

Elementos Pasivos de Microondas e Implementación de Antenas para Telefonía Celular y Wi-fi



**Miguel Ángel Cortes Arteaga
Othón Gandarila Carrillo
Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.**

Resumen

En este proyecto se diseñaran algunos dispositivos pasivos de microondas y se analizará su comportamiento por medio de simulación y elaboración de circuitos. Así mismo, estudiaremos el comportamiento de los diferentes tipos de microcintas (antenas de parche), así como su patrón de radiación, como afecta la forma de la antena al mismo y los diferentes tipos de arreglos y comportamiento de las líneas de transmisión formadas por microcintas (Microstrip). La forma geométrica de la antena implica un análisis de línea de transmisión por lo que buscamos una expresión matemática que describa los campos específicamente para ciertas geometrías. Para esto, se ha realizado un estudio, para diseñar un parche alimentado por medio de línea Microstrip y sonda coaxial, todo esto con ayuda de las herramientas de simulación necesarias. También se diseñaran antenas para la operación de señales celular y Wi-Fi, con diferentes tipos de medidas, para así estudiar su comportamiento por medio de su resonancia, y poder determinar su ganancia y su ancho de banda de cada tipo de antena.

OBJETIVO

Describir los principios de diseño para diferentes tipos de antenas de parche o Microstrip, para formar antenas de tecnología impresa, conocer y entender su funcionamiento y sus características, así como las diferentes geometrías y ganancias, para poder aplicarlas y usarlas en la transmisión y recepción de señales Wi-Fi, así como en el uso de celulares.

El diseño de estas antenas debe ser de tal manera que funcione para banda ancha con una frecuencia central de 2.45 GHz. Debemos tomar en cuenta que la geometría de las antenas debe ser rectangular, así como conocer las características del material de sustrato con el cual se desea fabricar.

Se debe lograr una ganancia de alrededor de 10dB en vertical a la antena, y una patrón de radiación debajo de los 3dB.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso de las comunicaciones inalámbricas ha incrementado, ya sea por medio de voz, video, internet, datos, etc. Todo esto, está generando una gran demanda de ancho de banda, por lo que se requiere que las comunicaciones se

enfocuen hacia las frecuencias de microondas para poder abastecer esta demanda, ya que a mayor velocidad se requiere de mayor ancho de banda.

La teoría electromagnética nos ayudará a entender el comportamiento de los circuitos de microondas ya que con esta podemos entender el comportamiento de la radiación de las microondas, y con esto poder entender cómo funciona la recepción de las antenas. Las microondas han ayudado a desarrollar muchos avances tecnológicos. Pero estas son solo una rama del campo electromagnético.

En este proyecto se estudiará el funcionamiento de las antenas de parche o también conocidas como antenas de microcinta o "Microstrip". Las cuales funcionan en el rango de microondas, estas son muy usadas en el área de telefonía y recepción de señal Wi-Fi. La ventaja de este tipo de antenas es que son pequeñas, de fabricación sencilla, se pueden crear diferentes tipos de arreglos con las mismas y se puede adaptar a diferentes frecuencias de resonancia y polarización.^[1]

Para poder comenzar con el estudio de antenas "Microstrip". Tenemos que saber que son las **microondas**. a las ondas electromagnéticas; generalmente de entre 300 MHz y 300 GHz, que supone un período de oscilación de 3ns (3×10^{-9} s) a 3ps (3×10^{-12} s) y una longitud de onda en el rango de 1m a 1mm. Otras definiciones, por ejemplo las de los estándares IEC 60050 y IEEE 100 sitúan su rango de frecuencias entre 1 GHz y 300 GHz, es decir, longitudes de onda de entre 30 centímetros a 1mm.^[1]

Una forma de clasificar las bandas de frecuencia de microondas, es por aplicaciones

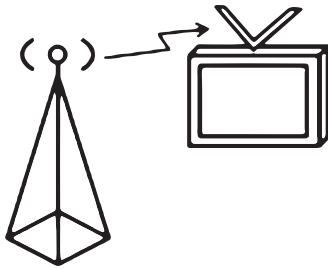
- Radio
- Televisión
- Uso publico

Concepto de Antenas

Sabemos que las antenas son dispositivos los cuales captan la señal de radio y televisión pero como definimos una antena.

¿Qué es una antena?

Una antena es un dispositivo el cual emite y/o recibe ondas de radiofrecuencia. Las cuales convierten las señales eléctricas en ondas electromagnéticas y viceversa.



Ejemplo de antenas

Existen antenas de distintos tipos, pero todas ellas cumplen la misma misión: servir de emisor-receptor de una señal de radio. Cuando la comunicación fluye en ambas direcciones, se denomina bidireccional. Si dicha comunicación no se efectúa simultáneamente, sino alternativamente, se denomina comunicación semiduplex. Todas las comunicaciones dentro del ámbito WIFI son bidireccionales semiduplex.^[2]

- ✓ Parámetros de una antena
- ✓ Patrón de radiación
- ✓ Ganancia
- ✓ Directividad
- ✓ Ancho de banda
- ✓ Polarización
- ✓ Impedancia de entrada
- ✓ Resistencia de radiación

Algunas de estas características, las podemos encontrar en los dispositivos pasivos de microondas.^[3]

Dispositivos pasivos de microondas

En la ingeniería de microondas existen dos tipos básicos de elementos pasivos de circuito, estos son los elementos concentrados. Que reciben su nombre debido a sus pequeñas dimensiones comparados con la longitud de onda, y los elementos distribuidos, cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda.

El diseño de circuitos de altas frecuencias puede realizarse con dispositivos concentrados, y con la teoría convencional de circuitos y líneas de transmisión, tomando solo en consideración los efectos de segundo orden en los dispositivos, que se manifiestan cuando la longitud de onda es un poco mayor que sus dimensiones.^[6]

Características

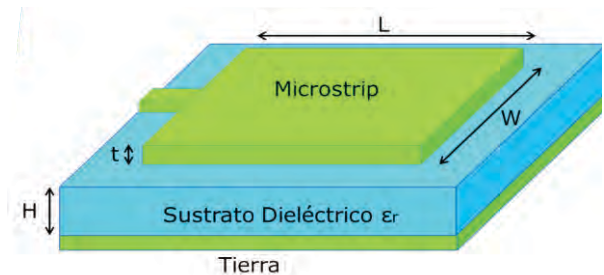
Esta forma de diseñar es particularmente aplicable en frecuencias RF con elementos discretos de circuito, o bien, en circuitos integrados monolíticos

de microondas (MMICS). Cuando la longitud de onda es del mismo orden de magnitud que los elementos y dispositivos empleados (elementos distribuidos), además de tener una distribución de corriente no homogénea sobre los elementos, pueden manifestarse uno o más de los siguientes efectos electromagnéticos.

- Resonancia
- Difracción
- Radiación
- Reflexión
- Acoplamiento electromagnético

Microstrip o Antenas de parche

La tecnología de antenas de Microcintas (Microstrip), recibieron una considerable atención en la década de los 70's, aunque esta idea puede remontarse a 1953 y obtuvo su patente en 1955. Las antenas de parche o antenas microstrip, son antenas fabricadas con circuito impreso. Son un tipo de línea de transmisión eléctrica, la cual se fabrica usando una placa de circuito impreso (PCB), consiste en una franja de conducción separada de un plano de tierra, por medio de un sustrato dieléctrico. Se utilizan para transmitir señales de microondas usadas por diferentes tipos de componentes, como antenas, acopladores, filtros, divisores de frecuencia, etc. Todo esto puede ser formado por microstrip. La tecnología microstrip hasta ahora es más económica que la tecnología tradicional de guía de onda, con la ventaja de que es más ligera y compacta. Este tipo de antena se encuentra dentro de los dispositivos pasivos de microondas.



Antena microstrip con parche rectangular

Aplicaciones

Este tipo de antenas tienen diferentes aplicaciones, ya que es una tecnología que nos permite reducir costos y aumentar eficiencia, de equipos que requieran de estas antenas, a continuación veremos las ventajas y aplicaciones para las antenas de parche.

VENTAJAS.

- ✓ Pequeño tamaño y poco peso
- ✓ Ajustable a superficies no planas
- ✓ Fabricación sencilla y económica a gran escala
- ✓ Robustez mecánica (montado en superficies rígidas)
- ✓ Sencillez de realización de arreglos.
- ✓ Fácil integración en equipos y circuitos integrados de microondas
- ✓ Versátiles en la elección de la frecuencia de resonancia o la polarización
- ✓ Se usan para frecuencias elevadas en el rango de microonda u ondas milimétricas
- ✓ Frecuencias de operación de 400Hz a 40 GHz

APLICACIONES

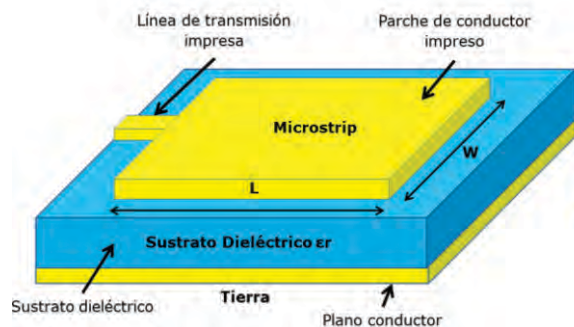
- ✓ Antenas embarcadas en misiles
- ✓ Altimetros radar en aviones
- ✓ Antenas de exploración radar en satélites
- ✓ Sistemas GPS
- ✓ Telefonía móvil
- ✓ Comunicación Wi-Fi
- ✓ Comunicaciones móviles por satélite

Alimentación de microstrip

Las antenas de parche tienen diferentes formas de conectarse o alimentarse, podemos conectarlas por medio de una línea microstrip, usando una sonda coaxial o alimentación por proximidad.

Línea microstrip

Esta consiste en conectar el parche de antena, por medio de una línea de transición de tipo microstrip. La cual debe ser delgada, ósea más pequeña que el parche.

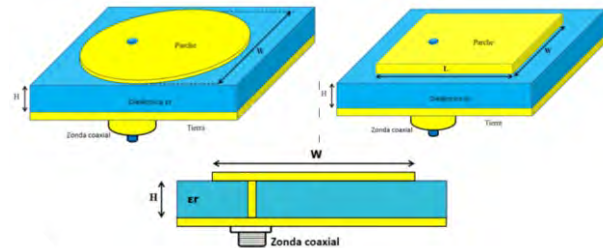


Modelo de una antena de línea microstrip

La fabricación de este tipo de antena es fácil de realizar, solo que la desventaja es que en la línea de alimentación, tiene radiación espuria por parte del conector coaxial, la cual tiene un ancho de banda alrededor de 2% y 5%. [5]

Sonda coaxial

Este tipo de alimentación se realiza por medio de una sonda coaxial, la cual consiste en una perforación dentro del parche, en el cual conecta la tierra por medio de un conector coaxial.



Ejemplos de antenas de parche, sonda coaxial

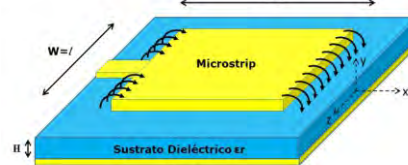
El circuito equivalente de la antena de sonda coaxial es equivalente solo que no incluye la línea de transmisión que se usa en la antena de línea microstrip.

Principios de funcionamiento.

Este tipo de antenas son usadas para altas frecuencias ya que se adaptan a circuitos de microondas, son livianas y se pueden acoplar a superficies planas y no planas. Además son de fácil fabricación. En este caso se diseñaran de manera que tengan una frecuencia de operación, para señales de Wi-Fi.

En primer lugar hay que conocer las características de la antena para poder entender su funcionamiento, el tipo de dieléctrico que usaremos y como es que se alimentan las antenas, esto ya lo analizamos anteriormente. Los parches de las antenas regularmente son rectangulares o circulares, pero también pueden adoptar distintas formas y dimensiones, las cuales deben ser del orden de media longitud de onda. [5]

Analizaremos la distribución de los campos en el interior de la antena



Distribución de los campos eléctricos en la microstrip.

$$d = n \frac{\lambda d}{2}$$

Longitud d del parche

Sabemos que n es un número entero y λd denota la media longitud de onda en el dieléctrico (con constante dieléctrica ϵ_r). Donde v_0 es la velocidad de la luz en el vacío, entonces:

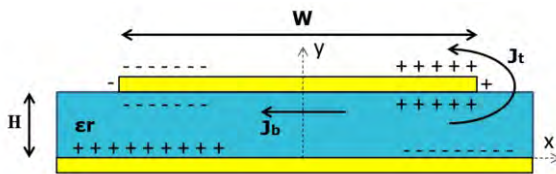
$$\lambda_d = \frac{v_0}{f \sqrt{\epsilon_r}}$$

Media longitud de onda en el dieléctrico

Características de los campos en la antena.

- Se propaga de un modo cuasi-TEM.
- La mayoría del campo se concentra en el dieléctrico.
- El dieléctrico debe ser eléctricamente delgado $0.003\lambda_0 H < 0.05 \lambda_0$, para evitar fugas y ondas superficiales.
- Permitividad alta $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$, para que las líneas de campo estén confinadas en torno a la línea microstrip.

Cuando se excita la microstrip, se crea una distribución de carga sobre la placa la cual se establece en las superficies superior e inferior, lo mismo sucede en la superficie de la placa de tierra.

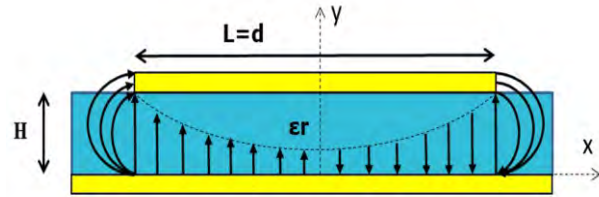


Distribución de cargas y densidad de corriente

Las cargas producen flujos de corriente en la superficie superior e inferior del parche J_b y J_t , pero si la anchura del parche es mucho mayor que el espesor del sustrato ósea $H \ll W$, se genera un flujo de corriente por debajo del parche y una pequeña corriente que fluye alrededor de los bordes. Conociendo las características de las cargas sobre la antena podemos interpretar el comportamiento de los campos eléctricos de la antena microstrip.

Como las dimensiones del parche no son infinitas las líneas de campo no son cerradas entonces se produce un efecto en los bordes, este efecto se manifiesta en

los cuatro costados y depende del grosor y la permitividad del dieléctrico.



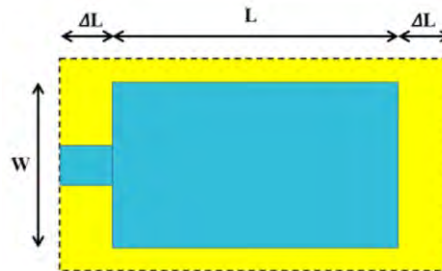
Distribución de los campos eléctricos en el dieléctrico

Algunas ondas viajan en el sustrato dieléctrico y algunas en el aire, sabemos que el sustrato contiene una constante ϵ_r , y por lo tanto el parche tiene una constante ϵ_0 , por esto se define una constante dieléctrica efectiva $\epsilon_{r,efec}$ el cual tiene contenido el efecto de ambos sustratos. Como $W > H$, la constante dieléctrica está definida por la Ecuación.^[5]

$$\epsilon_{r,efec} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \cdot \left(1 + 12 \frac{H}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} ; \frac{W}{H} \gg 1$$

Siempre y cuando $1 < \epsilon_{r,efec} < \epsilon_r$.

La longitud efectiva (L_{efec}) es un parámetro que debemos tomar en cuenta, esta es la longitud del parche más una pequeña extensión ΔL , la cual depende de $\epsilon_{r,efec}$ y la relación w/h , y se expresa de la siguiente manera.



Longitud efectiva de una microstrip rectangular

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{ref} + 0.3)}{(\epsilon_{ref} - 0.258)} \cdot \frac{\left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{\left(\frac{w}{h} + 0.8\right)}$$

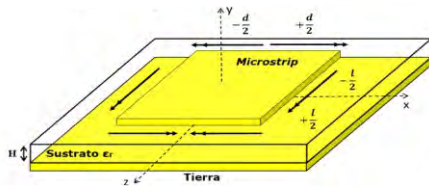
La expresión analítica de la longitud efectiva está dada por la siguiente ecuación:

$$L_{efec} = L + 2 \cdot \Delta L$$

Ahora para la frecuencia de resonancia de la antena, tenemos que está en función de la longitud, v_0 es la velocidad de la luz en el espacio libre.

$$f_r = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}}$$

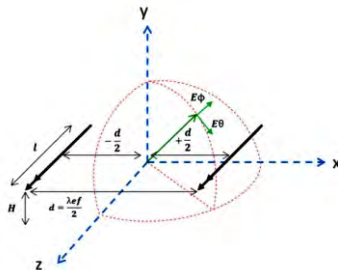
La antena puede ser modelada como una cavidad la cual es delimitada por el parche y el plano de tierra y las cuatro paredes verticales. La radiación de la antena será emitida por las cuatro ranuras que cierran la cavidad, cada ranura puede ser modelada como una lámina de corriente magnética, al considerarse la curvatura de las líneas de campo vistas anteriormente, estos se pueden descomponer en una componente en el eje x y otra en el eje y, las componentes en y están en contrafase en $x = \pm \frac{d}{2}$. Esto cancela sus contribuciones por lo que quedan únicamente las componentes según el eje x.



Láminas de corriente magnéticas equivalentes

También se pueden apreciar las corrientes situadas en $z = \pm \frac{h}{2}$. tienen sentidos opuestos y varían de respecto a la función $\sin \frac{\pi x}{d}$ y por lo tanto no producen radiación en la dirección del eje y (el plano normal a la antena).^[5]

Por lo tanto las antenas de parche pueden ser modeladas por dos láminas de corriente magnética, con una distribución de campos uniformes, con un ancho H, longitud L, en dirección al eje z, separadas por una distancia d y situadas sobre el sustrato dieléctrico. El modelo de la figura solo es válido para el campo radiado en la región $z \geq 0$ y que el campo radiado en $z < 0$ es nulo.



Equivalente electromagnético.

Entonces el parche equivale a dos ranuras de $W \times \Delta L$, la longitud L se elige para que haya una longitud de fase y la radiación de ambas ranuras de asume en fase por lo que tenemos que:

$$L = \frac{\lambda_g}{2}$$

Longitud en fase

La radiación de los flancos laterales se cancela entre sí. Entonces la anchura del parche está dada de la forma:

$$W = \frac{\lambda_g}{2}$$

Ancho del parche

Fundamentos de diseño

Parche rectangular

Para comenzar con el diseño de la antena de parche, se tiene que especificar la frecuencia de resonancia, la constante del dieléctrico y el grosor del sustrato, el procedimiento se muestra a continuación.^[5]

1.- Determinamos la anchura del parche usando la siguiente formula.

$$W = \frac{1}{2f_r\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} = \frac{\lambda_0}{2} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}}$$

λ_0 Es la longitud de onda $\lambda_0 = \frac{v_0}{f_r}$ sabiendo que v_0 es la velocidad de la luz en el espacio libre y f_r la frecuencia de resonancia.

2.- Determinar la constante dieléctrica efectiva $\epsilon_{r,efec}$

$$\epsilon_{r,efec} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \cdot \left(1 + 12 \frac{H}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} ; \frac{W}{H} \gg 1$$

3.- Hallar la extensión de longitud ΔL

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

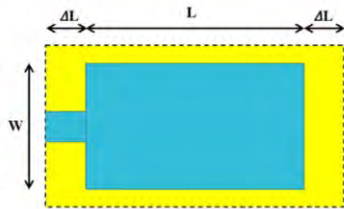
4.- Por ultimo determinamos la longitud efectiva de la ecuación siguiente.

$$L_{efec} = \frac{v_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_{r,efect}}}$$

5.- Finalmente obtenemos la longitud L del parche

$$L_{efec} = L + 2 \cdot \Delta L$$

Por lo tanto hemos terminado el diseño para el parche rectangular.



Parámetros para el parche rectangular

Parche circular

Basado en las ecuaciones del modelo de cavidad, realizamos el procedimiento para el diseño de esta antena de parche, se tiene que especificar la frecuencia de resonancia, la constante del dieléctrico y el grosor del sustrato, el procedimiento se muestra a continuación.

1.- Especificar la constante dieléctrica ϵ_r , la frecuencia de resonancia f_r y el grosor del sustrato H.

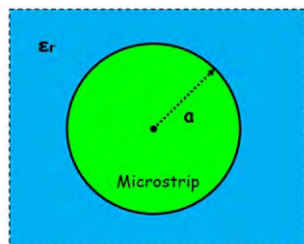
2.- Determinamos el radio del parche por medio de la siguiente ecuación.

$$a = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2H}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2H} \right) + 1.7726 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

3.- Determinamos la constante F de la ecuación siguiente.

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

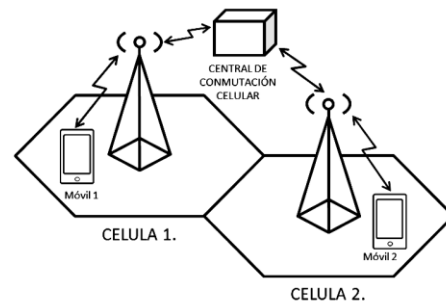
4.- Con esto terminamos el diseño de la antena de parche circular.



Parámetros para el parche circular

Telefonía Móvil

La **telefonía móvil** o **telefonía celular** es la comunicación inalámbrica a través de ondas electromagnéticas. Se utiliza un dispositivo denominado teléfono móvil o teléfono celular. La telefonía móvil consiste en una red de comunicaciones o red de telefonía móvil, que a su vez se compone de una red de antenas distribuidas sobre la superficie terrestre, las cuales realizan la comunicación entre los teléfonos móviles. Los cuales nos permiten acceder a esta red de comunicaciones.



Esquema básico de telefonía móvil

Las antenas de telefonía se caracterizan por ser bi-direccionales (emisión o recepción) de baja potencia. Además por producir radiación RF, son montadas sobre postes, torres de transmisión, o en los techos de altos edificios, ya que necesitan estar a cierta altura para poder tener una cobertura más amplia.

Cuando una persona se comunica mediante un celular, éste se conecta a la antena más cercana, que a su vez envía la llamada hacia la central de telefonía que nos conecta con nuestro receptor. [10]

La energía eléctrica que utilizamos es corriente alterna con una frecuencia de 50 ó 60 Hz (Hertzios o ciclos por segundo). La radio AM tiene una frecuencia alrededor de 1 MHz, la radio FM tiene una frecuencia alrededor de 100 MHz. Los teléfonos móviles (celuláres) operan desde 800 a 2.600 MHz, dependiendo de la tecnología empleada y el país.

Las Bandas de frecuencia son diferentes en cada región, es por esto que mediante la información brindada por los vendedores y esta lista de las diferentes **bandas de frecuencia de Latinoamérica** podremos saber si funcionarán de manera adecuada en nuestros países. [11]

México:

2G:

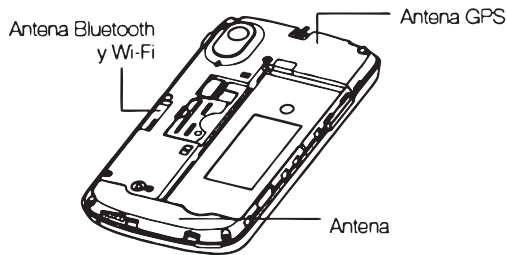
850 y 1900 MHz → Iusacell y Unefon,
1900 MHz → Movistar y Telcel.
850 MHz → Virgin Mobile.

3G:

850/900/1900/2100MHz → Telcel.
800MHz y 1900MHz → Iusacell, Unefon, Movistar.
1700MHz → Nextel.
1900MHz → Virgin Mobile.

4G:

1700 MHz y 2100 MHz → Banda 4 AWS; Telcel,
Nextel, Iusacell.
1900 MHz → Banda 2 AWS; Movistar.



Antenas de un celular

Conociendo las bandas de frecuencia, podemos determinar si una antena de un equipo es de telefónica celular o señal Wi-Fi, también podemos saber de manera comercial cuales son las compañías con las que puede operar dicha antena.

WI-FI.

En la actualidad, la tecnología Wi-Fi. Ofrece la mayor cantidad de beneficios al costo más bajo entre todas las tecnologías inalámbricas. Es económica, interoperable con equipos de diferentes fabricantes y puede ser extendida para ofrecer funcionalidades mucho más allá de las previstas originalmente por los fabricantes. Esto se debe a que WiFi utiliza estándares abiertos: enrutadores, Tablet PCs, laptops y teléfonos WiFi pueden interoperar ya que todos se adhieren al estándar 802.11. La mayoría de los dispositivos inalámbricos comerciales (teléfonos móviles, televisión, radio, etc.)^[12]

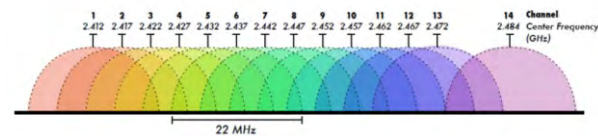
✓ Las bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) permiten el uso de las porciones **2.4-2.5 GHz**, 5.8 GHz, y muchas otras frecuencias (no utilizadas en WiFi).

✓ Las bandas UNII (*Unlicensed National Information Infrastructure*) permiten el uso sin licencia de otras porciones del espectro de 5 Ghz.

La familia de protocolos 802.11. Son la base de WiFi.

- **802.11a** permite hasta 54 Mbps en las bandas no licenciada a 5 GHz.
- **802.11b** permite hasta 11 Mbps en la banda no licenciada a **2.4 GHz**.
- **802.11g** permite hasta 54 Mbps en la banda no licenciada a **2.4 Ghz**.
- **802.11n** permite hasta 600 Mbps en las bandas no licenciadas a 2.4 GHz y 5 Ghz

Canales en 802.11(WiFi)

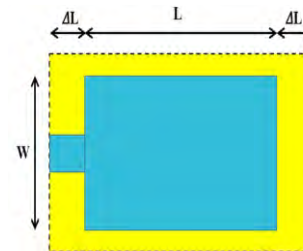


Canales estándar 802.11 Wi-Fi

Cálculos

DIMENSIONES DE UN PARCHÉ CUADRADO.

Antes que nada hay que saber las características del material con el que vamos a trabajar, en este caso se usaran placas fenólicas que tienen las siguientes características.



Dimensiones del parche cuadrado.

El tipo de material es de PCB Rogers RO4003, el cual tiene las siguientes características.

- H=Altura = 0.813 mm = **0.000813 m**
- ϵ_r =Permitividad= 3.55.
- Frecuencia de transmisión es de 2450 MHz = **2.45 GHz**.
- **TanD =Tan δ = 0.002.**
- **Resistividad =1.72x10⁻⁸**

Las dimensiones de la placa fenólica son de 50 mm x 50 mm, Lefec = 0.05 m

Sabiendo esto, calculamos las dimensiones del parche para L donde f_r es la frecuencia de operación o de resonancia.

$$L = \frac{v_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8 \frac{m}{s}}{2 \cdot (2.45 \times 10^9) \cdot \sqrt{3.55}} = 0.0325 \text{ m} = \mathbf{32.5 \text{ mm}}$$

Sabemos la longitud del parche, también conocemos las dimensiones de la placa fenólica, obtenemos lo siguiente.

$$L_{efec} = L + 2 \cdot \Delta L$$

$$0.05 \text{ m} = 0.0325 \text{ mm} + 2 \cdot \Delta L$$

$$\Delta L = 0.05 \text{ mm} - 0.0325 = 0.00875 \text{ m} = \mathbf{8.75 \text{ mm}}$$

El ancho W de la antena controla la impedancia de entrada, en un parche cuadrado alimentado por encima de la forma, la impedancia de entrada será del orden de 300 ohm, al aumentar la anchura, la impedancia puede ser reducida, sin embargo, para disminuir la impedancia de entrada de 50 ohm a menudo se requiere de un parche muy amplio, la anchura más bien controla el patrón de radiación.

Ya que deseamos un parche cuadrado realizamos los cálculos siguientes.

$$L = \frac{\lambda_g}{2} \rightarrow \lambda_g = 2L$$

$$W = \frac{\lambda_g}{2} \rightarrow W = \frac{2L}{2} \rightarrow W = L = 0.0325 \text{ m} = \mathbf{32.5 \text{ mm}}$$

Si deseamos un parche rectangular obtenemos el ancho del parche usando la ecuación siguiente.

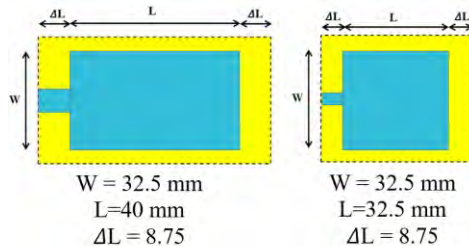
$$W = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m}}{2(2.45 \times 10^9)} \cdot \sqrt{\frac{2}{3.55 + 1}} = 0.040 \text{ m} = \mathbf{40 \text{ mm}}$$

El ancho del parche dependerá de la permitividad del material de la antena, para este caso el de las placas fenólicas o el material dieléctrico. En este caso hay diferentes valores para la permitividad del material fenólico.

Tipo de material	Permitividad dieléctrica ϵ_r
Fenólicas (Rellenas de celulosa)	3 - 15
Fenólicas (Rellenas de vidrio)	5 - 7
Fenólicas (Rellenas de mica)	4.7 - 7.5

Permitividad de las placas fenólicas.

Por lo tanto las dimensiones de las antenas quedarían de la siguiente manera.



Dimensiones de las microstrip cuadrada

DIMENSIONES DE UN PARCHE CIRCULAR.

Ahora vamos a diseñar un parche circular. Como vimos anteriormente, debemos conocer las características del material de la placa, en este caso son las mismas que la anterior.^[13]

La permitividad dieléctrica de las placas fenólicas oscila entre los 3 y 15, pero las más comunes que se utilizan o que vamos a utilizar en las antenas de parche son de 3.55 y 3.66.

Calculo de la contante F para una permitividad de 3.55.

$$F1 = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{8.791 \times 10^9}{(2.45 \times 10^9) \cdot \sqrt{3.55}} = 1.904$$

$$a1 = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2H}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2H} \right) + 1.7726 \right] \right\}^2} = \frac{1.904}{1.904} = \mathbf{1.87 \text{ cm}}$$

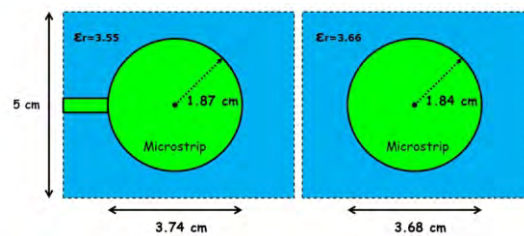
Calculo de la constante F para un permitividad de 3.66.

$$F2 = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{8.791 \times 10^9}{(2.45 \times 10^9) \cdot \sqrt{3.66}} = 1.875$$

$$a2 = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2H}{\pi \epsilon_r F} \left[\ln \left(\frac{\pi F}{2H} \right) + 1.7726 \right] \right\}^2} = \frac{1.875}{1.875} = \mathbf{1.84 \text{ cm}}$$

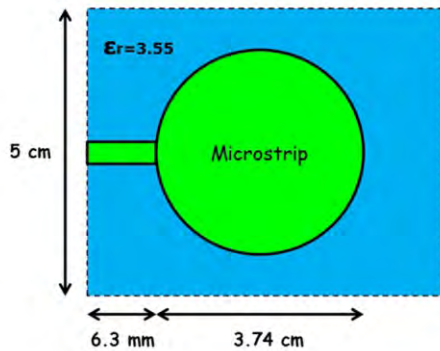
Estos son los radios de las antenas de parche circulares, por lo tanto el diámetro queda dado de la siguiente manera.

- D1 2(a1) 2(1.87 cm) 3.74 cm
- D2 2(a2) 2(1.84 cm) 3.68 cm



Dimensiones de la antena de parche circular

Consideramos que en el intervalo de permitividad [3.55, 3.66], la operación de la antena es la misma ya que el diámetro es en promedio de 3.7 cm

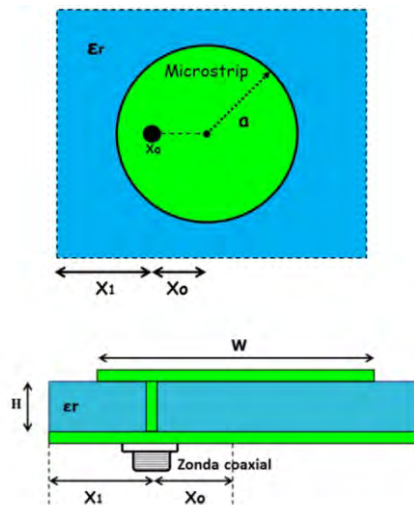


Dimensiones de la antena línea microstrip circular

Para el cálculo de la antena de parche con alimentación de sonda coaxial, se realiza de la misma manera los cálculos para las dimensiones, en este caso los haremos para una antena de simetría circular. Pero necesitamos calcular el punto de alimentación donde se instalara la sonda coaxial para la operación de la antena. Para esto necesitamos la siguiente ecuación. [14]

$$X_0 = \frac{0.2064}{\pi} \cdot \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{Z_0}{196}} \right)$$

Esta distancia está dada del centro, al punto de alimentación del parche



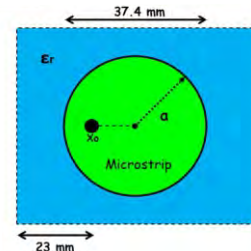
Punto de alimentación de la antena de zonda coaxial

Sabemos que la impedancia de entrada de la antena Z_0 es de 50Ω .

$$X_0 = \frac{0.2064}{\pi} \cdot \sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{50}{196}} \right) = 1.9 \text{ mm} \cong 2 \text{ mm}$$

$$X = X_0 + X_1 = 25 \text{ mm} \Rightarrow X_1 = 25 \text{ mm} - X_0 = 25 \text{ mm} - 2 \text{ mm} = 23 \text{ mm} \Rightarrow X_1 = 23 \text{ mm}$$

Por lo tanto las dimensiones de la antena quedan de la siguiente manera.



Dimensiones de la antena de zonda coaxial

Simulación de la antena de línea microstrip cuadrada.

Ya que entendimos el comportamiento de las diferentes geometrías de las antenas, ahora debemos diseñar la que corresponde para el caso de las señales de Wi-Fi. Usamos el simulador QucsStudio, este nos ayudara a simular la antena requerida para la operación de frecuencias de **2.4-2.5 Ghz**.

Para simular la antena de línea microstrip en el QucsStudio, requerimos de hacer un diagrama con dos líneas de transmisión una representando la antena y otra representando la línea de transmisión que conecta al parche. La antena tiene dimensiones de $W=L=33.08 \text{ mm}$ estas dimensiones se obtuvieron con la herramienta del simulador, para calcular las dimensiones la antena, podemos notar que son aproximadas a las calculadas y la línea de transmisión $W=8 \text{ mm}$, $L=3 \text{ mm}$, esta medida se tomó de la antena ya fabricada, ya que la línea que une el conector con el parche microstrip es muy delgada, por lo que para simular dicha línea se agregó otro sustrato al diagrama, ya que con esto representamos una antena de línea microstrip. Se tomó una impedancia de entrada de 50Ω , por características de diseño, ya que esta es la impedancia de acoplamiento para los equipos de transmisión y recepción.

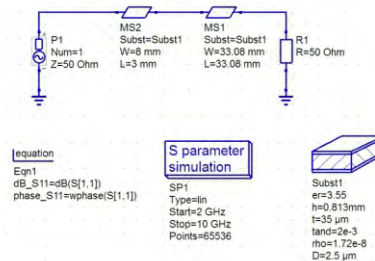


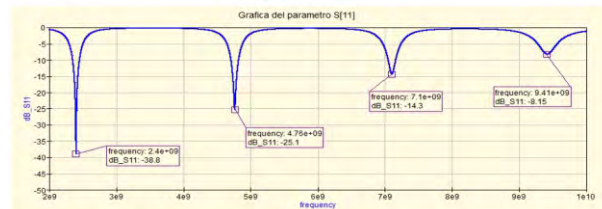
Diagrama antena de línea microstrip

Obtenemos la gráfica del parámetro $S[1,1]$ en dB, el cual observamos que está dentro del ancho de banda Wi-Fi que es de **2.4-2.5 GHz**. Con una frecuencia de resonancia de 2.4 GHz. Y una ganancia de -38.9 dB.



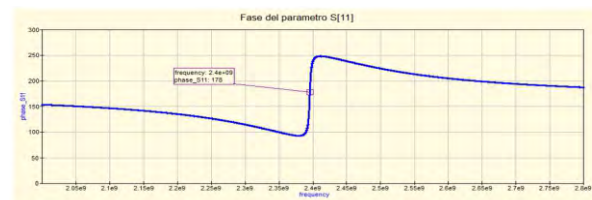
Ganancia de la antena en decibeles, línea microstrip

Para observar mejor las frecuencias de resonancia con ganancia en dB tomamos en el intervalo de 2 GHz a 10 GHz, las cuales son los armónicos y se repiten en múltiplos de **2.4 GHz** aproximadamente. Ya que el simulador nos entrega valores cercanos.



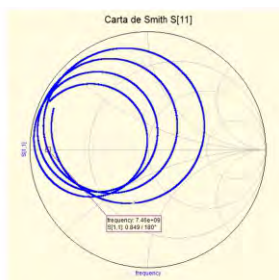
Frecuencia de resonancia parámetros S en dB, línea microstrip

La fase del parámetro $S[1,1]$, es igual a la longitud eléctrica de la línea que es de 178 aproximadamente 180° que es $\lambda/2$, con frecuencia de operación de 2.4 GHz.



Magnitud de la fase en decibeles, línea microstrip.

Ahora veremos el comportamiento de la antena, usando una carta de Smith.



Carta de Smith para línea microstrip

Se observa que la antena está diseñada dentro de los parámetros de operación. Con una impedancia óptima. Por lo tanto las dimensiones de la antena quedan de la siguiente forma

Microstrip $\rightarrow W = L = 33.08 \text{ mm} = 3.3 \text{ cm}$

Línea de transmisión $\rightarrow W = 8 \text{ mm}, L = 3 \text{ mm}$

Esta antena va a recibir frecuencias desde **2.4-2.5 GHz**, con una frecuencia de resonancia de 2.4 GHz que es la frecuencia de operación diseñada para este caso.

METODO EXPERIMENTAL

En este capítulo observaremos el comportamiento de las antenas de parche o microstrip. Veremos cómo es su fabricación, observaremos el comportamiento de diferentes tipos de antenas de parche, obtendremos su respuesta en frecuencia para los diferentes tipos de señales como son de telefonía celular, Wi-Fi y las señales que hay en el ambiente.

Para esto necesitaremos el equipo necesario para realizar la fabricación, mediciones y transmisión de datos, los cuales requerimos para la elaboración del proyecto. A continuación se muestra la lista de materiales a ocupar.

Equipo y Material.

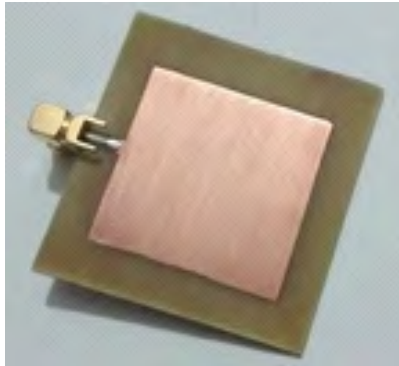
- ✓ 3 Conectores SMA hembra en L.
- ✓ 1 Conector SMA hembra recto.
- ✓ 1 Conector BNC hembra a SMA macho.
- ✓ 1 Analizador de espectro.
- ✓ 3 Placas fenólica de dos caras de 5x5.
- ✓ 1 Placa Fenólica de dos caras de 10x10.
- ✓ 1 Hoja de transferencia para circuito impreso.
- ✓ 1 Botella de cloruro Férrico.
- ✓ Cautín y Soldadura.
- ✓ Plancha.
- ✓ 1 Plumón de tinta permanente.
- ✓ 1 Computadora o laptop con Wi-Fi.

Una vez que tengamos el material listo, procedemos a armar las antenas con las características que se obtuvieron en los cálculos.

Antena microstrip cuadrada para señal Wi-Fi

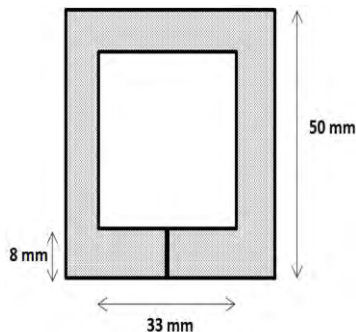
Ahora estudiaremos el comportamiento de una antena de parche o microstrip con geometría cuadrada, realizando las mismas pruebas con el analizador de espectro, tanto para frecuencias en el ambiente, para datos Wi-Fi y telefonía celular. En la

imagen podemos observar una antena microstrip de geometría cuadrada.



Antena de línea microstrip cuadrada

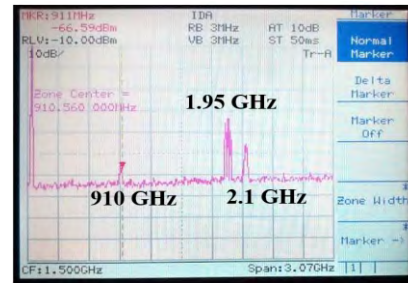
Las dimensiones de la antena son aproximadas a las teóricas, físicamente se tiene que el parche es de dimensiones $w=33$ mm y $L=33$ mm, que esta sobre un sustrato dieléctrico de $W=L=50$ mm, con la cara trasera de cobre como tierra. Estas medidas son las que se diseñaron para que la antena funcionara a 2.45 GHz



Dimensiones de la antena microstrip cuadrada

Espectro de la antena microstrip cuadrada

Conectamos la antena microstrip a un analizador de espectro y observamos su respuesta en frecuencia, no realizamos ninguna transmisión de datos, solo veremos las frecuencias que recibe la antena del ambiente.



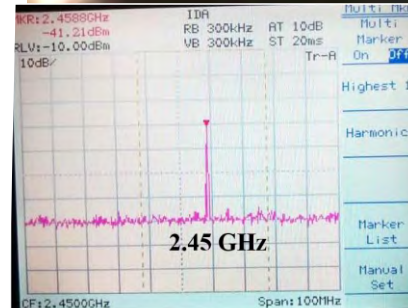
Espectro de frecuencias de la antena microstrip de señales celulares. Vemos que las frecuencias predominantes que detecta la antena en el ambiente son tres, esta antena de igual manera recibe señales de telefonía celular de buena calidad si hacer ninguna llamada, como sabemos las antenas de telefonía están mandando siempre información a los celulares, por lo que detectamos dichas frecuencias.

Estas son las frecuencias que recibe la antena sin transmisión de datos.

- 910 MHz con una ganancia de -66.59 dBm
- 1.95 GHz con una ganancia de -58 dBm
- 2.15 GHz con una ganancia de -63.9 dBm

Espectro de antena microstrip cuadrada para Wi-Fi

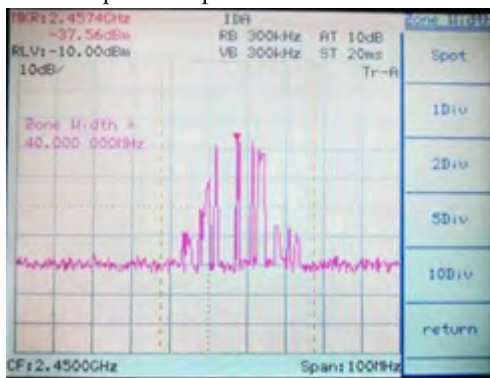
Realizamos el mismo procedimiento colocamos una computadora portátil o celular cerca de la antena, con la cual realizaremos pruebas para la transmisión de datos Wi-Fi. Reproducimos algún video y descargáramos archivos.



Respuesta en frecuencia de la antena con spam de 100 Mhz

Respuesta en frecuencia de la antena con spam de 100 Mhz Para poder observar de manera mas clara la respuesta de la antena, hacemos un spam de 100 MHz sobre la frecuencia de operación de 2.45 GHz para este caso. A simple vista tenemos una ganancia de -41dBm.

Ahora para poder ver con claridad el comportamiento de la respuesta en frecuencia de la antena, hacemos otro acercamiento para poder observar el ancho de banda y la ganancia de la antena cuando esta operando para frecuencias de Wi-Fi.

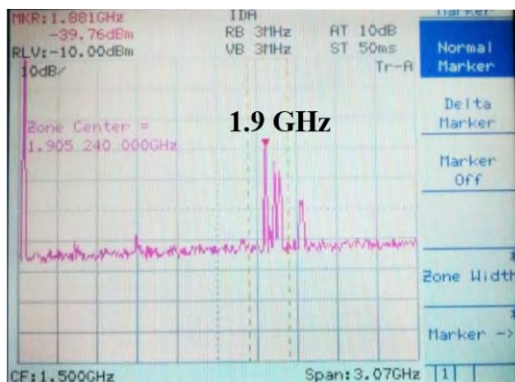


Respuesta en frecuencia de antena microstrip, para Wi-Fi

Podemos observar que la antena tiene una buena recepción para señales de Wi-Fi, y su operación sigue siendo de 2.45 GHz. Con una ganancia de -37.5 dBm y un ancho de banda de 40 MHz aproximadamente. La recepción de la antena se mantiene estable durante el proceso.

Espectro de antena Microstrip cuadrada para celular

Para observar el comportamiento de la antena para señales de celular, realizamos una llamada cerca de la antena y observamos que es lo que sucede en el analizador de espectro.



Espectro de la antena microstrip cuadrada, para telefonía celular

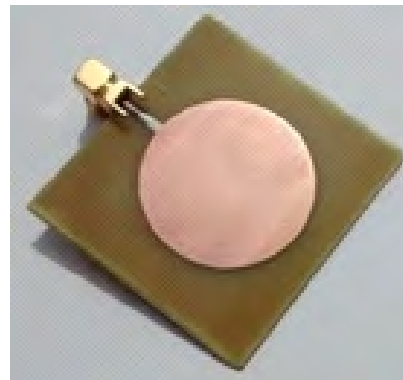
Observamos que la frecuencia de operación para la antena, cuando se realiza una llamada de celular, es de 1.9 GHz aproximadamente con una ganancia de -39 dBm, ya conocemos esta frecuencia de operación para los casos vistos anteriormente, por lo que podemos decir que esta frecuencia es de telefonía celular ya que está es la que usan ciertas compañías para la comunicación vía celular.

En este caso las señales extras que aparecen al realizar la llamada de celular, son muy pequeñas ósea que las frecuencias de 888 MHz y 900 MHz que hemos visto anteriormente con las otras antenas en el analizador de espectro no las capta, para esta antena se encuentran ausentes cuando se realiza la llamada. Podemos decir que la antena detecta mejor las señales en GHz, esto se puede deber a la geometría de la misma.

La antena de parche cuadrada tiene un buen funcionamiento tanto para las frecuencias de Wi-Fi, como para las frecuencias de celular. Tiene una buena ganancia así como estabilidad en su respuesta. El diseño de esta antena fue el adecuado, ya que opera a la frecuencia que nos interesa que es la de 2.45 GHz para señales de Wi-Fi.

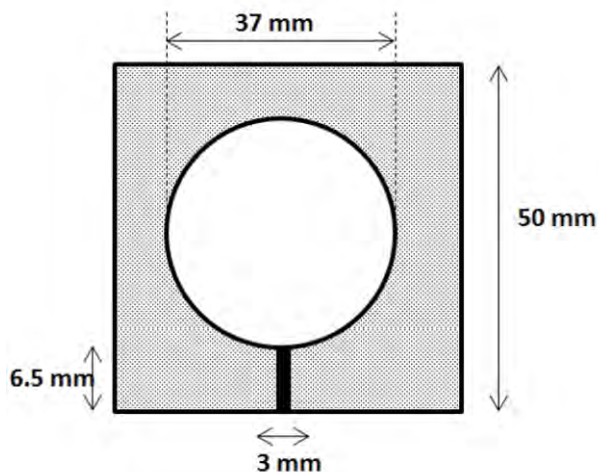
Antena circular con línea microstrip para Wi-Fi

En este caso estudiaremos el comportamiento de la antena diseñada por medio de un analizador de espectros, con el cual observaremos las frecuencias que capta la misma para diferentes casos, primero cuando la antena recibe las frecuencias que hay en el ambiente, después observaremos el comportamiento cuando hay transferencia de información por medio de Wi-Fi y por ultimo observaremos el comportamiento de la antena por medio de telefonía celular.



Antena circular con línea microstrip

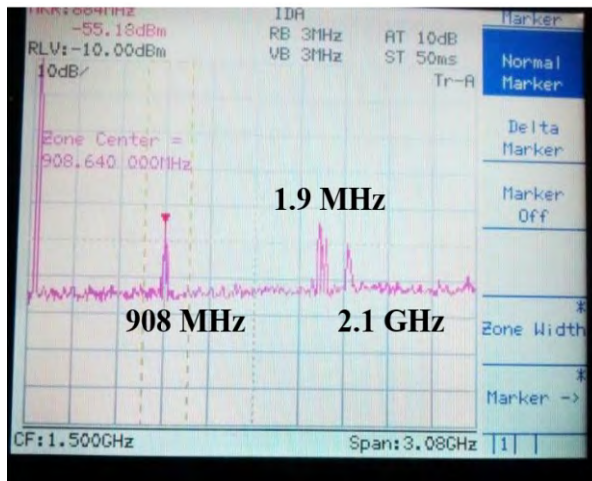
Esta antena consiste en un parche de cobre circular, de un diámetro de 37 mm, sobre una placa de sustrato dieléctrico de dimensiones de $W=L=50\text{mm}$. Con la cara trasera de cobre como tierra. Estas medidas son las que se diseñaron para que la antena funcionara a 2.45 GHz para frecuencias de Wi-Fi. Las dimensiones de la antena son las calculadas teóricamente, pero físicamente son aproximadas ya que pudimos observar esta variación es mínima no afecta los resultados.



Dimensiones de la antena microstrip circular

Frecuencias de la antena sin transmisión de datos Wi-Fi

Analizamos las frecuencias que detecta la antena, sin transferencia de datos, en este caso observamos que se detectan tres frecuencias.



Espectro de la antena con un spam de 3GHz

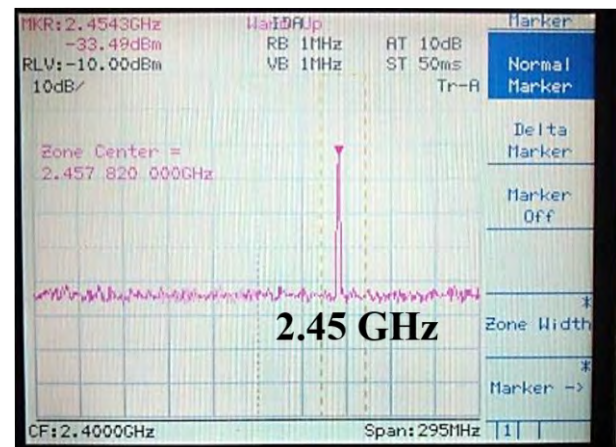
Sin conexión Wi-Fi obtenemos los siguientes datos para las frecuencias captadas.

- 908 MHz con ancho de banda aproximado de 120 MHz a -55 dBm
- 1.9 GHz con un ancho de banda aproximado de 156 MHz a -45 dBm
- 2.1 GHz con un ancho de banda aproximado de 120 MHz a -65 dBm

Como pudimos observar la antena responde a diferentes frecuencias, con una ganancia aceptable si queremos usarla para recepción celular, ya que su banda de frecuencias es amplia, en este caso la respuesta en frecuencia es para un ancho de banda de 400 MHz a 2.1 GHz, está dentro del rango de frecuencias de telefonía celular.

Frecuencias de la antena con transmisión de datos Wi-Fi

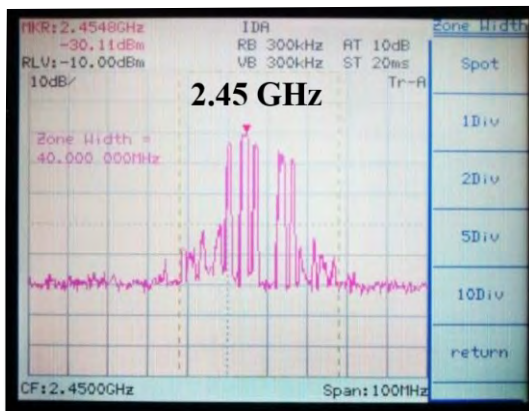
Para este caso, colocamos una computadora portátil o celular cerca de la antena, con la cual realizaremos pruebas para la transmisión de datos Wi-Fi. Para esto podemos reproducir algún video y descargar archivos, por medio de la misma laptop o algún celular.



Respuesta Wi-Fi de la antena.

Observamos que en el analizador de espectro, la respuesta de la antena, al detectar señales de WI-FI, es de 2.45 GHz, esta es la frecuencia a la que se diseñó la antena, para su operación. Tiene una magnitud de 33.5 dBm. La respuesta es inmediata a la hora de transmitir datos.

Ahora, observamos la señal con un spam de 100MHz, esto para ver de manera detallada cómo se comporta la antena y poder observar el patrón de frecuencias que se obtiene al realizar la transmisión de datos mediante Wi-Fi.

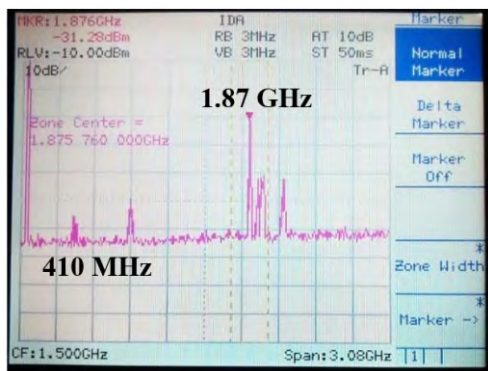


Respuesta en frecuencia con un spam de 100 MHz

El ancho de banda de la antena para la recepción Wi-Fi, para este caso es de 40 MHz y una ganancia de -30.74 dBm aproximadamente.

Frecuencias de la antena con transmisión celular

Realizamos una llamada por medio de un teléfono celular y observamos la respuesta en frecuencia de la antena.



Respuesta en frecuencia de la antena para señal celular

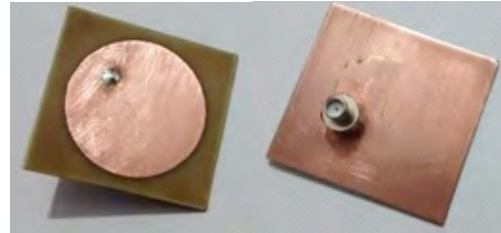
En este caso aparecen dos frecuencias una de 410 MHz y la de mayor respuesta de 1.87 GHz, que está cerca de 1.9 GHz que corresponde a una de las frecuencias de operación de telefonía celular. Tiene un ancho de banda de 300 MHz, Por lo tanto podemos comprobar que la antena tiene una buena respuesta, tanto para celular como para señales Wi-Fi.

Podemos decir que la antena microstrip responde de manera adecuada, para lo que requerimos en la telefonía celular y funciona para la recepción de señales de celular.

Antena circular con sonda coaxial para señal Wi-Fi

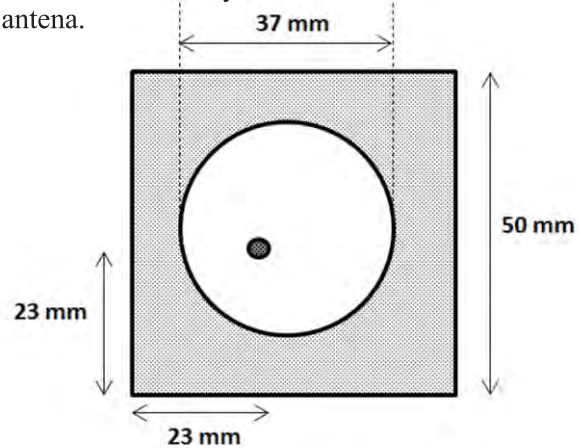
Para esta antena haremos las mismas pruebas, para ver el comportamiento de este tipo de antena, para

los mismos casos. Señales que capta la antena en el ambiente, señales por transmisión de datos Wi-Fi y señales de telefonía celular. La que nos interesa más es el comportamiento de la antena para Wi-Fi.



Antena circular con sonda coaxial

La fabricación de esta antena de parche consiste en un parche de cobre circular de diámetro igual a 37mm y un conector SMA hembra que atraviesa el circuito impreso, el cual está soldado a las dos caras de la placa de cobre, la línea a la antena circular y la tierra a la cara de cobre. Las dimensiones de la antena son las calculadas teóricamente, pero físicamente son aproximadas, ya que pudimos observar que esta variación mínima y no afecta los resultados de la antena.

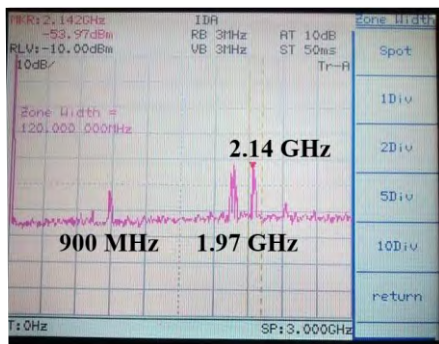


Dimensiones microstrip circular de sonda coaxial

Espectro de la antena circular de sonda coaxial

Observamos que la antena capta 3 frecuencias como en el caso anterior, como sabemos estas frecuencias son de telefonía celular, esto nos indica que la antena tiene un funcionamiento adecuado





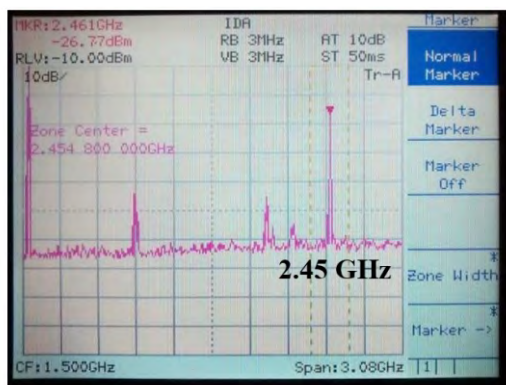
Sin conexión Wi-Fi obtenemos los siguientes datos para las frecuencias detectadas

- 900 MHz con ancho de banda aproximado de 120 MHz a -65.7 dBm
- 1.97 GHz con un ancho de banda aproximado de 155 MHz a -53.9 dBm
- 2.14 GHz con un ancho de banda aproximado de 120 MHz a -53.9 dBm

Estas son las frecuencias captadas por la antena. Sabemos que estas señales de deben a frecuencias que son usadas para telefonía celular que están dispersas todo el tiempo en el ambiente.

Frecuencias de la antena de sonda coaxial para Wi-Fi

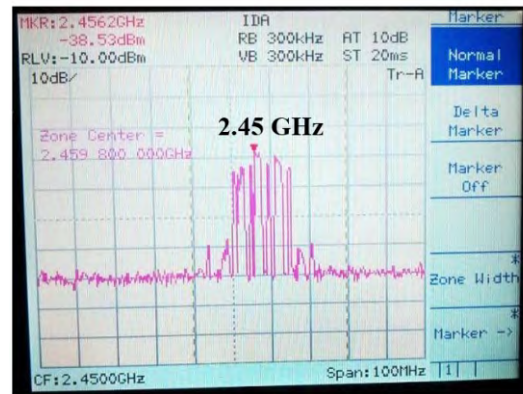
Ahora de la misma forma colocamos una computadora portátil o celular cerca de la antena, con la cual realizaremos pruebas para la transmisión de datos Wi-Fi. Reproducimos algún video o descargáramos archivos.



Respuesta en frecuencia con señal Wi-Fi

En el analizador de espectro, vemos la respuesta en frecuencia de la antena para los datos Wi-Fi, la frecuencia de operación es de 2.45 GHz que es la frecuencia requerida para la comunicación Wi-Fi. Tenemos una ganancia de -26.7 dBm.

Hacemos un acercamiento reduciendo el spam. Para ver mejor la respuesta de la antena. Así como las características del espectro. Capturamos paso por paso el espectro ya que como la respuesta es muy rápida no se alcanza a distinguir la señal

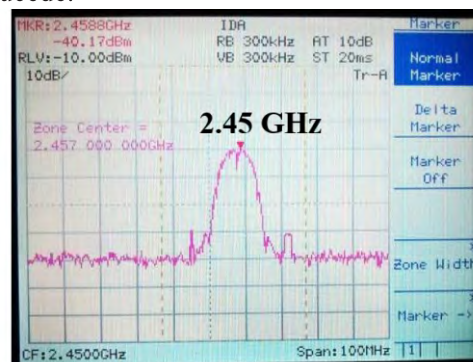


Respuesta en frecuencia, antena de sonda coaxial para Wi-Fi

Tenemos a la frecuencia de 2.45 GHz la cual diseñada para este tipo de antena, observamos que la ganancia es de -38.5 dBm y un ancho de banda de 40 MHz aproximadamente y a un spam de 100 MHz, observamos claramente la operación de la antena cuando se transmiten datos por medio de Wi-Fi, hay diferentes picos que varían durante la transmisión, lo que nos indica que tiene buena recepción, estos resultados se obtienen cuando se reproduce un video.

Ahora podemos decir que la antena de sonda coaxial también tiene una buena operación y funcionamiento para la frecuencia deseada de 2.45 GHz que es la más utilizada para estos casos, y la que requerimos para el diseño de esta antena.

Qué pasa si realizamos una descarga y una reproducción de video al mismo tiempo con una computadora portátil y un celular y observamos lo que sucede.

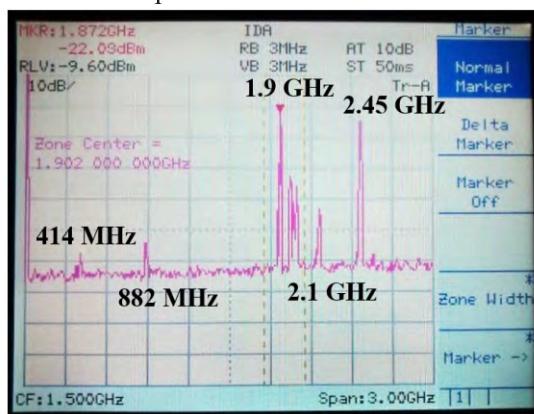


Espectro de la antena de sonda coaxial

En este caso vemos que el espectro es más estable y podemos captar de mejor manera la respuesta en frecuencia, obtenemos una ganancia de -40.17 dBm con un ancho de banda de 40 MHz aproximadamente y su frecuencia de operación a 2.45 GHz. Podemos notar que con mayor flujo de información, la antena reacciona de mejor manera y puede recibir las señales de varios equipos al mismo tiempo.

Frecuencias de la antena de sonda coaxial para celular

Para observar el comportamiento de la antena para señales de celular, realizamos una llamada cerca de la antena y observamos que es lo que sucede en el analizador de espectro.



Frecuencias extras de telefonía celular

Las frecuencias que aparecen al realizar la llamada de celular son las siguientes.

- 882 MHz con una ganancia de -63.8 dBm
- 414 MHz con una ganancia de -66.9 dBm

Estas frecuencias las podemos considerar como señales de telefonía celular. Ya que están dentro del rango de las frecuencias usadas por las compañías telefónicas. En las imágenes anteriores, se puede observar que se realizó la llamada de celular al mismo tiempo que se realizaba transmisión de datos Wi-Fi. En este caso son las frecuencias de 2.45 GHz y 1.9 GHz.

CONCLUSIONES

En este proyecto se realizó el estudio de los dispositivos pasivos de microondas, las antenas de parche en este caso son dispositivos pasivos de microondas, estas se puede utilizar para diferentes aplicaciones, nos enfocamos en el diseño de antenas de parche que se usaran para recepción de señales

Wi-Fi. Estas antenas dependen mucho de las dimensiones y el material del sustrato. Esto nos va a dar la frecuencia de operación a la que deseamos que la antena funcione, para obtener los cálculos de manera sencilla, nos ayudamos con las herramientas necesarias, en este caso se usaron simuladores para líneas de transmisión como el QucsStudio, estos simuladores nos ayudan a obtener las dimensiones de la antena necesarias para que opere a cierta frecuencia, así como también obtener la frecuencia de resonancia o de operación, sus parámetros S y su carta de Smith para ver su comportamiento a diferentes de impedancias.

Las antenas de parche se simularon para que respondan a una frecuencia de operación de 2.45 GHz el cual se usa para la transición de señal Wi-Fi. Cada antena debe tener un comportamiento similar y debe responder esta señal. También funcionan para frecuencias de telefonía celular. Al realizar las simulaciones, se obtuvo que las antenas tienen diferentes respuestas en frecuencia, las cuales dependen impedancia de entrada de la antena, esta impedancia de entrada puede ser la que un equipo nos otorga, para el acoplamiento de la antena y así pueda recibir las señales deseadas.

En nuestro caso como requerimos una frecuencia para Wi-Fi de 2.45 GHz, El simulador QucsStudio contiene una herramienta para simular las líneas de transmisión, en esta nos ayuda para determinar y calcular las dimensiones de la antena, ya que nos permite decidir la impedancia de entrada de la antena así como la fase a la que queremos que trabaje, esto nos ahorra muchos cálculos a la hora de diseñar las antenas, también como depende de la impedancia, nos ayuda a fijar la frecuencia de operación, y las dimensiones de la antena. Así podemos manipular la forma de la antena si queremos que sea rectangular o cuadrada.

Para el diseño de las antenas, realizamos los cálculos correspondientes para determinar las dimensiones de las antenas, se diseñó de manera teórica las antenas de geometría rectangular, cuadrada, circular y circular de sonda coaxial. Con los valores obtenidos se procedió a realizar las simulaciones de las mismas para después proceder a su fabricación. Los datos obtenidos para las antenas de manera teórica, simulada y práctica son aproximadamente iguales, con algunas variaciones pequeñas, ya sea en

ganancia, ancho de banda y frecuencia de resonancia.

Cuando realizamos las pruebas experimentales encontramos diferentes comportamientos, al conectar la antena al analizador de espectro, se observó que cada antena detecta diferentes frecuencias que hay en el ambiente, las antenas respondieron a las siguientes frecuencias.

- 410 MHz
- 800 MHz
- 850 MHz
- 900 MHz
- 1.9 GHz
- 2.1 GHz

Estas frecuencias están fuera del rango de operación de nuestra antena Wi-Fi, por lo que es fácil determinar que estas señales en el ambiente, son de telefónica celular, ya que las antenas de las diferentes compañías telefónicas, siempre están mandando información a todos los celulares. Por lo que el diseño de estas antenas funciona también para la recepción de señales de telefonía celular. Las compañías que transmiten a estas frecuencias son de Iusacell, Telcel, Movistar, Unefon, Nextel, entre otras.

Al realizar una llamada cerca de las antenas, se observó en el analizador de espectro, que estas responden de manera adecuada, ya que tiene una buena respuesta en frecuencia, buena ganancia y un ancho de banda amplio. El cual nos ayuda captar la mayor parte de frecuencias que mandan las antenas de telefonía. Por lo que concluimos, que este tipo de antena tiene un buen funcionamiento, para la recepción de señales de celular. La frecuencia que las antenas captaron al realizar la transmisión de señal celular fue de 1.9 GHz en todas y con un ancho de banda de 300 MHz, por lo que se puede decir, que la respuesta de frecuencia de las antena depende de la señal de compañía con la que estemos realizando la transmisión de señal celular. La ganancia de las antenas oscila entre los -20 dbm y -60 dbm, para el caso de señales de celular.

Ahora, el aspecto más importante de este proyecto es la recepción de señales Wi-Fi, estas antenas deben de tener una frecuencia de operación de 2.45 GHz, esta

frecuencia de señales Wi-Fi debe ser captada por las antenas, al realizar la pruebas experimentales, se observó su respuesta en el analizador de espectro, se obtuvo que la respuesta en frecuencia para todas las antenas fue de 2.45 GHz, por lo tanto el diseño de las antenas fue el adecuado, obtuvimos un ancho de banda de 40 MHz y una ganancia aceptable, cada antena tiene una amplitud variable, esto se debe a la calidad de la señal Wi-Fi y a la cantidad de equipos conectados en ese momento. La ganancia de las antenas para el caso de señales de Wi-Fi, se identificó esta oscila entre los -20 dBm y -40 dBm. Con estos resultados podemos concluir que las antenas de parche diseñadas para 2.45 GHz cumplen con las características de operación. Y pueden ser acopladas a equipos ya sea módems, aparatos de telefonía, entre otros, las antenas constan de una impedancia de entrada de 50 Ω . Para garantizar el correcto funcionamiento de las mismas.

Por lo tanto concluimos que las antenas de microstrip, son una alternativa para la transmisión de información, ya sea para Wi-Fi y telefonía Celular, estas son aplicaciones básicas, aunque todavía hay un rango muy amplio en el estudio de los dispositivos pasivos de microondas.

Bibliografía

[1]<https://es.wikipedia.org/wiki/Microondas>

[2]<http://www.radiocomunicaciones.net/radio/teoria-de-antenas>

[3]<https://es.wikipedia.org/wiki/Antena>

[4] Teoría de líneas de transmisión e ingeniería de MICROONDAS.

Autor: Jose Abel Hernández Rueda.

Universidad Autónoma de Baja California.

[5] ANTENNA THEORY, ANALYSIS AND DESIGN, Third Edition.

Autor: Constantine A. Balanis.

[6] Circuit Simulation using QucsStudio. Tutorial for Beginners and Professionals

Author: Gunthard Kraus. Guest Professor at the Duale Hochschule Baden-Wuerttemberg (Friedrichshafen / Germany)

[7]https://es.wikipedia.org/wiki/Telefonía_móvil

[8] <http://www.areatecnologia.com/telefoniamovil.htm>

[9] http://www.tuotromedico.com/temas/antenas_telefonia.htm

[10] <http://www.monografias.com/trabajos40/antenas-telefoniamovil/antenas-telefoniamovil2.shtml>

[11] <http://www.poderpda.com/wireless/que-bandas-utilizan-las-operadoras-en-latam/>

[12] http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/tack1/05-Introduccion_a_las_redes_WiFi-es-v2.3-notes.pdf

[13] <https://www.rogerscorp.com/documents/726/acs/RO4000-LaminatesData-sheet.pdf>

[14] <https://es.slideshare.net/lonely113/diseo-de-antena-microstrip>