


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

TRANSFERENCIA Y RECOLECCIÓN DE ENERGÍA INALÁMBRICA MEDIANTE ANTENAS PATCH

Edison Andrés zapata Ochoa

Hernán Darío machuca quejada

Ingeniería en Telecomunicaciones

Director:

FRANCISCO EUGENIO LOPEZ GIRALDO
OSCAR DAVID OSSA MOLINA

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
Noviembre 23 de 2018

| | | | |
|---|--|---------|------------|
|  | <p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p> | Código | FDE 089 |
| | | Versión | 03 |
| | | Fecha | 2015-01-22 |

RESUMEN

En este proyecto se diseñaron antenas patch multibandas, las cuales operan en las bandas de frecuencia en las que trabajan los operadores de servicios existentes de comunicaciones en Colombia; además se muestran diseños para aplicaciones en la frecuencia de 5 GHz, el propósito es recolectar las RF en el espectro, para convertirlas en energía, transmitirla o almacenarla, esta energía puede ser usada en equipos como ordenadores, sensores de movimiento, equipos móviles o en iluminación de baja intensidad. Se implementó una topología de circuito que permite la conversión de RF a DC y este se integró mediante software Optennilab a la antena tipo patch, esta implementación se conoce como rectenna.

Palabras clave: Transmisión de energía, rectenna, transmisión de energía usando el espectro, energía inalámbrica, transmisión de potencia.

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

RECONOCIMIENTOS

Queremos agradecer al docente Francisco Eugenio López por su paciencia y enseñanza, por sus consejos y principalmente por haber sido nuestro asesor, al docente Oscar Ossa por su asesoría y consejos, también a Roger Martínez Ciro, Por su asesoría.

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

ACRÓNIMOS

WPT Wireless power transfer
PTE power transfer efficiency
CST microwave studio simulation software
RFID Radio Frequency Identification
MASSC Multiple-antiparallel square spiral coil
MRC magnetic resonance coupling
MFD magnetic flux density
USSC unidirectional square spiral coil
NEAR FIELD campo cercano
FAR FIELD campo lejano
MEP Maximum Efficiency point
MPTP Maximum Power Transfer Point
NFC near fear coupling

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

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

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|--------------------------------------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 7 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 12 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 14 |
| 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO | 28 |
| REFERENCIAS | 29 |
| APÉNDICE..... | ¡Error! Marcador no definido. |

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

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de transferencia de energía inalámbrica (WPT) se ha estado investigando hace varios años, esta tecnología ha estado avanzando y se han logrado resultados en la carga inalámbrica, especialmente en Dispositivos portátiles, dispositivos electrónicos de bajo consumo, dispositivos médicos e industriales. La capacidad de la distancia de potencia de transmisión en el sistema (WPT) es relativamente corta (HAN-JOON KIM 1, Review of Near-Field Wireless Power and, 2017). El acoplamiento magnético disminuye a medida que la distancia aumenta por esto, la capacidad del (WPT) debe mejorarse. Este proyecto comienza con el estudio teórico de transferencia inalámbrica de energía (WPT). para la comprensión de este tema se procede a la lectura de artículos de (WPT) por acople inductivo y acoplamiento por resonancia, para analizar y replicar los resultados teóricamente en artículos consultados. Se realiza el estudio y simulación usando el software CST STUDIO SUITE, OPTENNI LAB, Sin embargo algunos resultados replicados no concuerdan con los resultados obtenidos en los artículos citados, si bien una vez encontrados los parámetros y características para que haya (WPT), se realizan cierta cantidad de simulaciones con diferentes variaciones para obtener el mejor diseño para que se realice un mejor (PTE).

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema el cual transforme las radiofrecuencias que se encuentran en el medio aéreo en energía para que pueda ser transmitida o almacenada, además con posible uso en equipos de bajo consumo como teléfonos móviles, computadoras portátiles y sensores.

Específicos

- Diseñar antenas patch multibandas que trabajen en las frecuencias de los operadores de comunicaciones en Colombia.
- adaptar dispositivos circuitales a las antenas por medio de software.
- Análisis de los resultados de la antena por medio de la simulación.
- Hacer un análisis del acoplamiento del circuito a la antena.
- Determinar el impacto ambiental positivo que este proyecto puede traer.

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

MARCO TEÓRICO

La demanda y consumo de energía aumenta cada día, los combustibles fósiles son limitados, costosos y peligrosos para el medio ambiente, por eso nace la necesidad de crear nuevas fuentes de energías alternativas que sean sostenibles y amigables con el medio ambiente. existen varios tipos de energía externa que se pueden capturar como son la energía térmica, solar, eólica y de RF. Esta última puede ser recolectada por medio de antenas patch, la energía de RF se encuentra en todas partes debido a los teléfonos móviles, las LAN inalámbricas (WLAN), Wi-Fi, Las señales de radio FM / AM y las señales de televisión, Las bandas en las que se puede cosechar la energía inalámbrica son las más comunes como son las (Bandas de 900/850 MHz), servicios de comunicaciones personales (banda de 1800/1900 MHz), y fuentes transmisoras de red de 2.4 GHz y WiMAX (2.3 / 3.5 GHz). La energía cosechada puede ser usada en dispositivos médicos e implantes, señales de tráfico, sensores, monitores de presión, estaciones inalámbricas de meteorología, carga de dispositivos de bajo consumo de energía como ordenadores o iluminación de baja intensidad. El diseño de estas antenas se conoce como rectenna (antena y rectificador) el objetivo de esta combinación hace que la antena recolecte las ondas electromagnéticas del medio ambiente, el rectificador hace la conversión de RF a CC. Las antenas patch son livianas de bajo costo y fácil de construir.

(WPT) es la transferencia de energía inalámbrica, o la transferencia de energía electromagnética, también se conoce como transmisión de energía eléctrica sin cables. Los principales modos de transmisión de energía inalámbrica son: (1). Resonancia (2). Acoplamiento inductivo (3). Transmisión de microondas y (4). Tecnología láser, El concepto de transmisión de energía inalámbrica fue introducido por Nicole Tesla (tesla, 1900). En (Wireless Power Transfer Using Metamaterial Bonded Microstrip Antenna for Smart Grid WSN) se realiza la transmisión de energía de un extremo a otro sin usar cable, como medio se usan las ondas de radio de alta frecuencia que se transfieren con la antena del transmisor y se reciben por un circuito receptor que rectifica las ondas electromagnéticas y suministra la energía a una carga resistiva. Este artículo utiliza un M.R.P.A (Microstrip Rectangular Patch Antenna) diseñada con metamateriales polarizada circularmente, con una matriz integrada en la placa metamaterial para transmitir la potencia de microondas esto consiste en un parche radiante en un lado de un sustrato dieléctrico que tiene un plano de tierra en el otro lado. El parche está hecho de material conductor y puede tomar cualquier forma posible. El parche radiante y las líneas de alimentación son generalmente fotograbado en el sustrato dieléctrico. En M.R.P.A. las radiaciones de múltiples trayectorias se logran colocando un elemento de radiación dentro de una cavidad en el plano de tierra, para la Recepción el bloque receptor recibe la potencia de microondas transmitida por el transmisor este bloque Tiene una antena receptora para recibir poder, con un filtro de paso de banda para eliminar los armónicos de la potencia de microondas recibida. Se usa la antena receptora para recoger la potencia transmitida desde el extremo transmisor y extraer microondas libres en el espacio. La antena receptora es una antena Microsip con polarización circular. En La salida de la antena ocurre la rectificación, las RF pasan a través

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

de un filtro de paso de banda y luego pasan por el diodo rectificador. Los Bloques de filtro de paso de banda hacen que los armónicos de orden superior transfieran de la antena al diodo la potencia máxima transferida. El diodo realiza la conversión de microondas a DC, es el factor más importante para el sistema (WPT). Este artículo propone un arreglo de varias antenas Microsip polarizadas circularmente y diseñadas con metamaterial que mejoran la ganancia para el sistema de transmisión y el sistema de recepción de antenas tipo parche que trabaja en la frecuencia 2,45 GHz. La Aplicación del Metamaterial puede mejorar otros parámetros importantes de las antenas, ya que se reduce la potencia irradiada del ancho de haz que puede también ayudar a evitar interferencia con las otras transmisiones en esta banda. Utilizando el diodo de la barrera de GaAs Schottky para la rectificación ayudará a la transferencia de energía para sensores inalámbricos para que tengan un mayor alcance (V Singh, 2014).

En la transmisión de energía inalámbrica existen muchos diseños como en (Broadband Bent Triangular Omnidirectional Antenna for RF Energy Harvesting). se diseña una antena triangular que tiene la ventaja de ser omnidireccional con un BW que va desde 850 MHz hasta 1.94 GHz, con polarización horizontal y vertical, diseñada para una impedancia de entrada de 100Ω con una eficiencia de 60% y 17% para una carga de 500Ω a 980 y 1800MHz, lo mejor de esta antena es que se sitúa a 25 metros de una antena o celda de comunicaciones para que recoja las ondas electromagnéticas, esta antena es tratada como un monopolo triangular.

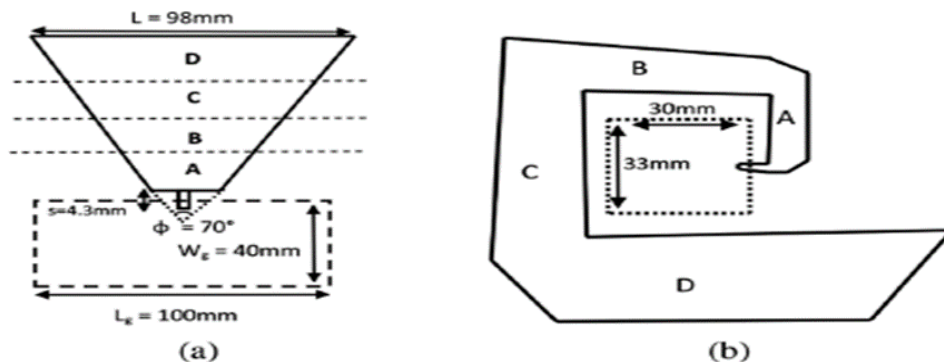


Fig. 1. (a) Monopolo triangular truncado. (b) antena triangulare doblada. Tomado de (Broadband Bent Triangular Omnidirectional Antenna for RF Energy Harvesting).

El BW de esta antena es muy reducido siendo de 170 MHz (0.89-1.06 GHz), posiblemente incrementando el BW se puede llegar a que el patrón de radiación sea casi isotropico, una ventaja en su construcción es que se diseña en sustrato FR4, con este tipo de antenas se podría cosechar energía con polarización vertical y horizontal, el patrón de radiación es estable para 850 MHz y 1.94 GHz con 3.76v (Mahima Arrawatia, 2016).

(An Enhanced Rectenna Using Differentially-Fed Rectifier for Wireless Power Transmission). presenta una rectenna mejorada con un rectificador diferencial para la transmisión de energía inalámbrica. Al utilizar la alimentación diferencial, se propone que la antena tendrá una mayor ganancia, este diseño tiene una eficiencia de 73.9% el diseño se hace en sustrato

FR4 y opera a 2.45GHz, también se usa el diodo schottky HSMS 286, como particularidad dentro de la rectenna se encuentra diseñado el circuito rectificador.

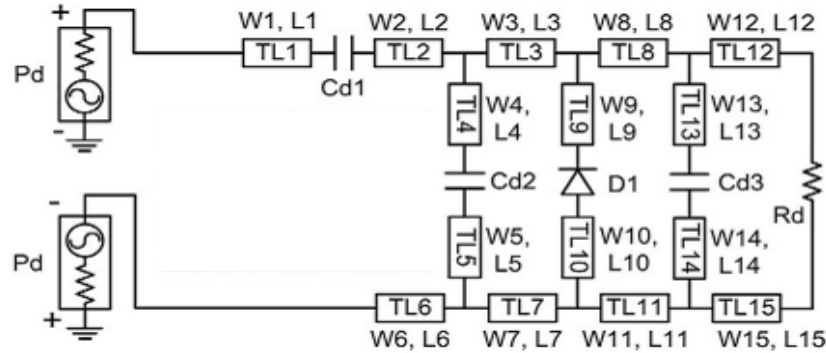


Fig. 2. Esquemas de circuito de rectificador diferencial con diferencial propuesto. Tomado de (An Enhanced Rectenna Using Differentially-Fed Rectifier for Wireless Power Transmission).

Las ventajas de este diseño es que lleva los elementos circuitales dentro de la misma antena, pero se necesitan elementos muy pequeños y mucha practica para poder soldar estos elementos al cobre de la antena (Sun, 2016). En (Design and Evaluation of Multi-Band RF Energy Harvesting Circuits and Antennas for WSNs). presentan el diseño de circuitos de recolección de energía de RF específicamente desarrollado para bandas GSM (900/1800) con una antena de banda dual portátil adecuada para una posible implementación dentro de las prendas de vestir y para aplicaciones de uso corporal. En este artículo presentan una antena de banda dual portátil impresa, con ganancias del orden de 1.8-2.06 dBi y 77.6-82% de eficiencia capaz de cosechar energía de las bandas de frecuencia GSM (900/1800). También fue simulado el comportamiento de un Multiplicador de tensión Dickson para la alimentación (Luís M. Borges1, 2014). así también en (Planar Multiple-Antiparallel Square Transmitter for Position-Insensitive Wireless Power Transfer). Es propuesto un nuevo (multiple-antiparallel square spiral coil (MASSC), es una bobina compuesta de cuatro bobinados en serie que va de afuera hacia adentro. Cada bobinado consiste en un conjunto de bucles cuadrados concéntricos. Las direcciones en espiral de dos de los devanados adyacentes son opuestas. Y se confronta con una bobina espiral cuadrada unidireccional convencional de 9 vueltas. la bobina propuesta puede ser una buena opción para aplicaciones WPT, Los resultados experimentales muestran que, debido al mejor campo magnético uniforme producido por el transmisor propuesto en este artículo, la eficiencia de transferencia máxima sin la desalineación de la bobina es 91.4%. La eficiencia reducida es menor que 3% independientemente de la ubicación del receptor. La separación entre las bobinas es de 5cm. este artículo es Basado en la ley y superposición de Biot-Savart, las bobinas de transferencia están alineadas exactamente una en frente de la otra.

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

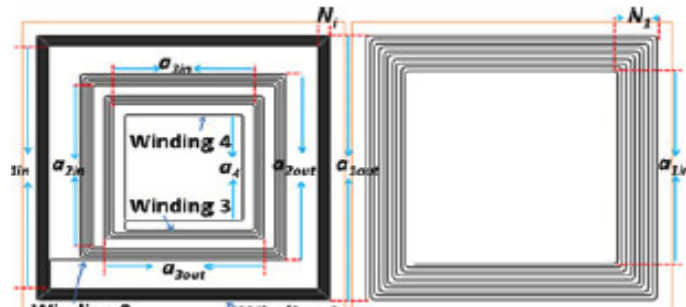


Fig. 3. Diagramas esquemáticos de las bobinas: (a) transmisor propuesto. (b) transmisor convencional para comparación. Tomado de (Planar Multiple-Antiparallel Square Transmitter for Position-Insensitive Wireless Power Transfer).

Este documento presenta un cuadrado múltiple antiparalelo transmisor para generar un campo magnético uniforme relativamente es una plataforma de carga inalámbrica. El Análisis teórico demuestra las características de la bobina propuesta. comparada con una bobina convencional cuadrada. Mientras que la altura de carga es de 5 cm, la máxima eficiencia de transferencia sin desalineación de la bobina es 91.4%. Debido a la distribución uniforme del campo magnético, la eficiencia reducida es menor al 3% y la potencia de carga mantiene estabilidad efectiva independientemente de la ubicación del receptor((Shengming Wang, 2018).En (Microwave Antennas for Energy Harvesting Applications).Analizan el diseño de antenas reconfigurables este tipo de estructura ha recibido mucha atención en los modelos de recolección de energía de RF debido a su selectividad para frecuencias de operación, ajuste y polarización. La Re-configurabilidad RF se logra básicamente al cambiar dinámicamente la estructura física de la antena conectando y / o desconectando diferentes partes de la estructura de la antena, que interactúan con sus propiedades de radiación y por lo tanto alteran su respuesta de RF. La diversidad de frecuencia es la característica de tener selectividad de frecuencia y selectividad de polarización se puede denominar diversidad de polarización. La diversidad de frecuencia se adapta a la frecuencia multibanda o de banda ancha una antena reconfigurable puede lograr la polarización entre polarización lineal (LP), polarización circular (CP) a la derecha y circular a la izquierda Se necesita una antena multibanda para evitar el uso de dos antenas. Normalmente, se utilizan dos técnicas diferentes para obtener rangos de frecuencia de banda ancha; usando parches de sustrato apilados y la activación de diferentes modos escalonados del parche. La primera técnica incorpora un sustrato de parche multicapa que resonó en diferentes frecuencias. Sin embargo, esta técnica tiene una desventaja a medida que aumenta la altura de la antena ya que se va volviendo una estructura más grande. La segunda técnica se logra mediante el uso de la operación de doble frecuencia mediante la creación de dos modos debajo del parche, como los modos TM10 y TM30 o los modos TM10 y TM01.al usar varios arreglos de la alimentación con una ligera remodelación de los elementos, la polarización circular y elíptica puede ser adquirida. La (CP) se puede lograr si se excitan dos modos ortogonales con una fase de tiempo de 90 ° la (CP) en las rectennas ayuda a lograr un voltaje DC independientemente de la rotación de

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

la rectenna, evitando así la falta de coincidencia y la pérdida de polarización. En La antena reconfigurable es necesario la inclusión de ciertos elementos de conmutación que funcionan como en (An Enhanced Rectenna Using Differentially-Fed Rectifier for Wireless Power Transmission). los interruptores realizando el trabajo de conectar y desconectar diferentes partes de la antena, el trabajo de conmutación se realiza mediante elementos pasivos y activos como elementos agrupados (condensadores o inductores), sistemas micro electromecánicos de RF (MEMS), diodos PIN o foto conductivos.

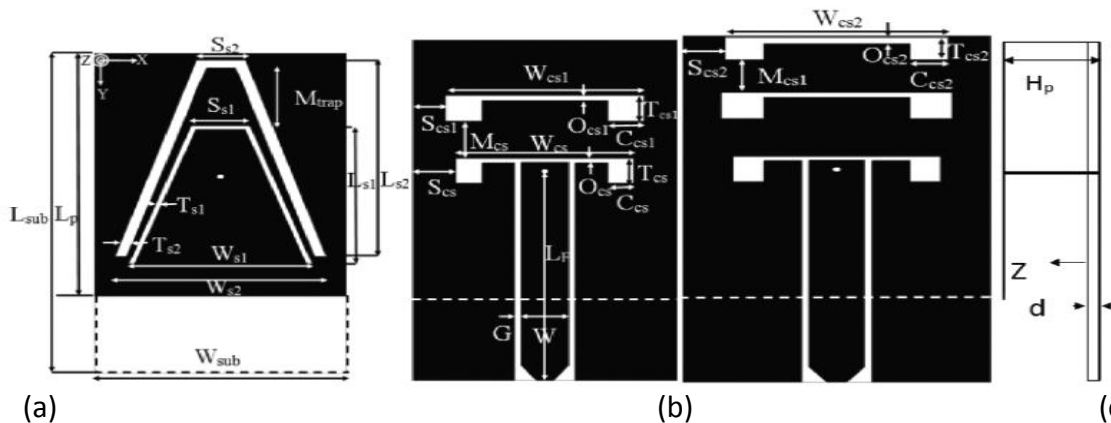


Fig.4 geometría y configuración de (a) parche con dos ranuras trapezoidales, (b) plano de tierra con acoplamiento doble ranuras, (c) plano de tierra con tres ranuras acopladas, (d) vista lateral. Tomado de (Microwave Antennas for Energy Harvesting Applications <http://dx.doi.org/10.5772/64918>). (8, 2017).

2. METODOLOGÍA

Para realizar este trabajo se ha tomado como referencia lo realizado en Wireless Power Transfer Dr. Tobias Grahn (CST AG) (AG), 2018). Donde se realiza la simulación de dos antenas tipo parche de 4 espiras cada una, esta simulación se realizó para la tecnología NFC, que funciona en el rango de 13.56MHz, el autor usa un puerto discreto para cada antena, este puerto ofrece condiciones perfectas de acoplamiento, se realiza la simulación y el autor uso el software CST STUDIO y adicionalmente como ayuda para mejorar el sistema también utilizo el software OPTENNILAB (Design, 2.18), este software realiza un acoplamiento del circuito acoplado obtenido en CST STUDIO y se traslada hacia optennilab este usa elementos como capacitores e inductores comerciales y ofrece la posibilidad mejorar el acoplamiento del sistema, también permite observar la eficiencia de dicho acoplamiento. Con la asesoría del docente Francisco López asesor del trabajo, los docentes Oscar Ossa y

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

Roger Martínez Ciro. Siguiendo los pasos del trabajo mencionado, hemos realizado varias simulaciones con diferentes diseños para obtener mejores resultados.

Los parámetros utilizados para (WPT) son:

(K) COEFICIENTE DE ACOPLAMIENTO MAGNÉTICO: indica la fracción de flujo que enlaza a un inductor con otro, cuando $K = 1$ se dice que el sistema está perfectamente acoplado, cuando $K = 0$ no existe acoplamiento. $K = \frac{M}{\sqrt{L11 * L22}}$, siendo L11, L22 las inductancias de las rectennas 1 y 2.

$$(M) \text{ INDUCTANCIA MUTUA: } M = \frac{\text{enlace de flujo de la segunda bobina producido por una corriente en la primera bobina}}{\text{corriente de la primera bobina}} 10^{-8}$$

$$= \frac{\text{enlace de flujo de la primera bobina producido por una corriente en la segunda bobina}}{\text{corriente de la segunda bobina}} 10^{-8}$$

$$M = K \sqrt{L1} * L2.$$

L11: Auto inductancia de la bobina 1.

L22: Auto inductancia de la bobina 2.

L12=L21: Inductancias mutuas. (terman, 1943)

EFICIENCIA= $n = |21|^2 \times 100\%$ conocido como (PTE). (N.A. Rashid1, 2016).

La siguiente tabla muestra el porcentaje de potencia que llega de la fuente de alimentación hacia la antena y la cantidad de energía que se puede irradiar según la relación de onda estacionaria (ROE) o (VSWR) voltaje standing wave ratio. El índice recomendado para un SWR aceptable se encuentra entre $1 \leq \text{SWR} \leq 2$. (antenna-theory., 2018)

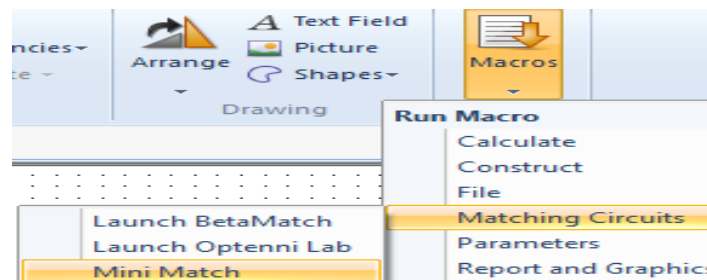
| SWR | Porcentaje de potencia de salida | SWR | Porcentaje de potencia de salida | SWR | Porcentaje de potencia de salida |
|-----|----------------------------------|-----|----------------------------------|-----|----------------------------------|
| 1.0 | 100% | 1.4 | 97.2% | 1.8 | 92% |
| 1.1 | 99.8% | 1.5 | 96% | 1.9 | 90.5% |
| 1.2 | 99% | 1.6 | 94.7% | 2.0 | 89% |
| 1.1 | 98.3% | 1.7 | 93% | 3.0 | 75% |

Tabla 1. Relación de onda estacionaria ROE (porcentaje de potencia radiada)

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

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizan los diseños de varias antenas siguiendo algunos pasos hechos en **Wireless Power Transfer Dr. Tobías Grahn (CST AG)**. aunque el autor realizo su diseño con puerto discreto, hemos realizado los siguientes diseños simulando puertos con características que se asemejan a las situaciones reales, donde difícilmente la impedancia de acoplamiento será de 50 ohm exactamente, Así mismo se observan resultados simulados de los parámetros para que exista (WPT). Cada diseño es optimizado con la opción de CST STUDIO SUITE. Esta ofrece un circuito de acoplamiento que más adelante será optimizado nuevamente por el software OPTENNILAB.



Características de los materiales usados en la simulación

Substrato FR4, con $h=1.6$ mm (Test, 2018)

Tangente de pérdidas 0.025

Espesor del cobre =0.035 mm

Permitividad relativa=4.3

Diseños y características de las antenas simuladas.

1. Antena espira cuadrada. Para tecnología NFC (HAN-JOON KIM 1, 2.17)

- 4 espiras
- Impedancia de acoplamiento=51.07 ohm.
- Distancia de separación=10.20 mm
- Frecuencia de operación 13.56 MHz igual a la del autor citado.

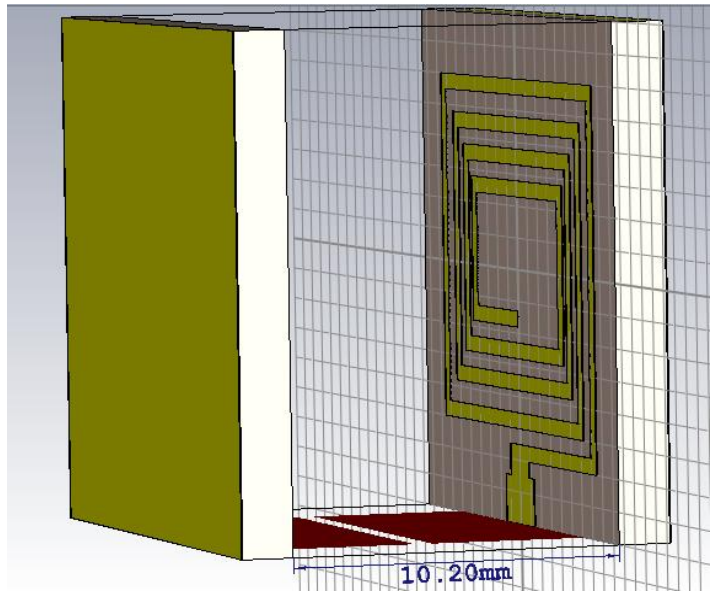


Fig. 1. diseño espiara cuadrada.

Antena patch espiara cuadrada, línea de alimentación $\lambda/4$, 4 espiras, alimentada por puerto guía de onda y plano a tierra.

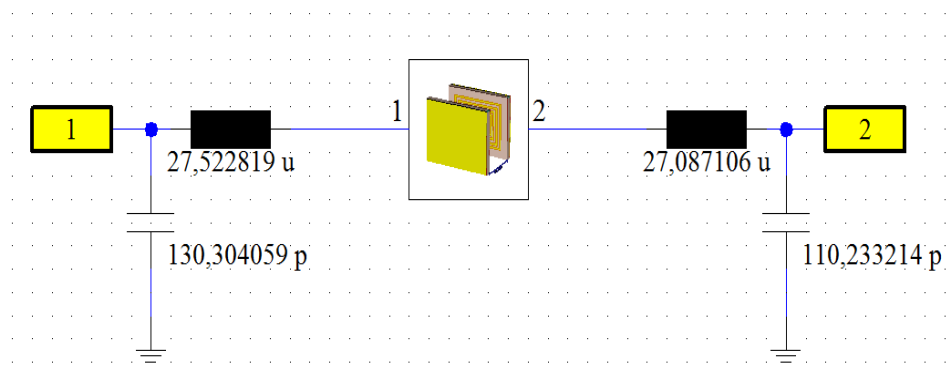


Fig. 2. circuito diseñado por CST STUDIO.

Acoplamiento de antenas con su respectivo circuito usando (capacitores, inductores y resistencias) en la conexión de entrada de cada antena, este circuito es generado por el software CST STUDIO SUITE.

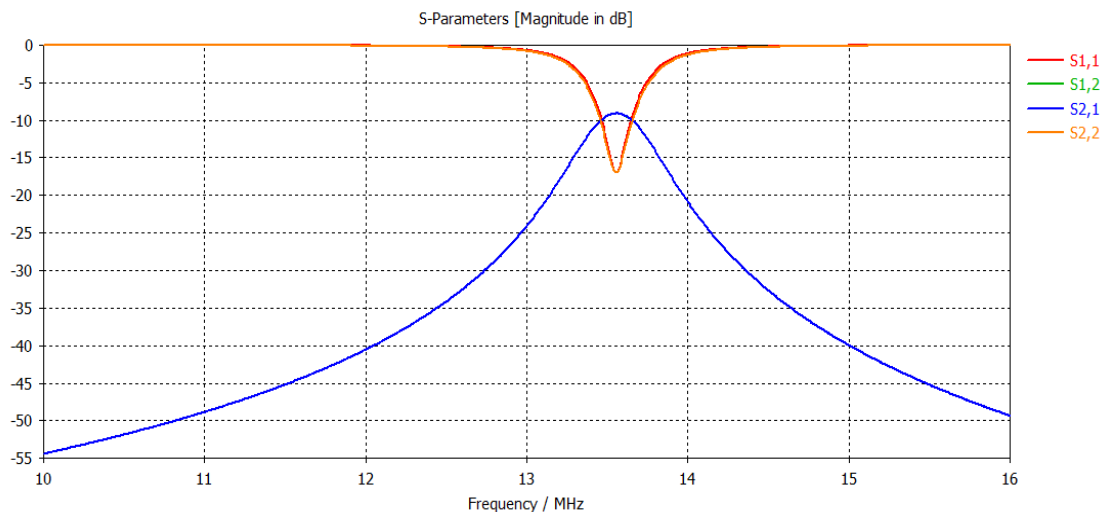


Fig. 3. parámetros S (magnitud en dB).

matching circuit. Generado por CST frecuencia de resonancia 13.56 MHz, este es el primer acoplamiento obtenido.

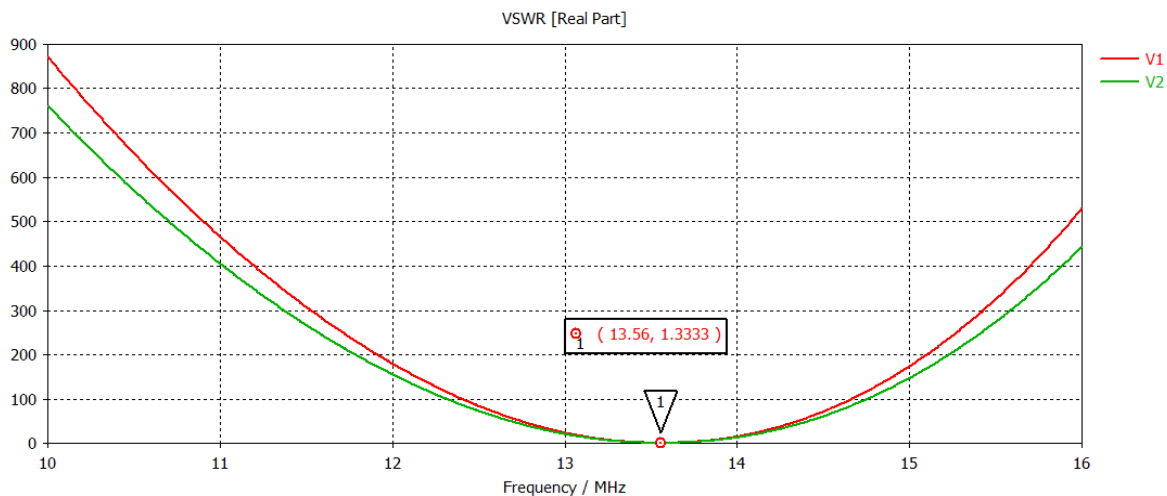


Fig. 4. VSWR

Relación de onda estacionaria ROE en este caso equivale a 1.3, el porcentaje de potencia radiada es de 98.3%.

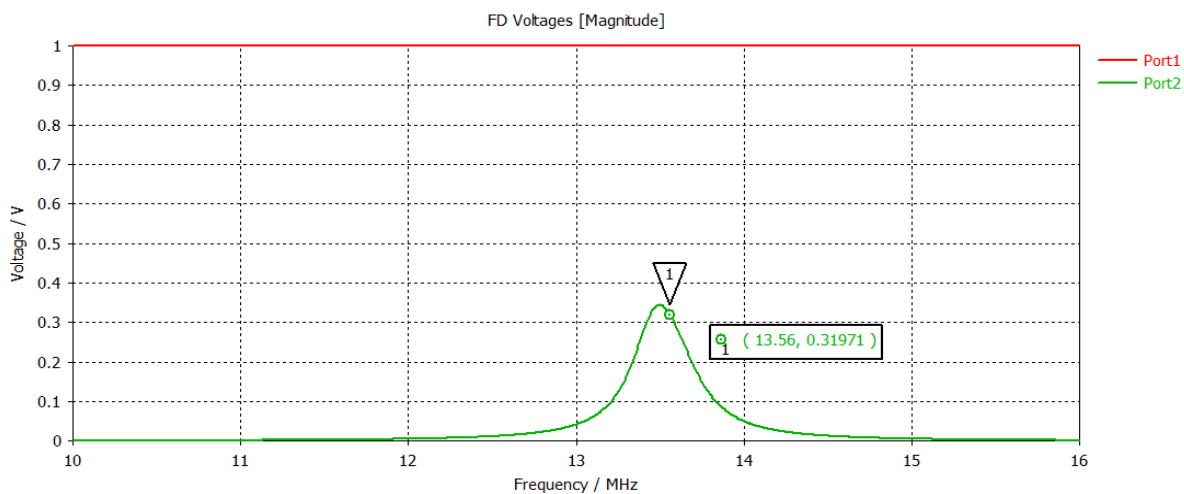


Fig. 5. P in/P out

Potencia de entrada del TX=1 potencia de salida RX=0,319 v

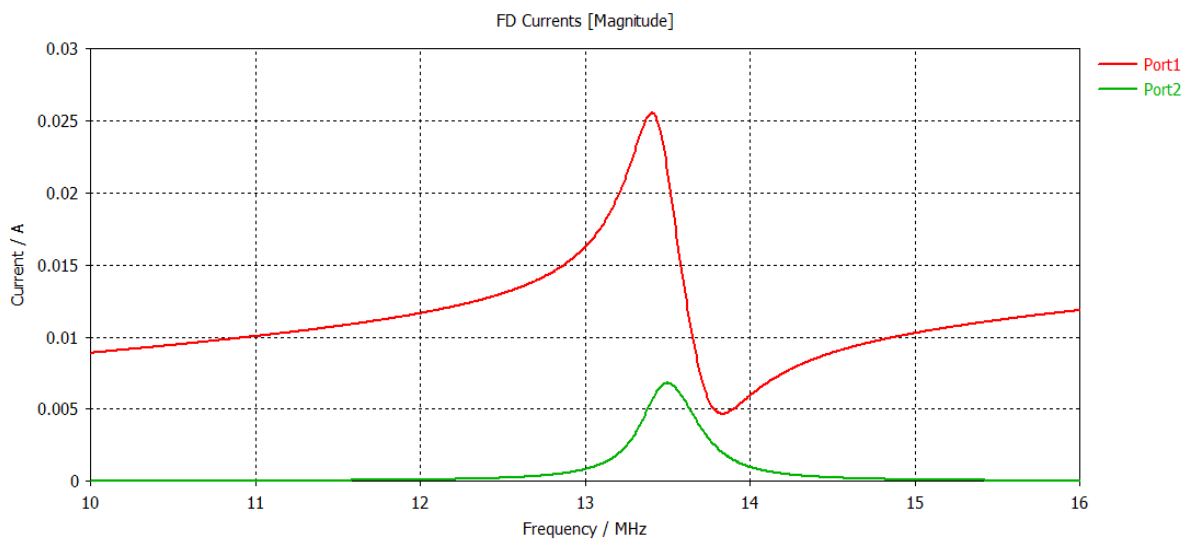


Fig. 6. I in/I out

Corriente entrada TX=0,025 A, corriente salida RX=0,007 A.

Optimización con OPTENNILAB

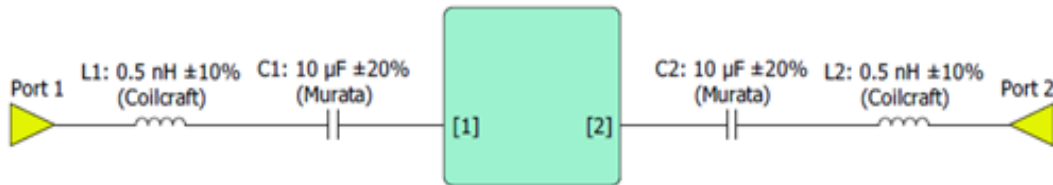


Fig. 7. circuito optimizado.

Acoplamiento circuital generado por optennilab el software mejora los parámetros de impedancia y resonancia, a su vez genera la mejor topología usando componentes comerciales, para estas simulaciones se usaron las referencias comerciales (coilcraf, Murata). estos componentes son los más usados para (WPT). Al utilizar optennilab no es necesario realizar los cálculos manuales ya que el software calcula y grafica los parámetros como, eficiencia de acoplamiento necesario para confirmar si el diseño es optimo para (WPT).

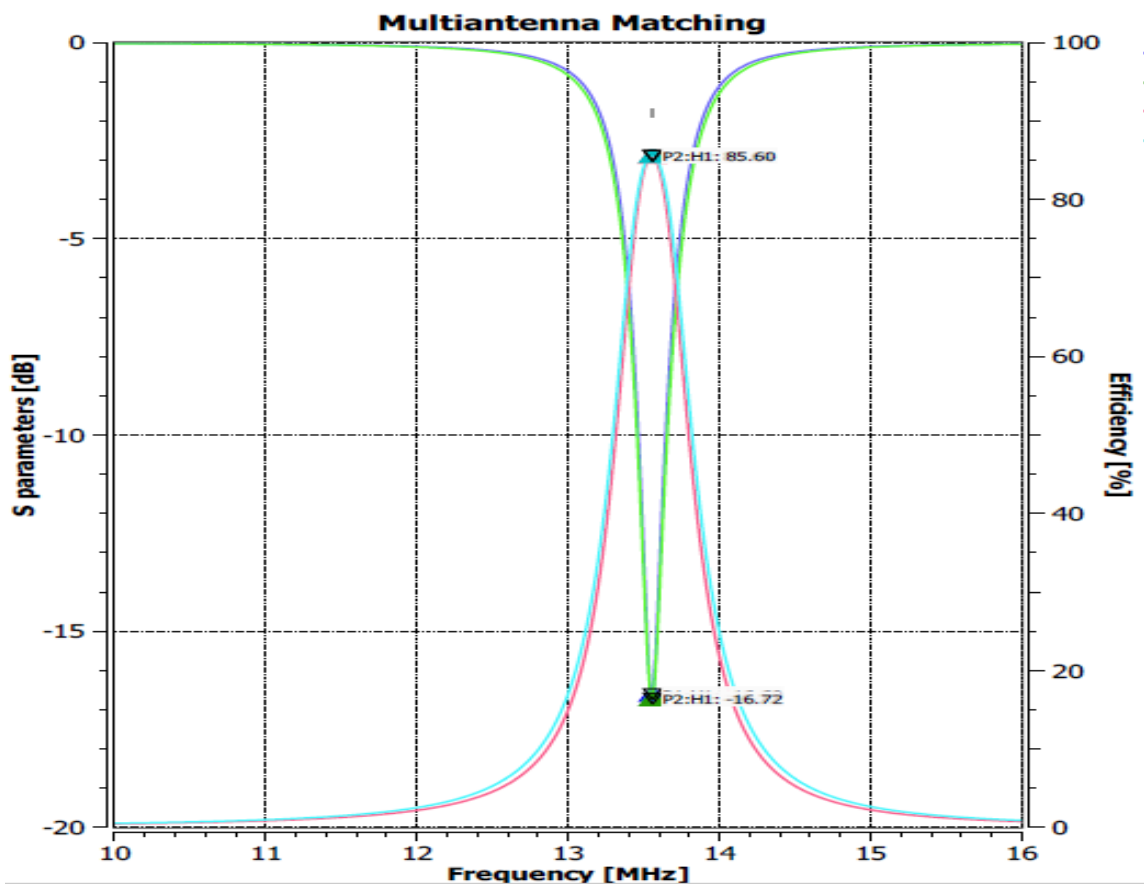


Fig. 8. parámetros S eficiencia del sistema =85.60%

Acoplamiento mejorado y la eficiencia que ofrece el sistema generado por optennilab, S_{2,1} ubicado en -3dB, S_{1,1} en -16.72 dB.

Diseño antena tipo parche ranurada de 2.45 GHz. Distancia de separación 10.80 mm.

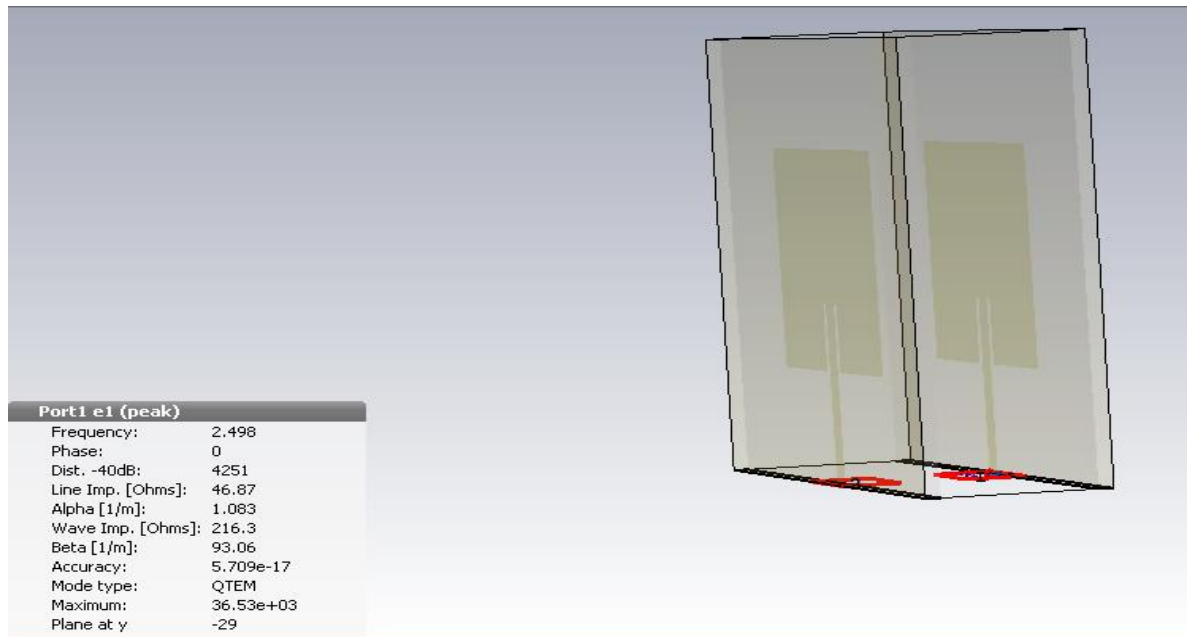


Fig.9 antena parche ranurada, acoplamiento por resonancia.

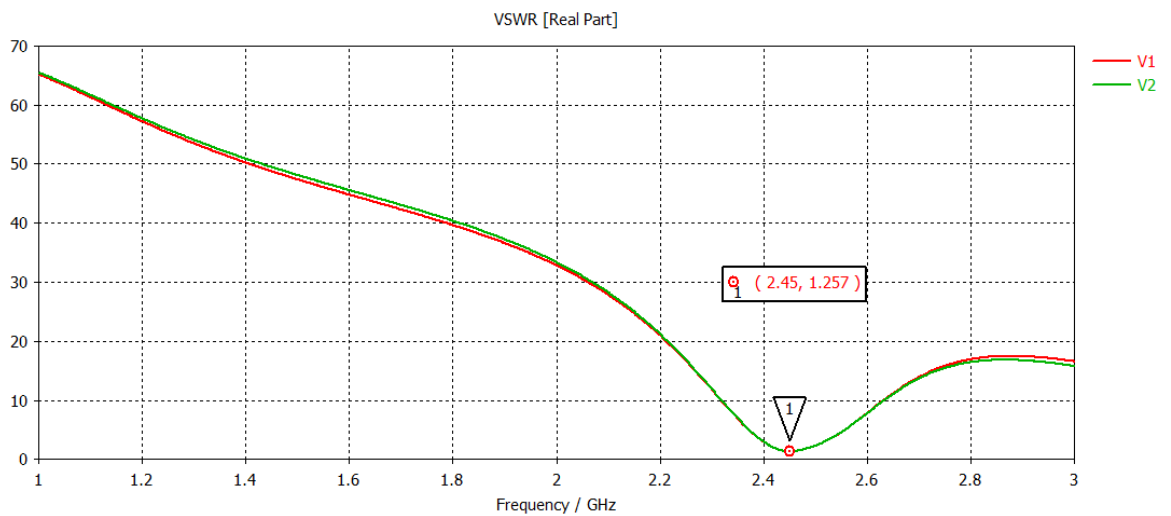


Fig.10 VSWR.

ROE a 1.3, porcentaje de potencia radiada de 99 %.

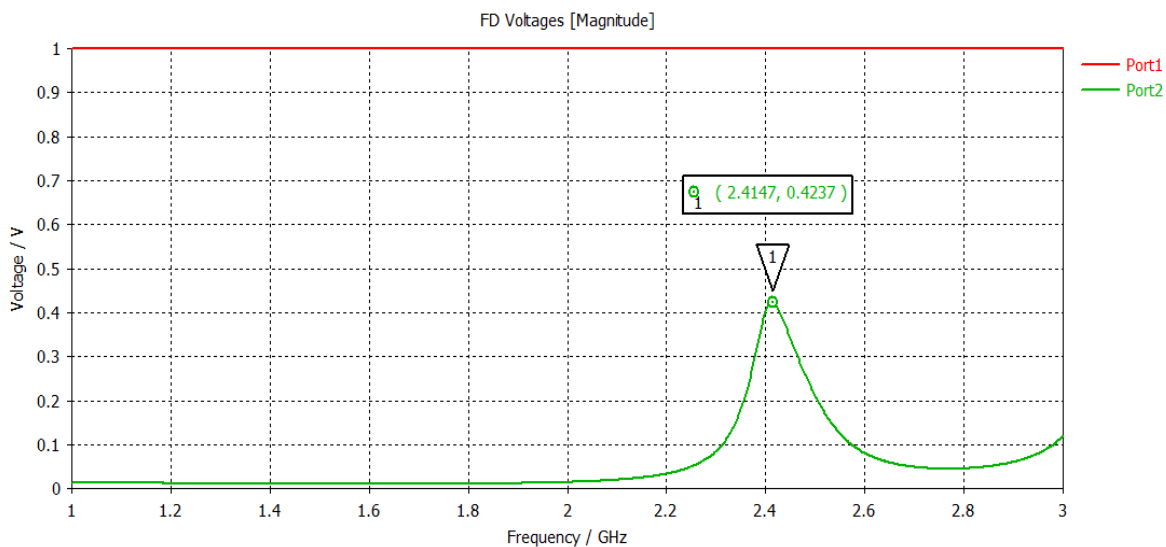


Fig. 10. P in/P out

Potencia de entrada del TX=1 potencia de salida RX=0,4 v

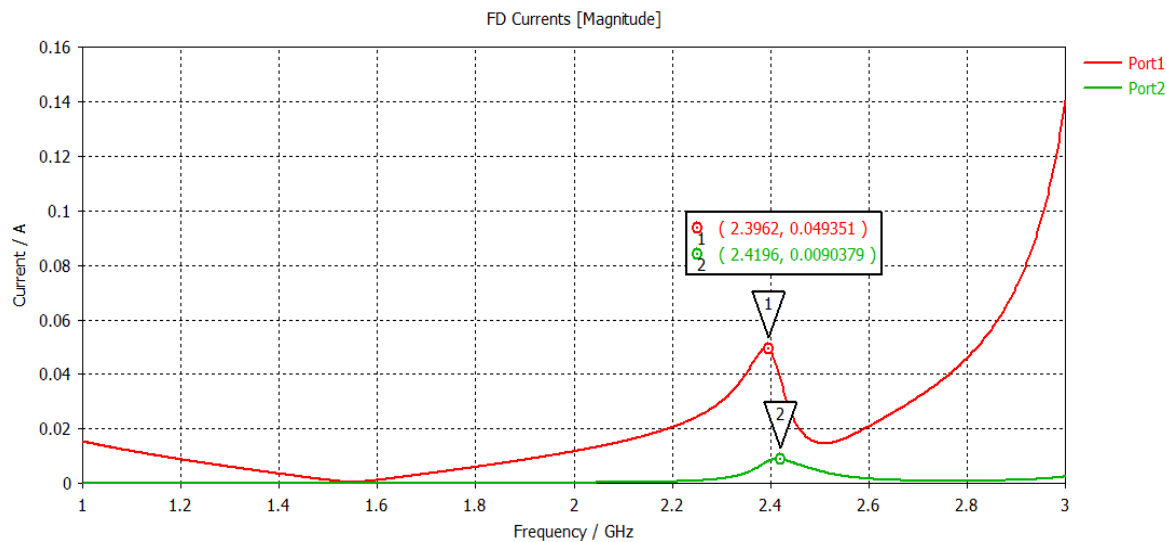


Fig. 11. I in/I out

Corriente entrada TX=0,049 A, corriente salida RX=0,009 A.

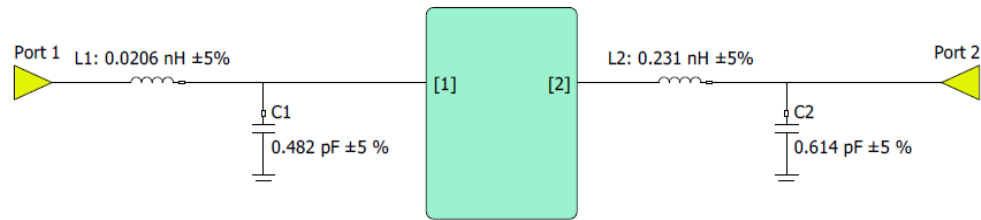


Fig.12 circuito optimizado.

En este caso los mejores resultados son obtenidos con un circuito de acoplamiento en paralelo.

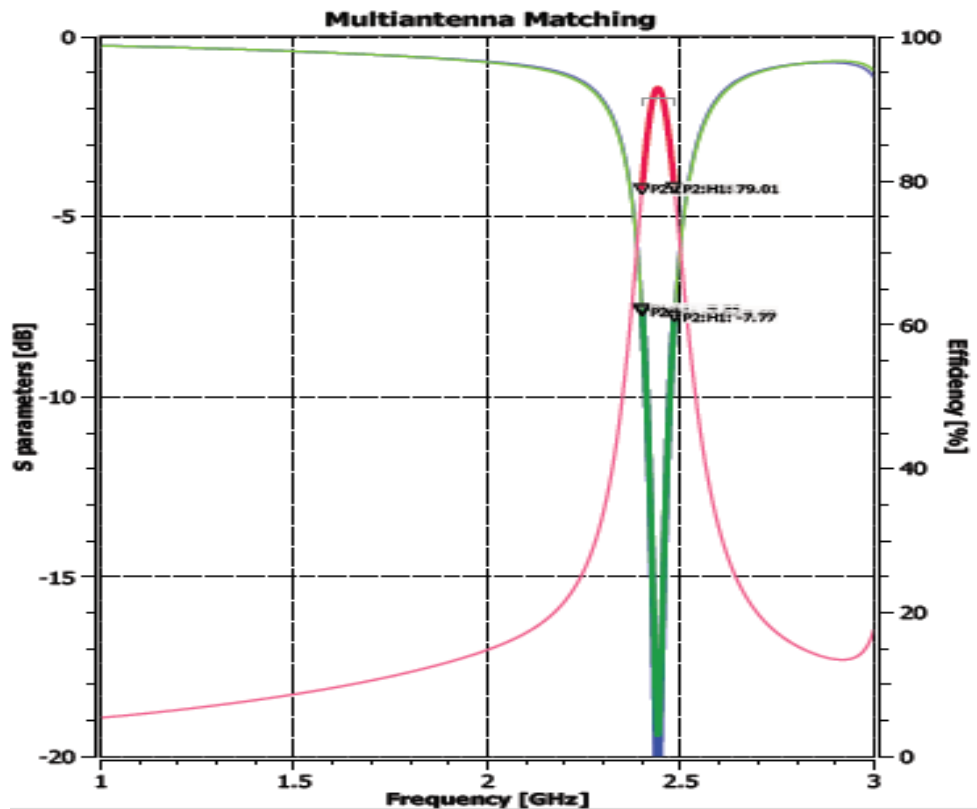


Fig. 13. parámetros S eficiencia del sistema =79.01%

Acoplamiento mejorado y la eficiencia que ofrece el sistema generado por optennilab, S 2,1 ubicado en -1.3 dB, S1,1 en -19 dB.

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

Otro diseño de antena se realiza, Usando un par de antenas de resonador (Bangkok, 2017),(Saini, 2017) con las siguientes características:

- Material Rogers TMM13i (Corporation, 2018)
- Permitividad=12.85
- $h = 1.27 \text{ mm}$
- grosor del cobre=0.0175

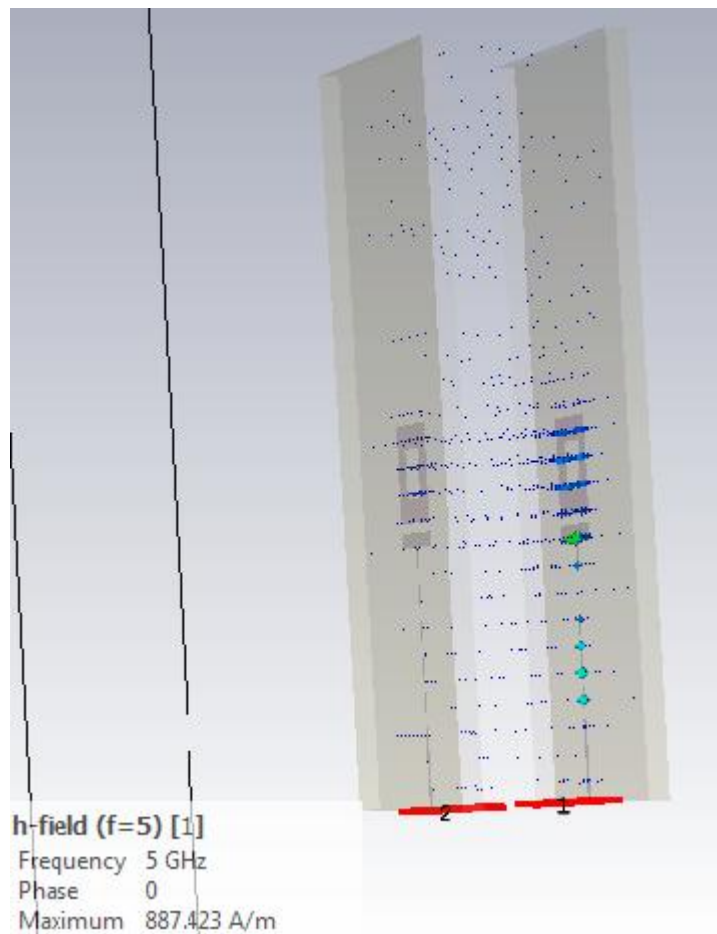


Fig. 14. Antena con parche resonador, alimentada con puerto guía de onda, distancia de separación 10.40mm. El substrato RTMM13i usado para trabajar en frecuencias altas, es el diseño que mejores condiciones de acoplamiento, potencia de salida ofrece.

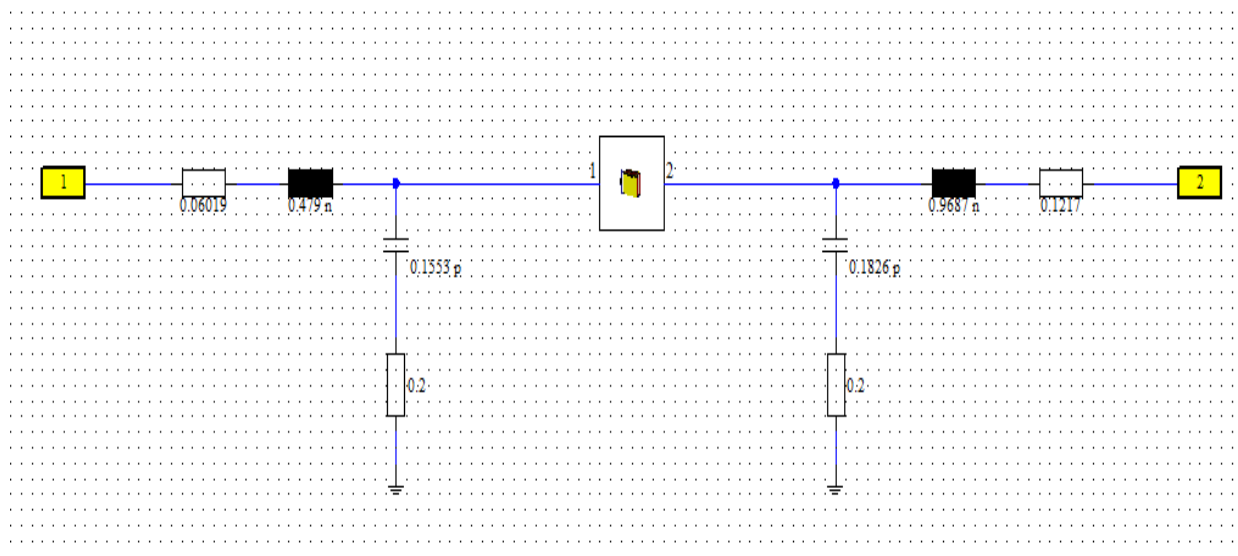


Fig. 15. Circuito optimizado importado ahora desde OPTENNILAB hacia CST.

Este es el mejor diseño que se ha obtenido, optennilab tiene la opción de exportar hacia CST, este es el circuito optimizado y acoplado en las antenas.

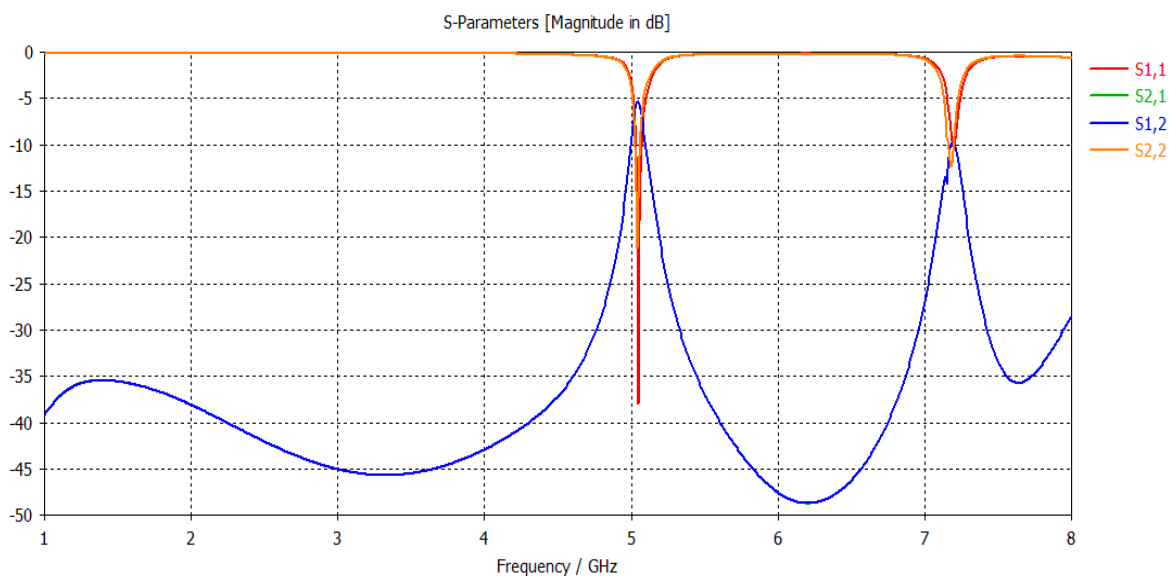


Fig. 16. parámetros S

matching circuit. Generado por CST frecuencia de resonancia 5.01 GHz, este es el primer acoplamiento obtenido donde los parámetros S 1,2 en -5 dB Y S 1,1 en -39 dB muestran un acoplamiento aceptable para (WPT) sin necesidad aun de mejorar el sistema con optennilab.

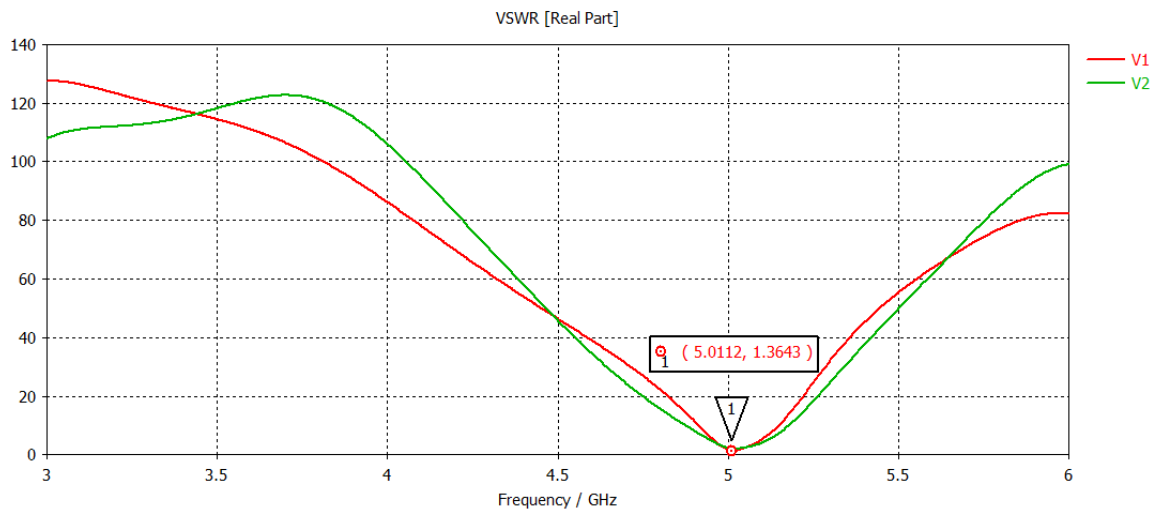


Fig. 17. VSWR.

ROE equivale a 1.3, el porcentaje de potencia radiada es de 98.3%.

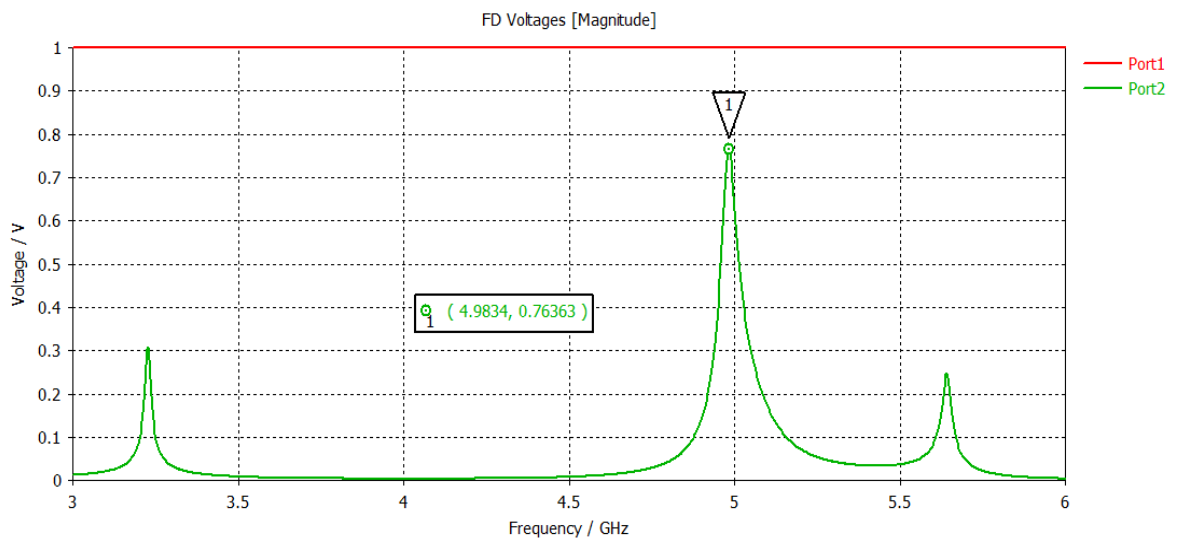


Fig. 18. P in/P out

Potencia de entrada del TX=1 potencia de salida RX=0,76 v
Este diseño es el que ha ofrecido una mejor potencia de salida en 4.98 GHZ.

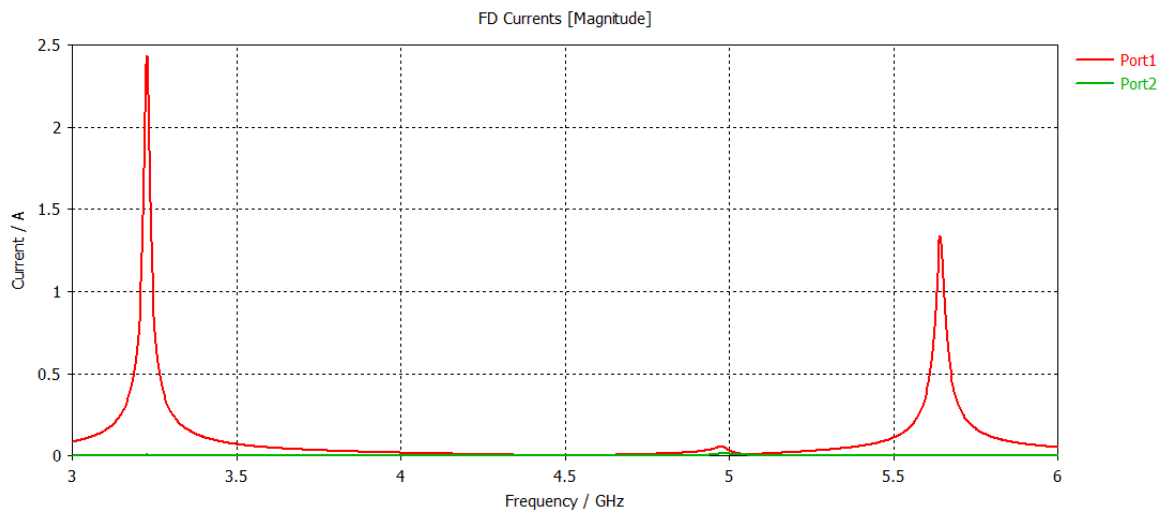


Fig. 19. I_{in}/I_{out}

Corriente entrada TX=0,001 A, corriente salida RX=0,00001 A.

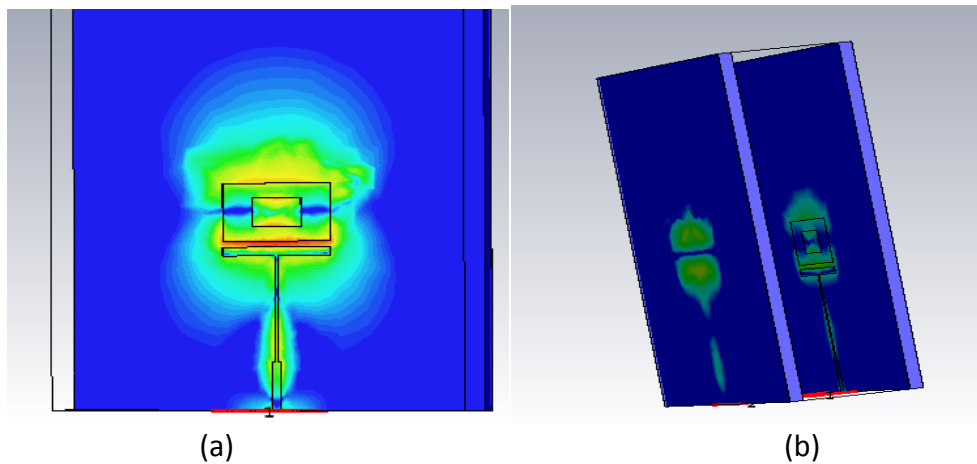


Fig.20. Distribución de corriente superficial de energía en la antena propuesta. Para (WPT); (a) vista frontal y (b) vista posterior.

La distribución de la corriente superficial en la frecuencia de resonancia. De 5 GHz se muestra en la Fig. 20. La resonancia de distribución indica el principio de funcionamiento de la antena, está es la forma característica de resonancia de los resonadores acoplados capacitiva e inductivamente, en la Superficie inferior de la antena esta el plano de tierra diseñado usando un stub, en La superficie superior un resonador en forma rectangular con una cavidad rectangular en el medio de este, la antena es alimentada por un puerto guía de onda.

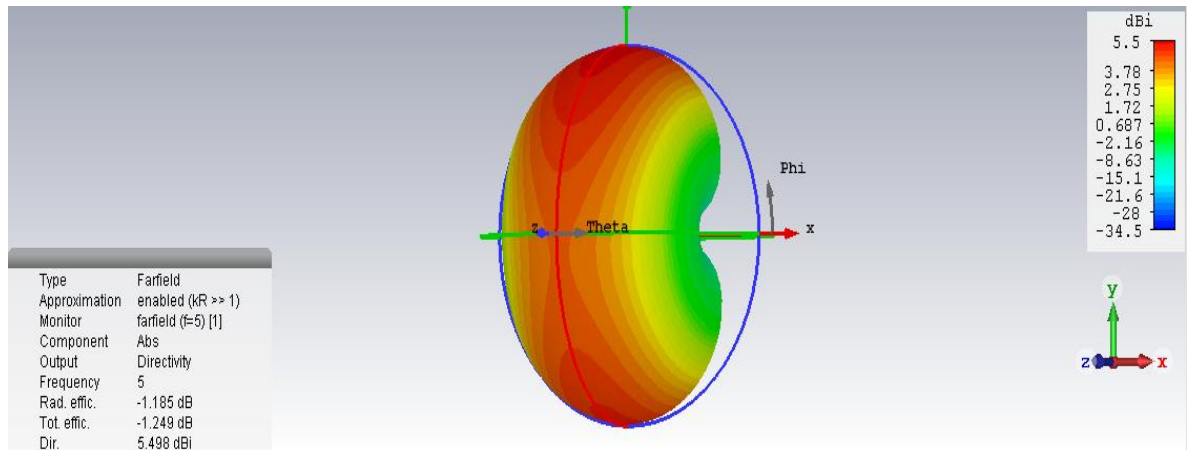


Fig.21 ganancia del resonador es de 5. 5 dB.

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

4. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

| Tipo de antena | Material | Frecuencia de resonancia | VSWR | Eficiencia | Pin/Pout | Ganancia |
|-----------------|-------------------|--------------------------|------|------------|----------|----------|
| Patch 4 espiras | FR4-Roguers 4003c | 13.56 MHZ | 1.3 | 86.60% | 1/0.319 | 3.2db |
| Patch ranurada | FR4 Roguers 4003c | 2.45 GHZ | 1.2 | 79% | 1/0.4 | 2.8db |
| Resonador | Roguers TMM13i | 5GHZ | 1.3 | 92% | 1/0.7 | 5.5db |

Tabla 2. comparación entre los tipos de antena.

- Al realizar la simulación de los tres tipos de antenas, se observa que el material Roguers RTMM13i cumple con los parámetros establecidos para que exista (WPT), con un porcentaje de eficiencia de 92% de transferencia de energía a una distancia de 10.40 mm.
- Para llegar a un mejor acoplamiento se utiliza el software OPTENNILAB este optimiza el sistema usando componentes comerciales de los que se tuvo inconveniente en adquirirlos, pero se obtienen los resultados esperados en las simulaciones.
- En vista de los resultados obtenidos se puede destacar que en los artículos consultados no se han integrado antenas tipo parche a frecuencias altas para (WPT), usando este tipo de sustrato, este aporta ventajas con respecto a los diseños tipo espira.
- A futuro se puede realizar un nuevo dimensionamiento de la antena haciendo que funcione a (2.45 y 5 GHZ) ya que estas frecuencias son las más utilizadas en WLAN.
- Con este mismo diseño se puede realizar pruebas utilizando la frecuencia de 5 GHZ, como sensores de temperatura, de glucosa y para químicos.

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

REFERENCIAS


- 8, i. c. (1 de 1 de 2017). *Microwave Antennas for Energy Harvesting. Applications*. Obtenido de <https://www.intechopen.com/download/pdf/52194>.
- AG), D. T. (20 de 10 de 2018). <https://www.cst.com/>. Obtenido de <https://www.cst.com/antenna-theory>. (25 de 11 de 2018). <http://www.antenna-theory.com/definitions/vswr.php>. Obtenido de <http://www.antenna-theory.com/definitions/vswr.php>
- Bangkok, K. M. (2017). Compact circularly polarized inset-fed circular microstrip antenna for 5 GHz. *researchgate*, 11.
- Corporation, T. 1.-R. (29 de 10 de 2018). <https://www.rogerscorp.com/acs/products/51/TMM-13i-Laminates.aspx>. Obtenido de <https://www.rogerscorp.com/acs/products/51/TMM-13i-Laminates.aspx>
- Design, O. L. (13 de 11 de 2.18). <https://www.optenni.com>. Obtenido de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:X6jCOdpeT50J:https://www.optenni.com/+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>
- HAN-JOON KIM 1, (. M. (2.17). Review of Near-Field Wireless Power and. *ieee access*, 22.
- HAN-JOON KIM 1, (. M. (2017). Review of Near-Field Wireless Power and. *IEEE. Translations and content mining are permitted for academic research only.*, 22.
- Luís M. Borges¹, N. B. (2014). Design and Evaluation of Multi-Band RF Energy. *ieee,2014 21st International Conference on Telecommunications (ICT)*, 5.
- Mahima Arrawatia, M. S. (2016). Broadband Bent Triangular Omnidirectional. *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 15, 2016*, 4.
- N.A. Rashid¹, *. M. (2016). A study on Relay Effect via Magnetic Resonant. *MATEC Web of Conferences*, 9.
- Saini, S. K. (2017). A Novel Modified SSRR Metamaterial Antenna for. *Indian Journal of Science and Technology, Vol 10(16), DOI: 10.17485/ijst/2017/v10i16/114318, April 2017*, 5.
- Shengming Wang, Z. H. (2018). Planar Multiple-Antiparallel Square Transmitter for. *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 17, NO. 2, FEBRUARY 2018*, 5.
- Sun, H. (2016). *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 15, 2016*, 4.
- terman, f. e. (1943). *radio engineers handbook*. EEUU: MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC.
- tesla, n. (15 de 5 de 1900). *US649621A - Apparatus for transmission of electrical energy*. - Google .. Obtenido de <https://patentimages.storage.googleapis.com/41/ec/af/a57b4c65986fd0/US649621.pdf>

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

Test, R. C.-I. (29 de 10 de 2018). www.integratedtest.com/products/pcb.../Rogers4003-4350.pd.
Obtenido de www.integratedtest.com/products/pcb.../Rogers4003-4350.pd

V Singh, A. K.-A. (2014). Wireless Power Transfer Using Metamaterial Bonded Microstrip Antenna for Smart. *IEEE*, 6.

| | | | |
|--|--|---------|------------|
|  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 Hernan D. Machuca
Edison Andres Zapata Ochoa

FIRMA ASESOR [Signature] Oscar David Ochoa

FECHA ENTREGA: 26-11-2018

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: _____

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

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: _____