

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

CARACTERIZACIÓN DE UNA ANTENA PATCH DE DOBLE RANURA PARA TRANSMISIÓN DE  
ENERGÍA INALÁMBRICA

CARLOS FABIAN PINEDA MACIAS

GIOVANNY GALVIS MARIN

INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES

Director del trabajo de grado

FRANCISCO EUGENIO LOPEZ GIRALDO

Docente Asistente

Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones

Facultad de Ingenierías

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**ITM**

**FACULTAD DE INGENIERIAS**

**INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES**

**MEDELLIN**

**MARZO DE 2017**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

Con este trabajo de laboratorio se busca analizar el comportamiento, tanto en recepción como en transmisión de dos antenas de tipo patch (parche) de una y dos ranuras, estas antenas fueron diseñadas para la transmisión de energía inalámbrica; dentro de los análisis que se presentan, se estudiará fundamentalmente los parámetros  $S_{12}$  y  $S_{21}$ , parámetros relacionados con los coeficientes de transmisión de estas antenas, mediante la realización de pruebas experimentales acerca de la eficiencia de transmisión de energía entre dos antenas variando la ubicación de la una con respecto a la otra, es decir variando el ángulo de inclinación para establecer su incidencia en la transmisión y a partir de estas pruebas, tomar mediciones para hacer las respectivas comparaciones en cuanto a la eficiencia en el desempeño del modelo de las antenas relacionadas anteriormente.

Para este trabajo se utilizaron dos antenas microcinta de doble ranura, las cuales se conectaron a un analizador de espectro, en este caso el FSH4 Rhode & Schwartz. Como herramienta de ayuda para el procesamiento de la información obtenida en las mediciones realizadas, se elaboró una rutina en Matlab, ello con el fin de hacer un procesamiento adecuado de la información obtenida en cada una de las mediciones, y así obtener una mejor interpretación de la información derivada de las pruebas realizadas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a las personas que a continuación se relacionan, quienes con su colaboración y conocimiento permitieron la realización de este proyecto de investigación, brindando la mejor orientación.

- Francisco López Giraldo (Docente y Director del trabajo de grado)
- Ader Valdelamar Tapia (Ingeniero Electrónico)
- Grupo de Investigación de autómeta electrónica y ciencias computacionales de la Institución Universitaria ITM.

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

## ACRÓNIMOS

---

ROEV: Relación de onda estacionaria de tensión.

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

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	6
1.1	Objetivo general.....	8
1.2	Objetivos Específicos.....	8
2.	MARCO TEÓRICO .....	9
2.1.	La Resonancia.....	9
2.2.	Transmisión de energía inalámbrica.....	11
2.3.	Parámetros de dispersión o parámetros "S" .....	12
2.4.	Antena microcinta o tipo parche .....	17
3.	METODOLOGÍA.....	20
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	26
6.	REFERENCIAS.....	27

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 1. INTRODUCCIÓN

---

Los mecanismos de transmisión de energía eléctrica por medio de conductores son bien conocidos y esta tecnología aún se emplea masivamente, sin embargo en muchos de los casos el cableado resulta ser bastante robusto, incómodo y en ocasiones reviste peligro para las personas; con el fin de brindar otras opciones en cuanto a la transmisión de energía eléctrica, se han estudiado a lo largo de la historia diferentes formas de transmitirla, una de ellas es la transmisión de forma inalámbrica, la cual fue planteada inicialmente por Nikola Tesla en el año de 1889, los estudios y análisis planteados por este ingeniero eléctrico, fueron limitados a su época y quedaron casi en el olvido, 118 años después, en el año 2007 el profesor Marín Soljacic, propuso el método de resonancia magnética fuertemente acoplada; Donde se pudo transmitir energía de forma inalámbrica a dos metros de distancia obteniendo resultados aceptables, debido a estos resultados, las grandes industrias se interesaron en destinar recursos para el desarrollo e investigación en este campo.

Uno de los dispositivos fundamentales para la transmisión de energía inalámbrica son las antenas utilizadas tanto en transmisión como en recepción, para el estudio y análisis que se presentarán en este informe, se utilizaron un par de antenas patch o tipo parche, las cuales se distinguen por su geometría característica ya que procede una línea microstrip y está constituida por al menos tres componentes como, plano de masa inferior, sustrato por encima de dicho plano de masa y un elemento radiante que se sitúa justo encima de dicho sustrato.

El uso de este tipo de antenas presenta ventajas sobre todo por su miniaturización, fácil integración y versatilidad, aunque mediante algunos estudios se han detectado falencias en cuanto a su potencia de radicación y eficiencia en el ancho de banda, sin embargo en este proyecto se busca analizar el comportamiento de su patrón de radicación, teniendo como base la revisión del estado del arte principalmente en estudios de transmisión de energía

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de forma inalámbrica, lo que se convierte en un punto de partida para comparar los resultados obtenidos con otros estudios que en su momento citaremos, vale la pena resaltar que en este estudio incluimos antenas patch con doble ranura, esta modificación al plano de la antena permite mejorar sustancialmente sus características de radiación lo que nos va a permitir hacer las comparaciones adecuadas con trabajos anteriores basados en este modelamiento.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## OBJETIVOS

### General

- Analizar el comportamiento y eficiencia de las antenas Patch con doble ranura, en la transmisión de energía en forma inalámbrica, así como los cambios en los patrones de radiación al variar los ángulos transmisión y recepción.

### Específicos

- Realizar mediciones de transmisión entre las dos antenas, en el laboratorio y a partir de estas, analizar la eficiencia en los patrones de radiación, cuando se varía su ángulo de transmisión, lo anterior mediante el uso de analizador de espectro.
- Establecer la eficiencia de radicación de las antenas mediante el análisis de los parámetros S12 y S21.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

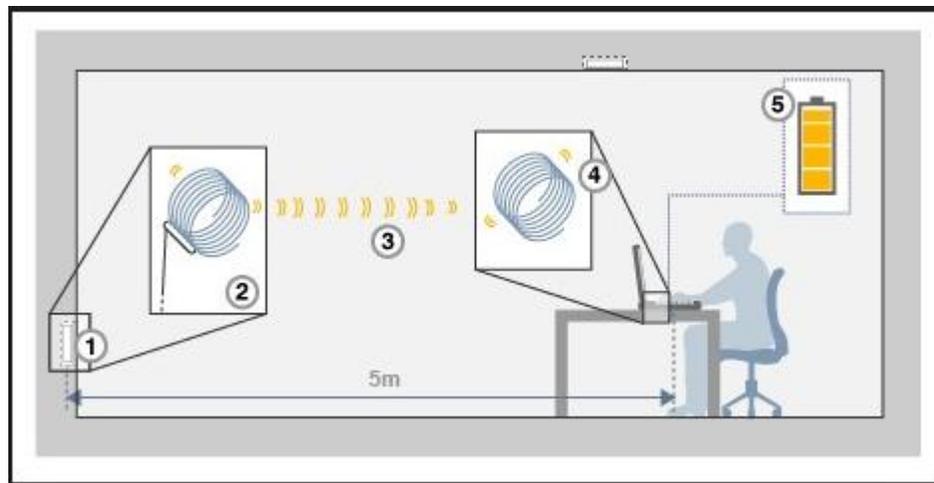
### 2.1. La resonancia

Pese a la apariencia de quietud del suelo que pisamos, de los edificios, de los puentes y de muchas otras estructuras arquitectónicas que nos rodean, en realidad están en continuo cambio y movimiento, y un tipo especial del movimiento es el debido a las fuerzas mecánicas oscilantes, basta un pequeño repaso mental para enumerar una gran cantidad de ellas: Los diversos sonidos ambientales son vibraciones de tipo mecánico, ya que son las variaciones periódicas de la presión del aire o de las cosas que nos rodean las que generan los sonidos. Los edificios en que habitamos o en que trabajamos son estructuras elásticas que permanentemente están vibrando debido al paso cercano de los automotores pesados o a los mismos impulsos mecánicos producidos por quienes los habitan, al caminar, al bailar, al mover muebles, etc. El suelo mismo en que nos movemos experimenta movimientos oscilatorios todos los días, tal como nos lo indica el reporte diario del Servicio Sismológico Nacional, simplemente que son de tan pequeña magnitud que en general no los alcanzamos a percibir. Las vibraciones que parten del motor de los automóviles someten a todas las partes de un auto y a sus ocupantes a continuas oscilaciones mecánicas. El mundo laboral está lleno de máquinas de diferentes tamaños que van desde los taladros de mano hasta máquinas más potentes que producen toda una variedad de vibraciones mecánicas. Las mismas fuerzas gravitatorias oscilan, tal como lo muestra el fenómeno de las mareas en que el nivel del mar sube y baja acompasado con el movimiento periódico de la Luna.

Es una experiencia común que cuando se escucha música dentro de un cuarto, algunas veces al aparecer sonidos de frecuencia muy baja los vidrios de las ventanas empiezan a vibrar violentamente. Esto ocurre, naturalmente, porque hay un fenómeno de resonancia, ya que en tales casos la frecuencia de los sonidos graves coincide con alguna de las frecuencias naturales de oscilación de los vidrios de las ventanas.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Un caso muy conocido de resonancia es cuando un o una cantante dirigen su voz hacia una copa de cristal; es aparente que la copa es una estructura elástica que vibra a frecuencias claramente reconocibles por el oído humano, por tanto, el afinado oído de los cantantes se entona con esos sonidos y lanza contra la copa un sonido potente de la misma frecuencia, con ello se forman en la copa ondas estacionarias, y si la intensidad y la frecuencia se mantienen el tiempo suficiente, se produce el fenómeno de resonancia hasta que la copa a causa de sus intensas vibraciones se rompe; esto es lo que han empleado los investigadores para transferir energía eléctrica de manera inalámbrica; ajustando la frecuencia del campo magnético inductor para que fuera similar a las frecuencias de resonancia naturales de ambas bobinas. Con esto lograban que la transferencia de energía eléctrica se hiciera óptima, hasta el punto de que no era necesario un campo magnético muy intenso para inducir corriente eléctrica de la bobina primaria a la secundaria.



**Figura 1. Acoplamiento por resonancia**

(Tomado de: <http://www.neoteo.com/witricity-la-venqanza-de-nikola-tesla/>)

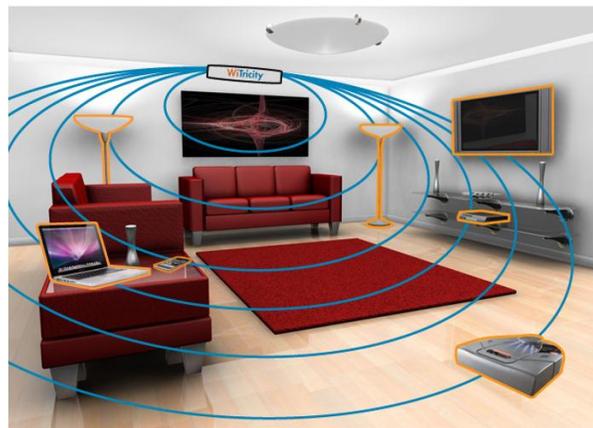
En la figura 1 podemos observar cómo se produce el acoplamiento de los elementos básicos intervinientes en una transmisión de energía eléctrica de forma inalámbrica, así;

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. Fuente de voltaje
2. Bobina inductora
3. Medio de transmisión (aire)
4. Bobina inducida.
5. Dispositivo receptor

## 2.2 Transmisión de Energía en forma inalámbrica

El ingeniero electricista, mecánico y físico estadounidense Nikola Tesla de origen croata, realizó grandes avances en el campo de la transferencia inalámbrica de energía, en 1891 demostró que el fenómeno de la transferencia inalámbrica de energía era posible a través de la inducción electrostática demostrando la posibilidad de prescindir del empleo de líneas de alta tensión, uno de sus principales proyectos en este campo fue denominado Torre Wardenclyffe, cuyo desarrollo estaba orientado a su utilización en la telefonía comercial.



**Figura 2. Transmisión de energía de forma inalámbrica**

(Tomado de: <https://xombit.com/2015/01/electricidad-inalambrica-analisis-futuro>)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 2.3 Parámetros de Dispersión o Parámetros “S”.

Normalmente hemos escuchado sobre algunos parámetros usados en análisis de circuitos, tales como los de impedancia (parámetros Z), los de admitancia (parámetros Y) o los de transmisión (parámetros ABCD). Esto se hace en baja frecuencia, donde la longitud de onda de la señal es mucho mayor que los elementos circuitales (resistencias, inductores y capacitores, circuitos típicos RLC) y donde es fácil caracterizar el circuito a través de tensiones y corrientes, por ejemplo a través de las Leyes de Kirchhoff.

En un circuito definido como una red de dos puertos (bipuerto); Los parámetros Z dan las tensiones del circuito en función de las corrientes. Cada parámetro se obtiene midiendo la tensión en un puerto dejando todos los demás menos uno en circuito abierto (corriente 0). En la conexión de circuitos en serie, los parámetros “Z” se suman.

Los parámetros “Y” dan las corrientes del circuito en función de las tensiones. Cada parámetro se obtiene midiendo la corriente en un puerto dejando todos los demás menos uno en cortocircuito (tensión 0). En la conexión de circuitos en paralelo, los parámetros “Y” se suman.

Los parámetros ABCD caracterizan la tensión y corriente del puerto 1 en función de la tensión y la corriente del puerto 2, jugando con cortocircuitos y circuitos abiertos para obtener los parámetros. En la conexión de circuitos en cascada, los parámetros ABCD se suman.

Para altas frecuencias de trabajo, por ejemplo en microondas (3 a 300 GHz) la longitud de onda de la señal es muy pequeña, con un tamaño similar al de los componentes circuitales (a mayor frecuencia  $f$ , menor longitud de onda  $\lambda$ ). En ese momento, trabajar con tensiones y corrientes resulta difícil, ya que no es posible hacer cortocircuitos y circuitos abiertos estables dependiendo de la frecuencia en la que estemos.

Es por eso que recurrimos en este caso a otros parámetros, los llamados parámetros de dispersión o los parámetros “S”.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ya hemos dicho que en altas frecuencias no vale la pena hablar de tensiones y corrientes porque no podemos obtenerlas de forma adecuada, Pues bien, en estas altas frecuencias, sin embargo, cobra importancia el concepto de la línea de transmisión y el de la potencia.

Una línea de transmisión se define básicamente como un medio o guía por donde viajan ondas electromagnéticas que contienen la información que se desea transmitir.

Por su parte, la potencia se obtiene a estas altas frecuencias en función de las señales entrantes o incidentes (a) y salientes o reflejadas (b) del sistema y de la impedancia característica de la línea de transmisión.

Los parámetros “S” se representan en una matriz y por lo tanto obedecen las reglas del álgebra de matrices. Muchas propiedades eléctricas útiles de las redes o de componentes pueden expresarse por medio de los parámetros “S”, como por ejemplo la ganancia, pérdida por retorno, relación de onda estacionaria de tensión (ROEV), coeficiente de reflexión y estabilidad de amplificación.

Las ondas incidentes son las ondas electromagnéticas que viajan a lo largo de una línea de transmisión desde la fuente a la carga y aquellas que viajan desde la carga nuevamente hacia la fuente se llaman ondas reflejadas. Para un puerto n, la definición de parámetros “S” asociados se realiza en función de 'ondas de potencia' incidente y reflejada,  $a_n$  y  $b_n$  respectivamente. Ondas de potencia son versiones normalizadas de las ondas viajeras de tensión incidente y reflejada correspondientes,  $V_n^+$  y  $V_n^-$  respectivamente, de acuerdo a la teoría de líneas de transmisión. Éstas están relacionadas con la impedancia del sistema  $Z_0$  de la siguiente manera:

$$a_n = \frac{V_n^+}{\sqrt{Z_0}} \quad \text{Y} \quad b_n = \frac{V_n^-}{\sqrt{Z_0}}$$

**Ecuación 1 y 2. Tensión incidente y reflejada**

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

Para todos los puertos de la red, las ondas de potencia reflejadas pueden definirse en términos de la matriz de parámetros “S” y las ondas de potencia incidentes a través de la siguiente ecuación:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix}$$

**Ecuación 3. Ondas de potencia incidentes**

### RED DE DOS PUERTOS

$a_1$ : Potencia que incide en el puerto 1

$b_1$ : Potencia reflejada en el puerto 1

$a_2$ : Potencia que incide en el puerto 2

$b_2$ : Potencia reflejada en el puerto 2

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

**Ecuación 4. Potencia incidente**

Expandiendo las matrices en ecuaciones, se tiene:

$$b_1 = a_1 S_{11} + a_2 S_{12}$$

$$b_2 = a_1 S_{21} + a_2 S_{22}$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### Ecuación 5. Expansión de la matriz en ecuación

Cada ecuación da la relación entre las ondas de potencia reflejada e incidente en cada uno de los puertos de la red. Si despejamos cada parámetro  $S$ , haciendo cero a la variable independiente que no lo involucra obtenemos los parámetros  $S$  por definición. Los subíndices indican primero cual es el puerto por el que sale la onda y luego por cual entra la onda.

Si consideramos una onda de potencia incidente en el puerto 1  $a_1$  pueden resultar ondas existentes tanto del puerto 1 mismo ( $b_1$ ) o del puerto 2 ( $b_2$ ). Sin embargo, si, de acuerdo a la definición de parámetros- $S$ , el puerto 2 está terminado en una carga idéntica a la impedancia del sistema ( $Z_0$ ), entonces, debido al teorema de transferencia de potencia máxima,  $b_2$  será absorbida totalmente haciendo  $a_2$  igual a cero. Por lo tanto:

Cada parámetro- $S$  de una red de dos puertos tiene las siguientes descripciones genéricas:

**S11 Coeficiente de reflexión del puerto 1 cuando  $a_2$  es igual a cero. Relaciona tensión incidente con tensión reflejada en el puerto 1.**

**S12 Coeficiente de transmisión de 2 a 1 cuando  $a_1$  es igual a cero. Relaciona tensión reflejada (saliente) del puerto 1 con tensión incidente en el puerto 2.**

**S21 Coeficiente de transmisión de 1 a 2 cuando  $a_2$  es igual a cero. Relaciona tensión reflejada (saliente) en el puerto 2 con tensión incidente en el puerto 1**

**S22 Coeficiente de reflexión del puerto 2 cuando  $a_1$  es igual a cero. Relaciona tensión incidente con tensión reflejada en el puerto 2.**

Conociendo las potencias incidentes y reflejadas en cada puerto podemos obtener los parámetros  $S$ . Estas relaciones tienen nombres característicos muy utilizados en la práctica general y en la bibliografía.

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

$$|S_{11}|^2 = \frac{|b_1|^2}{|a_1|^2} \Big|_{a_2=0} = \frac{P_{r1}}{P_{i1}}$$

$$|S_{22}|^2 = \frac{|b_2|^2}{|a_2|^2} \Big|_{a_1=0} = \frac{P_{r2}}{P_{i2}}$$

$$|S_{21}|^2 = \frac{|b_2|^2}{|a_1|^2} \Big|_{a_2=0} = \frac{P_{r2}}{P_{i1}}$$

$$|S_{12}|^2 = \frac{|b_1|^2}{|a_2|^2} \Big|_{a_1=0} = \frac{P_{r1}}{P_{i2}}$$

**Ecuaciones 6, 7, 8,9. Obtención de los parámetros en función de las potencias incidentes y reflejadas**

$$Return Loss = -10 \cdot \log(|S_{11}|^2) \text{ dB}$$

**Ecuación 10. Pérdida de retorno**

Provee información sobre la adaptación del puerto respecto de la  $Z_0$ .

$$Atenuación = -10 \cdot \log(|S_{21}|^2) \text{ dB}$$

**Ecuación 11. Atenuación**

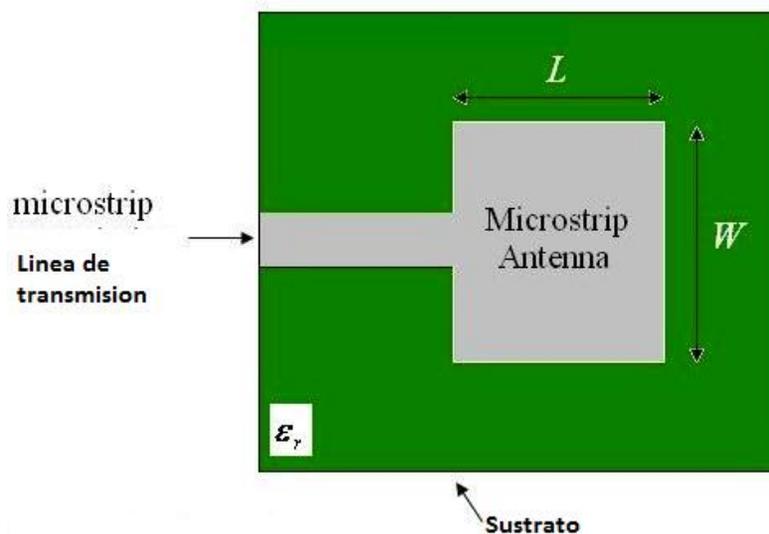
Indica la calidad de la señal transmitida y el ancho de banda, con  $Z_L = Z_0$ .

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

## 2.4 Antena Microcinta o Parche

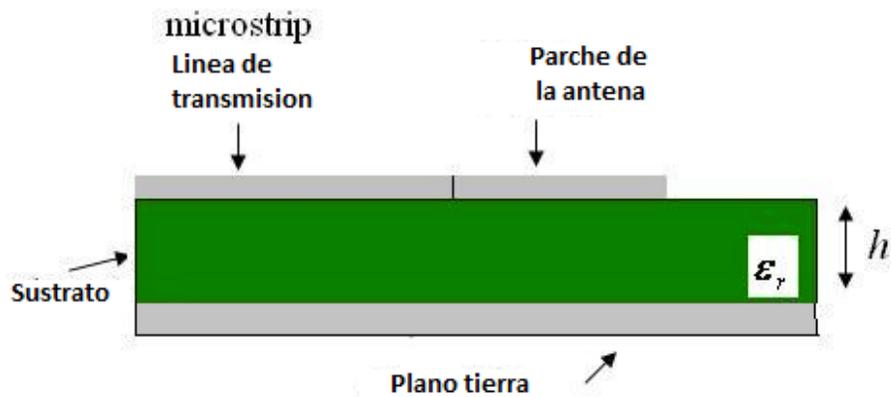
Las antenas microstrip o tipo parche han ganado importancia en su utilización en diferentes aplicaciones, por su facilidad en la fabricación y adaptabilidad a la medida de las necesidades, sobre todo en el área de la electrónica y las telecomunicaciones, incluso se pueden imprimir fácil y directamente sobre una placa de circuito. Son cada vez más comunes y generalizadas en mercados como el de la telefonía móvil, redes de área personal y local, además son de bajo costo, tienen un perfil bajo y se fabrican fácilmente.

La antena microstrip como la que se muestra en la Figura 3, se alimenta mediante una línea de transmisión microstrip. El parche microstrip y plano de tierra están hechos de metal de alta conductividad. El parche es de longitud  $L$ , ancho  $W$ , y sentado en la parte superior de un sustrato (algunos placa de circuito dieléctrico) de espesor  $h$  con permitividad  $\epsilon_r$ . El espesor de la placa de masa o de la microcinta no es de importancia crítica. Normalmente la altura  $h$  es mucho menor que la longitud de onda de la operación.



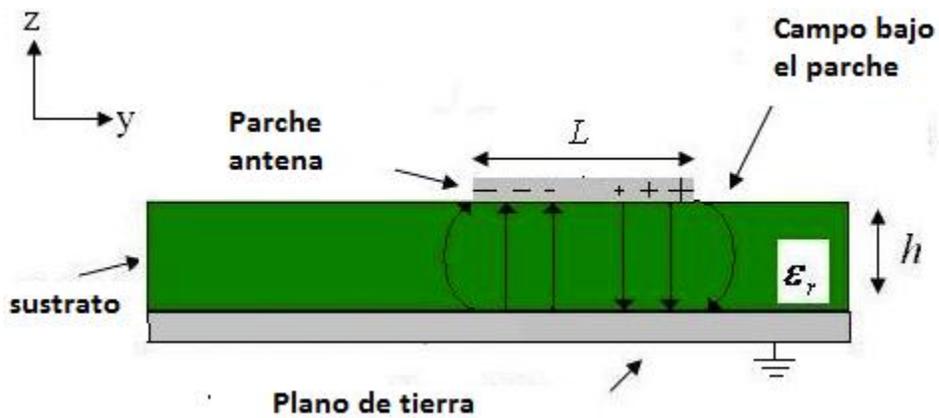
**Figura 3a. Antena patch vista frontal**

(Tomado de: <http://www.antenna-theory.com/spanish/antennas/patches/patch.php>)



**Figura 3b. Antena patch vista lateral**

(Tomado de: <http://www.antenna-theory.com/spanish/antennas/patches/patch.php>)



**Figura 3c. Modo de operación de la antena**

(Tomado de: <http://www.antenna-theory.com/spanish/antennas/patches/patch.php>)

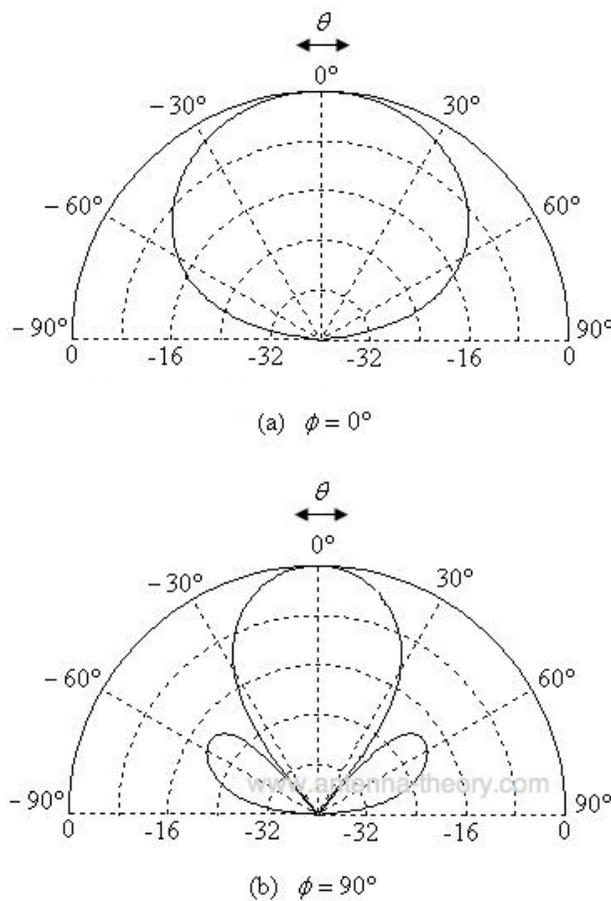
La frecuencia de funcionamiento de la antena de parche de la Figura 3 se determina por la longitud L. La frecuencia central es aproximadamente igual a:

$$f_c \approx \frac{C}{2L\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_0\epsilon_r\mu_0}}$$

**Ecuación 12. Longitud de onda de la antena tipo parche**

La ecuación anterior dice que la antena de parche debe tener una longitud igual a la mitad de una longitud de onda en el dieléctrico (sustrato) medio.

La directividad de las antenas parche es de aproximadamente 5.7 dB. Los campos son linealmente polarizados.



**Figura 4. Lóbulos de propagación a 0° y 90°**

(Tomado de: <http://www.antenna-theory.com/spanish/antennas/patches/patch.php>)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3 METODOLOGÍA

---

**Primera parte:** Revisión del estado del arte mediante la consulta y análisis de bibliografía existente contenida en revistas especializadas, artículos científicos, tesis de grado, que contienen información acerca de transmisión de energía inalámbrica, parámetros S, antenas patch, material que servirá de soporte para esta investigación.

**Segunda parte:** Estudio y análisis de los parámetros característicos de las antenas patch, que se utilizaron para este proyecto y factores determinantes como frecuencia de resonancia y características de transmisión.

**Tercera parte:** Revisión de manuales y consulta sobre la operación del analizador de espectro marca FSH4 Rhode & Schwartz, usado para la medición en la transmisión de las antenas patch empleada en este proyecto.

**Cuarta parte:** Mediciones de transmisión entre dos antenas patch con doble ranura conectadas al analizador de espectro Rhode & Schwartz FSH4, mediante el cual se tomaron mediciones de los parámetros S12 y S21 y sus variaciones con el cambio de ángulo en la antena Nro. Uno y luego en la antena Nro. 2.

**Quinta parte:** Análisis e interpretación de la información obtenida, explicación de resultados obtenidos y conclusiones sobre el proyecto.

#### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Montaje de antenas en el analizador de espectro



**Figura 5. Antenas patch doble ranura conectadas al FSH4**

#### TABLAS

A continuación se presentan los promedios obtenidos de los valores medidos con el analizador de espectro FSH4 Rhode & Schwartz, estos valores fueron tomados teniendo como referencia los parámetros S12 y S21, donde se tomaron aproximadamente 60 mediciones variando el ángulo de transmisión y recepción de las antenas.

#### Transmisión S12, Valores promedios

Grados	Potencia	Frecuencia
0	-18,75	3,6523
30	-19,95	3,6523
60	-22,36	3,6523
90	-26,08	3,6523

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

120	-28,64	3,6523
150	-28,61	3,6523
180	-28,47	3,6523
210	-27,64	3,6523
240	-29,63	3,6523
270	-27,36	3,6523
300	-23,47	3,6523
330	-19,85	3,6523
360	-18,46	3,6523

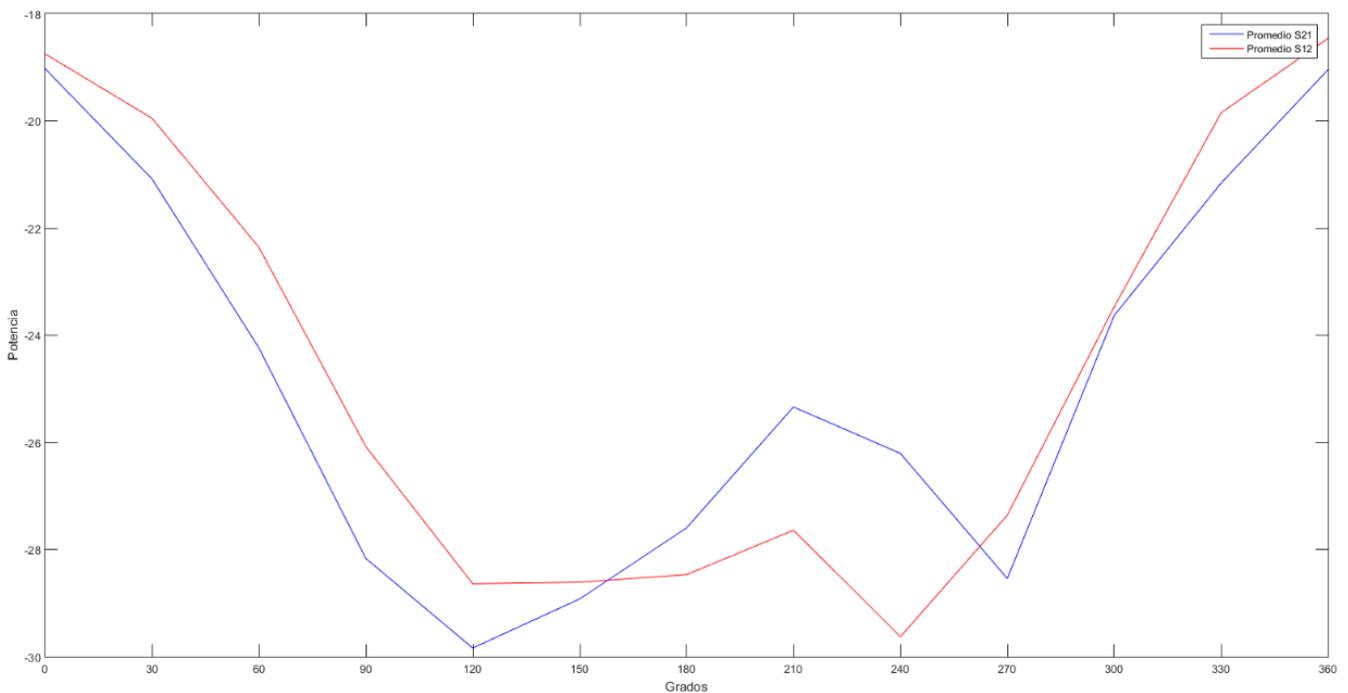
**Tabla 1. Mediciones en parámetro S12**

**Transmisión S21, Valores promedios**

<b>Grados</b>	<b>Potencia</b>	<b>Frecuencia</b>
0	-19,02	3,6523
30	-21,08	3,6523
60	-24,23	3,6523
90	-28,16	3,6523
120	-29,83	3,6523
150	-28,92	3,6523
180	-27,59	3,6523
210	-25,34	3,6523
240	-26,20	3,6523
270	-28,54	3,6523
300	-23,63	3,6523
330	-21,16	3,6523
360	-19,045	3,6523

**Tabla 2. Mediciones en parámetro S21**

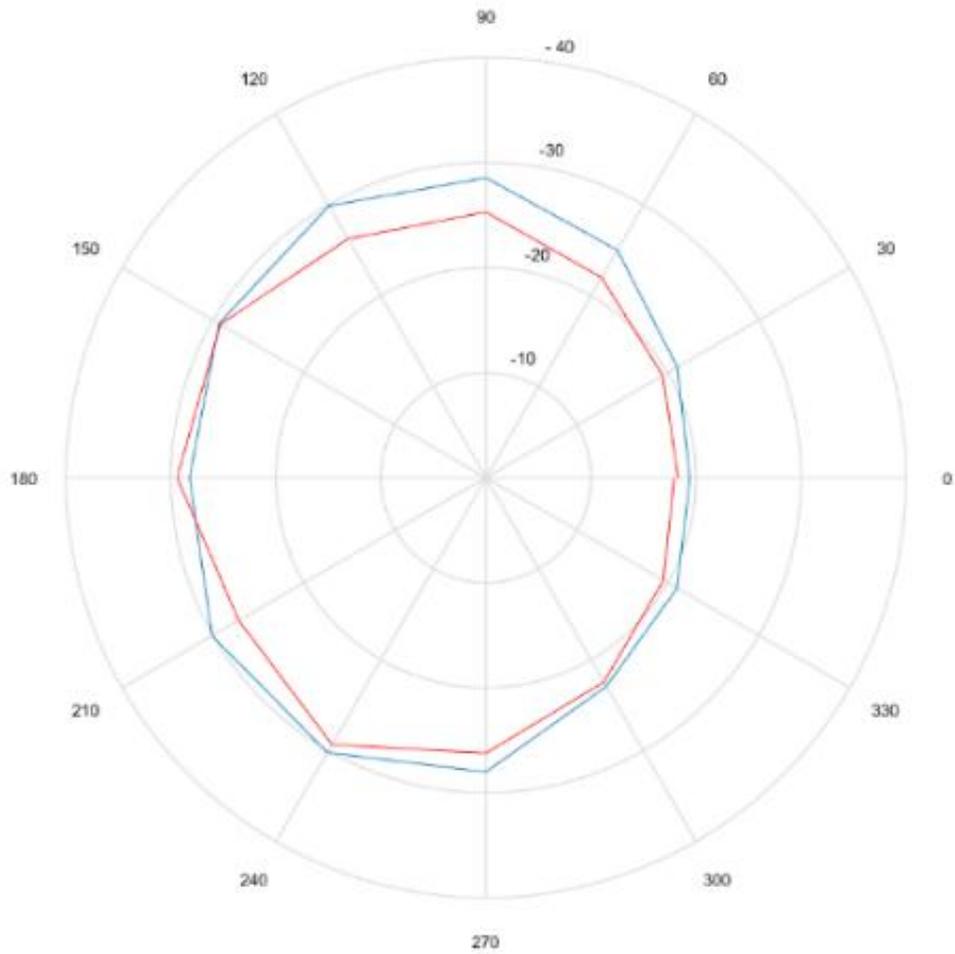
**Grafica estadística:** Haciendo un análisis de la gráfica estadística que resulta a partir de los promedios de la información obtenida en la medición con el analizador vectorial y tabulada en las tablas relacionadas en el inciso anterior, observamos que hay dos puntos donde los parámetros S12 y S21, se comportan de igual manera, es decir, hay un punto de congruencia en la propagación, en esos puntos la potencia es igual para ambos parámetros; estos puntos comunes los encontramos a  $160^\circ$  y  $260^\circ$ .



**Figura 6. Grafica estadística potencia (dB) vs Inclinación (°)**

**Angulo de inclinación (grados) vs Potencia de transmisión (dB)**

**Coordenadas Cilíndricas**



**Figura 7. Potencia (dB) vs Inclinación (°) coordenadas cilíndricas**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### CORDENADAS CILINDRICAS

La figura 7, la cual se presenta en coordenadas cilíndricas, muestra la potencia radiada por las antenas; en el parámetro S21, que está definido por el color azul, podemos afirmar que los mejores ángulos para la transmisión se encuentran en las posiciones 0°, 20° y 340°, ya que la transmisión está por debajo de los -20 dB de potencia. De igual forma observamos que los peores ángulos para la propagación son en 120°, 210° y 240°, ya que en estas posiciones la transmisión se sitúa cerca de los -30 dB. En cuanto al parámetro S12, marcado en la gráfica con color rojo, se puede evidenciar que los mejores ángulos para la transmisión son en 0°, 30° y 330°, ya que la transmisión en esos ángulos está por debajo de los -20 dB, y los peores ángulos para la transmisión en este caso son en 150°, 180° y 250°, ya que la potencia de transmisión está cerca de los -30 dB.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

- Después de analizar los resultados obtenidos al concluir este trabajo de investigación de laboratorio, se pudo establecer que la antena Patch con doble ranura ofrece un mejor rendimiento transmitiendo en el parámetro de dispersión S12 cuando las antenas se encuentran ubicadas a 0°, 30° y 330°, respecto al punto de origen de la antena receptora, ya que en estos puntos los niveles de transmisión están por debajo de los 20 dB.
- Durante las mediciones realizadas en desarrollo de este trabajo de laboratorio se tuvo en cuenta el comportamiento de los parámetros S12 y S21, evidenciando que estos guardan relación en cuanto al patrón de propagación en forma general ya que la trayectoria es similar, sin embargo se pudo establecer claramente que en el parámetro S21 las condiciones para la transmisión desmejoran comparándolas con los parámetros S12, siendo en 180° la única variación en cuanto a la ubicación de las antenas donde S21, ofrece un leve mejor rendimiento cerca a los 28 dB, contra los 30 dB que ofrece el parámetro S12, en la misma posición.
- Para evaluar nuevos desempeños en la transmisión de energía inalámbrica, se propone plantear montajes a mayor escala, con distancias más amplias y con antenas más robustas.

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

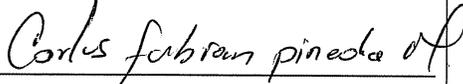
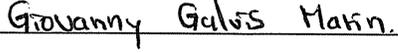
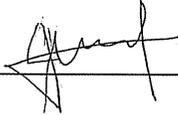
## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

---

- Harrist, D. W. (2001). Wireless Battery Charging System Using Radio Frequency Energy Harvesting. *Vsdgsjabhf*, 60.
- Meng, L. K., Swee, T. T., Yun, L. K., & Kassim, J. (2014). Wireless Energy Transfer Using Microstrip Antenna. *American Journal of Applied Sciences*, 11(2), 195–201. <http://doi.org/10.3844/ajassp.2014.195.201>
- Boquete, L., Barea, R., Cantos, J. J., & Miguel, J. M. (2012). Práctica de Laboratorio de Captura de Energía de Radio Frecuencia, 319–324.
- Rocha, S. B. (2007). Metodología para el diseño y construcción de antenas de microcinta en la banda wimax a 3.5GFHz".
- Abbasi, Q. H., Khan, M. M., Alomainy, A., & Hao, Y. (2011). Characterization and modelling of Ultra Wideband radio links for optimum performance of body area network in health care applications. *2011 International Workshop on Antenna Technology (iWAT)*, 206–209. <http://doi.org/10.1109/IWAT.2011.5752335>
- Rodríguez-Morcillo, C., Muñoz, J. D., Juárez, J., Contreras, D., & Alexandres, S. (2012). Gestión de redes inteligentes domésticas mediante ZigBee Smart Energy. *Anales de Mecánica Y Electricidad*, 89(5), 28–33. Retrieved from [http://www.revista-anales.es/web/n\\_16/pdf/seccion\\_3.pdf](http://www.revista-anales.es/web/n_16/pdf/seccion_3.pdf)
- Mat, F. D., Martino, D., & Molinelli, J. (2011). Proyecto de Fin de Carrera. *Arantxaiuames Arantxaiuames*, (Ii), 3. Retrieved from [http://www.uniovi.net/calidad/procesos/Difusion/Guias/pdf/1011/epi/4\\_planes\\_antiguos.pdf#page=76](http://www.uniovi.net/calidad/procesos/Difusion/Guias/pdf/1011/epi/4_planes_antiguos.pdf#page=76)
- Balanis, C. a. (2012). *Antenna Theory: Analysis and Design. Electronics and Power* (Vol. 28). <http://doi.org/10.1049/ep.1982.0113>
- Carr, J. J. (2001). *Practical Antenna Handbook 4th Edition*. <http://doi.org/10.1036/0071389318>
- Sophocles, J. O. (2010). {E}lectromagnetic waves and antennas.
- Stutzman Warren, L., & Thiele, G. a. (2013). *Antenna Theory and Design. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

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

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

FIRMA ESTUDIANTES	<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">   <u>Carlos Fabraon Pineda</u> </div> <div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">   <u>Giovanny Galvis Marin</u> </div> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/>
FIRMA ASESOR	<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">   <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> </div>
FECHA ENTREGA: <u>03/03/2017</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: _____

Código	FDE 089
Versión	03
Fecha	2015-01-22

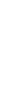


**MODALIDAD TRABAJO DE GRADO  
PRODUCTO OBTENIDO EN TALLERES O LABORATORIOS DEL ITM**

**Registro de actividades y cumplimiento de horas / Talleres o Laboratorios de DOCENCIA**

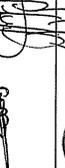
Código	FDE 146
Versión	02
Fecha	2015-09-30

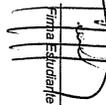
Documento de Identidad:	71260519 - 71376039		
Nombre completo del estudiante:	Carlos Fabian Pineda Macías - Giovanni Galvis Marin		
Programa académico ITM:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
Nombre completo del Docente Asesor:	Francisco Ezequiel Lopez Gallo		
Fecha de iniciación del producto (aa/mm/dd):	04/03/2016	Fecha de terminación del producto (aa/mm/dd):	02/03/2017
Nombre Taller o Laboratorio:	Laboratorio de Investigación automática electrónica y ciencias computacionales		
Ubicación:	Bloque M		
Campus:	Fatenidad		

Fecha	A. M. D.	Actividad desempeñada por el estudiante	Hora ingreso	Hora salida	Total horas	Firma Laboratorista	Firma Estudiante
16	3	Manejo y reconocimiento analizador de espectro FSH4 Rodhe & Schwart estudio de parámetros de dispersión para altas frecuencias, mediciones experimentales de parámetros de dispersión.	15:00	18:00	3 Horas		
16	3	Estudio y análisis de los parámetros de dispersión o parámetros "S", los cuales pueden ser obtenidos con el analizador de espectro FSH 4 Rodhe & Schwartz, se hacen mediciones experimentales para ser analizadas gráficamente en excel.	15:00	18:00	3 Horas		
16	3	Estudio y análisis de los patrones de radiación y características de las antenas tipo patch, estudio y análisis de las antenas tipo patch de una y dos ranuras, estudio de sus características de propagación y frecuencia de corte, esto apoyados en el estado del arte y utilizando el analizador de espectro FSH 4 Rodhe & Schwartz	14:00	18:00	4 Horas		
16	3	Calibración de los puertos del analizador de espectro, montaje experimental de transmisión de energía inalámbrica, mediante la conexión al analizador de espectro de dos antenas patch, doble ranura, toma de mediciones experimentales	14:00	18:00	4 Horas		
16	3	Extracción información potencia de transmisión energía inalámbrica en dB, mediante la medición de parámetros de dispersión S12 y S21, gráfica y análisis experimental del comportamiento de transmisión y reflexión en los puertos del analizador de espectro FSH 4 Rodhe & Schwartz en excel.	14:15	16:15	4 Horas		
16	3	Diseño sistema para rotación de las antenas conectadas al analizador de espectro y toma de medidas de los parámetros de dispersión en la transmisión de energía. Medición de parámetros S12 Y S21, mediante la rotación de la antena No. 1.	13:30	18:00	4.5 Horas		
16	3	Análisis y gráfica del comportamiento de los parámetros de dispersión obtenidos durante la medición anterior, asesoría y discusión de resultados con el docente asesor del trabajo.	14:30	18:00	3.5 Horas		
16	3	Toma de medidas experimentales parámetros de dispersión mediante la rotación de la antena No 2, comparación de resultados y gráfica en excel, para hacer comparación de las características de la transmisión en cada uno de los parámetros de dispersión medidos.	15:00	18:00	3 Horas		
16	4	Diseño de rutina en matlab, para graficar y comparar la información obtenida en las medidas, del laboratorio mediante el analizador de espectro FSH 4 Rodhe y Schwartz	14:00	19:00	5 Horas		
16	4	Diseño de rutina en matlab, para graficar y comparar la información obtenida en las medidas, del laboratorio mediante el analizador de espectro FSH 4 Rodhe y Schwartz	14:00	19:00	5 Horas		
16	4	Se inicia con la toma de medidas que se van a consolidar para el estudio de este trabajo se laboratorio, se deberán tomar en total 60 medidas en cada posición de una de las antenas variando su ángulo de ubicación con respecto a la otra, en total se tomará medición en 13 posiciones de 0° a 360°, para que la información obtenida contenga un mínimo margen de error, el día de hoy en total se hacen 30 mediciones.	14:00	18:00	4 Horas		

# INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO

Código	FDE 089
Versión	03
Fecha	2015-01-22

16	4	20	El día de hoy después de calibrar los puertos del analizador de espectro, se hace el montaje con las antenas patch doble ranura y se toman 130 mediciones más, estas se extraen y se almacenan en una usb donde se consolida la información.	14:00	18:00	4 Horas		
16	4	26	El día de hoy después de calibrar los puertos del analizador de espectro, se hace el montaje con las antenas patch doble ranura y se toman 130 mediciones más, estas se extraen y se almacenan en una usb donde se consolida la información.	14:00	18:00	4 Horas		
16	5	4	El día de hoy después de calibrar los puertos del analizador de espectro, se hace el montaje con las antenas patch doble ranura y se toman 130 mediciones más, estas se extraen y se almacenan en una usb donde se consolida la información.	14:00	18:00	4 Horas		
16	5	12	El día de hoy después de calibrar los puertos del analizador de espectro, se hace el montaje con las antenas patch doble ranura y se toman 130 mediciones más, estas se extraen y se almacenan en una usb donde se consolida la información.	14:00	18:00	4 Horas		
16	5	13	El día de hoy después de calibrar los puertos del analizador de espectro, se hace el montaje con las antenas patch doble ranura y se toman 130 mediciones más, estas se extraen y se almacenan en una usb donde se consolida la información.	14:00	18:00	4 Horas		
16	5	20	Una vez concluida la toma de medidas de los parámetros de dispersión S12 y S21, en la transmisión de energía inalámbrica entre dos antenas tipo patch, se procede a ingresar esta información a la rutina diseñada en matlab para procesar esta información, como primer procesamiento esta rutina calcula la media obtenida a partir del total de información ingresada y después de obtener la media, a partir de esta se obtienen las graficas de comportamiento de las antenas en cuanto a la transmisión de energía inalámbrica.	14:00	18:00	4 Horas		
16	5	27	Análisis de las graficas obtenidas a partir del procesamiento de la información ingresada a la rutina de matlab diseñada para tal fin, comparación de los resultados obtenidos tanto en parámetro S12 como S21, para concluir a partir del estudio y análisis las mejores condiciones y parámetros para la transmisión de energía inalámbrica.	14:00	19:00	5 Horas		
<b>TOTAL HORAS</b>								<b>72 Horas</b>

  
 Firma Estudiante  
  
 Nombre y firma Laboratorio

  
 Nombre y firma Profesor(a) Universitario - Centro de Laboratorios