



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE UNA RECTENA DE 5GHZ PARA DISPOSITIVOS IOT
MEDIANTE GEOMETRÍA FRACTAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Electrónico

AUTOR: Andrés Fernando Franco Bustos
Alejandro Xavier Sánchez Gualotuña
TUTOR: Luis Germán Oñate Cadena

Quito-Ecuador

2022

1

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Andrés Fernando Franco Bustos con documento de identificación No. 1751597152 y Alejandro Xavier Sánchez Gualotuña con documento de identificación No. 1723942007; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 21 de febrero del año 2022

Atentamente,



Andrés Fernando Franco Bustos

1751597152



Alejandro Xavier Sánchez Gualotuña

1723942007

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Andrés Fernando Franco Bustos con documento de identificación No. 1751597152 y Alejandro Xavier Sánchez Gualotuña con documento de identificación No. 1723942007, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Diseño de una rectena de 5ghz para dispositivos IoT mediante geometría fractal”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 21 de febrero del año 2022

Atentamente,



Andrés Fernando Franco Bustos

1751597152



Alejandro Xavier Sánchez Gualotuña

1723942007

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Germán Oñate Cadena con documento de identificación N° 1712157401, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA RECTENA DE 5GHZ PARA DISPOSITIVOS IOT MEDIANTE GEOMETRÍA FRACTAL, realizado por Andrés Fernando Franco Bustos con documento de identificación N° 1751597152 y por Alejandro Xavier Sánchez Gualotuña con documento de identificación N° 1723942007, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 21 de febrero del año 2022

Atentamente,



Ing. Luis Germán Oñate Cadena MSc.
1712157401

Dedicatoria

Este artículo se lo dedico a mi círculo familiar, quienes fueron empujándome día a día con ánimos y dándome lecciones para mejorar mi vida, también se los dedico a mis amigos quienes siempre estuvieron para mí ya sea en las malas decisiones tomadas, o viceversa. Fue un largo trayecto y sé que no es el final, simplemente seguiré avanzando con la mirada al frente y sin arrepentimientos.

Andrés Franco

Este proyecto de titulación se lo dedico a mis padres con su apoyo incondicional, forjaron en mí valores para toda la vida. También se la dedico a mis amigos y familiares quienes han sido de gran ayuda en momentos difíciles en los cuales supieron sacarme una sonrisa, brindándome un buen consejo.

Alejandro Sánchez

Agradecimiento

Quiero agradecer a mi padre quien fue el pilar fundamental e inspiró para culminar esta carrera, cada historia, vivencia o relato que me narra, siempre lo llevaré a mi corazón y nunca lo olvidaré. Agradecido también a mi tutor el ingeniero Luis Oñate por ser la persona que depositó su confianza a nosotros para llevar a cabo este proyecto, y finalmente doy las gracias a mi compañero Xavier Sánchez por la corta convivencia que hemos pasado, espero que podamos seguir siendo amigos después de finalizar esta etapa.

Andrés Franco

Quiero agradecer a Dios por haberme dado fortaleza y salud para seguir cumpliendo mis metas, al ingeniero Luis Oñate quien nos apoyó desde el primer momento y nos ayudó resolviendo dudas e inquietudes durante el desarrollo del proyecto. De igual manera agradecer a mi amigo Andrés Franco quien no sólo fue mi compañero para realizar esta investigación, sino también un gran amigo a lo largo de nuestra vida universitaria.

Alejandro Sánchez

DISEÑO DE UNA RECTENA DE 5 GHz PARA DISPOSITIVOS IOT MEDIANTE GEOMETRÍA FRACTAL

Andrés Fernando Franco Bustos, Alejandro Xavier Sánchez Gualotuña, Luis Germán Oñate Cadena

Universidad Politécnica Salesiana

Quito, Ecuador

afrancob1@est.ups.edu.ec

asanchezg3@est.ups.edu.ec

lonatec@ups.edu.ec

Resumen— Los dispositivos IoT utilizan redes inalámbricas a 5 GHz que por su velocidad y su ancho de banda generan un alto consumo de energía, donde las fuentes actuales no son suficientes, o en otros casos, se usan baterías, las cuales necesitan recargarse para mantener su funcionamiento. por otro lado, pese a este problema, se puede aprovechar la energía electromagnética sobrante para abastecer al dispositivo IoT.

En el presente trabajo se diseña una alternativa de fuentes de alimentación para dispositivos IoT. Además, se contempla el diseño de una rectena microstrip con geometría fractal captando energía RF a 5 GHz, utilizando el método de ranura tipo T, además se diseña un rectificador estable para alimentar el dispositivo IoT. Se analizan los parámetros S y VSWR para la antena y el rectificador, el patrón de radiación en modo de recepción. Obteniendo un voltaje DC de 4.525 V y corriente de 4.525 mA para una carga resistiva de 1 KΩ. El diseño de la rectena con geometría fractal permite obtener un dispositivo pasivo evitando fuentes externas para funcionar, trabajando a una frecuencia de 5 GHz, la antena fractal en relación a la antena microstrip estándar tiene una eficiencia del 84.01%, el diseño rectena final es efectiva en 90.5%.

Palabras Clave— *Rectena, antena microstrip, rectificador, geometría fractal.*

Abstract— IoT devices use 5 GHz wireless networks that, due to their speed and bandwidth, generate high energy consumption, where current sources are not sufficient, or in other cases, batteries are used, which need to be recharged to maintain their operation. . On the other hand, despite this problem, the surplus electromagnetic energy can be used to supply the IoT device.

In this paper, an alternative of power supplies for IoT devices is designed. In addition, the design of a

microstrip rectenna with fractal geometry is contemplated, capturing RF energy at 5 GHz, using the T-type slot method, in addition, a stable rectifier is designed to power the IoT device. S and VSWR parameters for the antenna and rectifier, the radiation pattern in receive mode are analyzed. Obtaining a DC voltage of 4.525 V and a current of 4.525 mA for a resistive load of 1 KΩ. The rectenna design with fractal geometry allows to obtain a passive device avoiding external sources to function, working at a frequency of 5 GHz, the fractal antenna in relation to the standard microstrip antenna has an efficiency of 84.01%, the final rectenna design is effective at 90.5%.

Keywords— *Rectena, microstrip antenna, rectifier, fractal geometry.*

I. INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de los años 70 se tiene una interconexión entre dispositivos inteligentes, por lo que se prevee que en un futuro termine saturando el tráfico de datos en la red y la demanda de energía eléctrica ascienda.[1] Esta preocupación se fue intensificando cuando en la década de los 90 se popularizó el uso masivo de teléfonos inteligentes, impresoras y computadoras de manera empresarial por el nacimiento de la red mundial del internet permitiendo la reducción a los tiempos de cálculos masivos y entrega de datos de manera distante entre éstos dispositivos[2] Las fuentes de alimentación se empezó a ser diseñadas para transformar la energía AC a DC de manera continua para certificar el funcionamiento ininterrumpido de cada servicio en la red, además con la garantía de proteger a cada circuito que conforme el dispositivo inteligente ante cualquier escenario de variación de voltaje en la red eléctrica o la existencia de ruido.[2] Sin embargo, no todas las fuentes son diseñadas con este propósito ya que, para abaratar costos en su fabricación omiten componentes para filtrar la señal eléctrica, dando como resultado una transformación de energía discontinua en el tiempo y variable en amplitud, lo que no asegura la durabilidad de los dispositivos. Comienzos del año 2000, el británico Kevin Ashton plantea usar a los dispositivos inteligentes como una red

de sensores para interconectar objetos por medio de la red llamándolo IoT. Para lograr esto se diseña un estándar de trabajo común a 3,3 VDC, 5 VDC Y 12 VDC dando lugar a que cada muestreo sea más exacto dependiendo de la demanda de la información. [8] En los próximos años se pronosticaba que estos dispositivos fueran capaces de manejar la energía eléctrica de un hogar de manera inalámbrica o incluso grabar mediante circuitos cerrados por medio de cámaras de vigilancia. En este tiempo se plantea la comunidad científica que la cantidad de corriente distribuida por el dispositivo inteligente debe ser ininterrumpida, por lo que, se comienza a buscar alternativas para adquirir energía adicional y no solamente depender de la fuente de alimentación ante cualquier escenario para garantizar seguridad y calidad el servicio[3]. Se comenzó a indagar alternativas en la alimentación como la implementación de baterías o generadores de energía eléctrica como son los paneles fotovoltaicos. Ante el problema, estudios revelan la posibilidad que en el canal de recepción la comunicación de los dispositivos IoT sean capaces de auto sustentarse y cubrir la demanda de corriente haciéndolo de manera eficiente logrando aportar con energía eléctrica adicional al dispositivo, a través de la conversión de RF a DC que existe en base al diseño de la rectena[4], En el año 2011 Morcillo Juan, ejemplifica y transmite la idea del diseño de las rectenas de manera general, dando a conocer que son dispositivos pasivos de los cuales no necesitan una fuente de alimentación externa para mantener su funcionamiento, ya que consiste en la captación de energía electromagnética y un circuito rectificador para transformar la señal recibida en DC, la cual permite tener una fuente de alimentación. Estas rectenas están compuestas por cuatro componentes principales la antena, filtro pasa bajos, diodo rectificador y salida de voltaje DC [5]. En el año 2017, S. López experimenta y diseña una rectena para que pueda ser capaz de trabajar a una frecuencia resonante de 2.4 GHz, enfocada a redes domésticas con corto alcance en la recepción, siendo efectiva al solventar la falta de energía por demanda de consumo en una red de domótica inteligente.[6] En este trabajo se muestra una alternativa adicional ante el problema enfocado a la frecuencia resonante de 5 GHz que supere el indicador de los -10 dB en el parámetro S1.1 en la antena, para acercar la rectena a la banda SHF y demostrar el trabajo pasivo que puede aportar el rectificador ante esta frecuencia que es usada hoy en día, como una zona que trabaja con menos interferencias a un mayor ancho de banda. En este artículo se realiza el diseño y simulación de una rectena mediante geometría fractal, mejorando el rendimiento de una antena microstrip estándar, con una frecuencia de trabajo a 5 GHz, para obtener un voltaje de salida en DC comprobando que el diseño de la rectena permite captar la energía electromagnética y transformarla para obtener una de fuente de alimentación para dispositivos IoT.

II. DISEÑO

A. Antena Fractal

El diseño de la antena fractal se basa en la ejecución de dos etapas de diseño de las cuales son: Diseño de una

antena microstrip tipo Patch a 5Ghz y Diseño al cambio de la geometría a fractal por el método de ranura tipo T usando el software de CST Studio Suite. [6]

Antena Microstrip tipo Patch

En la Figura 1 se observa la forma inicial de la geometría Patch para una frecuencia de 5Ghz, en la cual éste se caracteriza por el tamaño del parche que es directamente proporcional a la frecuencia de trabajo y el tamaño el sustrato que es proporcional a éste.

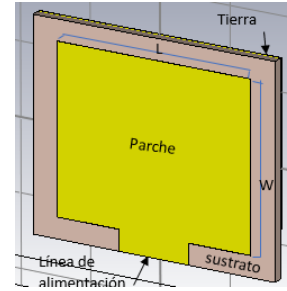


Figura 1. Geometría de la antena microstrip tipo Patch.

El material FR4-Epoxy es aquel que conforma el sustrato para la antena, este tipo de material es el estándar utilizado hoy en día para el uso de circuitos impresos y en radiofrecuencia no mayores a 15Ghz ya que puede presentar atenuación en la recepción de la señal. Éste tiene un valor de permitividad dieléctrica de $\epsilon_r = 4.49$, por lo que es resistente a diversos factores ambientales como la humedad, la corrosión y a temperaturas no superiores a los 180 °C. debido a su proceso de fabricación al material de cobre laminado empleado con bromo y resina de epoxy reforzado con fibra de vidrio. El uso de este material reduce costos de fabricación y tiempo de elaboración por lo volátil y manejable que es. Los parámetros para el cálculo y diseño de esta antena son los siguientes: [2]

Ancho del parche

$$W = \frac{c}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{s_r + 1}} \quad (1)$$

Constante dieléctrica efectiva

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

Longitud de separación

$$\Delta L = 0.412 \cdot h \cdot \frac{(s_{ref} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(s_{ref} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3)$$

Longitud efectiva

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{s_{ref}}} \quad (4)$$

Longitud del Parche

$$L = L_{eff} - 2\Delta \quad (5)$$

Longitud de la tierra

$$L_g = L + 6h \quad (6)$$

Ancho de la tierra

$$W_g = W + 6h \quad (7)$$

Por medio de las fórmulas se obtiene las dimensiones y medidas de la antena tipo Patch en donde: W corresponde al ancho, L corresponde al largo, H indica el grosor del material dieléctrico, Wg referente al ancho de la tierra y Lg relaciona al largo de la Tierra. Cada parámetro de la antena fue calculado tomando en consideración la frecuencia resonante de 5ghz, una permitividad dieléctrica de 4.49 referente al FR4-Epoxy y un grosor del sustrato h de 1.56 mm, donde h está conformado por la suma de dos láminas de cobre con 0.6 mm de grosor y una pared de epoxy 0.36 mm, estandarizado por SHENGYI de la familia S1000-2M con el protocolo de trabajo TG180 dedicado para el uso general de antenas impresas donde no afecte factores como la corrosión, el ruido blanco o flexibilidad del material. Se observa a continuación en la Tabla I las medidas resultantes.

TABLA I. MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DE LA ANTENA TIPO PARCHE PARA 5GHZ.

Elemento	Parámetro	Medidas (mm)	Materiales
Sustrato	W	28.658	FR4_Epoxy
	L	24.163	
	H	1.56	
Parche	W	18.09	Cobre
	L	13.631	
Tierra	Wg	28.385	Cobre
	Lg	23.926	

Antena Microstrip con diseño Fractal Tipo T

Con el software CST, se diseña la antena tipo Patch con ranuras en T bajo la misma área de trabajo a 5 GHz que fue calculado previamente en la Tabla I. Se emplea el método de ranura que consiste en eliminar parte de la lámina de cobre para usar la geometría fractal, cada área sustraída se verifica que tengan el mismo espacio de las incisiones hechas en la lámina de cobre, en este caso se asume incisiones en T con un espesor W'2 de 1.94 mm para este tipo experimentación, donde W'2 proviene del cálculo de la tercera parte entre la diferencia del ancho del sustrato con respecto al área de la lámina de cobre. El tamaño de la incisión de debe estar en el rango $0.003\lambda < W'2 < 0.005\lambda$ donde λ es la longitud de onda, esto se considera para no variar la permitividad eléctrica del material y lograr receptor la energía electromagnética sin variar la frecuencia resonante original. La parte eliminada se repone en el canal de alimentación aumentando el espacio de cobre. Sin embargo, en el proceso se debe comprobar que la antena debe comportarse como la antena tipo Patch para asegurar que su trabajo se enfoque a una única frecuencia resonante.[4] Se observa en la Figura 2 la forma final de la antena fractal tipo T bajo este método empleado. [6]

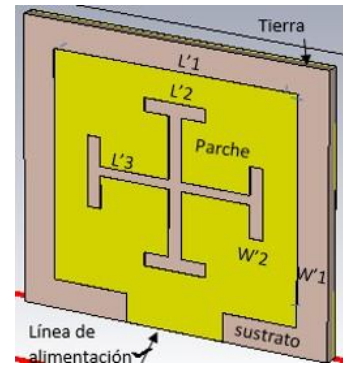


Figura 2. Geometría de la antena microstrip tipo Patch con geometría fractal.

En la Tabla II se observa las medidas finales redimensionadas en el software. Estos parámetros son los resultados al redimensionar la antena tipo Patch con el software CST respetando el procedimiento mencionado anteriormente.

TABLA II. MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DE LA ANTENA FRACTAL TIPO T PARA 5GHZ.

Elemento	Parámetro	Medidas (mm)	Materiales
Sustrato	W	37.825	Epoxy
	L	33.452	
	H	1.56	
Parche	W'1	30.26	Cobre
	L'1	26.762	
Hendidura en T	L'2	4.23	Epoxy
	L'3	8.46	
	W'2	1.94	

B. Circuito rectificador

En la Figura 3 se observa un diagrama de bloques del circuito rectificador donde se considera la señal de entrada RF captada por la antena, un filtro pasa bajo para eliminar los armónicos generados durante la rectificación, un diodo para tener rectificada la señal y finalmente la salida en DC para la alimentación de dispositivos IoT. [10]



Figura 3. Estructura de Rectena

El filtro pasa bajo está diseñado para eliminar interferencias que se encuentren en el ambiente, y poder controlar este efecto RF en el circuito, permitiendo discriminar la frecuencia de trabajo[11]. Para el diseño del filtro pasa bajo tipo LC, se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (8)$$

En la ecuación (8) se calcula el valor del capacitor, y se asume el valor del inductor comercial de 100 pH, del fabricante Murata, a partir de la ecuación (8) se obtiene un

capacitor de 10.13 pF , para ello se asume un capacitor comercial de 10 pF .

En la figura 4 se observa el diseño del filtro pasa bajo tipo LC con los valores correspondientes al inductor y capacitor, con una frecuencia de corte de 5 GHz .

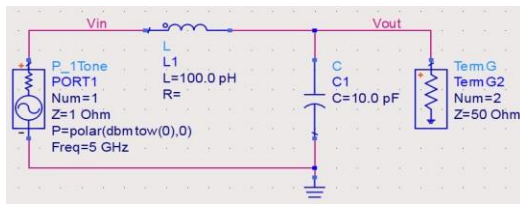


Figura 4. Filtro Pasa Bajo

Se utiliza un circuito rectificador de media onda con un diodo Schottky de alta frecuencia, para ello se emplea el modelo di_sms_bat64_19930908, se utiliza un solo diodo para minimizar la caída de voltaje en el circuito rectificador, a continuación, se coloca una resistencia de 1Ω con dos capacitores en serie de 1.2 pF a la salida del filtro pasa bajo para mejorar el coeficiente de reflexión y la onda estacionaria.

Para eliminar efectos de rizados dejados por la señal resultante se añade capacitores en paralelo para obtener la señal en DC a la salida del rectificador, la señal resultante permite ser utilizada como fuente de alimentación para los dispositivos IoT. [12]

En estudios previos, se obtiene un filtro de paso para rechazar la onda principal de la señal y el segundo armónico generado por la señal resultante, para el estudio se realiza la configuración en la antena y en el rectificador, obteniendo un diseño más compacto del rectificador [13]

En la Figura 5 se observa la integración del circuito rectificador y del filtro pasa bajo, el circuito permite eliminar armónicos. Con el diseño del circuito rectificador se logra obtener el paso una señal rectificada con un voltaje DC en la salida del circuito.

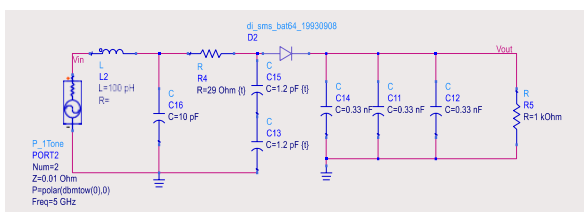


Figura 5. Circuito Rectificador

III. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

ANTENA MICROSTRIP A 5 GHz

A. Parámetro S

En la Figura 6 se obtiene el parámetro S que demuestra la frecuencia de resonancia de trabajo de la antena patch que es de 5 GHz con un valor de -18.053455 dB en el

parámetro S1,1. Este indicador señala un valor por debajo de los -10 dB , que se traduce a que esta antena es capaz de captar el 90% de la potencia obtenida a los 5 GHz .

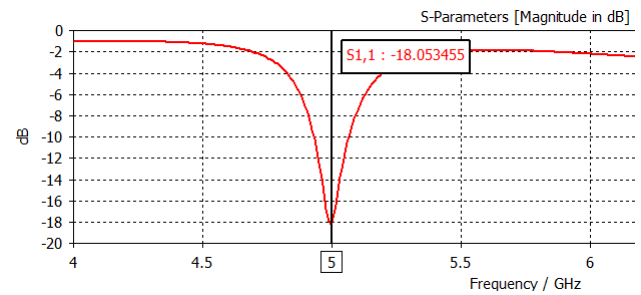


Figura 6. Parámetro de dispersión S de la antena tipo microstrip.

B. Relación de Onda Estacionaria (VSWR)

En la Figura 7 se observa el valor de 1.2860282 de VSWR. El VSWR es un indicador de la antena que demuestra que ésta trabaja bajo una resistencia de 50Ω dentro de un circuito electrónico si este valor está en el intervalo entre 1 y 2. Si el valor llega a ser mayor a 5 afirma que la corriente y voltaje de la antena no trabaja en las óptimas condiciones. [5]

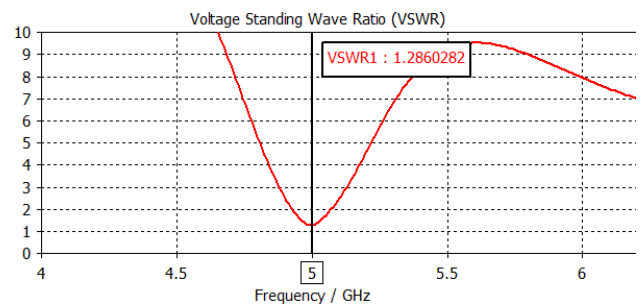


Figura 7. Parámetro VSWR de la antena tipo microstrip.

C. Patrón de Radiación 3D

En la Figura 8 se observa el patrón de radiación en 3D donde la máxima radiación en color rojo se encuentra en el eje z, pero a la vez, se evidencia una pérdida de potencia en el lóbulo secundario. Esto demuestra que antena se asemeja a una antena directiva, pero con pérdidas en la tierra común.

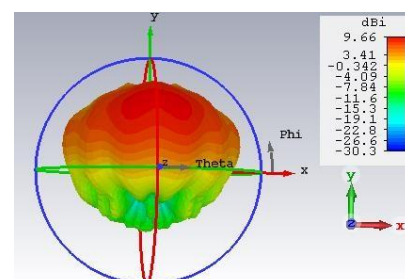


Figura 8. Patrón de radiación 3D de la antena tipo microstrip.

D. Patrón de Radiación 2D

En la Figura 9 se observa el patrón de radiación en 2D de la antena. El lóbulo principal apunta en dirección a los

-30° con una pérdida de potencia con -60° compensada en los 0°, cuenta un lóbulo secundario donde reposa la energía sobrante apuntado a los 150°, demuestra que la antena puede trabajar, pero no se asemeja a la isotrópica ideal directiva.

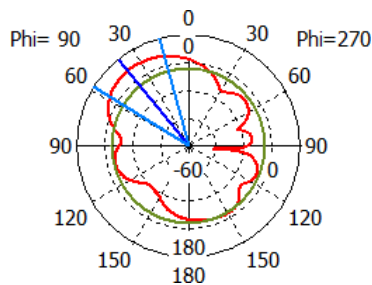


Figura 9. Patrón de radiación 2D de la antena tipo microstrip.

En la Tabla III se recopila los valores captados del patrón de radiación donde se observa que el ancho de haz de media potencia HPBW su valor es de 42.6° lo que afirma que pueda abarcar una gran área efectiva de manera óptima hasta una pérdida del 50% de la potencia captada con una ganancia de 5.23dBi.

TABLA III. MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DEL PATRÓN DE RADIACIÓN ANTENA FRACTAL.

Parámetro	Medidas
Frecuencia Resonante	5 GHz
Magnitud del Lóbulo principal	5.33 dBi
Dirección del Lóbulo principal	39°
HPBW	42.6°
Magnitud del Lóbulo secundario	-13.9 dB

ANTENA FRACTAL TIPO T A 5 GHz

A. Parámetro S

En la Figura 10 se obtiene el parámetro S que demuestra la frecuencia de resonancia de trabajo de la antena fractal que es de 5GHz con un valor de -21.497565 dB en el parámetro S₁₁.

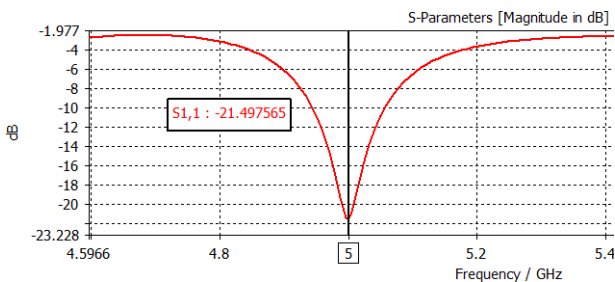


Figura 10. Parámetro de dispersión S de la antena fractal

B. Relación de Onda Estacionaria (VSWR)

En la Figura 11 se observa el valor de 1.1837959 para la relación de onda estacionaria. Cumple el parámetro establecido para trabajar bajo una resistencia de 50 Ω dentro de un circuito electrónico.

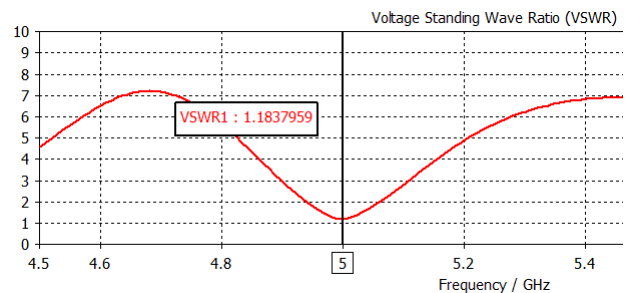


Figura 11. Parámetro VSWR de la antena fractal.

C. Patrón de Radiación 3D

En la Figura 12 se observa el patrón de radiación en 3D donde la máxima radiación en color rojo se encuentra en el eje z, esto significa que la antena es directiva hacia el área fractal y no hacia la zona de la tierra. Esto demuestra que antena vista desde afuera de un corte ortogonal logra captar la radiación asemejando a una antena directiva.

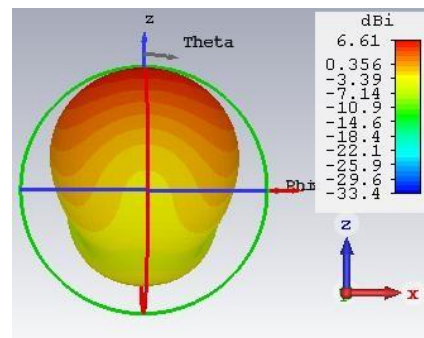


Figura 12. Patrón de Radiación 3D de la antena fractal.

D. Patrón de Radiación 2D

En la Figura 13 se observa el patrón de radiación en 2D de la antena, se ve cómo decrece su recepción proporcionalmente debido al grado con la que se orienta la antena fractal hacia el punto de alimentación. El lóbulo principal apunta en dirección a los 0° con una pérdida de potencia en -25° compensada en los 30°, por lo tanto, la ganancia en proporción a la directividad es la adecuada para una correcta recepción de la señal ya que trabaja de una forma similar a una antena directiva, además que el lóbulo secundario se concentra en el punto de alimentación donde no escapa la señal.

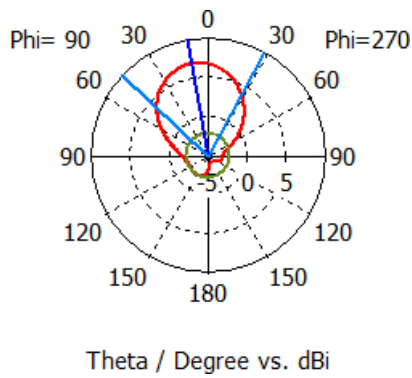


Figura 13. Patrón de Radiación 2D de la antena fractal.

En la Tabla IV se recopila los valores captados del patrón de radiación donde se observa que el ancho de haz de media potencia HPBW su valor es de 75.5° lo que afirma que pueda abarcar una gran área efectiva de manera óptima hasta una pérdida del 50% de la potencia captada con una ganancia de 6.9dBi

TABLA IV. MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DEL PATRÓN DE RADIACIÓN ANTENA FRACTAL.

Parámetro	Medidas
Frecuencia Resonante	5 GHz
Magnitud del Lóbulo principal	6.9 dBi
Dirección del Lóbulo principal	10°
HPBW	75.5°
Magnitud del Lóbulo secundario	-9 dB

E. Parámetro del Terminal Z

En la Figura 14 se observa la impedancia de entrada en el diseño de la antena fractal en el cual se registra la parte real 49.02Ω y la parte imaginaria 7.11Ω a la frecuencia de 5 GHz. Bajo esta justificación la antena se lo puede representar en un diagrama electrónico bajo el trabajo de una carga aproximada de 50Ω .

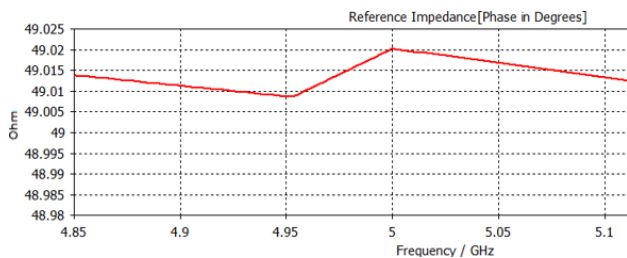


Figura 14. Parámetro Z Antena Fractal tipo T

CIRCUITO RECTIFICADOR DE LA ANTENA FRACTAL

A. Parámetro S

Para el análisis del parámetro S_{11} , en la Figura 15 se observa el coeficiente de reflexión del circuito rectificador, con una frecuencia de trabajo a 5 GHz, se

obtiene una potencia en el puerto de entrada de -21.318 dB . Para mejorar la potencia se coloca una resistencia de 29Ω y dos capacitores de 1.2 pF en serie a la salida del filtro pasa bajo.

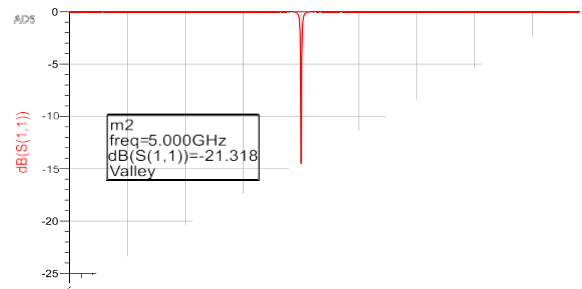


Figura 15. Parámetro S circuito rectificador

B. Parámetro VSWR

Se analiza el parámetro VSWR u onda estacionaria, en la Figura 16 se observa un valor de 1.188, la relación de onda estacionaria debe estar en el intervalo entre 1 y 2 para tener un VSWR aceptable [18], para mejorar el parámetro de onda estacionaria se añade una resistencia en el circuito rectificador a la salida del filtro pasa bajo, se utiliza una resistencia de 29Ω .

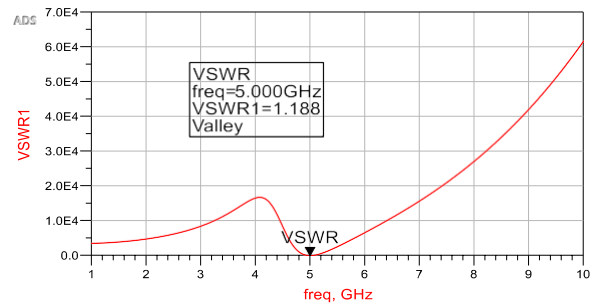


Figura 16. Parámetro VSWR circuito rectificador

C. Salida DC

Se considera un voltaje de entrada de 5 V en la Figura 17 se observa el valor de voltaje de salida en DC del circuito final para este caso se obtiene un voltaje de salida de 4.525 V. En el circuito rectificador se considera una carga resistiva de $1 \text{ K}\Omega$.

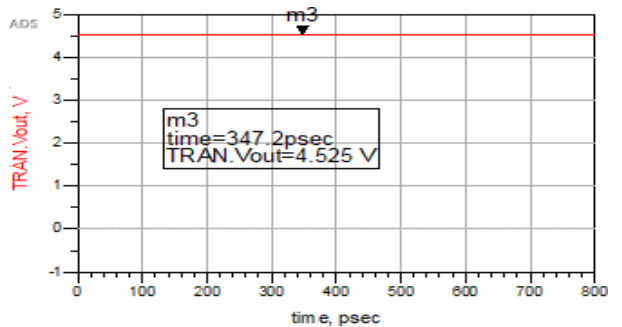


Figura 17. Voltaje DC a la salida.

En la Figura 18 se observa el valor resultante de la corriente, se obtiene 4.525 mA con una carga resistiva de 1 K Ω

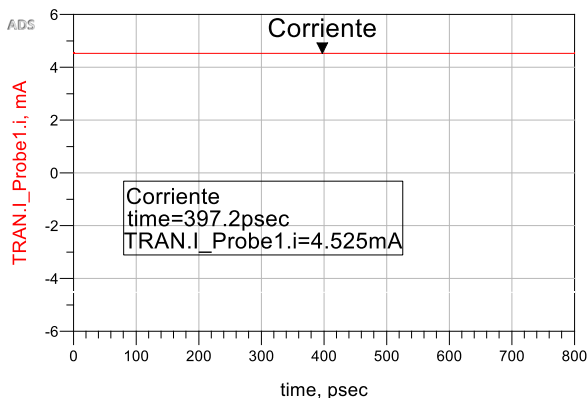


Figura 18. Corriente de salida

IV. CONCLUSIONES

La antena fractal diseñada a una frecuencia de 5 GHz en el software de simulación CST Studio, donde se obtiene el coeficiente de reflexión en -21.497 dB, de onda estacionaria en 1.183. Para el circuito rectificador se obtiene parámetros similares en relación al diseño de la antena fractal para el coeficiente de reflexión es -21.318 dB la variación es del 0.839% respecto a la antena fractal y obteniendo un valor de onda estacionaria de 1.188, con la implementación del circuito rectificador permite tener una fuente de alimentación para dispositivos IoT proporcionando un voltaje de salida DC de 4.525 V. Con una corriente de 4.525 mA, la corriente está sujeta a cambios depende del tipo de carga que reciba a la salida del circuito rectificador para este caso se utilizó una carga resistiva de 1 K Ω , la frecuencia de trabajo es de 5 GHz tanto para la antena fractal como para el circuito rectificador, la antena fractal tipo T permite tener una mejor ganancia y directividad, durante la toma de resultados para su análisis se puede determinar que el diseño de la antena fractal y el circuito rectificador permiten la recepción de señales RF a 5 GHz obteniendo una fuente de alimentación para dispositivos IoT. El diseño de la rectena final permite obtener una eficiencia del 90.5% dado que se ingresan 5 V como señal de entrada a la rectena obteniendo un voltaje de salida DC de 4.525 V

La antena fractal diseñada bajo el método de ranura logra mantener el valor S_{1,1} por debajo de los -10dB obteniendo valores cercanos a los -21.497dB, demostrando mejoría ante una antena microstrip estándar que llega a los -18.05dB. Demostrando que

este tipo de antena fractal en T obtiene más ganancia y directividad según sea el número de las iteraciones con la que éste trabaja, por ende, se experimentó la réplica de una iteración de T en cada sentido cardinal.

El re dimensionamiento de la antena fractal usando el método de la hendidura Tipo T permite conservar el área de cobre expandiendo el sustrato para el manejo de la geometría fractal, para tener una antena receptora con una frecuencia resonante de 5Ghz efectiva a 84.01%.

V. REFERENCIAS

- [1] Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicaciones, "Uso de las Bandas Libres de 5470-5725 MHz y 5725-5875 MHz en España," pp. 1–17, 2012.
- [2] C. A. Balanis, "[ENG_C.A.Balanis]_Antenna.Theory.Analysis.and.Design_2ed_(Wiley_1997).pdf." .
- [3] C. Bahhar, C. Baccouche, and H. Sakli, "A Novel 5G Rectenna for IoT applications," Proc. - STA 2020 2020 20th Int. Conf. Sci. Tech. Autom. Control Comput. Eng., pp. 287–290, 2020, doi: 10.1109/STA50679.2020.9329349.
- [4] A. Contreras and M. Urdaneta, "Rectenas para el Cosechamiento de Energía de los Sistemas de Comunicaciones en RF: Una Revisión," Rev. Tec. La Fac. Ing. Univ. Del Zulia, vol. 43, no. 2, pp. 98–109, 2020, doi: 10.22209/rt.v43n2a06.
- [5] M.Juan, Universidad Carlos III de Madrid "Diseño de Rectena Multifrecuencias de media Onda y de onda completa" 2011.
- [6] S. López Arraz, "Diseño De Una Antena Rectificadora En La Banda UHF Para La Captación De Energía Electromagnética," 2017.
- [7] A. Darshana, Mantri1, Dilip, "Design and Simulation of Fractal Antenna," no. January, 2019.
- [8] H. M. Valeria Hernández, "Vista de Miniaturización de una Antena Microstrip Aplicando Diseño Fractal T-cuadrado.pdf." .
- [9] P. Nintanavongsa, U. Muncuk, D. R. Lewis, and K. R. Chowdhury, "Design optimization and implementation for RF energy harvesting circuits," IEEE J. Emerg. Sel. Top. Circuits Syst., vol. 2, no. 1, pp. 24–33, 2012, doi: 10.1109/JETCAS.2012.2187106.
- [10] T. Sogorb, J. V Llarío, J. Pelegri, R. Lajara, and J. Alberola, "Studying the Feasibility of Energy Harvesting from Broadcast RF Station for WSN," in 2008 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, May 2008, pp. 1360–1363, doi: 10.1109/IMTC.2008.4547254.
- [11] J.-P. Curty, N. Joehl, F. Krummenacher, C. Dehollain, and M. J. Declercq, "A model for /spl mu/-power rectifier analysis and design," IEEE Trans. Circuits Syst. I Regul. Pap., vol. 52, no. 12, pp. 2771–2779, 2005, doi:

10.1109/TCSI.2005.854294.

- [12] International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), "Design and Simulation of Fractal Antenna," *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., no. January, pp. 2013–2015, 2021.
- [13] P. P. Álvaro, "Diseño De Un Sistema De Captación De Energía De Señales Wifi," 2019.
- [14] R. Encinas, "Transferencia inalámbrica de energía," pp. 1–78, 2015.
- [15] J. A. Morcillo Sánchez, "Media Onda Y Onda," 2011.
- [16] P. Pang, X. Lin, S. Liu, X. Jia, and R. Xu, "Structure for Rectenna Arrays," 2018 IEEE Asia-Pacific Conf. Antennas Propag., pp. 303–305, 2018.
- [17] L. Catalina and P. Astudillo, "Diseño , implementación y caracterización de una antena basada en geometría Fractal Santiago Dujmovic Llantén," 2017.
- [18] J. Rafael, "Análisis Y Medición De Parámetros De Antenas En La Banda De 2.4 Ghz Utilizando La Cámara Anecoica," 2018