

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

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL PARÁMETRO S11 EN ANTENAS DE MICROCINTA A PARTIR DE UN ESFUERZO APLICADO.

Luis Gonzalo Mejía Alzate

Ingeniería en Telecomunicaciones.

Director(es) del trabajo de grado

Francisco Eugenio López

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2017

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

RESUMEN

Se propone analizar la relación entre algunos parámetros característicos en una antena tipo panel y el estrés aplicado a esta, para caracterizar su comportamiento a diferentes niveles de estrés y usando varios tipos de antena. El resultado esperado es obtener curvas características que permita predecir el cambio en la frecuencia de resonancia de ciertas antenas debido a un esfuerzo aplicada a esta. Las pruebas experimentales se realizaron en los laboratorios del grupo de investigación de automática, electrónica y ciencias computacionales. Además, entre el equipamiento requerido elementos como el analizador vectorial de redes, antenas tipo parche, computador, máquina de tracción y pesas.

Palabras clave: Frecuencia de resonancia, coeficiente de reflexión, Antena tipo panel, caracterización, comunicaciones, microstrip, deformación.

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

RECONOCIMIENTOS

A la memoria de mi abuela Herenia; agradezco a mis padres tíos y hermanos, especialmente a mi tío Guillermo que creyó en mi después de haberle fallado, agradecer también a mis compañeros y, a mis profesores que aportaron a mi formación durante toda la carrera con entereza y paciencia y, a todas las personas que aportaron a mi crecimiento personal durante todo este tiempo.

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

ACRÓNIMOS

RFID: Identificación de la Frecuencia de Radio.

VNA: Analizador vectorial de redes.

SHM: Monitoreo de la salud estructural.

CMPA: Antena tipo parche circular.

Fr: Frecuencia de resonancia.

RF: radiofrecuencias.

S11: Coeficiente de reflexión.

CSRR Complementary Split Ring Resonator (Resonador Complementario de Anillo con ranura).

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

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	
1. INTRODUCCIÓN	
2. MARCO TEÓRICO	
3. METODOLOGÍA	
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	
REFERENCIAS	

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

1. INTRODUCCIÓN

El monitoreo de salud estructural es un término implementado para denominar diferentes técnicas desarrolladas para controlar la seguridad, el rendimiento, la integridad y la durabilidad de las estructuras, independientemente de su material; ya que estas se pueden ver afectadas por desgaste, corrosión, envejecimiento, fallas por implementación, sismología, entre otros; colocando en peligro el desarrollo social y cultural de la humanidad.

La falta de prevención y el deterioro de las estructuras civiles, tales como puentes, túneles, barcos, aviones, vehículos y edificaciones conlleva a diversos problemas para los administradores públicos y privados debido a los costos por reparación y las afectaciones socioeconómicas que el colapso de dichas estructuras genera. Inclusive, aunque no se presenten víctimas mortales, se puede ver impactada, de una manera parcial o total, la actividad económica de la población afectada. Al respecto, un estudio elaboró un inventario sobre las estructuras que han colapsado en Colombia desde el año 1986, en el cual se data de 63 estructuras colapsadas desde dicho año, entre las cuales se identificaron 7 causas principales y de estas se destaca que el 36 % de los casos estudiados corresponde a puentes de acero (véase figura 1), que fallaron generalmente por deficiencias estructurales, mientras el 64% restante corresponde a puentes de concreto que colapsaron en su mayoría por socavación y atentados terroristas también se destaca que en Colombia, cerca del 35% de los puentes colapsan por catástrofes naturales como crecientes de ríos y avalanchas, el 14% por deficiencias estructurales en su diseño y el 7% por impacto o sobrecarga (Muñoz Diaz, 2002).

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



Figura 1. Puentes de acero con deficiencias estructurales. En la figura se observan los puentes, de los ángeles y el puente pescadero de perfil y de frente (Muñoz Diaz, 2002).

Debido a los anteriores indicadores y a las diferentes causas de colapso, la ingeniería se ha interesado en diseñar estructuras bajo todos los estándares de calidad, diseño y seguridad; usando los mejores materiales y toda la ingeniería requerida para que estas sean más seguras y durables en el tiempo, además mediante monitoreo y vigilancia controlada permanentemente determinar deficiencias o deterioros para prevenir catástrofes y accidentes a partir de una falla estructural; para ello las diferentes técnicas de monitoreo de salud estructural juegan un papel muy importante.

El estudio de la salud estructural mediante sensores de RF ha sido considerado de importancia en las investigaciones de los últimos años. Se han estudiado sensores con antenas tipo parche para capturar información de afectaciones mecánicas a través del análisis de la frecuencia de resonancia y el coeficiente de reflexión o parámetro S11 de la antena y, de esta forma, caracterizar el funcionamiento de sensor.

El propósito de este trabajo es analizar el funcionamiento de algunos sensores de deformación basados en antenas tipo panel. Experimentos de deformación de antenas serán realizados y, con base en los resultados encontrados, se indagará sobre los efectos en la frecuencia de resonancia de las antenas debidos a las deformaciones aplicadas.

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

Objetivo.

Analizar el comportamiento de los parámetros característicos de algunas antenas tipo panel y, el estrés aplicado a estas para su posible implementación como sensores de esfuerzo.

Objetivos específicos.

1. Describir el comportamiento de la frecuencia de resonancia al someter la antena a diferentes niveles de estrés.
2. Definir la razón a la cual varía la frecuencia de resonancia de las antenas a partir del esfuerzo aplicado a esta y la deformación causada por dicho esfuerzo.
3. Definir el tipo de antena con mayor efectividad en la variación de la frecuencia de resonancia para el desarrollo de sensores de esfuerzo.

Organización de la tesis.

El temario de este proyecto de investigación se divide en cuatro capítulos:

Marco Teórico.

Se incluyen los conceptos teóricos en los que este proyecto fundamenta sus argumentos. En este se explican de manera detallada el modelo de la línea de transmisión, antenas de microcinta y las antenas de microcinta aplicadas al monitoreo de salud estructural.

Metodología.

La metodología relata cómo se desarrolló el proyecto y las técnicas usadas para obtener los diferentes resultados. Se describe en detalle el procedimiento experimental para la deformación de las antenas de microcinta.

Resultados y Discusión

Los resultados y discusión presentan el resultado obtenido, a partir de las diferentes mediciones realizadas a las diferentes antenas.

Conclusiones, Recomendaciones y Trabajo Futuro

Se realiza una revisión a los objetivos y, se cruzan con los resultados obtenidos para validar su concordancia con el objeto de análisis; además se sugieren posibles recomendaciones a futuros proyectos a desarrollar.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antenas de microcinta.

Debido a la necesidad emergente de los sistemas de comunicaciones para soportar múltiples servicios simultáneamente, contar con mejor calidad de video en llamadas, y mayor tasa de transferencia de datos, se ha incrementado el desarrollo de diferentes tipos de antenas que con mayores prestaciones que solventen todas estas necesidades actuales.

Las antenas de microcinta son una versión modificada de las placas paralelas, y por su geometría son llamadas líneas planas, también llamada línea impresa ya que se hace sobre placas de circuitos electrónicos y, de allí, su nombre de línea de microcinta. Gracias a estas estructuras planares ha sido posible el desarrollo de la microelectrónica. Las antenas de microcinta han sido empleadas últimamente en el desarrollo de dispositivos pasivos, activos y en el desarrollo de antenas. Aunque como antena su ganancia, ancho de banda y características de radiación sean limitadas, esta se hace atractiva por su fácil construcción, bajo costo y adaptabilidad en diferentes casos (Neri Vela, 1999).

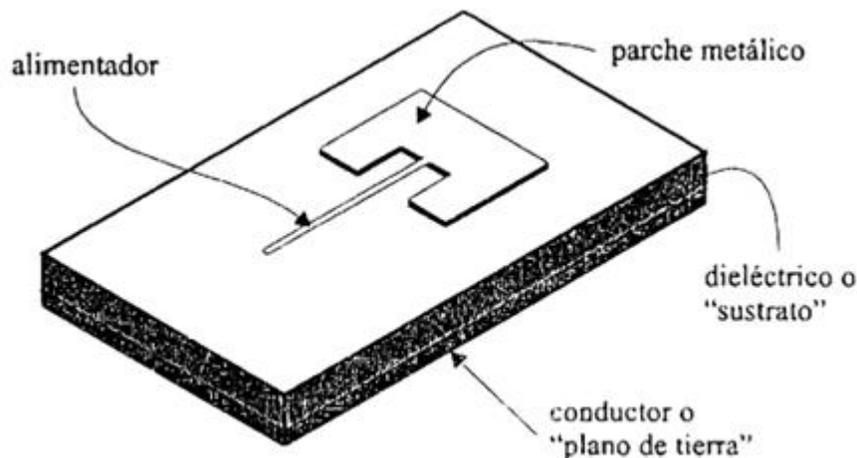


Figura 2.Antena de microcinta. Posee un alimentador que puede ser una línea de cinta como se muestra en la figura o un cable coaxial que atraviese por debajo del plano tierra para que el conductor interno haga contacto con el parche. El plano tierra en la parte inferior, dieléctrico o sustrato que separa el plano tierra del parche radiante que sería el último componente de la antena (Neri Vela, 1999).

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

La antena de microcinta está compuesta por capas; una inferior como conductor o plano tierra, un dieléctrico o sustrato que en muchas ocasiones es de FR4 O baquelita y un parche radiante junto con la línea de alimentación

El análisis de una antena de microcinta se lleva a cabo bajo los modelos conocidos como Modelo empíricos, Modelos semi-empíricos y modelo de onda completa; estos difieren este sí en la precisión y practicidad en sus planteamientos matemáticos (Neri Vela, 1999).

2.2 Modelo de línea de transmisión.

El modelo de transmisión de una antena de microcinta es una aproximación al modelo de una línea de microcinta que es la que se toma para el caso de estudio.

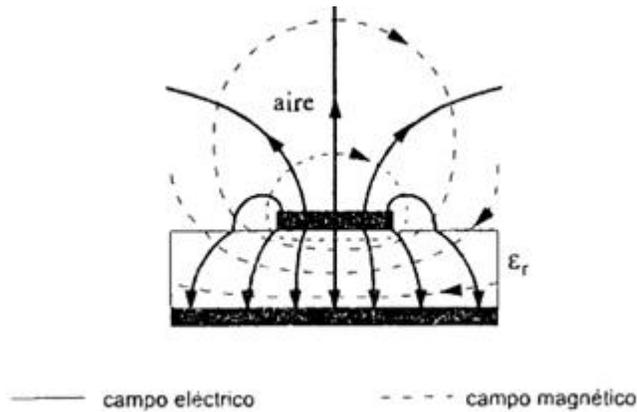


Figura3. Líneas de campo eléctrico y magnético en una línea de microcinta (Neri Vela, 1999).

2.3 Diseño basado en el modelo de línea de transmisión.

El diseño de una antena de microcinta con base en el modelo de línea de transmisión relaciona la geometría, dimensiones y material usado para la construcción de la antena. Se parte de la variación en la longitud del parche radiante ΔL debido al efecto de borde y, la propagación de la onda tanto en el aire como en el dieléctrico que describe la permitividad efectiva $\epsilon_{r\text{eff}}$ en la antena. Para el diseño se deben conocer previamente los parámetros: permitividad relativa ϵ_r , frecuencia de resonancia f_r y alto del sustrato dieléctrico h (Balanis, 2005). A continuación, se describen los pasos para el diseño una antena de microcinta.

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

1. calcular la variación de la longitud ΔL y permitividad efectiva ϵ_{reff} .

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_{r+1}}{2} + \frac{\epsilon_{r-1}}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\Delta L = 0.412 * h \frac{(\epsilon_r + 0.3)}{(\epsilon_r - 0.258)} \frac{(\frac{w}{h} + 0.264)}{(\frac{w}{h} + 0.8)} \quad (2)$$

2. Calcular el ancho del parche radiante W

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3)$$

3. calcular la longitud física del parche L

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}} - 2\Delta L \quad (4)$$

4. calcular la frecuencia a la cual resuena la antena.

$$f_{r(010)} = \frac{1}{2L_{eff} \sqrt{\epsilon_{reff} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}} \quad (5)$$

2.4 Antenas de microcinta en los sistemas de monitoreo de salud estructural.

Los puentes de los ríos, las grandes edificaciones, la aviación, los vuelos espaciales, la navegación etc.; juegan un papel muy importante en la vida humana, por esto se hace importante el monitoreo de la salud estructural. Debido a esto han surgido diferentes métodos para detectar información física de los diferentes sistemas, tales como presión, temperatura y tensión; para este fin se han usado múltiples técnicas de medición como la implementación de diversos sensores basados en software, redes pasivas entre otros, los cuales permiten identificar la presencia, ubicación y magnitud de algún daño a partir de los cambios y variaciones en las características propias estructurales, lo que reduce costos en alertas, tiempo y de monitoreo (Wang, Liu, Ge, & Liu, 2015).

Dispositivos pasivos como las antenas microcintas tipo parche, utilizadas en el campo de las telecomunicaciones normalmente para recibir y transmitir señales, en los últimos años han sido implementadas como sensores pasivos en el tema de SHM (Structural Health monitoring). Las investigaciones actuales corroboran una relación existente entre la frecuencia de resonancia de la antena y el estrés aplicado a la misma y, cómo se podría implementar este dispositivo como sensor en los campos de ingeniería industrial y aeroespacial principalmente.

se han diseñado diferentes tipos de sensores basados en antenas de microcinta ; entre estos tenemos el siguiente estudio denominado análisis y diseño de una sensor deformación, basado en antena tipo panel; en el cual se desarrolla un sensor de

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

deformación a partir de una antena de microcinta, que opera en la frecuencia de los 5 GHz , y su diseño se basa en la relación de la frecuencia de resonancia y la longitud del parche; para esta se utilizó una placa de sustrato con un revestimiento de cobre ,al que se le realizo el trazo para obtener el parche necesitado, se le adicono una galga extensiométrica para recopilar la información de deformación y adicional un puerto para conectar al analizador vectorial de redes.

Se realizan una serie de mediciones las cuales arrojan una variación lineal de la frecuencia de resonancia en relación con la deformación aplicada y se puede apreciar una disminución de la frecuencia de resonancia al aumentar el esfuerzo aplicado, con lo que se concluye que podría implementarse como sensor para el monitoreo de salud estructural, además de poder ser controlado de manera inalámbrica. Este estudio se llevó a cabo en el laboratorio de electrónica con dispositivos integrados de la universidad de electrónica Ciencia y Tecnología de China (Qian et al., 2012).

2.5 Parámetros de dispersión o parámetros S.

Cuando se habla de parámetros de dispersión, se hace referencia al coeficiente de reflexión y transmisión entre la onda incidente y la onda reflejada. Estos parámetros definen el comportamiento de un dispositivo bajo condiciones lineales y en determinados rangos de frecuencia. Cada uno de estos parámetros se caracterizado por magnitud ganancias y pérdidas en decibles; a pesar de que se pueden aplicar a cualquier frecuencia se usan principalmente para aplicaciones que operan en el rango de radiofrecuencia RF y frecuencias de microondas, los parámetros S varían según la frecuencia de operación, por eso es importante especificar en qué frecuencia se trabaja para determinada medición(Colombo, 2012).

La descripción de los parámetros es la siguiente:

S11: Coeficiente de reflexión a la entrada o coeficiente de reflexión directa.

S21: Coeficiente de transmisión directa o ganancia con la tensión directa.

S22: Coeficiente de reflexión a la salida o coeficiente de reflexión inversa.

S12: Coeficiente de transmisión o ganancia con la tensión inversa.

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

Para el caso de mediciones en antenas con el analizador vectorial de redes se toma el parámetro **S₁₁** y para identificar la frecuencia de resonancia de la antena se toma el pico en el parámetro **S₁₁** que corresponda a la menor pérdida de energía por reflexión, con esto se garantiza la máxima transferencia de potencia.

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

3. METODOLOGÍA

Los procedimientos y técnicas que permitieron el desarrollo exitoso de esta tesis de grado fueron obtenidos de forma paulatina a partir de una consulta exhaustiva en las diferentes bases de datos adscritas al Instituto Tecnológico Metropolitano-ITM. Se obtuvieron artículos relevantes que permitieron direccionar la investigación y el cumplimiento de los objetivos, además, contribuyeron a la metodología de las pruebas experimentales. A continuación, se describen los recursos utilizados y los pasos seguidos para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

3.1 Materiales y recursos.

Selección de las antenas de microcinta.

Para la llevar a cabo las pruebas experimentales en la máquina de tracción del ITM, se tomaron tres antenas de microcinta rectangulares de diferentes características: un diseño preliminar de una antena meanderline, una antena GSM comercial y una antena modificada con resonadores. Estas antenas se describen al detalle a continuación:

Antena MEANDERLINE.

Esta antena esta fue diseñada sobre sustrato de FR 4, con un plano a tierra en la parte superior del sustrato y rodeando las líneas de meandros, un parche resonante en forma de meandro y, un conector SMA para su alimentación. Esta antena solo posee una capa de cobre y una capa del sustrato, a diferencia de otras antenas que por llevar su plano tierra en la parte inferior requieren dos revestimientos de cobre.

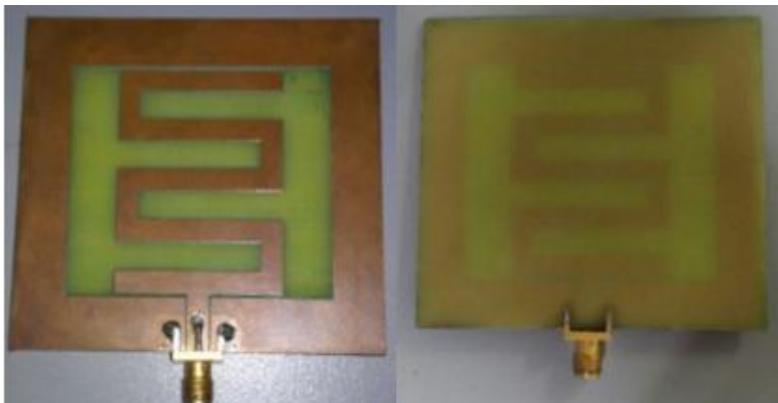


Figura 4. Antena MEANDERLINE por ambas caras, con su respectivo conector SMA para la conexión al analizador vectorial de redes.

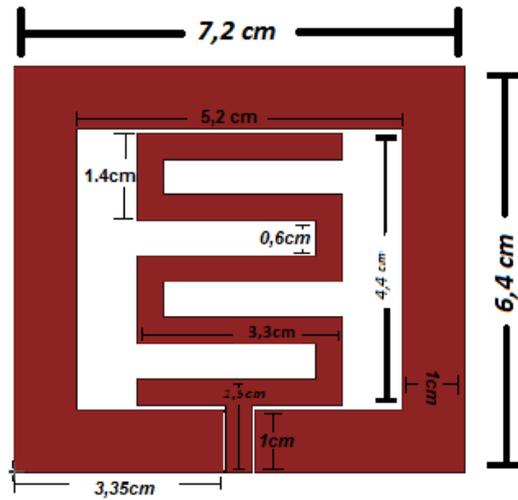


Figura 5. Medidas de la antena MEANDERLINE.

Antena GSM

Esta es una antena comercial multibanda que opera en las frecuencias de los 900 MHz y los 1800 MHz. Sin embargo, el coeficiente de reflexión de la antena mostro un pico de resonancia en 3.8 GHz que tiene menores perdidas, por lo tanto, se decidió tomar esta frecuencia para realizar las pruebas experimentales. Esta antena se implementó sobre una probeta de FR4 para facilitar las mediciones. La conexión se realiza mediante un adaptador SMA.



Figura 6. Antena GSM por ambas caras, con su respectivo conector SMA para la conexión al analizador vectorial de redes soportada sobre una base tipo probeta, para facilitar su deformación.

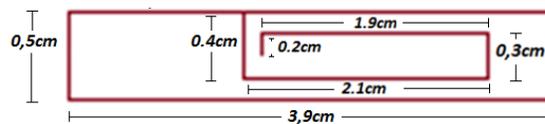


Figura 7. Medidas de la antena GSM.

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

Antena patch con CSRR

Esta es una antena tipo panel con 2 parches resonantes, una línea alimentadora, resonadores en el plano a tierra. Esta antena está hecha sobre una placa de FR4 con dos revestimientos de cobre torneados a precisión para obtener tanto los parches radiantes como los resonadores de la parte inferior, adicionalmente cuenta con un conector SMA para la alimentación de la misma.

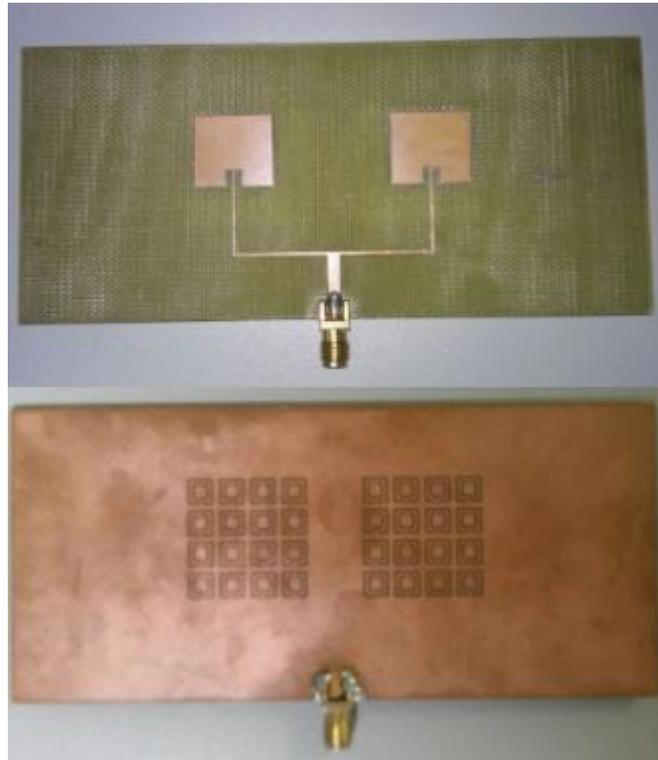


Figura 8. Antena patch con CSRR por ambas caras, con su respectivo conector SMA para la conexión al analizador vectorial de redes.

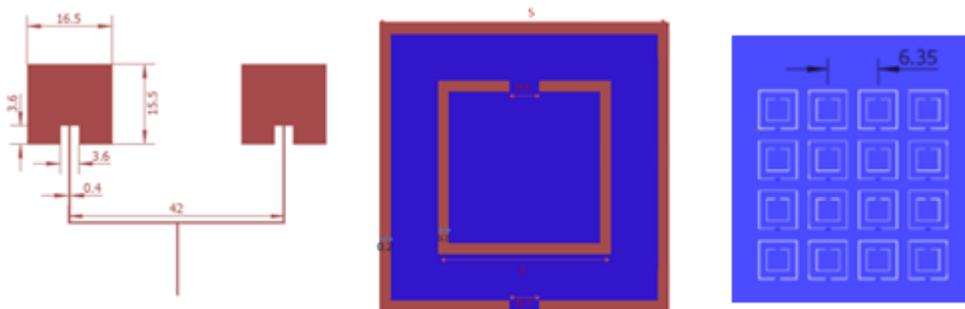


Figura 9. Medidas de la antena patch con CSRR.

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

Máquina de tracción o torsión WLN:

Es una maquina usada para realizar ensayos de torsión, tensión uniaxial, compresión, y deformación; está compuesta por varios implementos debidamente calibrados que arrojan las diferentes mediciones al software donde se recopilan los datos de fuerza efectuada, deformación y velocidad(“Máquina para ensayo de tracción y torsión,Ensayos de compresión,” n.d.).

	Parámetros técnicos	
	Modelo	WLN-200
	Fuerza máxima para ensayo	200kN
	Rango de medición de fuerza	0-200kN
	Precisión de la fuerza de ensayo	±0.5%
	Resolución de deformación	0.01mm
	Precisión del desplazamiento	0.01mm
	Velocidad de desplazamiento	0.05mm/min.-300mm/min., continua
	Precisión de la velocidad	±1%
	Zona de ensayo (con accesorios)	Ancho >600mm; zona de compresión>1000mm
	Carrera de desplazamiento de la viga (sin mordaza)	1400mm
	Par máximo	1000Nm
	Rango de torsión	0~1800°
	Velocidad de carga de torsión	1°/min.~200°/min.
	Resolución mínima del ángulo de torsión	0.1°
Diámetro de la probeta	Φ3~Φ40mm	
Potencia	5.5kw	
Voltaje	380V	
Configuración	1 máquina principal (con 1 sensor de tracción y de torsión), 1 computador Lenovo, 1 impresora HP, 1 extensómetro electrónico, 1 caja de operación manual, 1 herramienta de tracción, 1 herramienta de compresión, 1 herramienta de flexión, 1 dispositivo de torsión.	

Figura 10. Máquina de tracción SHIMADZU, maquina usada en el laboratorio de materiales del ITM, para determinar algunas características de durabilidad de los materiales.

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

Analizador vectorial de redes:

El analizador vectorial de redes es un dispositivo que nos permite visualizar la frecuencia de operación de las antenas entre muchas otras aplicaciones, posee una gama amplia para la visualización de datos del dBm 76 al dBm + 10 y opera en una gamma de frecuencias de 100 KHz a 8 GHz; razón por la cual se escogieron antenas que operaran en este rango de frecuencias.



Figura 11. Analizador vectorial de redes ROHDESWARCHZ.

3.2 procedimiento experimental.

Montaje experimental.

Para llevar a cabo el desarrollo experimental se realizó un montaje en la máquina de tracción del laboratorio de materiales del ITM; esta máquina cuenta con una serie de aditamentos como galgas calibradas para obtener la información sobre el esfuerzo o tensión aplicada en newton; un el analizador de redes con su respectiva línea de alimentación, computadores para la recolección de la información y las antenas caso de estudio.

Se conectaron las antenas a una línea acoplada al analizador de redes y a su vez se descargaron sobre la base de la máquina de tracción, de forma horizontal, para así ejercerle la tensión en la parte central de la antena logrando obtener una deformación cóncava en las antenas y observar el cambio en frecuencia de resonancia. En la figura 12

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

se describe el montaje con los respectivos equipos e implementos usados para las deformaciones.



Figura 12. Montaje experimental empleado para deformar las antenas.

1. Máquina de tracción: esta máquina realiza las deformaciones gradualmente aplicando el esfuerzo previamente programando en Newton.
2. Analizador vectorial de redes (VNA): se utiliza para monitorear la frecuencia de resonancia a medida que se le va aplicando esfuerzo a la antena.
3. Antena de microcinta: esta es la parte más importante y protagonista del experimento ya que es el implemento que se somete a deformación y al cual se le monitorean los cambios en el parámetro S_{11} para obtener las diferentes frecuencia de resonancia según esfuerzo aplicado.
4. Cable o línea de alimentación: es un tramo de línea de transmisión que sirve como interfaz entre el VNA y la unidad de medida para nuestro caso las antenas. El cable de prueba es caracterizado por el VNA en la calibración, de forma que no afecte las medidas realizadas a las antenas y garantizar un offset de cero en las medidas del coeficiente de reflexión S_{11} .
5. Computador: en el computador se debe instalar el software del VNA llamado FSH4 para poder leer los datos de este y, se conectan mediante un cable de datos colocando el VNA y el PC en el mismo segmento de red; adicional la máquina de tracción cuenta con otro computador en el cual se encuentra alojado el software de programación de las diferentes pruebas que se realizan con esta.

Calibración del analizador de redes VNA.

El analizador cuenta con metodos sofisticados de calibracion para todos lo tipos de medida, el metodo de calibracion dependerá de los errores del sistema, la precision de la medida, la configuracion del ensayo y los estandares de calibracion disponibles. Para este experimento, se realizo la calibracion especificamente para la medida del coeficiente de reflexion o parámetro S11.

En primer lugar, se calibró el equipo de medida en todo su rango de operación (100 KHz – 8 GHz); con el objetivo de medir los puntos de frecuencia de resonancia de interes. A continuacion se muestra la respuesta al parametro S11 de las antenas

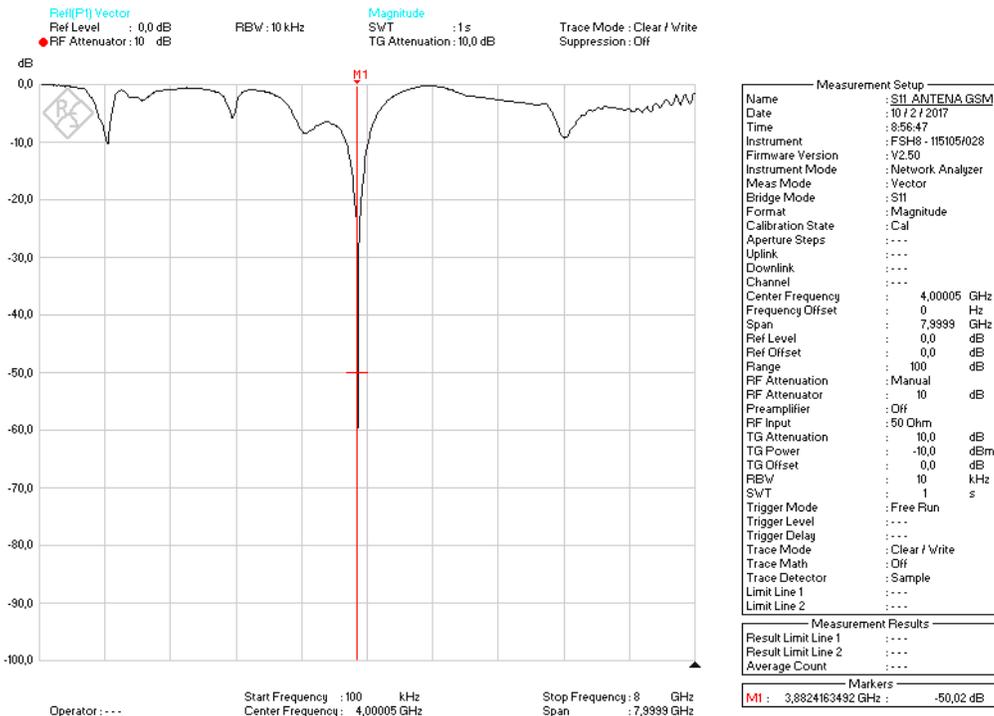


Figura 13. Parámetro S11 de la antena GSM tomado al calibrar el analizador de redes en el modo FULL SPAM, en el cual se pueden observar las frecuencias de operación de la antena y donde mejor resuena, que es en la frecuencia de 3.88GHz la cual se tomó para el caso de estudio.

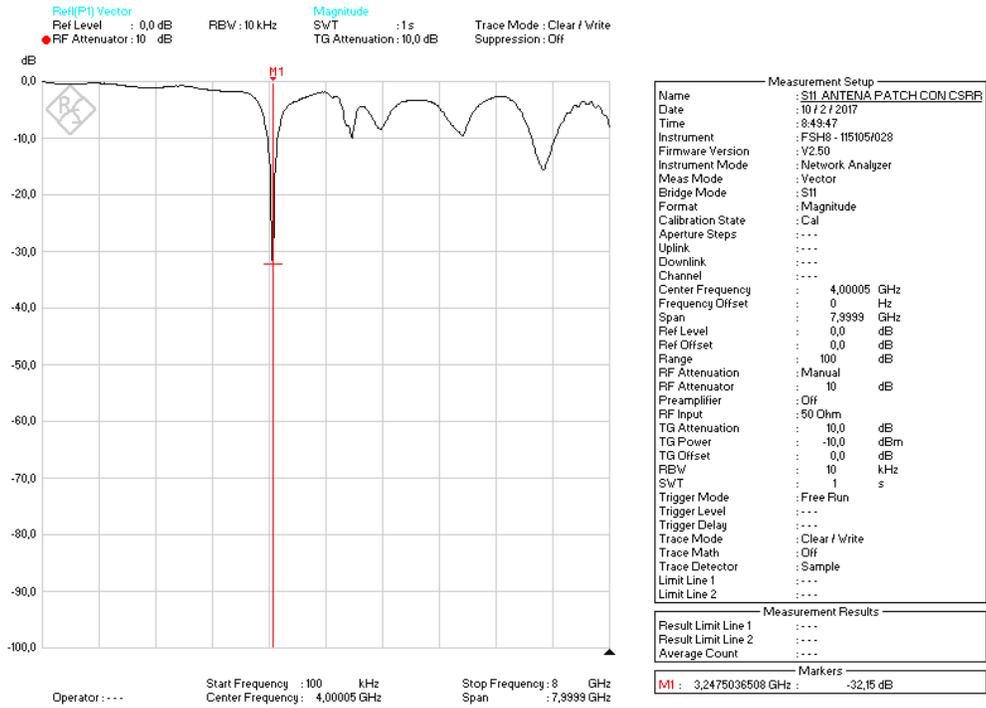


Figura 14. Parámetro S11 de la patch con CSRR tomado al calibrar el analizador de redes en el modo FULL SPAM, en el cual se pueden observar las frecuencias de operación de la antena y donde mejor resuena, que es en la frecuencia de 3.24GHz la cual se tomó para el caso de estudio.

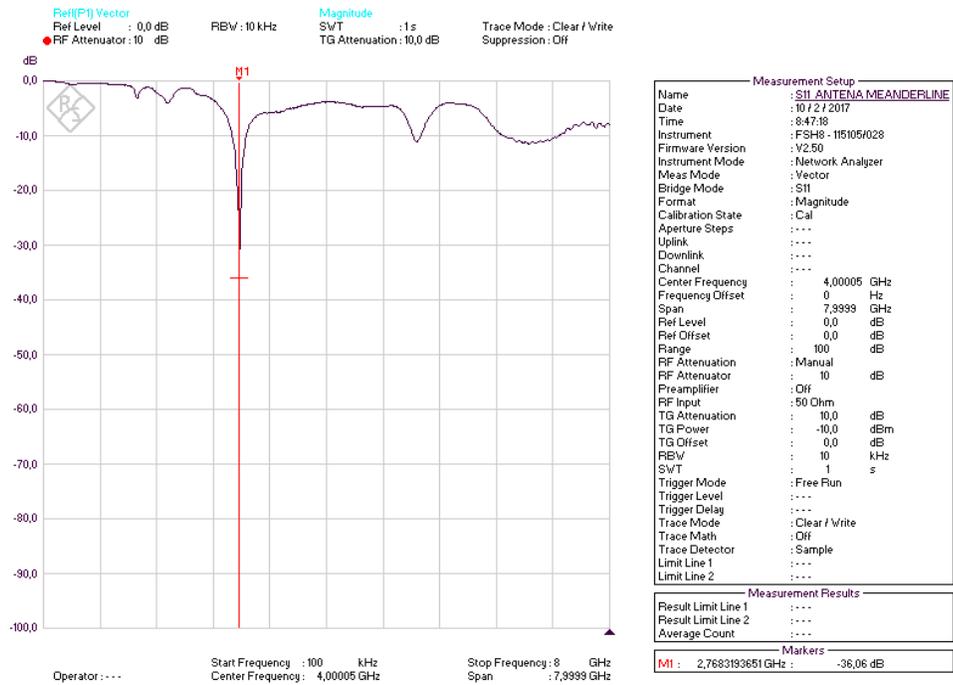


Figura 15. Parámetro S11 de la antena MEANDERLINE tomado al calibrar el analizador de redes en el modo FULL SPAM, en el cual se pueden observar las frecuencias de operación de la antena y donde mejor resuena, que es en la frecuencia de 2.76GHz la cual se tomó para el Caso de estudio.

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

Mediciones.

Posterior a las calibraciones se realizan las diferentes deformaciones y se recopilan todos los resultados en el computador para luego ser analizados y concluir con el análisis de la información obtenida.

la máquina de tracción arroja datos de esfuerzo aplicado de manera precisa en newton , con lo cual se puede relacionar el esfuerzo aplicado, con la lectura en frecuencia de resonancia que brinda el analizador vectorial de redes.

A la antena GSM se le realizaron 2 pruebas y en cada una de estas se le aplicaron 30N gradualmente de a 5 en 5 para un total de 6 pasos por prueba, a los 5N, 10N, 15N, 20N, 25N y 30N, y las otras 2 antenas se les aplicaron 50 N de 10 en 10 debido a que soportaban más esfuerzo con lo cual se puede tener datos suficientes para determinar alguna variación en frecuencia y, velando por que la antena no se rompa debido a una fuerza extrema.

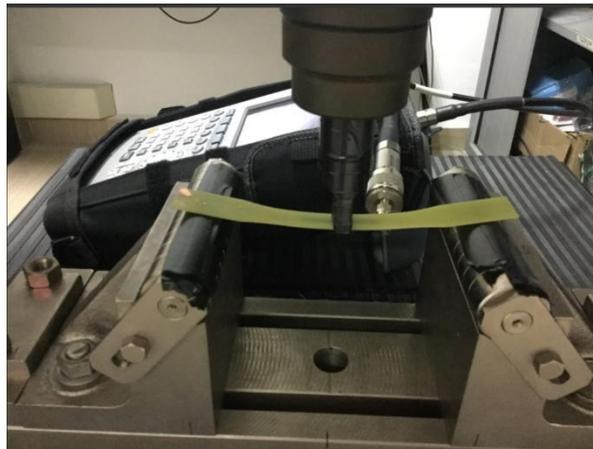
En las siguientes imagenes se pueden evidenciar las antenas siendo sometidas a deformación con la máquina.



(a).Antena meanderline sometida a deformación en la máquina de tracción.



(b).Antena patch con CSRR sometida a deformación en la máquina de tracción.



(c).Antena GSM sometida a deformación en la máquina de tracción.

Figura 16. Ejemplos de las deformaciones realizadas a las diferentes antenas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se muestra los resultados obtenidos de los corrimientos en la frecuencia de resonancia de las antenas debido a las deformaciones realizadas en la maquina de tracción, acorde con los procedimientos experimentales descritos en la sección de metodología.

Los resultados de dos experimentos de deformación aplicados a cada una de las antenas fueron obtenidos. En figura 17 se muestra como la frecuencia de resonancia de la antena meanderline se desplaza hacia valores menores a medida que aumenta el porcentaje de fuerza aplicada. En figura 20 y figura 23 se muestra respectivamente como, de forma contraria a la antena meanderline, la frecuencia de resonancia de las antenas patch con CSRR y la antena GSM, tienden a valores mayores a medida que aumenta la fuerza aplicada. En figura 18, figura 21 y figura 24 se encontró que los cambios de la frecuencia de resonancia debido a deformaciones tienen un comportamiento lineal por zonas. Para la antena meanderline se determinó una pendiente en las zonas 1,2 y 3 respectivamente de -2 MHz/N, 0,26 MHz/N y 0,4 MHz/N en la primera prueba y de -2,1 MHz/N, -0,4 MHz/N y -0,1 MHz/N en la segunda prueba; para la antena patch con CSRR en las zonas 1,2 y 3 respectivamente la pendientes fueron 0,3 MHz/N, 0,2 MHz/N y 0,1 MHz/N en la primera prueba y de 0,2 MHz/N, 0,1 MHz/N, 0,2 MHz/N en la segunda prueba; y para antena GSM se determinó una pendiente en las zonas 1 y 2 respectivamente de 1,2 MHz/N y 0,6 MHz/N para la prueba 1 y de 0,85 MHz/N y 0,9 MHz/N en la segunda prueba. Se considera a la pendiente como la sensibilidad que tiene el dispositivo ante la deformación aplicada.

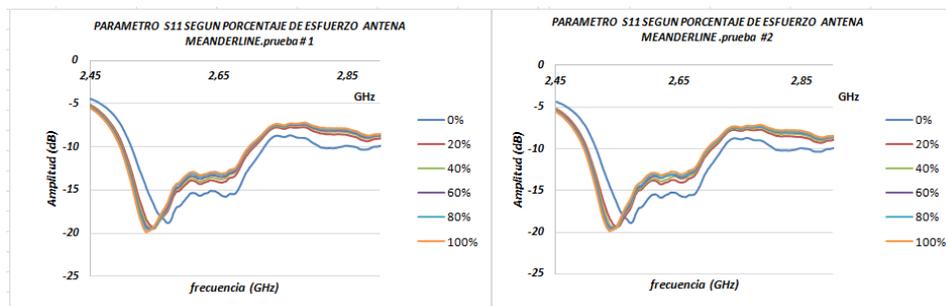


Figura 17 Graficas comparativas de las 2 pruebas de deformación realizadas a la antena MEANDERLINE

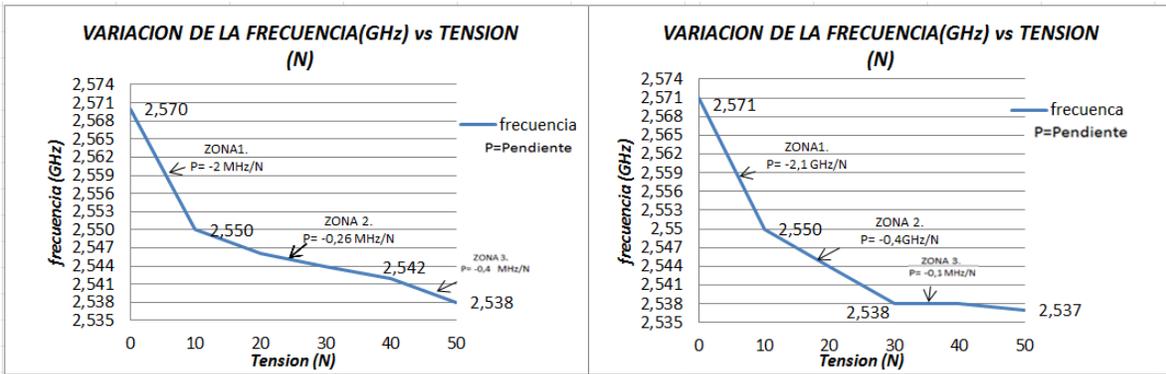


Figura 18. Variación de frecuencia de resonancia obtenida al aumentar el esfuerzo a la antena MEANDERLINE, para las 2 pruebas realizadas.

tension aplicada (N)	Tension (Kg)	tension %	cambio de frecuencia de resonancia (GHz)	desplazamiento de la frecuencia %	tension aplicada (N)	Tension (Kg)	tension %	cambio de frecuencia de resonancia (GHz)	desplazamiento de la frecuencia %
0	0	0	2,570	0	0	0	0	2,571	0
10	1,0197	20	2,550	0,778%	10	1,0197	20	2,550	0,817%
20	2,0394	40	2,546	0,934%	20	2,0394	40	2,544	1,050%
30	3,0591	60	2,544	1,012%	30	3,0591	60	2,538	1,284%
40	4,0789	80	2,542	1,089%	40	4,0789	80	2,538	1,284%
50	5,0986	100	2,538	1,245%	50	5,0986	100	2,537	1,322%

Figura 19. Porcentaje de esfuerzo aplicado y de variación en frecuencia de resonancia a partir de la fuerza aplicada para ambas mediciones realizadas a la antena MEANDERLINE.

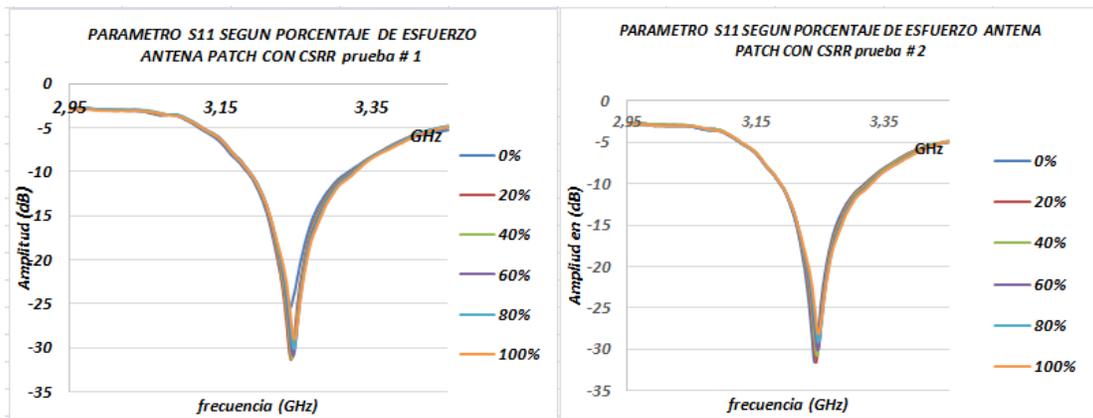


Figura 20. Graficas comparativas de las 2 pruebas de deformación realizadas a la antena patch con CSRR.

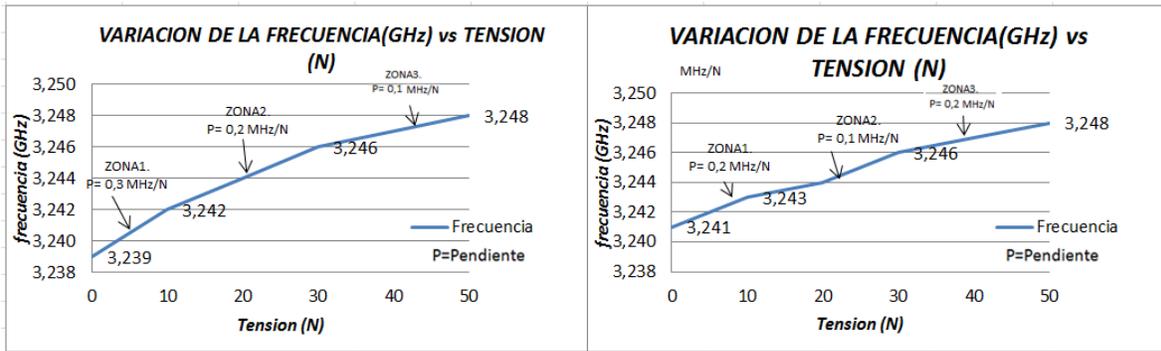


Figura 21. Variación de frecuencia de resonancia obtenida al aumentar el esfuerzo a la antena Patch con CSRR, para las 2 pruebas realizadas.

tension aplicada (N)	Tension (Kg)	tension %	cambio de frecuencia de resonancia (GHz)	desplazamiento de la frecuencia %	tension aplicada (N)	Tension (Kg)	tension %	cambio de frecuencia de resonancia (GHz)	desplazamiento de la frecuencia %
0	0	0	3,239	0	0	0	0	3,241	0
10	1,0197	20	3,242	0,09%	10	1,0197	20	3,243	0,06%
20	2,0394	40	3,244	0,15%	20	2,0394	40	3,244	0,09%
30	3,0591	60	3,246	0,22%	30	3,0591	60	3,246	0,15%
40	4,0789	80	3,247	0,25%	40	4,0789	80	3,247	0,19%
50	5,0986	100	3,248	0,28%	50	5,0986	100	3,248	0,22%

Figura 22. Porcentaje de esfuerzo aplicado y de variación en frecuencia de resonancia a partir de la fuerza aplicada para ambas mediciones realizadas a la antena patch con CSRR.

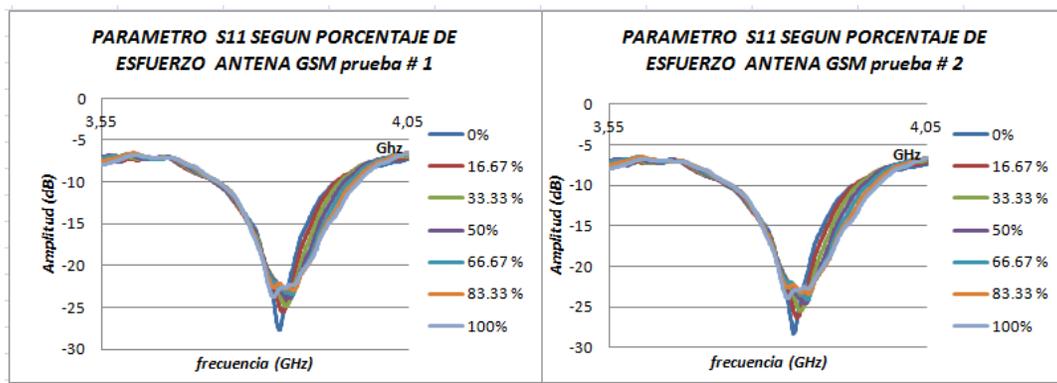


Figura 23. Graficas comparativas de las 2 pruebas de deformación realizadas a la antena GSM.

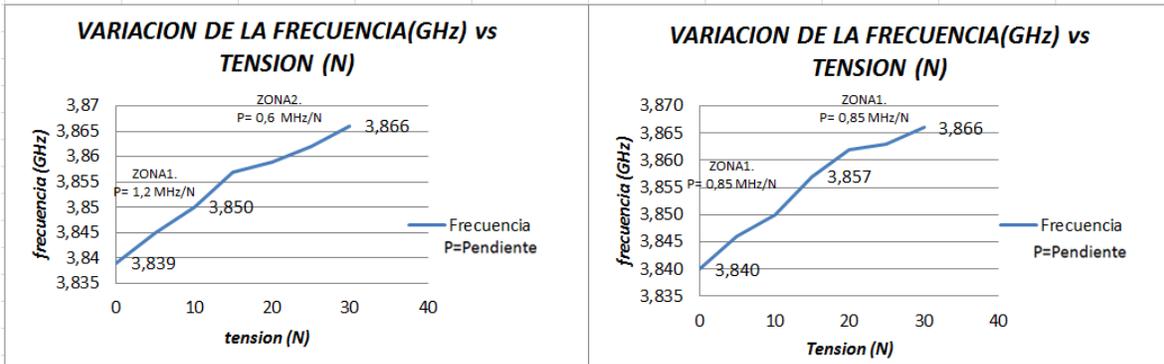


Figura 24. Variación de frecuencia de resonancia obtenida al aumentar el esfuerzo a la antena GSM, para las 2 pruebas realizadas.

tension aplicada (N)	Tension (Kg)	tension %	cambio de frecuencia de resonancia (GHz)	desplazamiento de la frecuencia %	tension aplicada (N)	Tension (Kg)	tension %	cambio de frecuencia de resonancia (GHz)	desplazamiento de la frecuencia %
0	0	0	3,839	100%	0	0	0	3,840	100%
5	0,5099	16,667%	3,845	0,156%	5	0,5099	16,667%	3,846	0,156%
10	1,0197	33,333%	3,850	0,287%	10	1,0197	33,333%	3,850	0,260%
15	1,5296	50,000%	3,857	0,469%	15	1,5296	50,000%	3,857	0,443%
20	2,0394	66,667%	3,859	0,521%	20	2,0394	66,667%	3,862	0,573%
25	2,5493	83,333%	3,862	0,599%	25	2,5493	83,333%	3,863	0,599%
30	3,0591	100%	3,866	0,703%	30	3,0591	100%	3,866	0,677%

Figura 25. Porcentaje de esfuerzo aplicado y de variación en frecuencia de resonancia a partir de la fuerza aplicada para ambas mediciones realizadas a la antena GSM.

Discusión

No se puede decir que la variación es lineal ya que no varía en la misma proporción que se le aplica la tensión.

A partir de las mediciones realizadas se obtuvo una disminución en frecuencia de resonancia del 1.24 % al aplicarle 50 N a la antena MEANDERLINE, mientras que la antena con CSRR presento un aumento de frecuencia del 0.28 % al aplicarle 50 N y la antena GSM aumentó la frecuencia en un 0.49 % al aplicarle 30 N, cabe resaltar que las fuerzas aplicadas fueron diferentes ya que todas las antenas no soportaban el mismo esfuerzo. Para obtener estos resultados se utilizó el analizador de redes del cual se obtuvo el parámetro S11 en cada medición y los resultados fueron trazados en gráficos realizando 2 pruebas por antena para obtener una mejor credibilidad en las mediciones.

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

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Los resultados experimentales demuestran que al deformar tres diferentes antenas de microcinta, la frecuencia de resonancia se altera en algún porcentaje, lo que sirve de punto de partida para el desarrollo de sensores de esfuerzo a partir de antenas de microcinta, para ser usados en el monitoreo de salud estructural y diferentes aplicaciones.
- La razón y la dirección hacia la cual se desplaza la frecuencia de resonancia no es igual en todas las antenas y, cada una puede presentar una razón de desplazamiento diferente a las demás dependiendo de las características propias de esta, como materiales medidas y diseño.
- Para el caso de estudio se deformaron antenas con baquelita y FR4 que además de ser el dieléctrico es la base de la antena; se concluye que aunque hay variación en frecuencia de resonancia, este aislante es muy rígido y afecta notablemente el porcentaje de variación de la frecuencia de resonancia, por lo tanto este trabajo da pie para la realización de el mismo análisis con materiales más flexibles como dieléctrico y, también se pueden usar otros tipos de conductores para los parches radiantes, que por sus características provean una mayor variación en la frecuencia de resonancia.

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

REFERENCIAS

Balanis, C. A. (2005). *ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN*. (WILEY-INTERSCIENCE, Ed.) (tercera ed). canadà.

Colombo, I. J. C. (2012). Medición de Parámetros de Dispersión “ S ,” 1–38.

Máquina para ensayo de tracción y torsión, Ensayos de compresión. (n.d.). Retrieved January 18, 2017, from <http://testersupply.es/13-tensile-torsion-testing-machine.html>

Muñoz Diaz, E. E. (2002). Estudio de las causas del colapso de algunos puentes en Colombia. *Ingeniería Y Universidad*, 6(1), 33–48. Retrieved from http://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/estudio_causas_colapso_algunos_puentes.pdf

Neri Vela, R. (1999). *Lineas de transmision*. (McGRAW-HILL, Ed.) (Pimera). Mexico, D.F.

Qian, Z., Tang, Q., Li, J., Zhao, H., Zhang, W., & Principle, a. (2012). Analysis and Design of a Strain Sensor based on a Microstrip Patch Antenna, (2), 3–5.

Wang, W., Liu, T., Ge, H., & Liu, M. (2015). Strain measurement based on microstrip patch antennas. *2015 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2015–May*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/RAMS.2015.7105200>

MODALIDAD TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 146
PRODUCTO OBTENIDO EN TALLERES O LABORATORIOS DEL ITM		Versión	02
Registro de actividades y cumplimiento de horas / Talleres o Laboratorios de DOCENCIA		Fecha	2015-09-30
Documento de Identidad: 1'128.464.384			
Nombre completo del estudiante: LUIS GONZALO MEJIA ALZATE			
Programa académico ITM: INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES			
Nombre completo del Docente Asesor: FRANCISCO EUGENIO LOPEZ			
Fecha de iniciación del producto (aaaa/mm/dd): 01/08/2016		Fecha de terminación del producto (aaaa/mm/dd): 30/11/2016	
Nombre Taller o Laboratorio: OPTICA FOTONICA Y VISION ARTIFICIAL			
Ubicación: SOTANO 2 LABORATORIO N 9811			
Campus: FRATERNIDAD MEDELLIN			

Fecha		Actividad desempeñada por el estudiante	Hora ingreso	Hora salida	Total horas	Firma Laboratorista	Firma Estudiante
A	M D						
16	08 9	Inducción laboratorio	2:30	4:30	2	[Firma]	Luis Gonzalo Mejia
16	08 11	Consultas bases de datos ITM	2:30	4:30	2	[Firma]	Luis Gonzalo Mejia
16	08 16	Consultas bases de datos ITM	2:30	4:30	2	[Firma]	Luis Gonzalo Mejia
16	08 18	Socialización y asesoría Consultas	2:30	4:30	2	[Firma]	Luis Gonzalo Mejia
16	08 23	Revisión equipos laboratorio	2:30	4:30	2	[Firma]	Luis Gonzalo Mejia
16	08 25	Consultas Bases de Datos ITM	3:00	5:00	2	[Firma]	Luis Gonzalo Mejia
16	08 30	Selección de Diseños de Antenas	3:00	5:00	2	[Firma]	Luis Gonzalo Mejia
16	09 01	Construcción de Antena Meanderline	2:00	4:00	2	[Firma]	Luis Gonzalo Mejia
16	09 06	Construcción de Antena Meanderline	2:00	4:00	2	[Firma]	Luis Gonzalo Mejia
16	09 08	Capacitación Manejo Analizador de	3:30	5:30	2	[Firma]	Luis Gonzalo Mejia

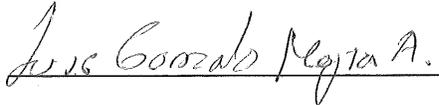
160913	Capacitación uso analizador de ondas	2:00	4:00	2	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
160915	Capacitación de antenas	2:00	4:00	2	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
160927	Visita al laboratorio de Materiales	3:00	5:00	2	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
160929	Capacitación Máquina de tracción	2:30	4:30	2	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
160904	Montaje Previo en el laboratorio	3:00	5:00	2	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
160906	Verificación Implementos necesarios	3:00	5:00	2	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
160911	Experimento Previo	3:00	5:00	2	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
161013	Pruebas Experimentales	3:00	5:00	2	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
161018	Pruebas Experimentales	12:00	5:00	5	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
161020	Pruebas Experimentales	12:00	5:00	5	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
161025	Pruebas Experimentales	2:00	5:00	3	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
161027	Análisis de Resultados	1:00	5:00	4	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
161108	Análisis de Resultados	12:00	5:00	5	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
161110	Análisis de Resultados	12:00	5:00	5	Luís Gonzalo Mejía	Luís Gonzalo Mejía
TOTAL HORAS						63

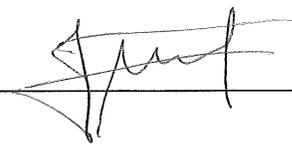
Luís Gonzalo Mejía Alzate
Firma Estudiante

Francisco Lopez
Nombre y firma Laborantista

Nombre y firma Profesional Universitario - Centro de Laboratorios

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

FIRMA ESTUDIANTES	

FIRMA ASESOR	

	FECHA ENTREGA: <u>02/03/2017</u>

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: _____