseño.

Procedimiento de medición

Un analizador de espectros portátil R&S con medición de frecuencias en el rango de 100 KHz a 8GHz, así como medición de pérdidas por retorno en una escala de 0 a 100 dBm; es utilizado para medir las señales de las antenas fabricadas.

El analizador se configuró para determinar la frecuencia de resonancia de pulso en el rango de los 100 KHz a 8 GHz y para determinar las pérdidas por retorno se seleccionan posicionamientos con variación de cinco unidades por cada intervalo.

La antena se conecta al analizador por medio del conector SMA, luego se captura la gráfica generada por el analizador, de la cual, posteriormente se analizará el pico que define la frecuencia de resonancia de la antena versus las pérdidas por retorno (ejes X y Y respectivamente).

Las gráficas resultantes se almacenaron en el dispositivo analizador, para luego - por medio de un conector V3 – enviarlas hacia una computadora y realizar el debido análisis por medio del software FSH4.

3.3. Caracterización del desempeño de las antenas.

Las mediciones obtenidas se analizaron a la luz de la teoría de antenas, teniendo en cuenta la repetibilidad de las gráficas y en particular de los picos de las señales (frecuencias de resonancia). Se adquirieron un total de 10 gráficas. Se establecieron los rangos de frecuencia y pérdidas por retorno de todas las antenas fabricadas. Se presenta a continuación los resultados de los análisis de 5 antenas fabricadas con el protocolo especificado en la figura 8.

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

3.3.1. Análisis de valores obtenidos.

Análisis antena 1.

La primera antena (Antena 1) en la serie de cinco antenas fabricadas utilizando adhesivo conductor y sustrato de FR4, se puede apreciar en la figura 11.

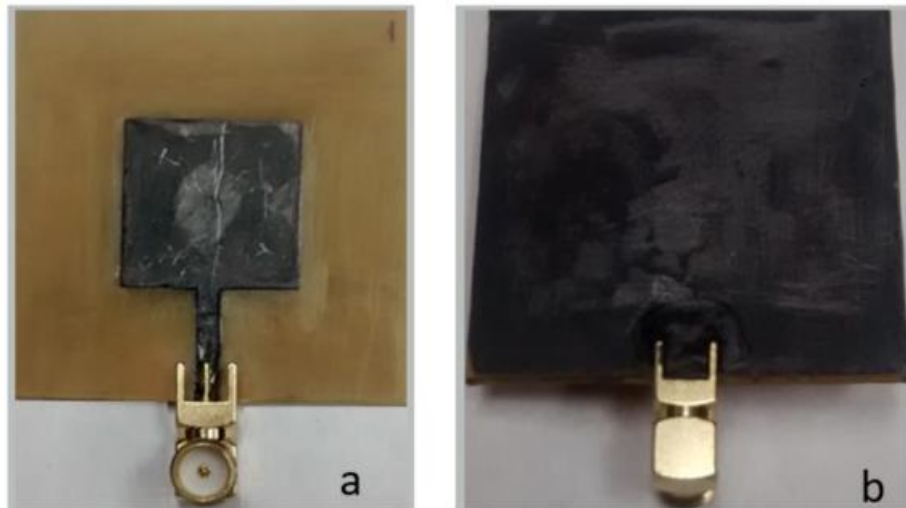


Figura 11. Primera antena (Antena 1) tipo parche. (a) antena con línea de señal y conector SMA. (b) Lado posterior de la lámina que constituye tierra del circuito, unido a la línea de tierra del conector SMA.

Los datos obtenidos de la primera antena con el analizador de espectros, genera la gráfica de la figura 12.

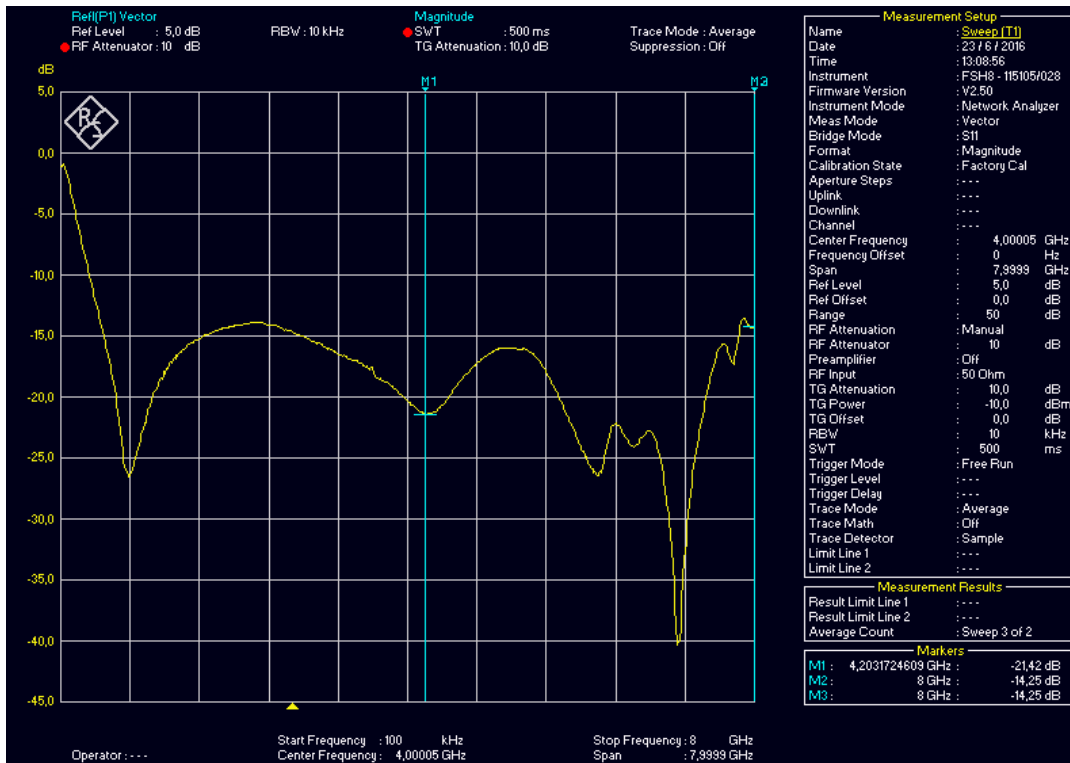


Figura 12. Frecuencia de resonancia vs Pérdidas por retorno para la Antena 1.

Los colores de la gráfica hacen referencia tanto a marcadores como a resultados de medición. La línea azul es un marcador o etiqueta que está ubicada en una frecuencia de 4 GHz. La señal en color amarillo, representa el espectro de resonancia que está generando la antena tipo parche.

En el cruce de la línea azul y la señal amarilla se establece, que las pérdidas por retorno están por debajo de -10 dBm. La frecuencia de cruce es 4,2 GHz, en (-21,42) dBm. Otros picos relevantes de la gráfica están en 765 MHz con (-26 dBm); también aparece un pico en 7,12 GHz con (-41) dBm.

Análisis antena 2.

La segunda antena de la serie de fabricación (Antena 2), presentó como particularidad, que su conductividad era menor a la conductividad de la Antena 1 y en general, menor a la esperada, después de aplicar el mismo protocolo de fabricación.

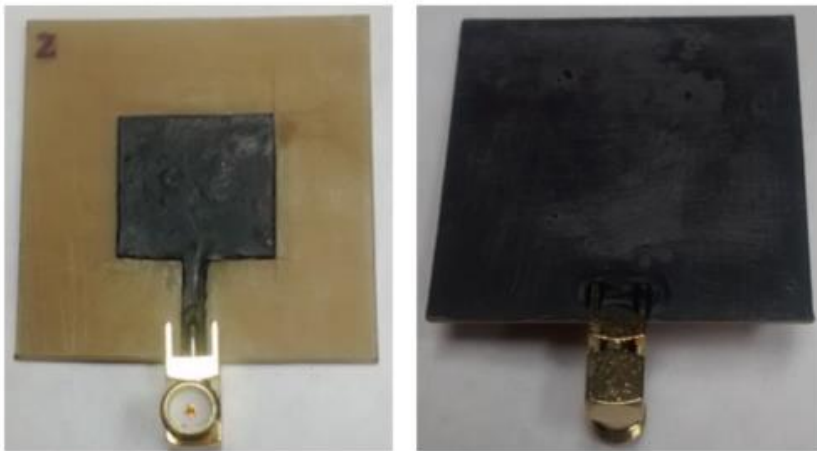


Figura 13. Aspecto físico de la segunda antena de la serie de producción (Antena 2).

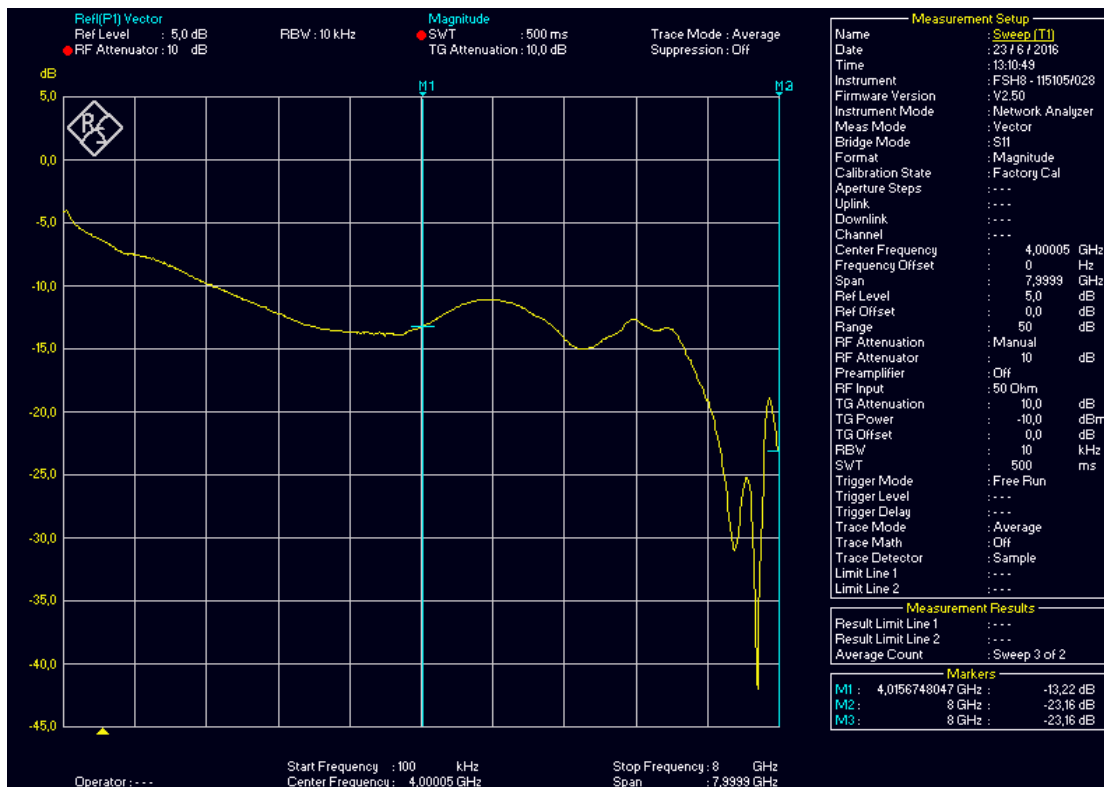


Figura 14. Frecuencia de resonancia vs Pérdidas por retorno para la Antena 2.

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

Del análisis de la gráfica se obtiene, que el pico en 4 GHz, no se presenta, lo cual indica que la antena no cumple con el valor especificado por diseño. Sin embargo, las pérdidas por retorno sobrepasan los -10 dBm, siendo esto un elemento distintivo de la antena. En la frecuencia de 4GHz, las pérdidas por retorno son de -13,22 dBm. Similar a lo sucedido en la medición de la antena 1, se presenta un pico en una frecuencia de 7,75 GHz, con pérdidas de (-41,65) dBm.

Análisis antena 3.

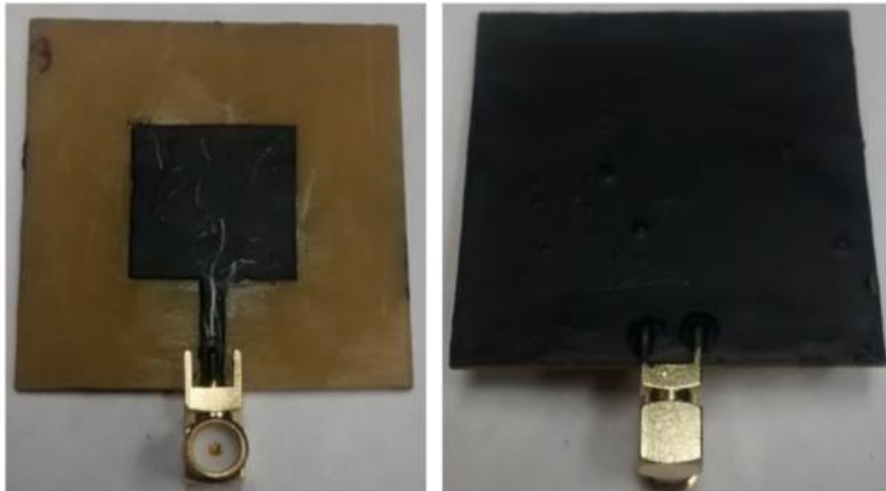


Figura 15. Aspecto físico de la tercera antena de la serie de producción (Antena 3).

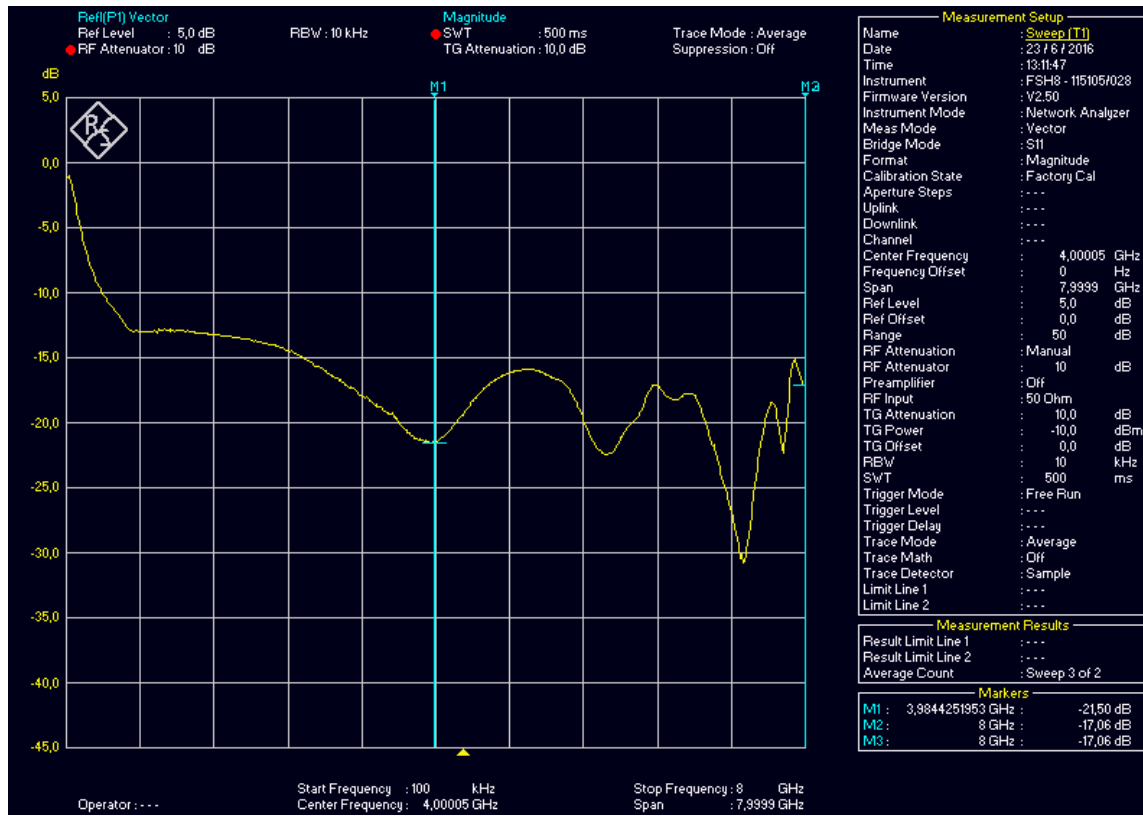


Figura 16. Frecuencia de resonancia vs Pérdidas por retorno para la Antena 3.

La gráfica de la figura 16, indica que se presenta un pico en 3,98 GHz y -21,5 dBm; siendo el primer valor, una frecuencia de resonancia muy cercana a la especificada por las ecuaciones durante la etapa de diseño. Otros dos picos -no presupuestados-, se presentan en frecuencias muy cercanas entre sí, resultando idóneos para envío/recepción de señales en telecomunicaciones. Pico en 5,84 GHz con (-22,46) dBm; otro en 7,32 GHz con (-30,8 dBm).

Análisis antena 4.

A esta antena en particular, se le alteró el proceso de fabricación, agregándole un paso, consistente en un pulido con elemento abrasivo (lija fina), para garantizar que la superficie presentara un mínimo de irregularidades. En la figura 17, se puede apreciar la apariencia de la antena.

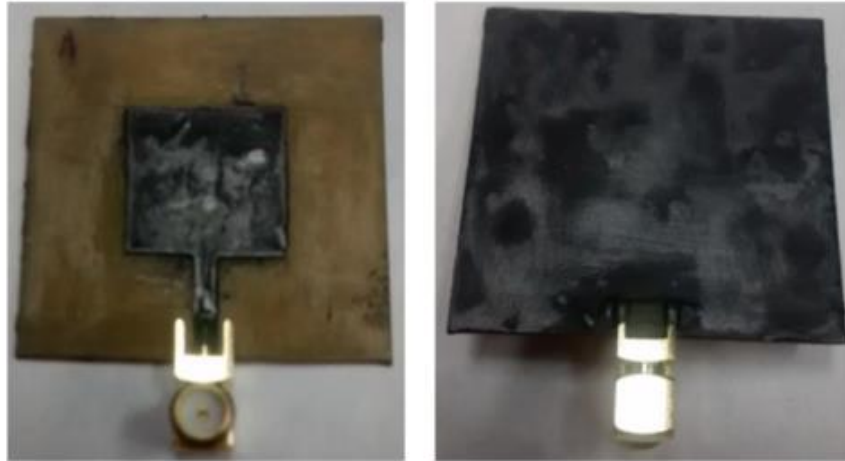


Figura 17. Aspecto físico de la cuarta antena de la serie de producción (Antena 4).

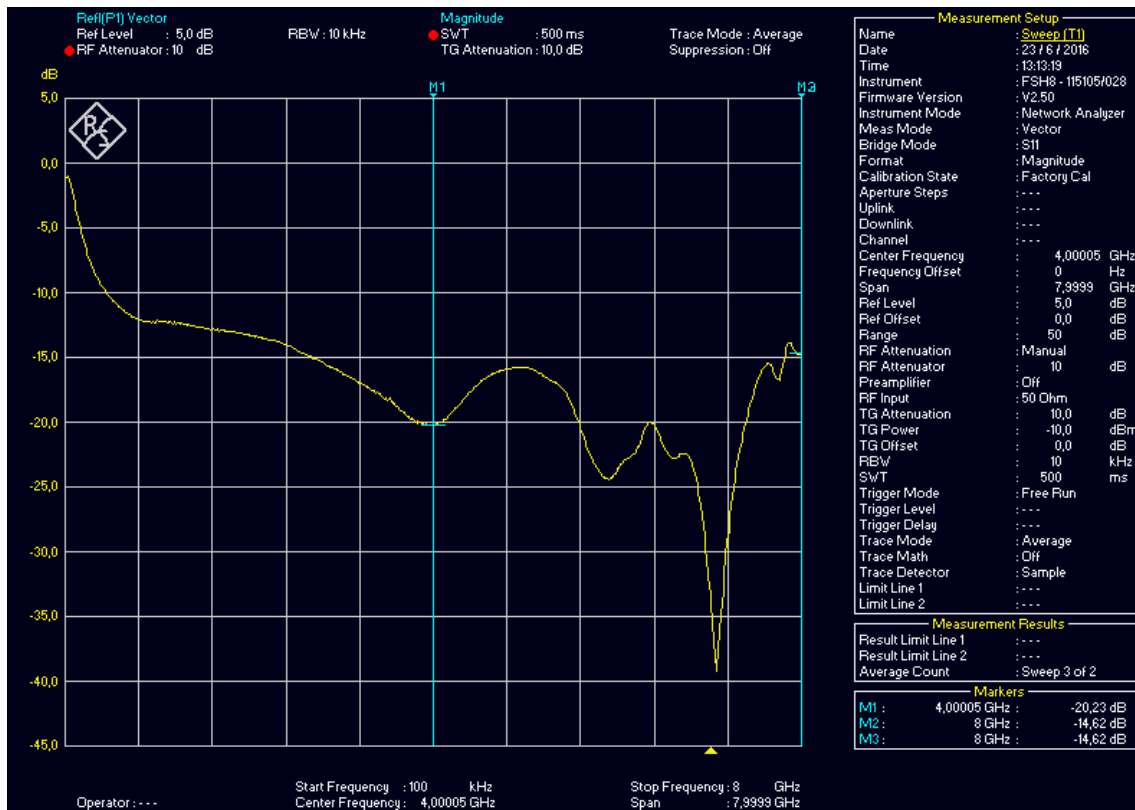


Figura 18. Frecuencia de resonancia vs Pérdidas por retorno para la Antena 4.

En la figura 18, se aprecia que los resultados son congruentes con los valores esperados. Un pico en 4GHz con (-20,23) dBm. La grafica es muy similar a la de la antena 3 (figura 16). Dos picos consecutivos se encuentran en: 5,8GHz con (-24,3) dB y 7GHz (-39,11) dB, respetivamente.

Analisis antena 5.

Lo que diferencia a esta antena con respecto a las otras, es el conector coaxial SMA. Tal elemento es diferente en su composición física. Debido al cambio de conector la respuesta que se ve en la figura 20 cambia respecto a las otras antenas.

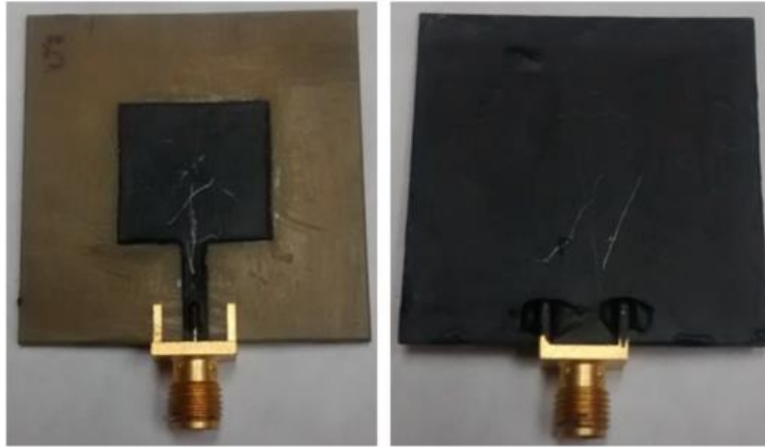


Figura 19. Aspecto físico de la quinta antena de la serie de producción (Antena 5).

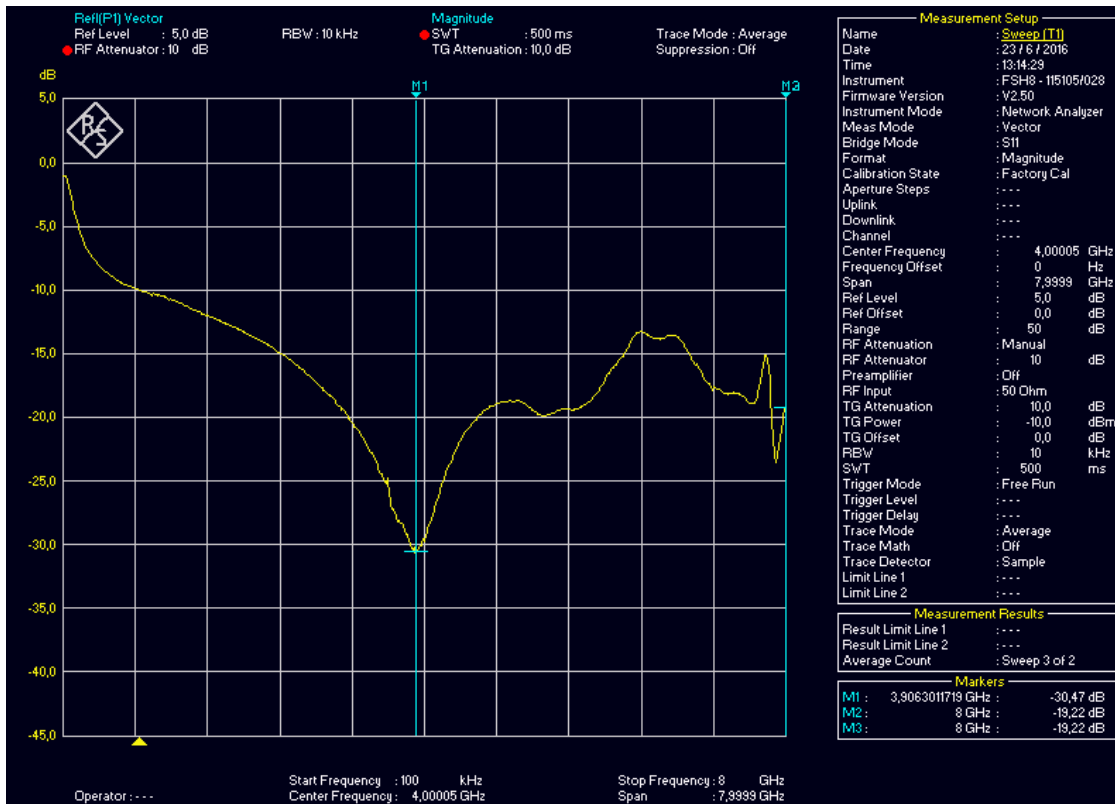


Figura 20. Frecuencia de resonancia vs Pérdidas por retorno para la Antena 5.

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

Para analizar la gráfica de la figura 20, se debe tener en cuenta la diferencia del conector SMA. Esto ocasionó una respuesta diferente pero muy acorde con lo que se esperaba se encontrar, según datos teóricos. El pico de la frecuencia de resonancia esperado de 4GHz, se dio más pronunciado respecto a los resultados de las antenas anteriores dando su valor exacto en 3,9 GHz, pero con unas pérdidas por retorno de -30dBs. No se aprecian picos adicionales en otras frecuencias.

Conclusiones a partir de los análisis de las respuestas de las antenas.

De los análisis anteriores, se puede concluir que:

- En la respuesta de una antena fabricada utilizando el protocolo presentado, influyen, tanto una mezcla homogénea, como una superficie lisa y el material del tipo de conector SMA.
- Una mala elección de estos elementos en el proceso, propicia una respuesta con picos resonantes no esperados o altas pérdidas por retorno.
- En particular, la homogeneidad y alto índice de partículas de carbono, son los ítems más relevantes para obtener la respuesta deseada.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados arrojados por las mediciones que se le hicieron a las antenas tipo parche hechas de material adhesivo conductor muestran diferencias considerables en lo que concierne a sus propiedades mecánicas respecto al material metálico. Se hicieron cinco antenas con el mismo protocolo antes mencionado (ver Metodología), para garantizar que los resultados fueran muy semejantes y así poder cotejar los valores esperados. Tomando en consideración las gráficas obtenidas por el analizador de espectros, se agregaron las gráficas para obtener una sola, comparar las respuestas y discutir acerca de la repetibilidad del proceso.

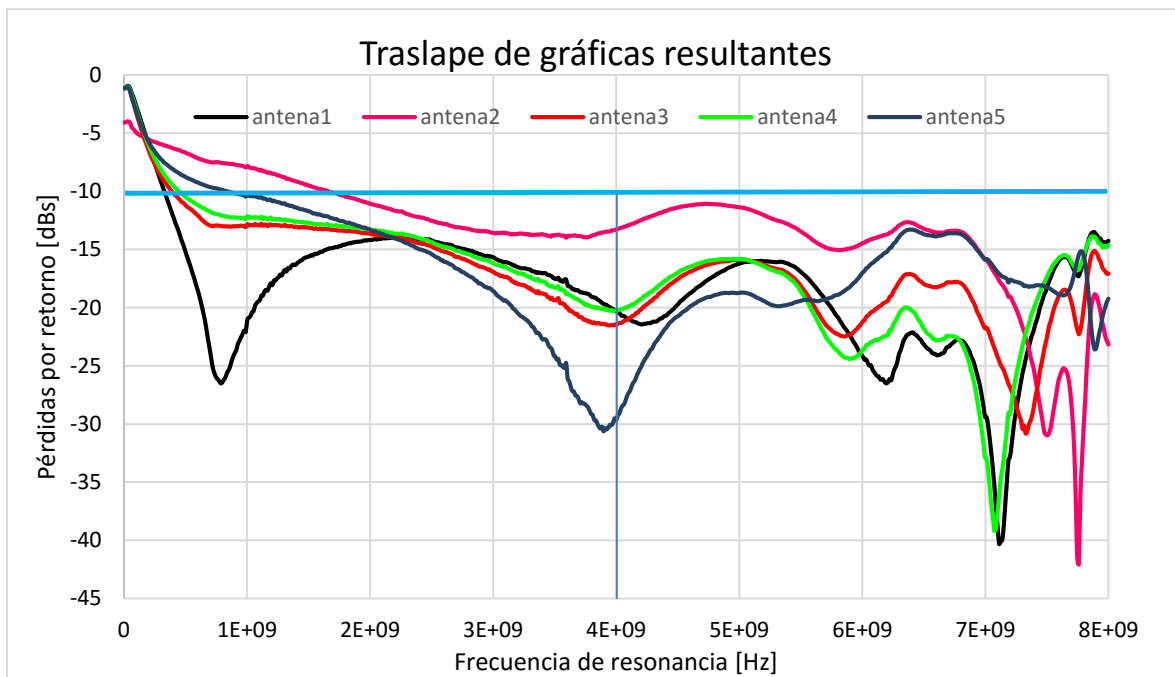


Figura 21. Traslape de los resultados de las antenas (antena 1 hasta antenna 5).

El primer resultado que se buscaba con la elaboración de las antenas tipo parche era la obtención del pico de resonancia que se calculó para una frecuencia de 4GHz (ver sección 3.1.1). La figura 21 muestra el traslape de las gráficas de cada una de las antenas, donde se alcanza a evidenciar que las antenas resuenan en una frecuencia entre 3,9 a 4,2 GHz (tabla 1), siendo este rango un punto favorable para comprobar que los datos reales en comparación con los datos arrojados por las antenas físicas, son muy propicios y acordes a lo esperado. También se evidencia que: para que la antena tenga un óptimo funcionamiento respecto a las pérdidas por retorno, estas arrojan un valor mucho menor con respecto a los

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

-10 dBm que se necesitaban para que las antenas cumplan con el objetivo, llegando incluso hasta los -30 dBm, en el punto estudiado (tabla 1).

Se concluye entonces, que, utilizando el adhesivo conductivo como base para la elaboración de la antena tipo parche, la probabilidad de que la frecuencia resuene en 4GHz es de aproximadamente el 60%.

NOMBRE	MAGNITUD [dBS]	FRECUENCIA [GHZ]
Antena1	-21,42	4,2
Antena2	-13,22	4
Antena3	-21,5	3,98
Antena4	-20,23	4
Antena5	-30	3,9

Tabla 1. Frecuencia de resonancia vs Pérdidas por retorno en las antenas fabricadas.

Otros picos resonantes se destacan en la figura 21. Estos picos de frecuencia se encuentran entre 7 y 8 GHz aproximadamente y presentan pérdidas por retorno de hasta -40 dBm.

Estos picos pueden presentarse, bien sea por las características del material adhesivo conductivo y además por las características de los conectores SMA utilizados; pues la respuesta que arroja el sistema cuando se utilizan dichos conectores, es diferente a la que se presenta cuando se utiliza un conector de mayor calidad.

Otro resultado muy importante que se encontró haciendo el análisis de la gráfica de la figura 21, fue el amplio ancho de frecuencias en el cual la antena funciona correctamente (por debajo de los -10 dBm). Se puede decir que el limite inicial en términos de frecuencia, en un 80 % de las antenas, está entre los 500 MHz y 1 GHz, así inicia la curvatura por debajo de los -10 dBm y avanza giga tras giga, sin saber hasta qué punto deja de ser útil el espectro resonante (el analizador de espectros vectoriales solo permite tomar datos hasta los 8GHz).

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

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Como resultado en la elaboración de las antenas tipo parche a partir de adhesivo conductivo sobre sustrato FR4, se concluye que el proceso de caracterización con el cual fueron medidas dichas antenas, cumplió a cabalidad con cada una de las etapas propuestas, dando por sentado que los efectos en lo que hace referencia a las mediciones destaquen la relación existente de los datos teóricos con los datos físicos. El adhesivo conductivo muestra mejores propiedades mecánicas que el cobre al momento de hacer las mediciones. Cuando el proceso es repetitivo se limita la utilización del conglomerado, por la cantidad insuficiente de mezcla que se tiene para la elaboración de las antenas.
- Si bien el actual trabajo aborda el diseño de un protocolo de fabricación de antenas tipo parche, es considerable afirmar que las ecuaciones empleadas para la obtención del esquema, se convierten en eslabones fundamentales del proceso, garantizando las dimensiones idóneas del molde para la integración del adhesivo conductivo sobre el sustrato FR4.
- El reciente proyecto saca como conclusión, que, al momento de realizar la fabricación de las antenas, el conglomerado que tiene la mayor cantidad de carbono, en este caso el viscoso, arroja los valores más propicios y exactos al momento de hacer las mediciones, dicha mezcla opone menor resistencia a la conductividad eléctrica. La mezcla con menor cantidad de carbono, no arroja valores muy determinantes, por eso no es conveniente trabajar con estas. También cabe destacar que dejar secar la mezcla el tiempo necesario es de suma importancia debido a las propiedades mecánicas que tiene el material a la hora de hacer las mediciones de las antenas.

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

- En consecuencia, al momento de hacer las mediciones, tener en cuenta los diseños y la fabricación de las antenas, son garantía para la etapa de caracterización, porque dejan ver unos buenos resultados en las mediciones. las frecuencias de resonancia están en un rango de 3,9 a 4,2 GHz, considerando estos valores idóneos al momento de hacer las comparaciones con los valores teóricos. Cuando se verifica la eficiencia de la antena con respecto a las pérdidas por retorno, los valores arrojados por estas variables dejan entre visto que superan el rango mínimo de -10 dBm necesario para su correcto funcionamiento.
- Se esclarece que el método empleado para la elaboración de las antenas fue poco ortodoxo, por lo que se recomienda para trabajos futuros, hacer del proceso repetitivo un ejercicio más automatizado y sistemático. También hay otras consideraciones cuando se evidencia las respuestas de las antenas, porque se ve claramente que en ancho de banda que arrojan, es muy amplio en comparación con los datos que se habían esperado. Por lo que se tienen que tener en cuenta para trabajos futuros de investigación en el área de las telecomunicaciones

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

REFERENCIAS

Hamouda, Z., Wojkiewicz, J. L., Pud, A. A., Kone, L., Belaabed, B., Bergheul, S., & Lasri, T. (2015, May). CPW-fed dual band monopole antenna based on conductive polymers. In *2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)* (pp. 1-4).

Hamouda, Z., Wojkiewicz, J. L., Pud, A. A., Belaabed, B., Bergheul, S., & Lasri, T. (2014, April). Polyaniline-carbon nanotubes composites—Based patch antenna. In *The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)* (pp. 2197-2200).

Huang, J. C. (2002). Carbon black filled conducting polymers and polymer blends. *Advances in Polymer Technology*, 21(4), 299–313.

Kanade, T. K., Rastogi, A. K., & Mishra, S. (2015, February). Design, Simulation and Experimental Investigation of Microstrip Patch Antennas and its Feed Line. In *International Journal of Engineering Research and Technology* (Vol. 4, No. 02 (February-2015)). ESRSA Publications.

Khaleel, H. R., Al-Rizzo, H. M., Rucker, D. G., & Mohan, S. (2012). A compact polyimide-based UWB antenna for flexible electronics. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 11, 564-567.

Strümpfer, R., & Glatz-Reichenbach, J. (1999). FEATURE ARTICLE Conducting Polymer Composites. *Journal of Electroceramics*, 3(4), 329–346.

Yogeesh, M. N., Parrish, K. N., & Akinwande, D. (2015). Flexible graphite antennas for plastic electronics. *2014 IEEE 2nd International Conference on Emerging Electronics: Materials to Devices, ICEE 2014 - Conference Proceedings*, 2–5.

Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: analysis and design*. John Wiley & Sons.

Veraguas, J. P. L. (2006). *Compatibilidad electromagnética*. Marcombo S.A., 1ª edición, 284p.

Paleček, J., Vestenický, M., Vestenický, P., & Spalek, J. (2012, June). Examination of SMA connector parameters. In *2012 IEEE 16th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)* (pp. 259-263). IEEE.

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

Srifi, M. N., Meloui, M., & Essaïdi, M. (2010). Rectangular slotted patch antenna for 5-6GHz applications. *International Journal of microwave and optical technology*, 5(2), 52-57.

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

FIRMA ESTUDIANTES Andrés Felipe Gualdo Muñoz

FIRMA ASESOR 

FECHA ENTREGA: 09/08/2016

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: _____