

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

DISEÑO DE SISTEMA DE TRACCIÓN MECÁNICA PARA LA DEFORMACIÓN Y ANÁLISIS DE CAMBIOS EN EL PARAMETRO S11 DE ANTENAS PATCH.

Renzo Walter Pérez Marín

Ingeniería en Telecomunicaciones

Director de trabajo de grado

Francisco López

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Medellín 18 de agosto de 2016

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

RESUMEN

Desarrollos actuales en el diseño y fabricación de sistemas de monitoreo para la detección de agrietamientos y deformaciones en estructuras fabricadas para beneficio humano en el campo de la industria civil y aeroespacial, han generado necesidades de avance en la investigación y desarrollo de sistemas de monitoreo inalámbricos, debido a la complejidad y costo de los sistemas actuales, que dependen de cableados y fuentes de energía para su funcionamiento, limitando así su uso y elevando el costo de instalación, que en algunos casos es necesario intervenir físicamente la estructura para la instalación de galgas extensiométricas y sensores de fibra óptica, afectando en cierta manera la estructura misma.

Este proyecto tiene como alcance el diseño y la fabricación de un sistema de tracción mecánica, para la simulación de diferentes porcentajes de tensión aplicados a varias antenas Patch y de esa forma poder analizar el comportamiento del parámetro S11 de antenas microcinta o antenas Patch sometidas a un esfuerzo mecánico.

Dichos sensores al ser deformados por tracción mecánica, surgen cambios significativos en el parámetro S11, dicho cambio es utilizado para determinar el porcentaje de deformación de estructuras en el campo de la industria civil y aeroespacial,

En este proyecto se analizarán varias antenas Patch; antes y después de la deformación mecánica, para determinar cuáles es el cambio del parámetro S11 y la variación en la frecuencia de resonancia de la antena, dicho cambio será visualizado en un analizador de redes vectorial.

El proyecto es de carácter investigativo, enfocado en sensores pasivos basados en antenas microcinta, incorporados al monitoreo de la salud estructural aplicada a la industria civil y aeroespacial, con el objetivo de investigar las variaciones del parámetro S11 y la frecuencia de resonancia frente a diferentes porcentajes de tensión simulados en la prensa mecánica diseñada en este proyecto.

El cambio de forma de las superficies de las antenas, hace variar la frecuencia de resonancia característica de la antena, dicho cambio se podría utilizar para determinar los cambios físicos de una estructura y la detección de daños en SHM (Structure Health Monitoring), según los autores de las investigaciones citadas en este proyecto.

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

Palabras clave:

Sensores de deformación

Equipos de deformación

Antena de microcinta.

Monitoreo de salud estructural

Sensores pasivos.

Frecuencia de resonancia

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

RECONOCIMIENTOS

En primer lugar dar las gracias a mi tutor Francisco López, por toda la ayuda que me ha brindado en el desarrollo de este trabajo de grado; su disposición e interés en enseñar y todos aquellos conocimientos fueron indispensables para completar este proyecto.

Igualmente agradezco al Instituto Tecnológico Metropolitano, por la formación profesional durante todos estos años.

Asimismo, agradezco a la línea de investigación de Visión Artificial y Fotónica del grupo de investigación Automática, Electrónica y Ciencias Computacionales del Instituto Tecnológico Metropolitano; especialmente, al estudiante de maestría Oscar David Ossa Molina, por toda la colaboración y la ayuda en la toma de medidas y análisis de resultados.

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

ACRÓNIMOS

SHM Monitoreo de la salud estructural

RFID Identificación de la Frecuencia de Radio.

VNA Analizador vectorial de redes

CMPA Antena tipo parche circular

Fr Frecuencia de resonancia

RF Frecuencia de radio o radiofrecuencias

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

TABLA DE CONTENIDO

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

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

1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil y mecánica, y la industria aeroespacial desarrollan estrategias para la identificación y prevención de fallos y/o zonas de deterioro en las estructuras que implementan en sus aplicaciones. Para la identificación de esfuerzos, sobrecargas, zonas de deterioro y otras afectaciones físicas sobre las estructuras, se implementan los sistemas de Monitoreo de Salud Estructural SHM. Los sistemas SHM son utilizados para la detección de agrietamientos, deformaciones y esfuerzos en estructuras; estas afectaciones se relacionan con los diferentes tipos de esfuerzos debido a las cargas soportadas. El propósito de los sistemas SHM es detectar las posibles zonas de fallo y estimar el tiempo de vida restante de las estructuras, y así, prevenir accidentes fatales. Si se conoce la capacidad de la estructura, se podría determinar si un esfuerzo identificado está dentro del rango de tolerancia, y de esta forma, evitar accidentes o crear alertas (Murayama, 2015)

Edificios, puentes, túneles, carreteras y demás infraestructuras civiles cumplen un papel estratégico para el desarrollo de las actividades comerciales y el progreso de las naciones. Al respecto, el departamento de transporte de los Estados Unidos anuncia mediante un informe la falta de cuidado estructural de los puentes de este país y las consecuencias que esta acción conlleva; de los 600.000 puentes del país, alrededor del 27 % fueron diagnosticados como estructuralmente deficientes u obsoletos (American Society of Civil Engineers 2009). Por otro lado, la industria Aeroespacial ha introducido los sistemas SHM en los requerimientos de la construcción de aeronaves; para esta industria el nivel de estrés es un parámetro esencial que determina la condición general de los vehículos (Daliri, 2011)

En los últimos años se ha investigado y desarrollado sistemas de monitoreo basados en Antenas tipo parche, con el propósito de introducirlos dentro de los sistemas SHM. Las antenas tipo parche son estructuras de microondas generalmente usadas para el envío y/o recepción de información en las telecomunicaciones. Estructuralmente, una antena de microcinta consta de dos capas conductoras planas, generalmente de cobre, y un sustrato dieléctrico entre las capas conductoras. Existen propuestas sobre antenas tipo parche como dispositivos de sensado de deformación en estructuras y la viabilidad de su uso en los sistemas SHM (Thai et al., 2011).

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

Objetivo General

Diseñar y construir un sistema de tracción mecánica para evaluar los cambios en el parámetro S11 de antenas Patch.

Objetivos específicos

1. Identificar estudios previos en medición de las respuestas al parámetro S11 de una antena Patch sometida a tracción mecánica.
2. Diseño y construcción de un sistema de tracción mecánica de 3 puntos de contacto para deformar las antenas Patch.
3. Prueba experimental y análisis de las respuestas al parámetro S11 de las antenas tipo Patch sometidas a tracción mecánica.

Organización de la tesis

Este proyecto de investigación se desarrolla en cuatro capítulos:

Marco Teórico

Se introduce los conceptos teóricos en los que ésta tesis presenta sus argumentos. Aquí se explica de forma detallada el que y para que, de los Sistema de Monitoreo de Salud Estructural, las Antenas de Microcinta y tipos de esfuerzo y deformación.

Metodología

La Metodología relata el cómo y las técnicas utilizadas para cumplir cada uno de los objetivos específicos. En general es un paso a paso detallado del diseño, construcción y validación de del sistema de tracción mecánica; usado para analizar los cambios en las perdidas por retorno S11, de una antena de microcinta, debido a la deformación aplicada.

Resultados y Discusión

Resultados y Discusión presentan el diseño y el prototipo de la maquina aquí desarrollada, y el análisis de los cambios en las frecuencia de resonancia debido a las deformación

Conclusiones, Recomendaciones y Trabajo Futuro

Se hace una evaluación de los objetivos planteados en coherencia con los resultados obtenidos, también, se sugiere recomendaciones sobre la metodología empleada y posibles temas de investigación a futuro.

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

2. MARCO TEÓRICO

Sistemas de monitoreo de salud estructural - SHM

El ser humano, en su vida cotidiana se beneficia de los avances tecnológicos y, a su vez, de los nuevos servicios que estos generan en temas de transporte, vivienda, salud, alimentación, entre otros. En el caso particular de las industrias civil, mecánica y aeroespacial; las estructuras empleadas en sus aplicaciones requieren de sistemas de control sobre sus condiciones físicas para conocer el estado general y tiempo de vida estimado de las estructuras. Los Sistemas de Monitoreo de Salud Estructural se implementan para medir las condiciones físicas de estructuras en operación y, así, garantizar un buen servicio y la seguridad e integridad del ser humano.

En SHM se utiliza diversos sensores para adquirir la información física relacionada con la tensión y temperatura en los sistemas que monitorean. Uno de los sensores más utilizados en el área son los basados en las galgas extensiométricas, este método de sensado garantiza precisión en la medida y la posibilidad de utilizar arreglos de sensores para obtener mejor precisión y la orientación de las fuerzas que ejercen las deformación en las estructuras (McDonald, 2008).



Figura 1. Sistemas de monitoreo de salud estructural en aeronaves Airbus (Bockenheime & Speckman, 2013)

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

La figura 1 es una extracción de un reporte de la empresa AIRBUS; que presenta algunas de las ventajas de implementar soluciones en sistemas SHM. La imagen describe una red de sensores, de primera hasta tercera generación. Donde las capacidades del sistemas aumentan a medida que se incrementa la generación; por ejemplo, la generación 0 comprende evaluación estructural y un confiable análisis de estructuras; la generación 1 comprende servicios de monitoreo fuera línea y mantenimiento; la generación 2 proporciona servicios de monitoreo en línea y control de peso de las estructuras; y la generación 3 ofrece un servicio integral de sensores, mantenimiento, control de peso de las estructuras, y control de calidad. (Bockenheime & Speckman, 2013)

Otro método investigado y relacionado con el monitoreo de la salud estructural es la medición de la impedancia electromecánica (Palomino, Jr, Mendes, & Neto, 2011). Aquí, se propone un experimento de análisis de una estructura aeronáutica, a la cual se le adhiere, usando remaches, una biga de aluminio. Hay cinco pastillas piezoeléctricas (PZT) distribuidas y monitoreando la estructura, se toman muestras antes y después de quitar un remache y se encuentra que, debido a esto, hay cambios en la resistencia electromecánica.

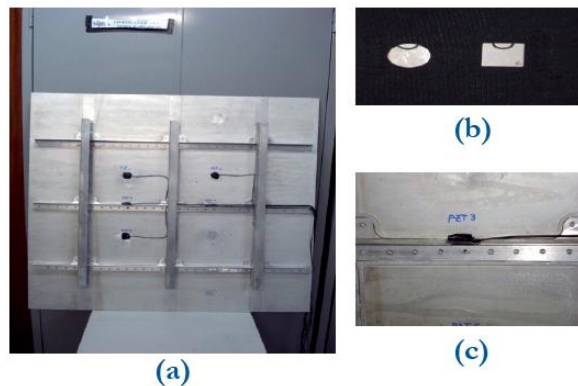


Figura 2. Implementación experimental de medición de resistencia electromecánica en SHM. a) Panel aeronáutico; b) Pastillas PZT; c) Daño

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

Antenas de microcinta

Las microcintas son las líneas de transmisión que permitieron el avance de la microelectrónica hacia desarrollo de circuitos de gran precisión y con señales trasportándose con frecuencia del orden de las microondas. Una variación de las microcintas son las Antenas de Microcintas, conocidas en el ámbito de las comunicaciones en aplicaciones como telemetría, radares militares y comunicaciones satelitales, además, poseen ventajas como su fácil elaboración, bajo costo y adaptabilidad (Vela, 1988). La figura 3 muestra una antena de microcinta rectangular

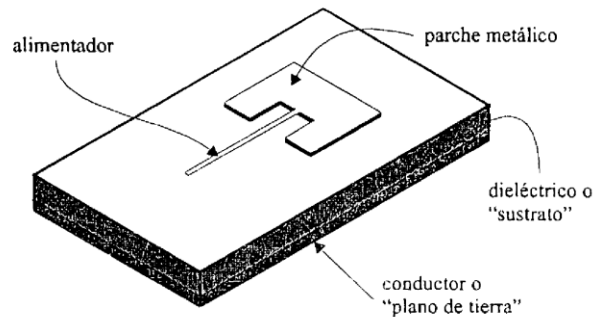


Figura 3. Antena de microcinta rectangular (Vela, 1988)

Una antena de microcinta está compuesta de dos capas conductoras y un material dieléctrico entre ellas. Las antenas de microcinta rectangulares tiene por parámetros: la longitud L y ancho W del conductor de su parte superior, además, el valor de permitividad eléctrica del material y su espesor h . Un aspecto importante en el diseño de este tipo de antenas es el efecto conocido como "fringing effect", la existencia de este efecto hace la longitud efectiva de la antena sea un poco más grande que la longitud nominal (física).

En 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.

Modelos de análisis de antenas de microcinta - Línea de transmisión

El modelo de una antena de microcinta como una línea de transmisión es una aproximación empírica, el más fácil desde el punto de vista analítico y , como consecuencia, es poco preciso y versátil.(Balanis, 2005)

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

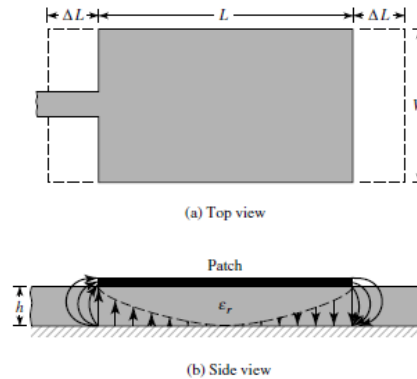


Figura 4. Efecto fringing y longitud efectiva de una antena de microcinta. (Balanis, 2005)

La figura 4 representa las vistas superior y trasversal de una antena de microcinta. De esta imagen se infiere dos fenómenos consecuencia del efecto fringing y que se deben tener en cuenta para analizar una antena de microcinta. El primero es el aumento en la longitud del parche radiante ΔL . Y el segundo es la propagación de la onda en dos materiales (el aire y el dieléctrico), que da lugar a la permitividad efectiva ϵ_{reff}

La permitividad efectiva y el aumento de la longitud del parche son parámetros a tener en cuenta para el análisis bajo el modelo de línea de transmisión. A continuación se enumeran los pasos para el diseño de una antena bajo éste modelo de análisis.

1. Se considera que los parámetros ϵ_r , f_r y h son conocidos
2. Se calcula la extensión de longitud ΔL y permitividad efectiva ϵ_{reff}

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

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

3. Se encuentra el ancho del parche W

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

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

4. Se encuentra la longitud física del parche L

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

5. Se encuentra la frecuencia de resonancia de la antena

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

Coefficiente de reflexión - S11

Para analizar dispositivos lineales o unidades de medida DUT de dos puertos, se tiene que hacer mediciones en diferentes condiciones y calcular un conjunto de parámetros, relacionados con cada uno de los puertos involucrados. Los parámetros se relacionan con cuatro variables, dos variables se vinculan con la excitación a la red y las dos restantes con la respuesta de la red a dicha excitación. Existen los parámetros H, Y, Z; útiles para caracterizar redes de puertos a bajas frecuencia; para esto, hacen corto circuito y circuito abierto en los puertos de la red y miden voltaje total o corriente como una función de la frecuencia en los nodos de entrada o salida del dispositivo (Colombo, 2012)

Para altas frecuencia es práctico caracterizar las redes de puertos con los parámetros de dispersión (s – parameters), debido que en RF hay dificultad para hacer cortocircuito o circuito abierto; los cortocircuitos pueden generar comportamientos capacitivos o inductivos y los circuitos abiertos puede generar efectos de radiación.

Los parámetros de dispersión representan los coeficientes de transmisión y reflexión entre las ondas incidente y reflejada; relacionando variables como pérdidas por retorno, R.E.O e impedancias, y ganancias o pérdidas, atenuación y coeficiente de transmisión, respectivamente. Además, describen completamente el funcionamiento de dispositivos bajo condiciones lineales y un rango de frecuencia definido. Cada parámetro se caracteriza por: la magnitud, ganancias, pérdidas y fase. Se debe tener en cuenta que los parámetros de dispersión cambian con la frecuencia a la que se miden, por lo tanto, es necesario especificar el valor de la frecuencia para cualquier medición (Colombo, 2012).

Las ondas de voltaje incidente y reflejado en un puerto de la red se definidos en términos del voltaje en el puerto, la corriente y la impedancia de referencia

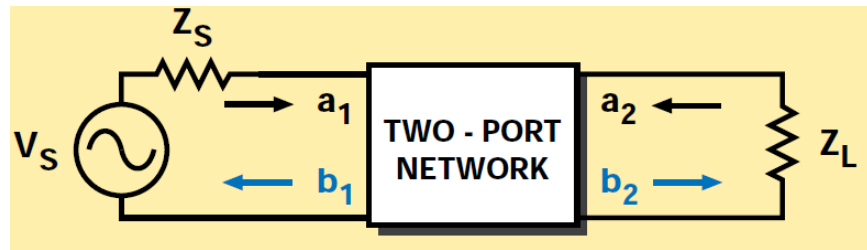


Figura 5 red de dos puertos y las ondas incidente (a_1 , a_2) y reflejada (b_1 , b_2). Además, muestra la fuente de voltaje V_s , la carga en el voltaje Z_s y la carga al final Z_L . Tomada de (Anderson, Smith, & Gruszynski, 1996)

$$b_1 = S_{11} a_1 + S_{12} a_2 \quad (6)$$

$$b_2 = S_{21} a_1 + S_{22} a_2 \quad (7)$$

El coeficiente de reflexión S_{11} , es considerado como una cantidad que representa las pérdidas, en el puerto 1, con relación a las señales normalizadas incidente a_1 y reflejada b_1 . Para conocer su valor es necesario configurar $a_2 = 0$ y terminar Z_L en una carga exactamente igual a Z_0

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{\frac{v_1}{I_1} - Z_0}{\frac{v_1}{I_1} + Z_0} = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1} \quad (8)$$

Siendo $a_2 = 0$, $Z_L = Z_0$ y $Z_1 = \frac{v_1}{I_1}$ (impedancia de entrada en el puerto 1)

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

3. METODOLOGÍA

Etaapa 1. Estudios previos en medición de la respuesta al parámetro S11 de una antena Patch sometida a tracción.

El componente investigativo de los procedimientos, técnicas y equipos usados para la deformación de antenas tipo parche y la medición del corrimiento de la frecuencia de resonancia, fue desarrollado de forma sistemática y consultado en las bases de datos adscritas a la institución. Se realizó una lectura rápida, como primer filtro, y una exhaustiva sobre los artículos relevantes; permitiendo una visión panorámica de la investigación y la elección del mejor camino, desde el punto de vista de la metodología planteada, para alcanzar los objetivos propuestos.

El Instituto Tecnológico Metropolitano tiene adscrito algunas de las bases de datos científicas. Entre éstas y las relacionadas con el campo de la ingeniería, fueron usadas las siguientes bases de datos: IEEE Xplore, Scopus, Science Direct y MDPI.

Las palabras claves del proceso de documentación e investigación se encontraron en los términos relacionados y con más recurrencia en los artículos de interés. Palabras relacionados con el objeto de estudio:

1. Deformación
2. Antenas de microcinta
3. Sensores de deformación
4. Frecuencia de resonancia

Igualmente, se realizó el análisis de varios mecanismos de deformación consultados en páginas de Internet.

En los laboratorios de pruebas de materiales para la construcción del Instituto Tecnológico Metropolitano Campus Robledo, especialmente de la prensa Marca Shimadzu utilizada en la medición de resistencia de materiales en el laboratorio de Materiales Poliméricos campus Fraternidad, también se encontraron pautas muy relevantes para el diseño de dicho dispositivo.

Las contribuciones de los artículos científicos, información de internet y los modelos de máquinas de tracción usadas en el laboratorio de materiales del ITM, permitieron consolidar la idea del diseño de la máquina de deformación de antenas tipo parche fabricada en este proyecto.

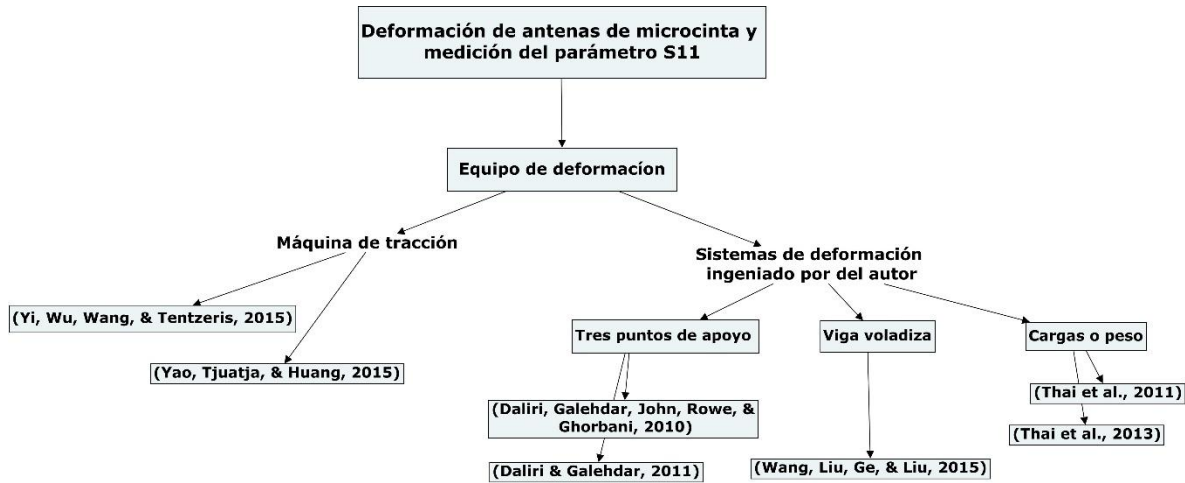


Figura 6. Estudios previos de la deformación de antenas de microcinta y medición del parámetro S11.

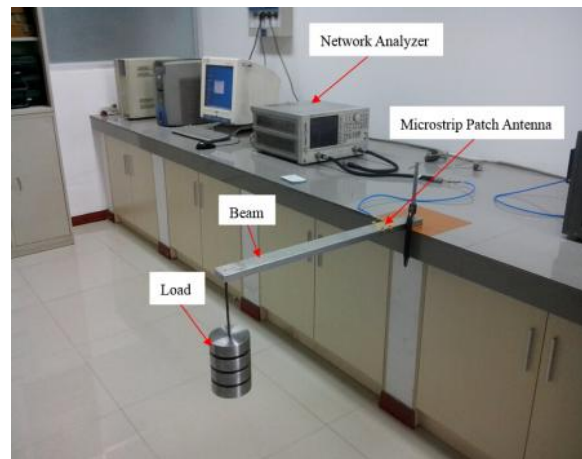


Figura 7. Sistema de deformación usando una viga voladiza.(Wang, Liu, Ge, & Liu, 2015)

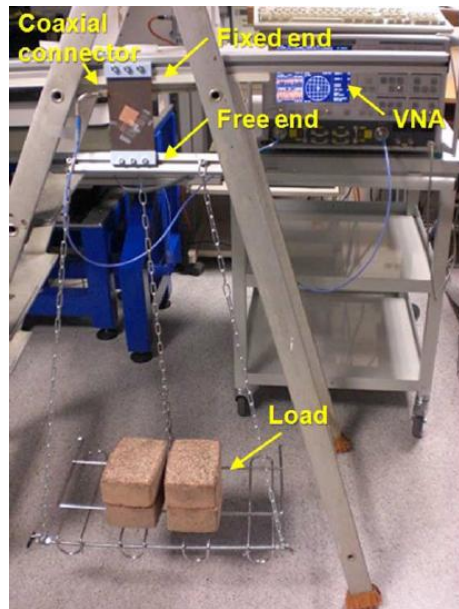


Figura 8. Sistema de deformación usando pesos o cargas (Thai et al., 2013)

Etapas 2. Diseño y construcción de un sistema de tracción mecánica de 3 puntos de contacto

En esta etapa se diseñó varios prototipos de prensa mecánica para la deformación de antenas tipo parche, con base en la información preliminar; de los cuales se escogió el diseño más sencillo de fabricar y más viable en tema de costo y con mejor resultado en la deformación de las antenas.

Diseño preliminar

La figura 9 muestra un primer diseño ideado para la construcción de la máquina de tracción. Este diseño fue descartado por su complejidad en la fabricación, justificada por el número de piezas, número de acoples mecánicos y costos de la mano de obra.

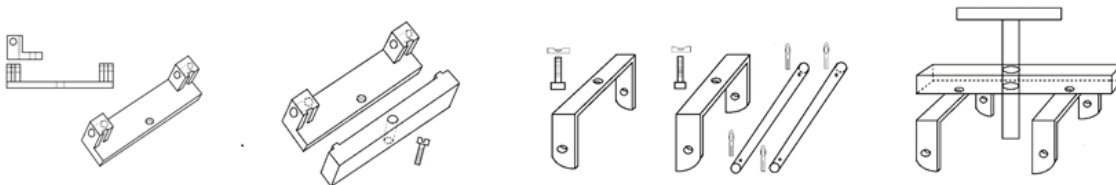


Figura 9. Diseño preliminar de la máquina de tracción.

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

Diseño seleccionado

La selección de este diseño se realizó de acuerdo con la funcionalidad, fácil fabricación y menor costo, como se describe a continuación:

- **Funcionalidad:** debido a su sencillo diseño y los tres puntos de apoyo, el dispositivo cuenta con la facilidad de deformar antenas de microcinta diseñadas con cualquier sustrato dieléctrico. Aplicando fácilmente la fuerza en la parte superior del eje, fuerza transmitida y amplificada en la celda de carga.
- **Fácil Fabricación:** la prensa fue fabricada en material metálico, formando un arco con platinas de 1 cm de espesor y 25 cm de altura, su base fue fabricada en material aislante para evitar posibles contactos de la microcinta de la antena con su polo a tierra.
- **Su método de medición,** es basado en una celda de carga de 7 Kgf, el cual envía el dato en forma digital a una pantalla digital, estos elementos fueron extraídos de una balanza electrónica comúnmente utilizada para pesar alimentos.
- **Menor Costo:** los materiales usados son de fácil acceso y económicos.

Construcción

El dispositivo mecánico consta de una torre de hierro (a), con una base en teflón (b) y un tornillo roscado (c) acoplado en la parte superior con una palanca (d) encargada de girar dicho tornillo, aplicando fuerza en el otro extremo del tornillo, el cual tiene instalado una celda de carga (e) que sirvió para medir la fuerza aplicada directamente al material, valor mostrados en la pantalla digital; y los soportes (f). La figura 10 muestra cada una de las partes del dispositivo descritas anteriormente.

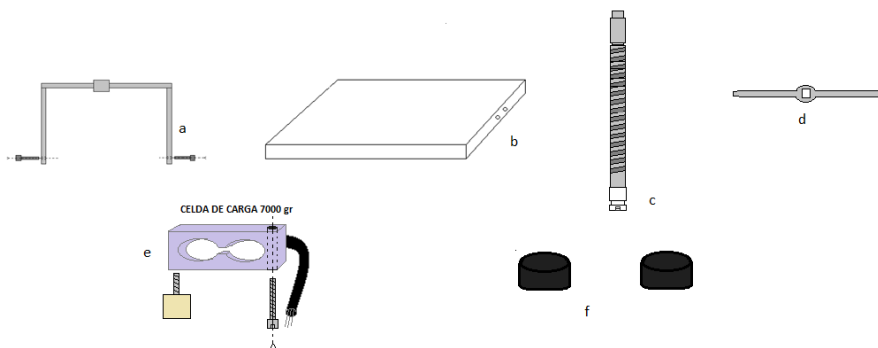


Figura 10. Piezas del diseño del sistema de tracción mecánica

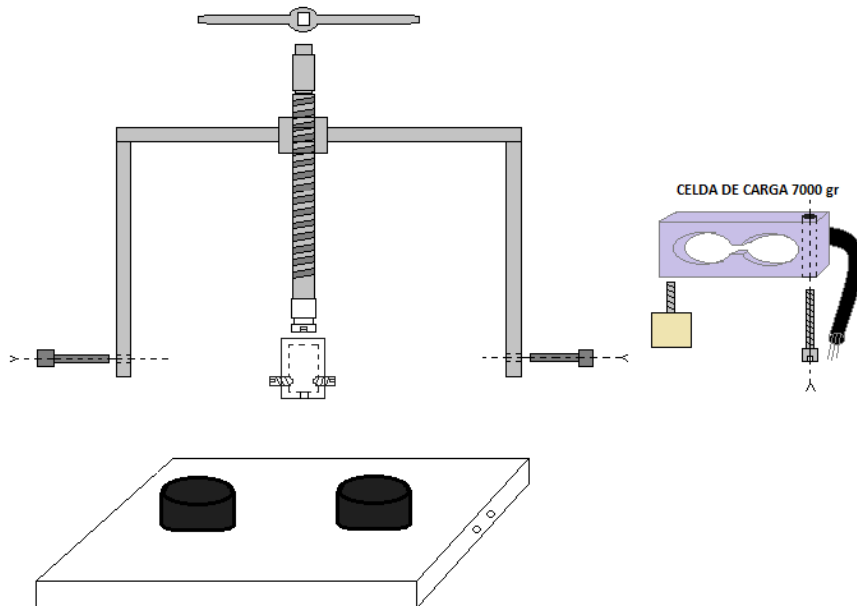


Figura 11. Sistema de tracción mecánica acoplado

Etapas 3. Evaluación experimental

Antenas de microcinta

Para la evaluación de las pruebas experimentales de la máquina de tracción, se deformaron dos antenas de microcinta rectangulares de diferentes características. En la tabla 1 se describe las características de las antenas 1 y 2, como se hará referencia a estas antenas en lo que resta del texto.

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

Antena 1		Antenas 2 (con modificaciones en el parche radiante)	
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Material	FR 4	Material	Duroid 6010 Im
Contante dieléctrica	4.7	Contante dieléctrica	10.2
Longitud	101 mm	Longitud	19.2 mm
Ancho	101 mm	Ancho	17.70 mm

Tabla 1. Parámetros característicos de las antenas usadas y sus sustratos dieléctricos



Figura 12. Antenas de microcinta para la evaluación experimental. a) Antena 1. b) Antena 2

Las características de las láminas de material dieléctrico, usadas en las antenas 1 y 2, son proporcionadas por sus fabricantes. El anexo 1 y el anexo 2 corresponden las hojas de datos de las láminas de FR4 y Duroid 6010Im respectivamente.

Para la antena 1, se puede encontrar su frecuencia de resonancia fundamental usando las formulas del modelo de línea de transmisión. Encontrando el valor de permitividad efectiva, se tiene:

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

$$\epsilon_{ref} = 4.5$$

$$\Delta_L = 0.78 \text{ mm}$$

$$f_{r(010)} \sim 681. \text{ MHz}$$

Para la antena 2, el modelo de línea de transmisión no funciona correctamente debido a las tres ranuras al extremo de la longitud del parche radiante, éstas le dan un comportamiento desconocido a esta antena. Se podría conocer la frecuencia de resonancia de la antena 2 usando un modelo de onda completa.

Por otro lado, los conectores usados en las antenas son los Sub-milimeter tipo A, comercialmente conocidos como SMA. Los SMA son diseñados para funcionar en frecuencia de las microondas, sin embargo, existen diferencias en su rango de funcionamiento entre algunas referencias comerciales. Los utilizados en esta evaluación experimental tiene un rango de operación hasta 12 GHz.

Montaje experimental

El montaje del experimento se realizó en los laboratorios de la línea de investigación de Visión Artificial y Fotónica del ITM.

La figura 13 describe los equipos e insumos utilizados para la evaluación de la máquina de tracción aquí desarrollada.

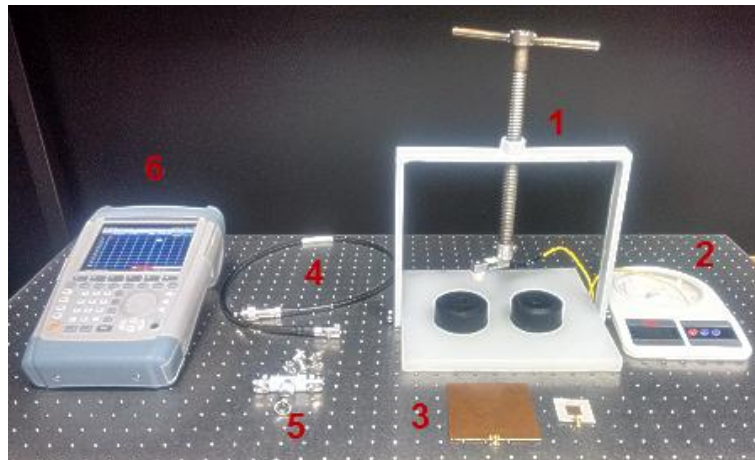


figura 13. Montaje experimental

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

1. Máquina de tracción: herramienta que ejerce la deformación sobre las antenas de microcintas.
2. Validador de peso: existe una celda de carga en el extremo, donde se concentra la fuerza, de la maquia de tracción; celda conectada a un display digital que indica el peso ejercido. Dos botones permiten, encender y apagar el validador, y configurar la salida en la pantalla en gramos u onzas.
3. Antenas de microcintas: dispositivos deformados: serán monitoreadas sus frecuencias de resonancia en relación con la deformación, por medio del estudio del parameto S11.
4. Cable de prueba: es un tramo de línea de transmisión que sirve como interfaz entre el VNA y la unidad de medida DUT; en este de caso de estudio, 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.
5. Calibrador: herramienta utilizada para calibrar el VNA. Tiene tres puertos roscados: la carga de 50 ohmio, la carga abierta y el corto circuito; estos puertos se utilizan en la secuencia de pasos del proceso de calibración del VNA.
6. El VNA es utilizado para monitorear la frecuencia de resonancia de la antena antes y después de la deformación.

Calibracion del intrumento - 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 meida, 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 1 y 2.

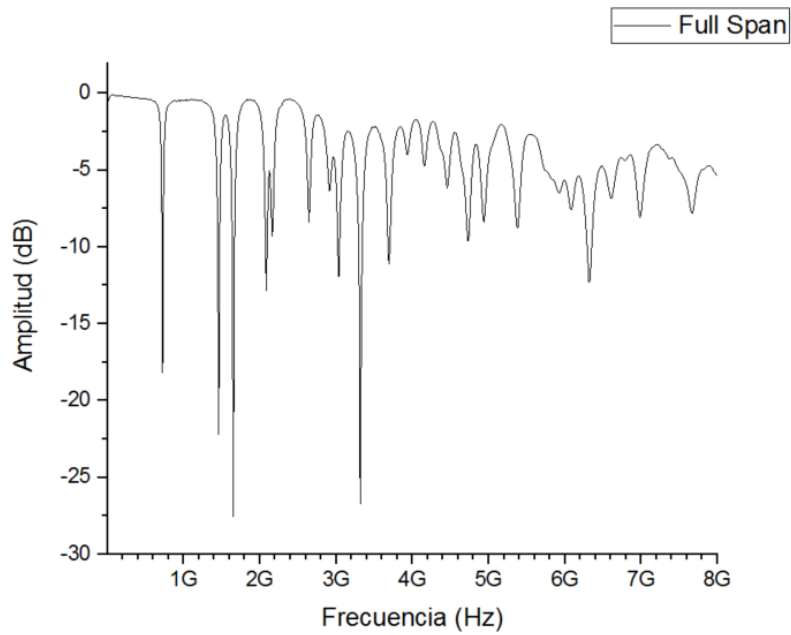


Figura 14. perdidas por retorno S11 de antena 1.

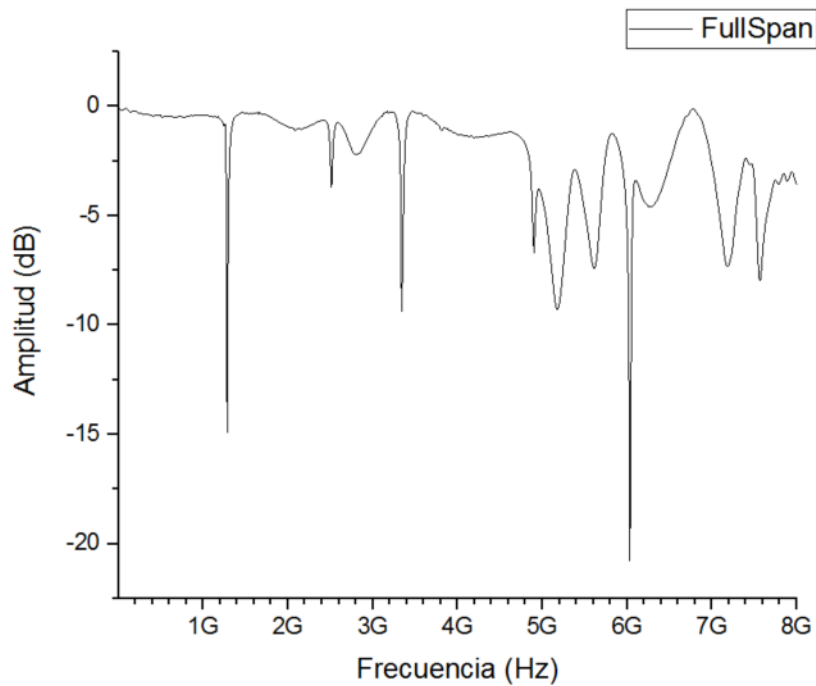


Figura 15. perdidas por retorno S11 de antena 2.

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

Se debe configurar el analizador de redes de acuerdo con las frecuencias de interés. La tabla 2 muestra los valores de frecuencia de resonancia medidos en cada antena y los parámetros de configuración del VNA, acorde con las respuestas del coeficiente de reflexión de las dos antenas, mostrado en las figuras 14 y 15.

Después de que el equipo esté calibrado, se deben mantener constantes estos valores para que las medidas tomadas sean precisas.

A continuación se describe los volos usados para la calibración del VNA en las pruebas experimentales.

Antena	Frecuencia de interés		Span	Amplitud
Antena 1	Punto 1	715 MHz	500 MHz	50 dB
	Punto 2	1.45 GHz	300 MHz	50 dB
Antena 2	Punto 1	1.27 GHz	500 MHz	50 dB
	Punto 2	3.29 GHz	500 MHz	50 dB

Tabla 2. Puntos de frecuencia de interés y parámetros de configuración del VNA.

Validación

La evaluación experimental de los cambios en la frecuencia de resonancia de las antenas 1 y 2 debido a una deformación se realizó así:

1. Para la antena 1, se estudió los cambios en frecuencia para los puntos 1 y 2: 715 MHz y 1.45 GHz respectivamente.
2. Para la antena 2, se estudió los cambios en frecuencia para los puntos 1 y 2: 1.27 GHz y 3.29 GHz respectivamente.

1. Antena 1

Primero, la antena 1 fue puesta a prueba. Los bordes laterales de la antena se apoyaron en los soportes de la máquina de tracción y la fuerza se aplicó en el centro de la antena (punto a).

La fuerza aplicada a la antena para lograr deformarla y evidenciar cambios en su frecuencia de resonancia, superó el rango de medida de la celda de carga del Validador de

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

peso; debido a las características mecánicas de la lamina dielectrica FR4. por lo tanto, no se conocio peso requerido para la deformacion, pero se sabe que es mayor que 7 Kg

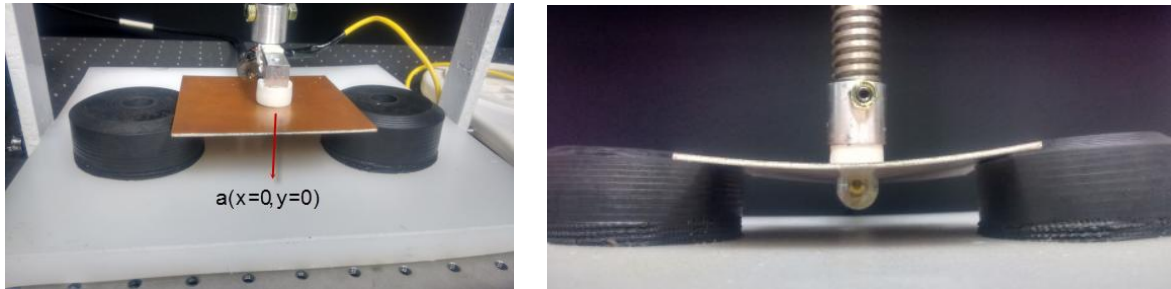


Figura 16. Prueba de deformacion de la antena 1.

a) Antes de la deformacion. b) Despues de la deformacion

2. Antena 2.

Siguiendo el mismo procedimiento de la antena 1, la antena 2 fue deformada. En este caso, la celda de carga de la maquina de traccion detectó y mostró en pantalla la cantidad de peso requerido para la deformacion de la antena, peso que correspondio a 3.5 Kg.

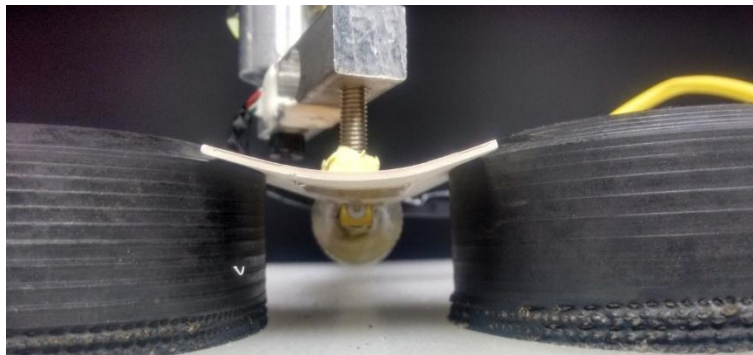


Figura 17. Prueba de deformacion de la antena 2.

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño y construcción de una máquina de tracción

Como primer resultado obtenido, fue el diseño del prototipo de prensa mecánica con medición de Kilogramos fuerza, fabricada en Hierro y base en teflón (plástico industrial)

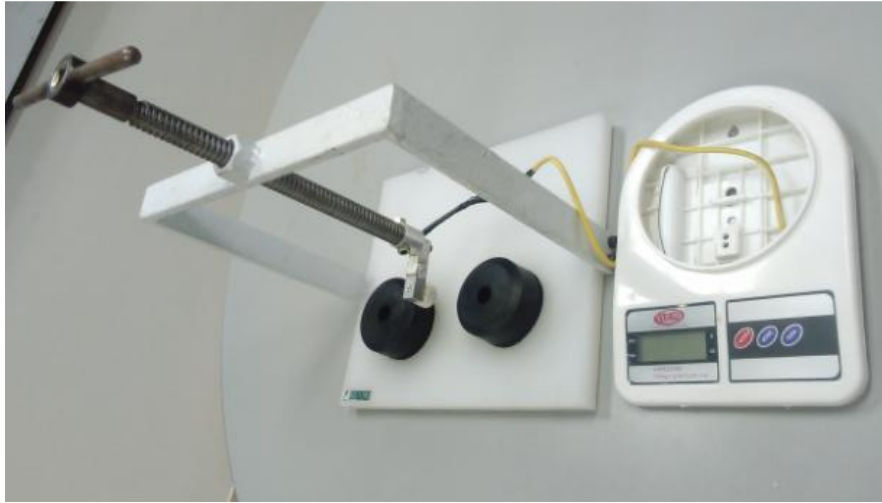


Figura 18. Diseño del prototipo prensa mecánica para la deformación de antenas Patch.

El sistema de tracción diseñado, es un dispositivo pensado para la deformación de antenas de microcinta; antenas que se construyen sobre láminas de sustratos dieléctricos. El sistema de tracción cuenta con un área de trabajo, en su base, de 750 cm^2 y ocupa un espacio 22500 cm^2 . Las características del área de trabajo de la maquina permitieron realizar pruebas con antenas de diferentes tamaños

Por otro lado, el sistema de tracción diseñado funcionó correctamente en la deformación de las antenas de microcinta; su sistema de aplicación de fuerza permitió, de forma práctica, ejercer los esfuerzos y deformaciones en estructuras rígidas, como lo fue el caso de la antena con lámina de FR4. Adicionalmente, la celda de carga y la adaptación de la interfaz por pantalla, hacen que del sistema de tracción diseñado un dispositivo novedoso y útil en el estudio de las deformaciones de antena de microcinta

En cuanto las limitaciones del sistema de tracción se destacan los materiales conductores y la capacidad de la celda de carga:

El marco, el tornillo roscado y la manija del sistema de tracción (mostrado en la figura 10), están constituidos de materiales conductores. Por tratarse de ondas electromagnéticas, la

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

presencia de estos elementos podrían causar alteraciones en las mediciones; aunque los cambios no sean significativos, es recomendable el uso de materiales aislante.

La adaptación de la celda de carga por pantalla tiene una capacidad hasta de 7 Kg. Capacidad que se vio alcanzada en la deformación de la antena basada en el sustrato de FR4, por lo tanto, se requiere de una celda de carga que mida esfuerzos en una rango más amplio.

Resultados de la deformación debido a la tracción mecánica

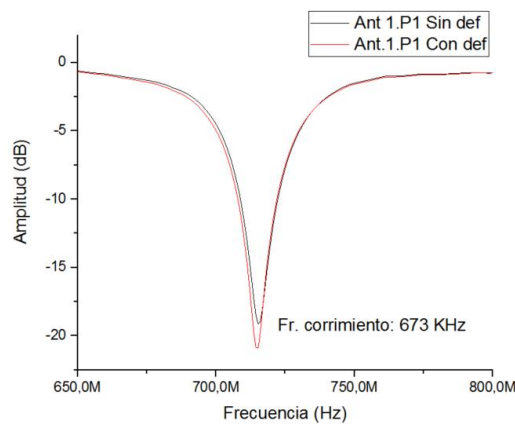


Figura 19. Cambios en la frecuencia de resonancia de la antena 1. Punto 1 de frecuencia analizado 715 MHz

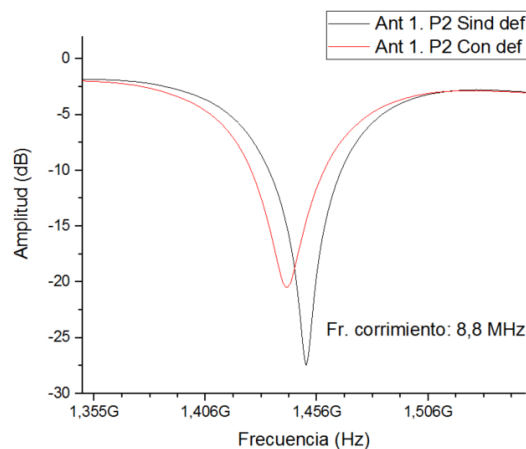


Figura 20. Cambios en la frecuencia de resonancia de la antena 1. Punto 2 de frecuencia analizado 1.45 GHz

Las figuras 19 y 20 muestran los desplazamientos en los picos de resonancia en los puntos P1 y P2 de la antena 1; antena diseñada con el sustrato dieléctrico FR-4.

En el punto P1, se evidenció una disminución de 673 KHz en la frecuencia de resonancia de la antena. Adicionalmente, el valor de la amplitud de las pérdidas por retorno también cambió, con un aumento debido a la deformación. La diferencia entre las amplitudes de en punto de interés, para la antena con y sin deformación, es de 6 dB. El punto P2 también se presentó una disminución en la frecuencia de resonancia, en este caso el valor fue de 8.8 MHz; considerablemente diferente a los presentados en el punto 1. Sin embargo la deformación ejercida en la antena 1, para el análisis de las frecuencias de los puntos 1 y 2, fue igual. En el punto 2, la amplitud de las pérdidas por retorno disminuyeron con la deformación; con una diferencia entre las frecuencia de resonancia, con y sin deformación, de 8 dB.

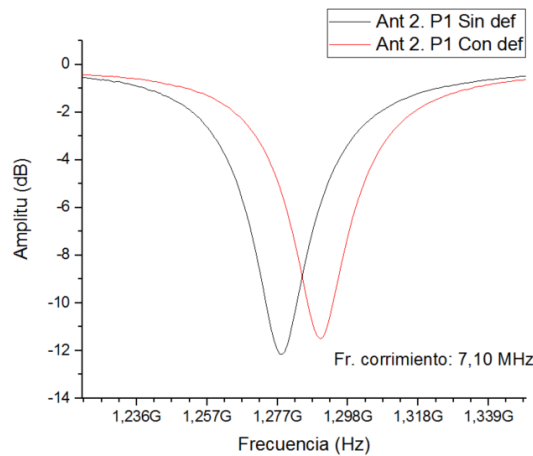
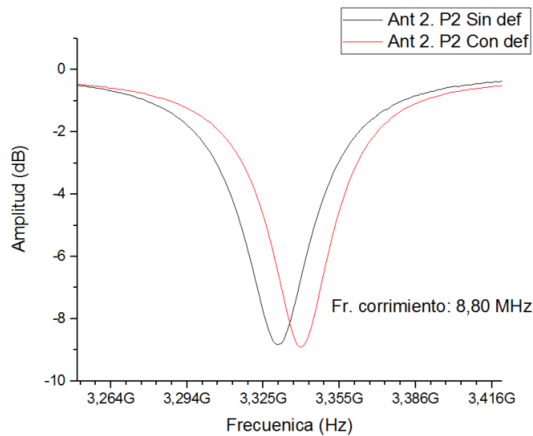


Figura 21. Cambios en la frecuencia de resonancia de la antena 2. Punto 1 de frecuencia analizado 1.28 GHz



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

Figura 22. Cambios en la frecuencia de resonancia de la antena 2. Punto 2 de frecuencia analizado 3.33 GHz

Las figuras 21 y 22 muestran respectivamente los corrimientos en las frecuencias de resonancia de los punto 1 y 2 de la antena 2; antena diseñada con el sustrato dieléctrico Duroid 6010lm.

Para los puntos 1 y 2 se puede apreciar un aumento de la frecuencia de resonancia debido a la deformación ejercida sobre la antena; para el punto 1 el corrimiento corresponde a 7.1 MHz y para el punto a 8.8 MHz. Se percibe también un pequeño cambio en la amplitud de las pérdidas con retorno; para el punto 1, con un aumento de 1 dB debido a la deformación; El punto dos permanece constante.

La tabla 3 muestra de forma resumida los datos recopilados de las evaluaciones experimentales de la deformación de las antenas de microcinta usando el sistema de tracción aquí diseñado y el análisis de los cambios en la frecuencia de resonancia debido a esas deformaciones

Antena		Fr. Sin def	Fr. Con def	Fr. Corrimiento
Antena 1	P1	715 MHz	714 MHz	673 KHz
	P2	145 GHz	1,44 GHz	8,80 MHz
Antena 2	P1	1,28 GHz	1,28 GHz	7,10 MHz
	P2	3,33 GHz	3,34 GHz	8,80 MHz

Tabla 3. Síntesis de los corrimientos de frecuencia debido a las deformaciones realizadas en las antenas

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

4. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

El diseño y construcción de un sistema de tracción mecánica, para deformar antenas de microcinta y evidenciar los cambios en el parámetro S11 o pérdidas por retorno debidos a la deformación aplicada, fue presentado y validado. La máquina tiene un diseño novedoso, es económica en manufactura y funcional; ideal para la deformación de antenas de microcinta. Sin embargo existen limitación como los materiales conductores que la componen, que podrían representar distorsiones en las medidas tomadas, y la capacidad reducida de celda de carga, que reduce el control del peso ejercido a un rango de hasta 7 Kg

Existen diferentes experimentos para la deformación de antenas de microcinta, muchos utilizan máquinas de tracción complejas, de muy buenas prestaciones y, en consecuencia, costosas. También, hay propuestas investigaciones que ingenian sus experimentos y proponen nuevos diseños de mecanismos de deformación de antenas de microcinta. Un de estas son los mecanismos de deformación de tres contactos, que simplifican el experimento y garantizan un buen procedimiento

Las deformaciones en las antenas de microcinta generan cambios en su frecuencia de resonancia y amplitud en las pérdidas por retorno, medibles por medio del estudio del parámetro S11 y el uso de un analizador de redes vectorial. Estos cambios tienen un comportamiento lineal y es posible hacer una relación entre la frecuencia de resonancia y la deformación aplicada

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

REFERENCIAS

- Anderson, D., Smith, L., & Gruszynski, J. (1996). *S-Parameter Techniques for Faster, More Accurate Network Design. Test & Measurement Application Note 95-1*. Retrieved from http://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/s_parameter_techniques.pdf
- Balanis, C. (2005). *Antenna Theory Analysis And Design* (3rd ed.). Canada: Wiley-Interscience; 3 edition (April 4, 2005).
- Bockenheime, C., & Speckman, H. (2013). Validation , Verification and Implementation of SHM at Airbus. In *IW SHM*. Stanford: Airbus.
- Colombo, J. C. (2012). Medición de Parámetros de Dispersión “ S .” Universidad Tecnológica Nacional - Falcultad Regional Tucumán.
- Daliri, A. (2011). *Development of Microstrip Patch Antenna Strain Sensors for Wireless Structural Health Monitoring*. RMIT University.
- McDonald, C. (2008). *Performing Structural Health Monitoring of the 2008 Olympic Venues Using NI LabVIEW and CompactRIO*. Pekín. Retrieved from <http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-11279>
- Murayama, H. (2015). Structural health monitoring based on strain distributions measured by fiber-optic distributed sensors. In *2015 Opto-Electronics and Communications Conference (OECC)* (pp. 1–2). IEEE. <http://doi.org/10.1109/OECC.2015.7340144>
- Palomino, L. V., Jr, V. S., Mendes, R., & Neto, F. (2011). Monitoreo de salud estructural de aeronaves basado en mediciones de impedancia electromecánica. *AVANCES Investigación En Ingeniería*, 8.
- Thai, T. T., Aubert, H., Pons, P., Dejean, G., Mtentzeris, M., & Plana, R. (2013). Novel design of a highly sensitive RF strain transducer for passive and remote sensing in two dimensions. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 61(3), 1385–1396. <http://doi.org/10.1109/TMTT.2013.2243751>
- Thai, T. T., Aubert, H., Pons, P., Plana, R., Tentzeris, M. M., & DeJean, G. R. (2011). A newly developed radio frequency wireless passive highly sensitive strain transducer. *Proceedings of IEEE Sensors*, 211–214. <http://doi.org/10.1109/ICSENS.2011.6127239>
- Vela, R. (1988). *Líneas de transmisión*. Mexico DF: McGraw-Hill.
- Wang, W., Liu, T., Ge, H., & Liu, M. (2015). Strain measurement based on microstrip patch antennas. In *2015 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)* (Vol. 2015-May, pp. 1–6). IEEE. <http://doi.org/10.1109/RAMS.2015.7105200>

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


APÉNDICE

Apéndice A: hoja de especificaciones técnicas la lámina de material dieléctrico FR4

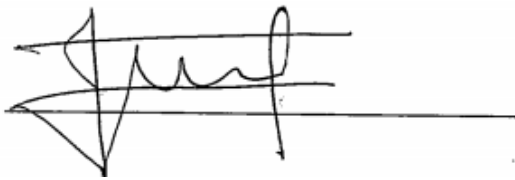
Apéndice B: hoja de especificaciones técnicas la lámina de material dieléctrico Duroid 6010Im

Apéndice C: Manual de uso del analizador de redes vectorial Rohde & Schwarz FSH8

Apéndice D: Datos experimentales de las frecuencias de resonancia de las antenas de microcinta usadas



FIRMA ESTUDIANTES _____



FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____