

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

**CARACTERIZACIÓN DE UNA ANTENA DE MICROCINTA PARA TRANSMITIR ENERGÍA DE FORMA
INALÁMBRICA**

Giovanny Meza Meneses

Ader Valdelamar Tapia

Ingeniería Electrónica

Directores:

Francisco Eugenio López Giraldo

Erick Estefen Reyes Vera

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Julio 25 del 2015

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

RESUMEN

En este proyecto se busca analizar el comportamiento de un par de antenas de microcinta diseñadas para la transmisión de energía inalámbrica, se estudiará fundamentalmente los parámetros S_{12} y S_{21} con el fin de realizar pruebas experimentales sobre la eficiencia de la transmisión de energía entre dos puntos distantes. Para esto, se implementaron dos antenas de microcinta idénticas, las cuales fueron conectadas a un analizador de espectros FSH4 Rhode & Schwartz, dichas mediciones se llevaron a cabo a diferentes ángulos de una de las antenas, con el fin de determinar la influencia de la inclinación en la línea de vista de la antena transmisora con la receptora, para determinar el mejor ángulo de transmisión.

Para el análisis de la información se elaboró un código en Matlab con el fin de poder realizar una mejor interpretación de los datos y que estos se conviertan en base fundamental para la construcción de dispositivos que permitan transmitir energía de forma inalámbrica.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos la colaboración a las siguientes personas y entidades por el apoyo brindado para con nosotros en este trabajo investigativo

- Francisco López Giraldo (Director del trabajo de grado)
- Erick Reyes Vera (Co-Director trabajo de grado)
- Juan Pablo Villegas Ceballos (Ingeniero electrónico ITM)
- Grupo de Investigación de autómeta electrónica y ciencias computacionales del Instituto Tecnológico Metropolitano

ACRÓNIMOS

ROEV Relación de onda estacionaria de tensión

SCMR strongly coupled magnetic resonance

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Objetivo general	6
1.2 Objetivos específicos	6
2. MARCO TEÓRICO	7
3. METODOLOGÍA	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	25
6. REFERENCIAS	26
APÉNDICE	28

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

1. INTRODUCCIÓN

La transferencia de energía de forma inalámbrica es un tema que se ha venido trabajando desde muchos años atrás. Cuando Nikola Tesla en 1889 invento la famosa bobina de Tesla que podía transferir potencia de forma inalámbrica. Adicional a esto, en 1964, William Brown propuso un esquema de transferencia inalámbrica de potencia punto a punto a través de haces de microondas. Posteriormente en el año 2007, la transferencia de potencia inalámbricamente conmociona al mundo nuevamente cuando un grupo de investigadores del MIT liderado por el profesor Marin Soljacic propone el método de resonancia magnética fuertemente acoplada (SCMR, por si sigla en inglés). Donde fueron capaces a través de este método de transferir 60 W de forma inalámbrica con una eficiencia de aproximadamente 40% en un enlace de 2 m de distancia. Seguido de esto, grandes empresas como es el caso de Intel y Qualcomm también han demostrado que a través de sistemas de transferencia de potencia de forma inalámbrica pueden ser implementados en nuestra vida diaria, tanto en ambientes interiores como exteriores.

Hasta este momento, la tecnología de transferencia de energía de forma inalámbrica puede ser clasificada en tres familias de acuerdo a su principio físico de funcionamiento, los cuales son:

1. Modo de radiación electromagnética
2. Modo de acoplamiento de campo eléctrico
3. Modo de acoplamiento de campo magnético

En el primero de los casos la energía eléctrica es convertida a energía electromagnética tales como microondas o a través de un haz laser el cual puede ser radiado a un dispositivo distante, una vez el receptor recibe la energía, realiza un proceso inverso, es decir, la energía electromagnética es convertida a campo eléctrico a través de una antena receptora o un foto detector en el caso de que sea empleada luz como medio de transmisión. Debido a las altas densidades de potencia que se emplean en este método y las buenas propiedades de orientación de este tipo de sistemas, el modo de radiación electromagnética es el más empleado para hacer sistemas de grandes distancia, en especial en aplicaciones militares. Sin embargo, este método ve fuertemente afectada su eficiencia como consecuencia de precipitaciones meteorológicas y cambios topográficos, lo cual lo hace menos deseable en aplicaciones en las ciudades.

En el segundo caso, es esencial tener en cuenta como es la distribución de cargas superficiales sobre el objeto empleado. El principio de funcionamiento consiste en una unidad que nos permite generar una señal con la particularidad de tener una amplitud de voltaje alto con frecuencias altas, la cual excita un primer resonador que funciona como transmisor, el cual generara un campo eléctrico alterno y por principio de resonancia va acoplando energía a un segundo resonador (receptor), donde la cantidad de energía acoplada dependerá de las geometrías y parámetros de los dos resonadores, siendo más alta a medida que los dos sean más similares y sus frecuencias naturales de resonancia por ende sean más parecidas. Sin embargo, la eficiencia de resonancia de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

este mecanismo se ve fuertemente afectada por los dispositivos u objetos que rodean tanto al transmisor como el receptor, ya que pueden generar pérdidas de energía y la transferencia de energía es relativamente baja.

Por ultimo tenemos el modo de acoplamiento de campo magnético, que se subdivide en dos métodos que dependen principalmente de las distancias. En el caso de trabajar con distancias cortas se habla de inducción magnética, pero para el caso de un rango medio se emplea SCMR. El método de inductancia es un método muy eficiente y de altas potencia, pero está limitado por las distancias ya que las dos bobinas o agentes generadores de campo magnético deben estar muy cercanos. Mientras el método SCMR es un modo en el cual tanto la eficiencia y la potencia transmitida se ven limitadas pero nos permite realizar transferencia de energía un par de metros.

En este trabajo nosotros exploramos la posibilidad de realizar la transmisión inalámbrica de energía empleando un par de antenas de microcinta, donde se evalúa como al cambiar el ángulo de vista puede ser alterada la respuesta a través de un analizador de redes vectorial que nos permite evaluar los parámetros S del sistema.

OBJETIVOS

General

Estudiar el comportamiento de un par de antenas de microcinta usadas para transmitir energía de forma inalámbrica. Con el fin de estudiar la eficiencia de la transmisión, dependiendo el ángulo de transmisión de dichas antenas

Específicos

- Medir y analizar el comportamiento de dichas antenas variando ángulo de transmisión por medios del analizador de redes vectorial.
- Analizar el comportamiento de los parámetros S_{12} y S_{21} para medir la eficiencia de la transmisión
- Estudiar la relación entre el campo eléctrico emitido por una antena microcinta y la ganancia en potencia de este.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

2. MARCO TEÓRICO

La Inducción electromagnética

Descubierta por Faraday, es un fenómeno que refleja la relación entre la electricidad y el magnetismo, la inducción electromagnética se halla muy presente en nuestro entorno.

Supongamos que tenemos un cable conductor por el que hacemos pasar una corriente eléctrica, debido al paso de cargas en movimiento se crea alrededor de dicho cable un campo magnético que abarca todo el espacio próximo. Si en lugar de un cable recto tenemos un cable arrollado muchas veces, es decir, una bobina, el campo magnético creado será más intenso y mucho más entre más vueltas tenga. Esta es la que vamos a denominar “bobina primaria”. Supongamos, además, que la corriente eléctrica que hacemos pasar a través de esta bobina primaria es corriente alterna. En este caso, el campo magnético que se genera es además variable en el tiempo y viene caracterizado por una determinada frecuencia.

Si ahora acercamos lo suficiente una segunda bobina “la bobina secundaria”, como para que quede inmersa en dicho campo magnético variable, observaremos que se genera en ella una corriente eléctrica. Es decir, la bobina primaria ha inducido corriente eléctrica en la bobina secundaria sin necesidad de que esta esté conectada físicamente.

Este fenómeno es la base de muchísimos componentes eléctricos, como los transformadores, además de encontrarse en una gran diversidad de pequeñas aplicaciones cuasi-inalámbricas como los cepillos de dientes eléctricos, cargadores de móviles o reproductores mp3 en los que no es necesario conectar un cable al dispositivo.

Es importante destacar que no existe ningún medio físico entre ambas bobinas, es decir, la energía eléctrica se transmite de la bobina primaria a la secundaria de manera inalámbrica. Es el campo magnético existente entre ambas bobinas el encargado de transferir la energía eléctrica de una a otra, transferencia que se hace menos efectiva a medida que alejamos las bobinas, hasta el punto de que basta separarlas una distancia muy pequeña, depende de la frecuencia del campo, para que la corriente inducida en la bobina secundaria desaparezca. Se podría mantener la inducción eléctrica aumentando la intensidad del campo magnético, pero esto además de magnetizar toda la habitación, supondría un derroche de energía ineficaz, ya que el campo magnético se genera en todas las direcciones y no solo en la que se encuentre la bobina secundaria.

Pero aquí es donde entra a jugar otro fenómeno físico común en multitud de ámbitos. Un fenómeno que hay que tener en cuenta tanto a la hora de fabricar instrumentos musicales como en la construcción de puentes, nos referimos a la resonancia.

2.2. La resonancia

La resonancia es un fenómeno físico que se produce en muchos sistemas diferentes y que se caracteriza por una transferencia de energía muy efectiva entre un sistema y otro. El ejemplo clásico que se utiliza para entender el concepto de resonancia es el de un niño balanceándose en

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

el columpio de un parque infantil. Si el niño no se impulsa de ninguna manera el columpio ira poco a poco disipando energía y su oscilación se ira frenando. Para seguir disfrutando de su columpio el niño deberá impulsarse, es decir, emplear el movimiento de su cuerpo para comunicar una fuerza periódica al sistema. Pero esta fuerza no debe aplicarla de cualquier manera, debe ajustarla a la frecuencia del balanceo. En este caso, no solo logrará mantener el columpio en movimiento, sino que, con muy poco esfuerzo pero suministrado en el momento adecuado, logrará balancearse cada vez más y más. Es decir, ajustando la frecuencia de su movimiento a la frecuencia del balanceo conseguirá una transferencia energética óptima entre su cuerpo y el columpio. Niño y columpio han entrado en resonancia.

Fenómenos espectaculares y también clásicos de resonancia los podemos ver en la copa que se rompe en pedazos ante la nota de una soprano, en este caso es la frecuencia del sonido la que coincide con la frecuencia de resonancia de la copa, o en puentes que se balancean como si fueran de mantequilla ante una pequeño pero modulado viento.

Prácticamente cualquier sistema físico, desde un puente hasta nuestros átomos, se caracterizan por una o varias frecuencias de resonancia naturales, es decir, frecuencias a las que son especialmente receptivos para absorber energía, y esto es lo que han empleado los investigadores para transferir corriente eléctrica de manera inalámbrica.

Para esto, ajustaron 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.

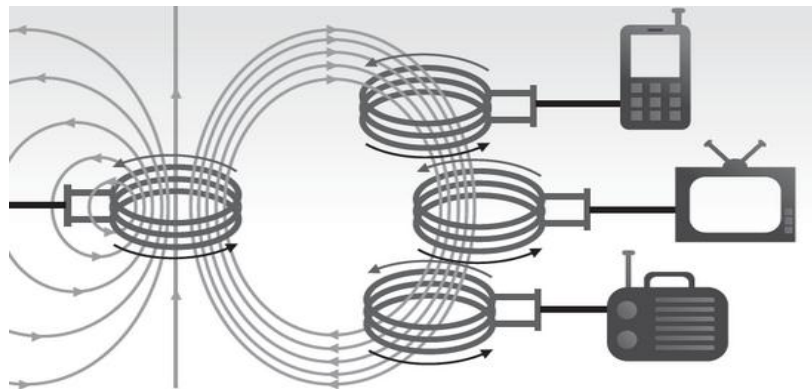


Figura 1. Acoplamiento magnético resonante permite transmitir energía eléctrica de manera inalámbrica.
Ref. Teslablog.iaa.es

Este fenómeno, conocido como acoplamiento magnético resonante, es en general, el sistema utilizado por varias de las empresas que actualmente comercializan electricidad inalámbrica. En el caso ideal, bastaría comprar un generador de Witricidad, que viene a ser la bobina primaria, enchufarlo a la red eléctrica y dispondríamos de energía eléctrica inalámbrica para todos nuestros dispositivos electrónicos del hogar y de la oficina, de una manera limpia y segura, ya que el campo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

magnético generado apenas interacciona con el organismo, y no se ve afectado por ningún obstáculo que se interponga en su camino.

2.3. Antenas de microcinta o tipo parche

Una antena de microcinta como puede observarse, en los conceptos básicos simplificados de funcionamiento y diseño (Jaime Ramírez Artunduaga), consiste de una muy delgada ($t \ll \lambda$) donde λ es la longitud de onda en el espacio libre, colocado sobre una lámina dieléctrica, también delgada ($h \ll \lambda$, usualmente $0.003 \lambda < h < 0.05 \lambda$) encima de un plano de tierra.

La cinta (parche) y el plano a tierra son separados por una lámina de material dieléctrico (referido como un substrato).

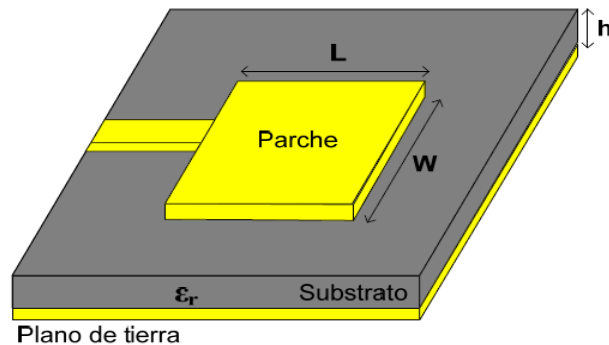


Figura 2. Antena tipo parche.

El elemento radiador o patch, puede ser de diferentes configuraciones, entre los se encuentran, las cuadradas, rectangular, cinta dipolar, circulas, elíptica, anillo circular, entre otras. Además de sus diferentes configuraciones, también hay diferentes formas de alimentar la antena, entre los que se destacan la línea de microstrip, la cual consiste en la utilización de cintas conductoras, las cuales se conectan al parche y el cable coaxial que se conecta al plano a tierra.

La constante dieléctrica efectiva esta dada por la siguiente formula:

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

La longitud efectiva o también llamada longitud, está dada por:

$$L_{eff} = L + 2\Delta L$$

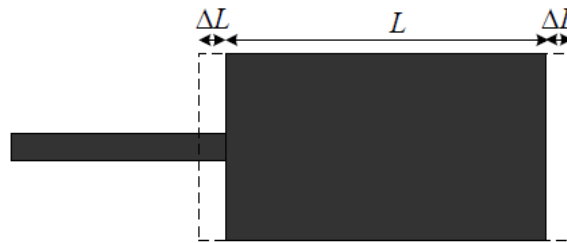


Figura 3. Esquema antena parche.

La frecuencia de funcionamiento o frecuencia de resonancia de la antena de parche, se determina por la longitud L. La frecuencia central se ser aproximadamente igual a:

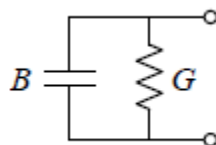
$$f_c = \frac{c}{2L\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_0\epsilon_r\mu_0}}$$

La ganancia de las antenas, se obtiene a partir de la teoría de las aperturas equivalentes, mientras que el ancho de banda está relacionado con la capacitancia de la franja

$$G = \frac{W}{120\lambda_0} \left[1 - \frac{1}{24} \left(\frac{2\pi h}{\lambda_0} \right)^2 \right] \text{ Para } \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10}$$

$$B = \frac{W}{120\lambda_0} \left[1 - 0.636 \ln \left(\frac{2\pi h}{\lambda_0} \right)^2 \right] \text{ Para } \frac{h}{\lambda_0} < \frac{1}{10}$$

El circuito equivalente es construido como un circuito paralelo entre R-C.



Antenas de ranura alimentadas por guías de ondas presentan ventajas, tales como la dispersión inferior, ancho de banda más amplio, en comparación con antenas de parche de microcinta. Por otro lado, es relativamente fácil la conexión de los elementos electrónicos que se requieren para mejorar la adaptación de impedancia y ganancia (Eldek 2005). Muchos tipos de diseños de ranura

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

se han presentado con gran ancho de banda (Huang 1998, Soliman 1999, Eldek2003_1). Las antena de ranura Bow-tie alimentado por CPW también han sido diseñado para trabajar con constante dieléctrica alta ($\epsilon_r = 10,1$) (Miao, 2000) y no se requiere ninguna red balun.

En aplicaciones de radar, donde el tamaño pequeño es necesario, una alta eficiencia y un peso ligero, son utilizadas antenas con slot con un rango de 10 GHz (Eldek2003_2). En este artículo los autores hacen un estudio paramétrico en tres antenas diferentes y se compararon entre sus propiedades de radiación, tales como la eficiencia, la pérdida de retorno, ancho de banda, directividad, y los patrones de radiación. Los resultados mostraron ancho de banda más amplio, en contraste con el dipolo impreso tradicional.

Pequeñas y múltiples antenas de ranura son también para aplicaciones de radar, sensores de microondas y RF (Allen 2003), los autores utilizaron una serie de ranuras paralelas con longitudes cónicas, con guía de ondas coplanar alimentado (CPW) para apoyar la operación de banda ancha.

Las antenas de parche planas (CPA) introducidas en (Li2001) y (Tong2001) tienen 3,4% y el 8,8% del peso corporal. Los investigadores han realizado esfuerzos para superar el problema del estrecho BW y varias configuraciones se han realizado para extender el BW. La adición de un corto en la ranura superior de la CPA y variando su longitud logra de 30 a 40% BW (Elsherbeni2002) en frecuencias más altas para aplicaciones de radar.

En su artículo “Analysis of slot-loaded rectangular microstrip patch antenna”, analizan el efecto que ocurre, cuando al parche de la antena se le realiza un slot en la parte superior de ella. Observan que cuando se aumenta el ancho del slot, la frecuencia de resonancia disminuye y el VSWR se mantiene casi invariable en el ancho y largo del slot.

Harshvardhan Tiwari and M.V.Kartikeyan (2010), hablan en su artículo sobre el estudio de ranuras de tipo U en el parche de la microstrip, con el cual obtienen el efecto de la dual band, (Md. Nazmul Hasan, Syed Waqar Shah, Mohammad Inayatullah Babar, Zeeshan Sabir, 2012), El documento también confirma la aparición del efecto Dual-band con ranuras tipo U, además la técnica de cambio de frecuencia de resonancia variando la amplitud de ranura U, la ganancia y la directividad se han mejorado en dos diseños de la antena de parche.

3. 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

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

mucho mayor que los elementos circuitales (resistencias, inductores y capacitores, los circuitos típicos RLC) y donde es fácil caracterizar el circuito a través de tensiones y corrientes (recordemos las Leyes de Kirchhoff, por ejemplo).

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 punto 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 λ). 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, los **parámetros S**.

¿Y de dónde salen estos parámetros S? 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

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

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:

$$a_n = \frac{V_n^+}{\sqrt{Z_0}}$$

y

$$b_n = \frac{V_n^-}{\sqrt{Z_0}}$$

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:

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

RED DE DOS PUERTOS

a_1 : Potencia que incide en el puerto 1

b_1 : Potencia que reflejada en el puerto 1

a_2 : Potencia que incide en el puerto 2

b_2 : Potencia que reflejada en el puerto 2

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

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Expandiendo las matrices en ecuaciones, se tiene:

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

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

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*. Observe que 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:

S_{11} Coeficiente de reflexión del puerto 1 cuando a_2 es igual a cero. Relaciona tensión incidente con tensión reflejada en el puerto 1.

S_{12} 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.

S_{21} 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

S_{22} 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.

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

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

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

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

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

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

Provee información sobre la adaptación del puerto respecto de la Z_0

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

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	01
		Fecha	2013-09-16

3. METODOLOGÍA

Fase 1: Recolección bibliográfica del estado del arte, con materiales de estudio tales como, artículos de revistas, libros, tesis de grado, entre otros, que contengan investigaciones y trabajos realizados sobre transmisión inalámbrica de energía que se utilizaran como soporte de nuestro proyecto.

Fase 2: Se estudiaron los parámetros característicos de las antenas de microcinta empleadas en este trabajo para determinar los factores que pueden generar cambios sobre la frecuencia de resonancia. Así como evaluar la importancia de cada uno de los factores presentes en la antena y su influencia sobre los parámetros eléctricos de estas.

Fase 3: Se procedió a capacitarnos en el manejo del analizador de redes vectorial marca Rhode & Schwartz con el fin de caracterizar primero las antenas y posteriormente emplear este para evidenciar la transferencia de energía.

Fase 4: Se realizó un enlace entre dos antenas con el fin de evidenciar la transmisión de potencia de forma inalámbrica, para ello se empleó el equipo FSH4 permitiéndonos evaluar los parámetros S11 y S21 y sus variaciones cuando se varía el ángulo de inclinación entre las antenas.

Fase 5: Análisis, tabulación e interpretación de los datos obtenidos y sacar conclusiones para el informe final.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Montaje experimental.

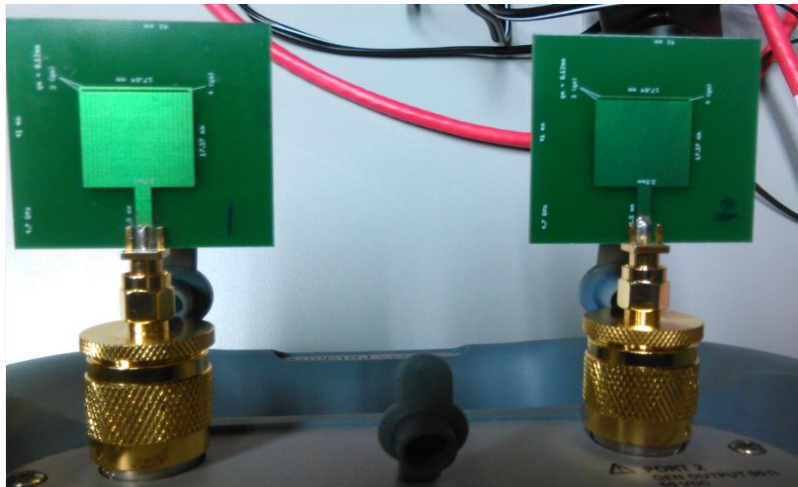


Figura 4. Par de antenas tipo parche utilizadas en el análisis.

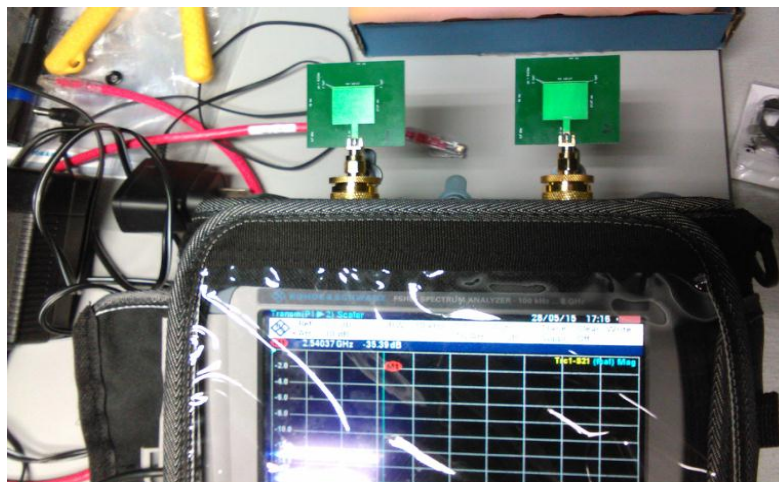
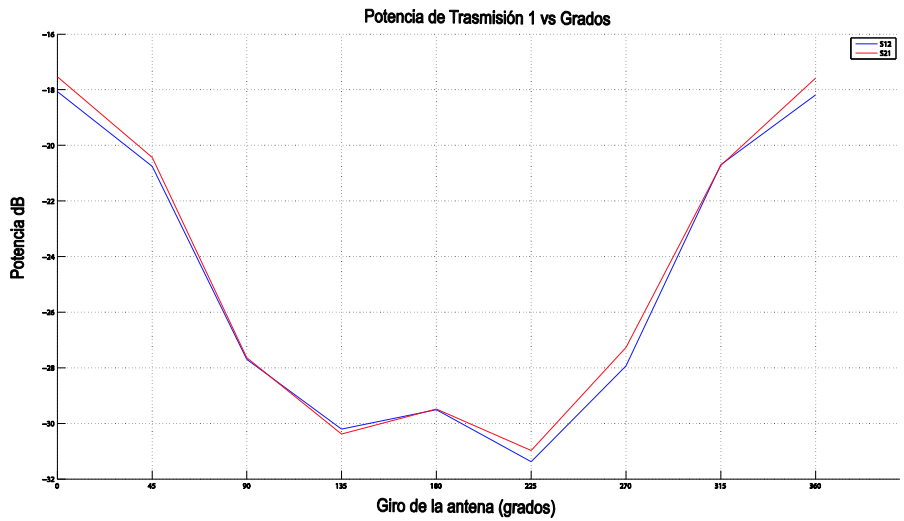


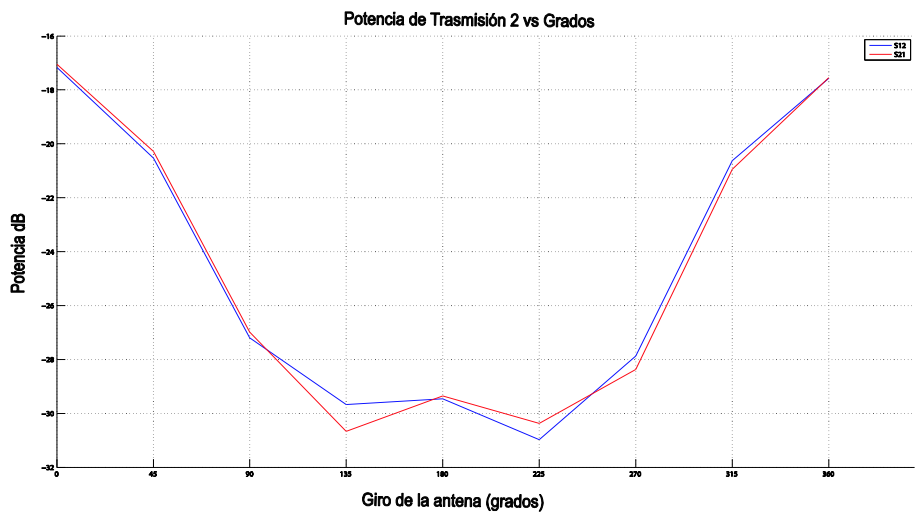
Figura 5. Montaje de antenas conectadas a los puertos 1 y 2 del analizador FSH4.

4.2. Discusión.

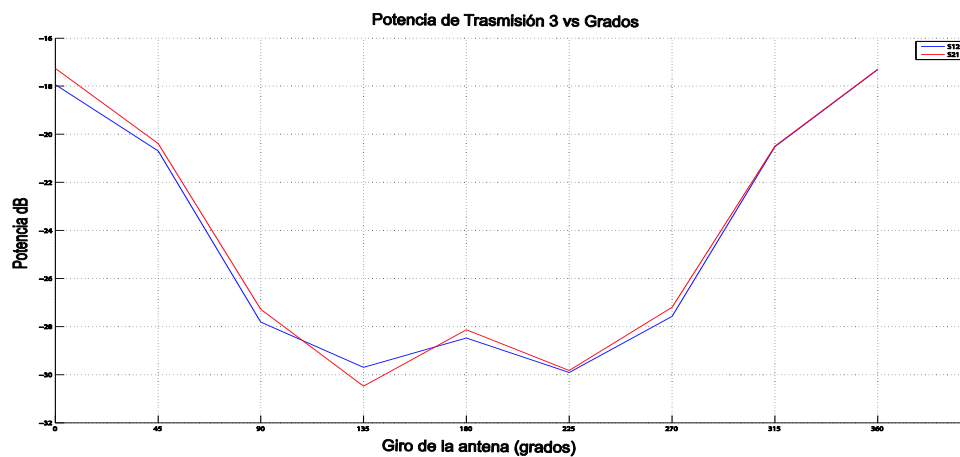
A continuación mostraremos un conjunto de graficas que muestran los resultados obtenidos durante las diferentes transmisiones realizadas, las gráficas fueron realizadas en MATLAB.



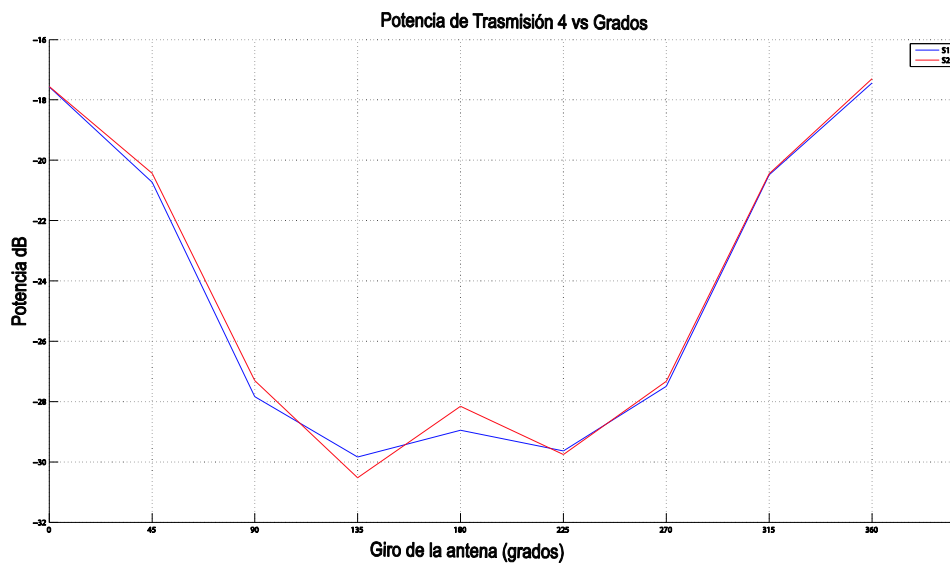
Grafica 1. Potencia de transmisión 1



Grafica 2. Potencia de transmisión 2

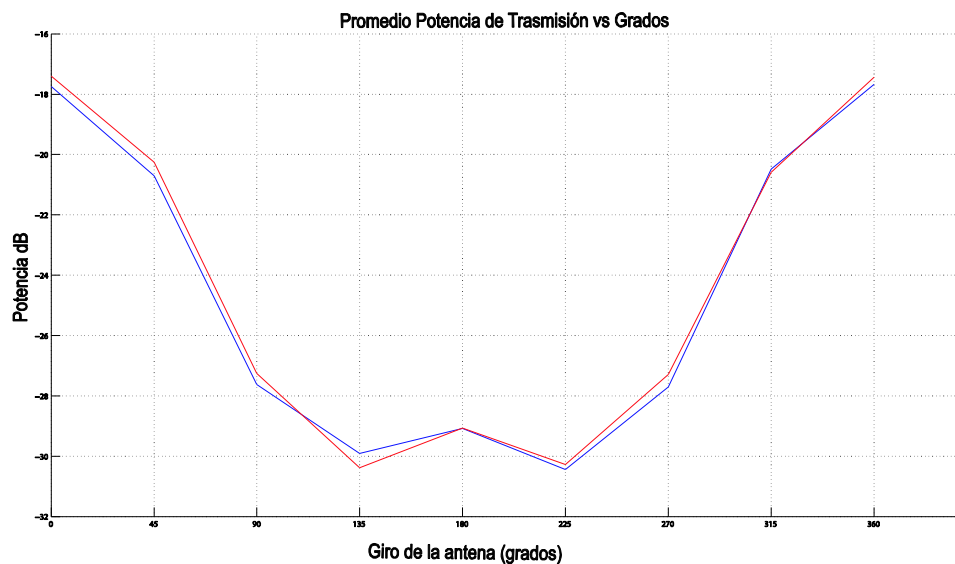


Grafica 3. Potencia de transmisión 3.



Grafica 4. Potencia de transmisión 4.

Grafica estadística: En la siguiente grafica se muestran los puntos promedios de todos los datos obtenidos durante las transmisiones realizadas en el laboratorio, con ellas definiremos conclusiones y discutiremos los resultados, la grafica 5 nos permite ver de forma clara los valores obtenidos.

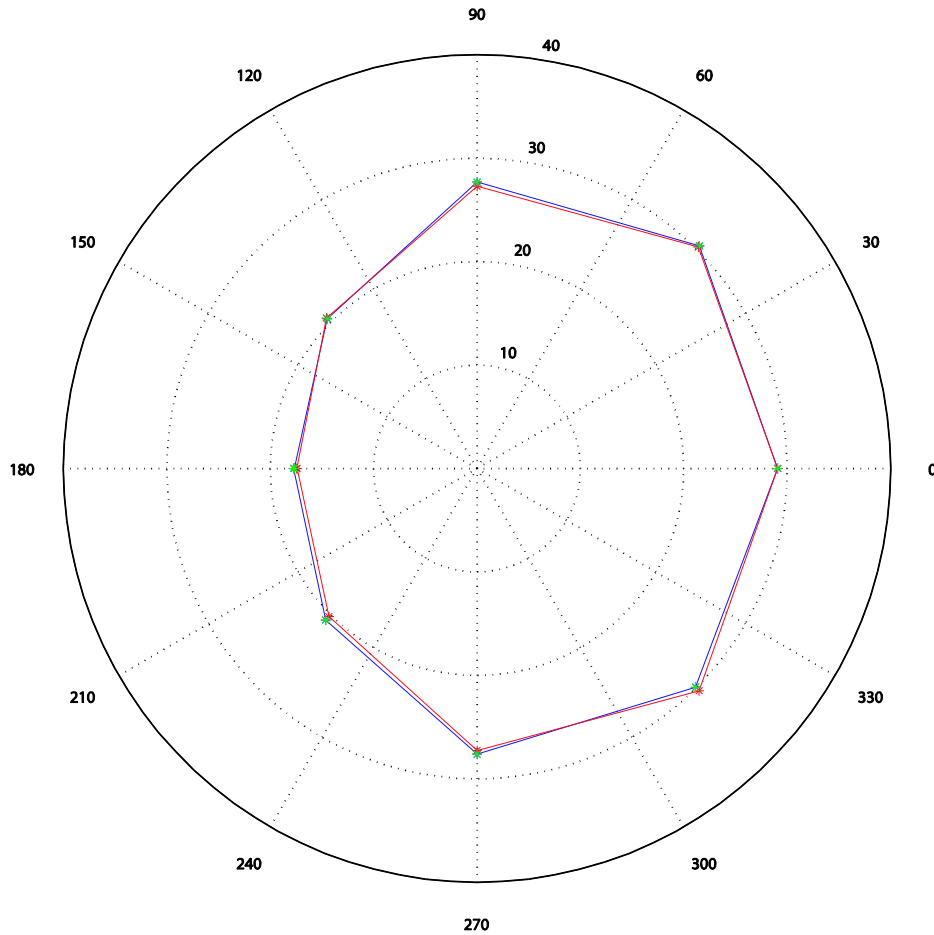


Grafica 5. Grafica del promedio de potencia en coordenadas cartesianas

Explicación de la gráfica 5: Como podemos observar claramente lo que nos ilustra la figura 7, sobre el resultado de la transmisión es que la transmisión es más eficiente cuando se usa el parámetro S12 (línea de color rojo), que cuando usamos el parámetro S21 (línea de color azul), esto puede ser debido a las características de transmisión que presentan las antenas, podemos decir de acuerdo a las mediciones realizadas que la potencia de la transmisión va a ser mayor entre más pequeño sea el ángulo de inclinación en la línea de vista de las antenas, de esta manera la antena receptora recibirá más potencia emitida por la antena transmisora por ejemplo, para el ángulo de 0° la potencia recibida por la antena receptora desde la transmisora es mayor que la potencia transmitida a un ángulo de 90°, esto es debido a que a 0° se encuentra el origen del campo eléctrico y no hay tanta distorsión en la transmisión, en cambio cuando transmitimos a 90° hay más distorsión y pérdidas en la transmisión. Es más eficiente a 108° que a 115° y 135° esto es

debido a la forma de radiación de las antenas, podemos decir que el comportamiento de la transmisión en general fue el esperado por el grupo de trabajo.

Promedio de la potencia de transmisión (dB) vs Ángulo de inclinación antena (Grados)



Grafica 6. Grafica de radiación en cordenadas cilindricas.

Explicación grafica 6: Esta grafica en cordenadas cilindricas nos ilustra con mas claridad como es la potencia con relacion al campo de radiacion eléctrico propagado por las antenas, podemos ver claramente que entre mas cerca este el angulo de transmision de la antena transmisora al la figura del campo electrico irradiado por la antena receptora mayor sera la potencia transmitida por esta,

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

podemos ver clara mente que la transmicion es mejor cuando las antenas están a 180° que a 135° y a 225° esto es debido a que la antena tiene un lobulo de transmisión en la parte trasera como lo ponemos ver en la figura 8 y cuando transmitimos a 180° quedamos dentro de este campo, en cambio cuando transmitimos a 135° o 225° transmitimos en la zona critica del campo donde tiene menos intensidad el campo de radiación esto dificulta la transmisión y nos da mas perdida a la hora de transmitir energía de forma inalámbrica, por eso vemos que la potencia transmitida a 180° es mayor debido a que el ángulo de 180° se encuentra dentro del lobulo de radiación trasero y se transmite de una forma mas eficiente.

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- El proyecto buscaba analizar el comportamiento de un par de antenas microcintas usadas para transmitir energía inalámbrica variando el ángulo de transmisión, se midieron los diferentes resultados variando dichos ángulos, y encontramos que la potencia transmitida está directamente ligada al campo eléctrico radiado por las antenas y a su intensidad de radiación, el ángulo de transmisión y la forma del campo que irradia la antena determinan la eficiencia de la potencia transmitida.
- Podemos decir que la forma mas eficiente para transmitir energía y inalámbrica por medio de antenas microcintas es a 0°, pero no podemos afirmar que entre mas de frente estén posicionadas las antenas diferente al ángulo de 0° la transmisión va hacer mas eficiente por que como pudimos comprobar el cuando transmitimos a 135°, 225° y 180°, la transmisión fue mas eficiente a 180° debido a que quedo en el lobulo trasero de la antena y en cambio 135° y 225° quedaron en los extremos de la transmisión

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

REFERENCIAS

- Alexandres, S., Rodríguez-Morcillo, C., Muñoz, J. D., Juárez, J., & Contreras, D. (Septiembre-Octubre de 2012). revista-anales.es. Recuperado el Febrero de 2014, de http://www.revista-anales.es/web/n_16/seccion_3.html
- Allience, Z. (Marzo de 2009). zigbee.org. Recuperado el Enero de 2014, de <https://docs.zigbee.org/zigbee-docs/dcn/09-4962.pdf>
- American Society of Hypertension, I. (2010). ash-us.org. Recuperado el Noviembre de 2013, de <http://www.ash-us.org/documents/BloodPressureHealthSpanish.pdf>
- Boquete L., Barea R., Rodríguez J. M. -Ascariz, J. J. Cantos, J. M. Miguel, Práctica de Laboratorio de Captura de Energía de Radio Frecuencia, Departamento de Electrónica Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, España, , pp. 319-323, 2012.
- Buenrostro Rocha Sergio, octubre de 2007, METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ANTENAS MICROCINTA EN LA BANDA WIMAX A 3.5 Ghz, Tesis doctoral, para obtener el grado de maestro en ciencias, Instituto Politécnico Nacional, Tijuana, México.
- Caprile, S. R. (2009). Equisbí: Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en modulos zigbee y 802.15.4. Buenos Aires: Gran Aldea Editores.
- Daniel W. Harrist., WIRELESS BATTERY CHARGING SYSTEM USING RADIO FREQUENCY ENERGY HARVESTING, Julio 2004, tesis de grado, UNIVERSITY OF PITTSBURGH SCHOOL OF ENGINEERING, PITTSBURGH, USA.
- Du, Y.-C., Lee, Y.-Y., Lu, Y.-Y., Lin, C.-H., Wu, M.-J., & Chen, C.-L. C. (2010). Development of a Telecare System Based on ZigBee Mesh Network for Monitoring Blood Pressure of Patients with Hemodialysis in Health Care Centers. 8.
- Gallejo, J., Lemos, J. D., & Hernandez, A. (2010). Diseño de dispositivo portatil e inalámbrico para el monitoreo ambulatorio de la presión arterial no invasiva. Revista Politécnica, 11.
- Leong K. M., Tan T. S., Lum K. Y. and Johari K., 2014, WIRELESS ENERGY TRANSFER USING MICROSTRIP ANTENNA, American Journal of Applied Sciences, 11 (2): 195-201, ISSN: 1546-9239
- Li K., Cheng C. H., Matsuni T. and Izutsu M., "Coplanar patch antennas: principal, simulation and experiment," Proc. Antennas Propagat. Soc. Int. Symp., Boston, MA, July 2001, vol. 3, pp. 402-405.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Pavone D, Buonanno A., M. D'Urso, *, and Corte F. D., DESIGN CONSIDERATIONS FOR RADIO FREQUENCY ENERGY HARVESTING DEVICES, Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 45, 19{35, 2012

Ramírez Villegas Rossana, Urquizo Ruvalcaba Ismael, agosto de 2010, METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA ANTENAS MICROCINTA DE PARCHE RECTANGULAR, Tesis de grado, tesis para obtener el título de ingenieros en Comunicaciones y Electrónica, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México.

Tong K. F., Li K., Matsuni T. and Izutsu M., "Wideband coplanar waveguide fed coplanar patch antenna" Proc. Antennas Propagat. Soc. Int. sy"., Boston, MA, July 2001, vol. 3, pp. 406-409.

Valle F. J., Estudio de un sistema de transmisión de energía por RF, febrero de 2006, Tesis de grado, Escuela politécnica superior de Cataluña, Cataluña, España.

Vásquez, W. B. (2006). dspace.ups.edu.ec. Recuperado el 12 de Noviembre de 2013, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/206/4/Capitulo%203.pdf>

Yunes Almodovar Salvador Jesús, Mayo de 2010, Diseño de Antenas Direccionales de 2.4 y 5.8 GHz por medio de la Técnica de Microcinta, Tesis de grado, Presentado a la Academia de Sistemas Digitales y Comunicaciones Del Instituto de Ingeniería y Tecnología de La Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ, México.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

APÉNDICE

Apéndice A

Código para graficar los datos en MATLAB.

```
load 'DatosAntenaAder.mat'

figure
title('Potencia Trasmisión 1')
grid on, hold on;
plot(Angle,TrS12_pow(:,1));
plot(Angle,TrS21_pow(:,1),'r');
set(gca,'xtick',Angle);

figure
title('Potencia Trasmisión 2')
grid on, hold on;
plot(Angle,TrS12_pow(:,2));
plot(Angle,TrS21_pow(:,2),'r');
set(gca,'xtick',Angle);

figure
title('Potencia Trasmisión 3')
grid on, hold on;
plot(Angle,TrS12_pow(:,3));
plot(Angle,TrS21_pow(:,3),'r');
set(gca,'xtick',Angle);

figure
title('Potencia Trasmisión 4')
grid on, hold on;
plot(Angle,TrS12_pow(:,4));
plot(Angle,TrS21_pow(:,4),'r');
set(gca,'xtick',Angle);

figure
title('Potencia Trasmisión 5')
grid on, hold on;
plot(Angle,TrS12_pow(:,5));
plot(Angle,TrS21_pow(:,5),'r');
set(gca,'xtick',Angle);

figure
title('Potencia Trasmisión 6')
grid on, hold on;
plot(Angle,TrS12_pow(:,6));
plot(Angle,TrS21_pow(:,6),'r');
```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

```

set(gca, 'xtick', Angle);

figure
title('Promedio Trasmisión')
grid on, hold on;
plot(Angle, PromTrS12_pot);
plot(Angle, PromTrS21_pot, 'r');
set(gca, 'xtick', Angle);

```

FIRMA ESTUDIANTES	<u>Ader Valdelomar Tapia</u> <u>[Signature]</u> <u>[Signature]</u>
FIRMA ASESOR	<u>[Signature]</u>
	FECHA ENTREGA: <u>11 Agosto 2015</u>

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____
RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___
ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

<p>FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____</p> <p style="text-align: right;">ACTA NO. _____</p> <p style="text-align: right;">FECHA ENTREGA: _____</p>
--