



# **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---

---

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS” ZACATENCO

**“SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UNA ANTENA TIPO  
PARCHE EN UN RANGO DE FRECUENCIAS  
DE 600 MHZ – 3.7 GH”**

**REPORTE TÉCNICO**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

PRESENTAN

**MORALES JIMENEZ VICTOR ALEJANDRO**

**VILLAGOMEZ RIVERA FERNANDO**

ASESOR TÉCNICO

**DR. VALDEZ PÉREZ DONATO**

**CIUDAD DE MÉXICO, MAYO, 2022**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**REPORTE TÉCNICO**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN CURRICULAR  
DEBERA (N) DESARROLLAR C. VICTOR ALEJANDRO MORALES JIMENEZ  
C. FERNANDO VILLAGOMEZ RIVERA

**“SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UNA ANTENA TIPO PARCHÉ EN UN RANGO DE FRECUENCIAS DE 600 MHZ - 3.7 GHZ”**

DISEÑAR Y OPTIMIZAR MEDIANTE UNA SIMULACIÓN ASISTIDO POR COMPUTADORA, LA RESPUESTA DE UNA ANTENA TIPO PARCHÉ EN UN RANGO CERCANO DE FRECUENCIA A 3.7 GHZ, CON EL USO DE UN LAMINADO DE ALTA FRECUENCIA ROGERS RO3003.

- ❖ ANTENAS
- ❖ ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE ANTENAS DE PARCHÉ
- ❖ METODOLOGÍA Y DESARROLLO
- ❖ CONCLUSIONES

CIUDAD DE MÉXICO, A 31 DE MAYO DE 2022.

ASESOR

  
DR. DONATO VALDEZ PÉREZ

  
M. EN C. ITZALÁ RABADÁN MALDA  
JEFA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA



**Autorización de uso de obra**

**Instituto Politécnico Nacional**

**Presente**

Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **VICTOR ALEJANDRO MORALES JIMENEZ Y FERNANDO VILLAGOMEZ RIVERA**, manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **“SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UNA ANTENA TIPO PARCHE EN UN RANGO DE FRECUENCIAS DE 600 MHZ - 3.7 GH”** en adelante **“La Tesis”** y de la cual se adjunta copia, en dos discos por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos al **Instituto Politécnico Nacional**, en adelante **El IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o en cualquier otro medio; **para apoyar futuros trabajos en consulta, aportación del desarrollo del proyecto y relacionados con el tema de “La Tesis”** por un periodo de **1 año** contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **El IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **El IPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de **“La Tesis”**.

Adicionalmente, y en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de **“La Tesis”**, manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por los suscritos respecto de **“La Tesis”**, por lo que deslindamos de toda responsabilidad a **El IPN** en caso de que el contenido de **“La Tesis”** o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México., a 10 de junio de 2022.

**Atentamente**

**VICTOR ALEJANDRO MORALES JIMENEZ**

**FERNANDO VILLAGOMEZ RIVERA**

## **DEDICATORIA**

*A mí madre, porque sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer una vida de lucha, sacrificio y esfuerzo constante, sólo deseo que entiendas que el logro mío, es el logro tuyo, que mi esfuerzo es inspirado en ti, y constituye el legado más grande que pudiera recibir. Con todo mi amor, admiración y respeto, te doy gracias madre.*

*A mí familia, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos. Con todo mi amor y cariño, les doy las gracias familia.*



# ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL .....</b>	<b>8</b>
<b>PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>10</b>
<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>11</b>
<b>OBJETIVOS PARTICULARES .....</b>	<b>11</b>
<b>HIPÓTESIS Y JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPITULO 1. ANTENAS .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 ANTENA DE ALAMBRE.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 ANTENA DE APERTURA.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 ARREGLOS DE ANTENAS .....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 ANTENA REFLECTOR.....</b>	<b>13</b>
<b>1.5 ANTENAS DIRECCIONALES .....</b>	<b>14</b>
<b>1.6 ANTENAS OMNIDIRECCIONALES .....</b>	<b>14</b>
<b>1.7 MECANISMOS DE RADIACIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>1.8 TEOREMA DE RECIPROCIDAD.....</b>	<b>15</b>
<b>1.9 DEFINICIÓN DE ANTENA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.10 PROPAGACIÓN RF.....</b>	<b>15</b>
<b>1.11 GANANCIA DE UNA ANTENA .....</b>	<b>16</b>
<b>1.12 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>1.13 POTENCIA TRANSMITIDA .....</b>	<b>17</b>
<b>1.14 ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS EN LAS GENERACIONES MÓVILES .....</b>	<b>18</b>
<b>1.15 TEORIA DE ANTENAS TIPO PARCHE.....</b>	<b>19</b>
<b>1.15.1 PARAMETROS DE LAS ANTENAS.....</b>	<b>20</b>
<b>1.15.2 IMPEDANCIA.....</b>	<b>21</b>
<b>1.15.3 PATRÓN DE RADIACIÓN.....</b>	<b>22</b>
<b>1.15.4 ANCHO DE BANDA .....</b>	<b>25</b>
<b>1.15.5 DIRECTIVIDAD.....</b>	<b>28</b>
<b>1.15.6 EFICIENCIA .....</b>	<b>29</b>
<b>1.16 ANTENAS TIPO PARCHE.....</b>	<b>30</b>
<b>1.16.1 PARAMETROS EN LAS ANTENAS TIPO PARCHE .....</b>	<b>33</b>
<b>1.16.2 DIRECTIVIDAD DE ANTENAS TIPO PARCHE .....</b>	<b>33</b>
<b>1.16.3 RESISTENCIA DE RESONANCIA .....</b>	<b>34</b>
<b>1.16.4 PLANO DE TIERRA Y PATRÓN DE RADIACIÓN .....</b>	<b>35</b>
<b>1.16.5 EFICIENCIA DE RADIACIÓN .....</b>	<b>36</b>
<b>1.16.6 FRECUENCIA DE RESONANCIA.....</b>	<b>36</b>
<b>1.16.7 ANCHO DE BANDA.....</b>	<b>37</b>
<b>CAPITULO 2. ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE ANTENAS DE PARCHE .....</b>	<b>38</b>
<b>2.1 ECUACIONES PARA OBTENER DIMENSIONES FISICAS DE UNA ANTENA DE PARCHE ...</b>	<b>38</b>

<b>2.2 FORMAS DE ALIMENTACIÓN.....</b>	<b>40</b>
<b>2.2.1 ALIMENTACIÓN POR INSERCIÓNES DE LINEAS DE TRANSMISIÓN .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.2 ALIMENTACIÓN POR INSERCIÓNES Y CABLE COAXIAL .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.3 ALIMENTACIÓN POR RANURAS O APERTURAS EN EL PLANO DE TIERRA .....</b>	<b>42</b>
<b>2.2.4 PROXIMIDAD POR ALIMENTACIÓN .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS SOBRE LAS ANTENAS TIPO PARCHE .....</b>	<b>43</b>
<b>CAPÍTULO 3. METODOLÓGIA Y DESARROLLO .....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 DISEÑO DE ANTENAS MEDIANTE TCAD (DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA).....</b>	<b>45</b>
<b>3.2 PROPUESTA DEL DISEÑO.....</b>	<b>45</b>
<b>3.3 LAMINADOS R03003 .....</b>	<b>47</b>
<b>3.4 PROPUESTA DE SOLUCIÓN MEDIANTE OPTIMIZACIÓN .....</b>	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>55</b>
<b>6. GLOSARIO.....</b>	<b>57</b>

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Representación del patrón de radiación en 2D en forma polar [15].....	22
<b>Figura 2.-</b> Representación del patrón de radiación en forma polar 2D traducido en dB [16]. .....	23
<b>Figura 3.-</b> La directividad, una relación existente entre una fuente isotrópica y una omnidireccional [17].....	28
<b>Figura 4.-</b> Geometría básica de una Microcinta [18]. .....	30
<b>Figura 5.-</b> Líneas de campo eléctrico y magnético de una Microcinta [17]. .....	31
<b>Figura 6.-</b> Antena Rectangular con proporciones L y W encima de un sustrato dieléctrico que cuenta con plano tierra [18]. .....	31
<b>Figura 7.-</b> Campo Eléctrico y su distribución a lo largo de la longitud L de una antena tipo parche [14]. .....	32
<b>Figura 8.-</b> Directividad de antena de tipo parche con función del espesor del sustrato a distintas relaciones [9]. .....	33
<b>Figura 9.-</b> Circuito equivalente para la transmisión dominante [19]. .....	34
<b>Figura 10.-</b> Radiación o Resonancia de la Resistencia en relación del espesor del sustrato a distintas funciones [18]. .....	34
<b>Figura 11.-</b> Comparación entre un plano de tierra infinito y uno real: Rojo) Infinito; Azul) Real [20]. .....	35
<b>Figura 12.-</b> Relación de la frecuencia de resonancia para el modo TM <sub>10</sub> contra la eficiencia de radiación [18]. .....	36
<b>Figura 13.-</b> Respuesta de resonancia en el modo TM <sub>10</sub> [18]. .....	37
<b>Figura 14.-</b> Variación de ancho de banda de una antena tipo parche [18]. .....	37
<b>Figura 15.-</b> a) Microcinta (líneas) [8]. b) Campo Eléctrico (líneas) [8]. .....	39
<b>Figura 16.-</b> a) Vista superior y su aumento en $\Delta L$ [8]. b) Vista lateral [8]. .....	40
<b>Figura 17.-</b> a) Línea de transmisión [8]. b) Cable Coaxial [8]. .....	42
<b>Figura 18.-</b> a) Ranura por Alimentación (Izquierda) [8]. b) Proximidad por Alimentación (Derecha) [8]. .....	43
<b>Figura 19.-</b> Vista delantera Sustrato Rogers 3003 [22]. .....	46
<b>Figura 20.-</b> Vista Trasera Sustrato Rogers 3003 [22]. .....	46
<b>Figura 21.-</b> Laminado RO3003 [23]. .....	47
<b>Figura 22.-</b> Primera Fase de la antena [5]. .....	48
<b>Figura 23.-</b> Geometría de la antena tipo parche hecha Hasan et al. [5]. .....	49
<b>Figura 24.-</b> Gráfica que hace comparación de los parámetros S <sub>11</sub> de la primera fase del Dr. Md Nazmul Hasan con respecto al modelado hecho por el software de optimización [5]. .....	50

**Figura 25.-** Parámetro S11 de Magnitud en dB's de la propuesta de optimización para la antena tipo parche..... 52

**Figura 26.-** Análisis de Parámetros S11, relación entre dB's y frecuencia de la prueba de optimización para la antena tipo parche. .... 53



# LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.-</b> <i>Rango de frecuencias con su designación [8].</i> .....	17
<b>Tabla 2.-</b> Conversión de decibelios a vatios [8]......	17
<b>Tabla 3.-</b> Relación entre frecuencia y tecnología de la red [11], [12]. .....	18
<b>Tabla 4.-</b> Formas teóricas de Patrones de Radiación [13]. .....	24
<b>Tabla 5.-</b> <i>Potencia reflejada, acoplamiento y relación entre el coeficiente de reflexión (dB) [8].</i> .....	26
<b>Tabla 6.-</b> Tabla de dimensiones óptimas propuestas de la antena [5]......	48

## ANTECEDENTES

Nawaz *et al.* proponen el diseño de una antena microcinta polarizada de forma circular con un parche de matriz 2x2 a una frecuencia de 2.4 GHz, contemplando y sin contemplar una estructura LHM (metamaterial zurdo). El LHM que fue diseñado es una combinación de un SRR (resonador de anillo dividido) modificado y una tira cargada por capacitancia (CLS) [1].

Jun *et al.* llevaron a cabo el diseño de una antena tipo parche, cuando se utiliza un material PBG como cubierta, calculada por el elemento finito, en combinación con un tratamiento límite de la capa perfectamente adaptada, esta se ilumina con la luz electromagnética y a su vez aumenta en 9,14 dB la directividad de la antena de parche [2].

Garg y Sabharwal realizaron el diseño de una antena parche microcinta incorporada con un metamaterial para zurdos a una frecuencia de 2.4 GHz, utilizando una estructura metamaterial a una altura de 3.2 mm desde el plano de tierra, mejorando la ganancia de la antena y la reducción en la pérdida de retorno a la misma frecuencia resonante; obteniendo así una mejora de la pérdida de retorno de alrededor de 6 dB [3].

Vicenti *et al.*, implementaron el diseño de una antena tipo parche realizadas en un solo sustrato delgado, proponiéndose un enfoque de diseño simple pero efectivo basado en la combinación de geometrías tradicionales de parches de resonancia única, a pesar de estar impresos sobre un sustrato monocapa de reducido espesor, ambos radiadores se caracterizan por un comportamiento de banda ancha, obteniendo un rendimiento de última generación, con anchos de banda fraccionarios medidos de 3,71 % y 6,12 % alrededor de 10 GHz en un sustrato basado en teflón de 0,508 mm de espesor, siempre que dichos elementos radiantes se utilicen en configuraciones de matriz [4].

Hasan *et al.* proponen el diseño de una antena monopolo DGS para aplicaciones UWB MIMO, que consta de una estructura de tierra defectuosa con dos rendijas y una muesca colocadas en posiciones óptimas, además, el radiador se carga con una conexión en forma de U para mejorar la adaptación de impedancia de la antena, a una frecuencia de 3.18 GHz a 11.5 GHz, evaluada en función del asilamiento, el coeficiente de correlación envolvente, la ganancia y la capacidad del canal de pérdida; resultando en que la antena propuesta puede retener la forma del pulso transmitido, lo que garantiza una comunicación sin dispersión [5].

# INTRODUCCIÓN GENERAL

Arun Bansal, vicepresidente ejecutivo y jefe del Área de Mercado de Europa y América Latina para Ericsson informó que, América Latina tiene un futuro prometedor para conexiones 5G, pero poco a poco se está rezagando en comparación con otros mercados, asegura: en Latinoamérica el 59% de la población tiene conexiones de la red 4G para conectarse, mientras que en China la cifra es de 97%. México está rezagado en la conexión de la red telefónica móvil por falta de infraestructura e inversión para ser competitivo volviéndolo menos fiable [6].

La cobertura en México con redes 4G-LTE cubre lugares donde se encuentran el 90.8% de la población y 76% del tráfico de datos de servicios móviles recorren mediante éstas; haciendo a la cobertura 3G, abarcar lugares donde se encuentran el 94.8% de la población, y la penetración del servicio de acceso móvil a Internet (Banda Ancha Móvil), a finales del 2019, fue de 77 suscripciones por cada 100 pobladores [7].

Esto nos lleva a centrarnos en la infraestructura nacional principalmente en las antenas, ya que se cuentan con 55,805 localidades sin acceso a Internet móvil, que en su totalidad son de 5, 644,696 pobladores sin la cobertura necesaria para acceder a conectividad móvil, porque las antenas que en la actualidad existen han quedado rezagadas para desempeñar su función en el rango de frecuencias de 3.42 a 3.7 GHz (frecuencias bajas <1GHz, frecuencias medias 1GHz<f<6GHz, frecuencias altas >6GHz), también conocidas como 5G [7].

Las antenas tipo parche cumplen con características de: bajo perfil de montaje, bajo peso, fácil fabricación, estructura plana y/o flexible y como primordial factor su bajo costo de producción porque son antenas de características compactas.

Siendo las comunicaciones inalámbricas una parte fundamental del diseño de los elementos en los sistemas aplicados a esta meta; obteniendo equipos donde el objetivo principal sea obtener una respuesta de una antena tipo parche en un rango cercano de frecuencia a 3.7 GHz, con el uso de un laminado de alta frecuencia Rogers RO3003; logrando así antenas más viables ya que existen estudios sobre la mejora del rendimiento de las antenas tipo parche en donde el uso de nuevos materiales les proporciona mejoras en las características deseadas, además de alterar sus proporciones en donde los diseños y fabricaciones son de mucha importancia en la industria.

Este cometido es posible cumplirlo, llevándolo a cabo mediante el diseño y optimización de una antena de parche en la cual se obtendrá una mejora en la

respuesta de los parámetros de adaptación S11, con respecto a la relación de los dB's y la frecuencia cercana de 3.7 GHz.



# PROBLEMÁTICA

Las características de una antena tipo parche son: la ganancia (la cual tiene dB positivos) y el otro es la adaptación (S11 el cuál debe de valer menos de 10dB a la frecuencia de operación deseada), por lo cual trataremos de conseguir que la antena ofrezca una mayor respuesta en este parámetro, otro campo es la directividad, en el cual se refiere a la dirección en la que se propaga la radiación de la antena, con la antena tipo parche podremos ver que su propagación es en todas direcciones, asemejando un cilindro, otro campo es la adaptación, el cual será trabajado tendiendo a la miniaturización de la antena, con fines de que esta pueda llegar a ser usada en más dispositivos, obteniendo como resultante una mejor utilidad.

A pesar de los avances que existen, aún no se logra una antena que sea capaz de cumplir los requerimientos que se exigen día con día, los cuales son: tener una buena capacidad de transmisión y recepción, porque aunque eran muy reducidas en alcance en el rango de frecuencias de 1900 MHz, siendo esté factor un limitante en el desempeño de su conectividad, comparándolas con las tecnologías actuales, tales como la 4.5G LTE-A Pro y 5G, que son las que existen hoy en día en el mercado, ya que el uso de las antenas es imprescindible para poder usar muchos aparatos.

De esta misma forma nos lleva a atacar esta problemática, en donde el requerimiento es el de mejorar la ganancia y ancho de banda, buscando así su alcance con un material como el laminado de alta frecuencia Rogers RO3003 que es un compuesto de PTFE rellenos de cerámica que se implementa en placas de circuitos impresos en usos comerciales de RF y microondas, el cual nos permita optimizar una mejor respuesta en su transmisión y recepción, además de alterar su tamaño diseñándola más compacta, llegando así a obtener una antena con gran potencia y de mejores proporciones.

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y optimizar mediante una simulación asistido por computadora, la respuesta de una antena tipo parche en un rango cercano de frecuencia a 3.7 GHz, con el uso de un laminado de alta frecuencia Rogers RO3003.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Revisar la literatura sobre antenas tipo parche.
- Proponer el diseño de la antena mediante el uso del material Rogers RO3003, con una aproximación a 3.7 GHz.
- Optimización de la antena asistida por computadora.

## **HIPÓTESIS Y JUSTIFICACIÓN**

Este trabajo pretende modelar y optimizar el funcionamiento de una antena tipo parche, obteniendo así una mejora mediante la reducción de sus dimensiones, con una aproximación en rango de frecuencias de 3.7GHz y la optimización del parámetro S11.

En un sistema de comunicaciones (emisor-receptor), se buscará ser más eficiente a través de una propuesta con dimensiones más reducidas y con la implementación del material conocido como laminado Rogers 3003 o RO3003 que es un compuesto de PTFE rellenos de cerámica para su implementación en placas de circuito impreso en usos comerciales de RF y microondas, constituido de un apilamiento de capas de cobre/dieléctrico/cobre, el cual lo vuelve de gran utilidad, siendo un material empleado en las nuevas tecnologías de dispositivos que buscan materiales más ligeros.

# CAPITULO 1. ANTENAS

Las antenas tienen sus inicios a finales de 1887, lo vemos con un primer diseño con forma de un lazo. En 1901 en el cual, Marconi hace uso de un ajuste de 150 alambres siendo cobre el material y lleva a cabo la transmisión transoceánica primaria. La más grande innovación en el diseño y teoría en antenas, llevado a cabo durante la segunda guerra mundial mediante la incorporación de las antenas de microondas, y tomando la forma de arreglos, reflectores al igual que aperturas.

El uso que lleva la palabra ya tan conocida como antena, tiene origen en el hecho de que los insectos tienen un órgano característico cuyo nombre es denominado como antena, este mismo les hace posible el llevar a cabo comunicaciones. Una antena de radio tiene una definición como la parte de un sistema de recepción o transmisión, el cual es hecho o creado para llevar a cabo una radiación o tener la capacidad de adquirir o captar ondas electromagnéticas según la IEEE Std. 145-1983.

Existen creadores que las explican como una organización añadida con una región de cambio entre el espacio libre y una onda guiada o al revés.

Con respecto a el objetivo que busca llevar a cabo o cumplir la antena es llevar el campo eléctrico lo más lejos que se pueda, esto es conocido como la transmisión, o por otro lado el incrementar la amplitud del campo eléctrico que es recibido al máximo, el cual conocemos como el receptor.

De acuerdo con la forma que tienen las antenas pueden ser clasificadas como

- Antena Alambre
- Antena Aperturada
- Arreglo de antena
- Antena reflectora

## 1.1 ANTENA DE ALAMBRE

Estas son muy familiares, las puedes encontrar en cualquier lugar, como por ejemplo en automóviles, barcos, edificios, satélites, aviones, etc. Y cuentan con sus formas como la helicoidal, dipolo y lazo.

## **1.2 ANTENA DE APERTURA**

Estas ya son más comunes en estos tiempos que en años pasados, ya que su demanda de una manera más sofisticada y su uso se ha llevado a la implementación de frecuencias más altas. Este tipo de antenas son implementadas en satélites y aviones, son eficientes al ser ubicadas en las zonas exteriores de estas naves, un ejemplo de estas son las cornetas de tipo piramidal, cilíndrica y rectangular.

## **1.3 ARREGLOS DE ANTENAS**

Hay algunas adaptaciones que son requeridas ciertas peculiaridades que no son obtenidas a base de un simple elemento, a pesar de esto es posible ir adicionando elementos radiantes dentro de un aspecto geométrico, de esta manera si hace posible tener la propiedad de radiación que es deseada, un ejemplo es la radiación máxima en un sentido particular o también en distintos sentidos. Un ejemplo de esto podría ser la antena Yagi-Uda.

## **1.4 ANTENA REFLECTOR**

El gran triunfo que ha tenido la investigación espacial hace un adelanto en el aspecto referente a las antenas.

Ya que la necesidad que tiene el humano de llevar a cabo comunicaciones a distancias grandes, provoca que antenas sofisticadas sean utilizadas para recibir y transmitir señales que son capaces de llevar un viaje de miles de millones de kilómetros.

Las antenas con mayor éxito son las de reflector, las cuales adquieren un gran beneficio, una común o usual es conocida como antena parabólica y la menos común es la antena esquina reflector. De acuerdo a como radian o recibe el campo electromagnético una antena, puede ser clasificada como:

- Omnidireccional
- Direccional



## **1.5 ANTENAS DIRECCIONALES**

Las que tienen el dominio de recibir o radiar la onda electromagnética más eficiente en un sentido que en su contraria según la IEEE Std. 145-1983 [8].

## **1.6 ANTENAS OMNIDIRECCIONALES**

Tienen la cualidad de recibir o radiar la onda electromagnética a partir del ángulo deseado. Es definido por la IEEE Std. 145-1983 como: cuenta con un plano no direccional en el plano de la antena y uno direccional en diferente plano ortogonal, cualquiera que sea [8].

Hay otra forma de clasificar a las antenas por como reciben o transmiten el campo eléctrico, a partir de su polarización:

- Circular
- Horizontal
- Vertical

## **1.7 MECANISMOS DE RADIACIÓN**

Existe el cuestionamiento de cómo se lleva a cabo la radiación, o en otras palabras, como expulsa la antena las onda electromagnética, bueno pues se tiene que considerar lo siguiente.

- La antena
- La fuente que en este caso es de voltaje
- La línea de transmisión como un alambre, etc.

Cuando es aplicada una caída de potencial a una línea de transmisión, se crea un campo electromagnético entre los conductores. Aquel campo eléctrico que se encuentre añadido a las líneas de fuerza eléctrica es tangente al campo eléctrico en todos sus puntos y cuenta con la fuerza proporcional a la intensidad del campo eléctrico en todas las ubicaciones. Tienden a actuar en los electrones libres todas las líneas de fuerza, creando un desplazamiento en cada uno de los conductores gracias a los electrones libres de los átomos, esto es conocido como una corriente eléctrica, creándose un campo de intensidad magnética.

## **1.8 TEOREMA DE RECIPROCIDAD**

Cuenta con un gran valor en la decisión de varias de las peculiaridades en los sistemas de cualquier antena.

La postura de un generador de voltaje que no cuenta con impedancia y un amperímetro que de igual manera tampoco cuenta con impedancia y puede haber un intercambio en un circuito pasivo, todo esto sin hacer un daño a la corriente por medio del amperímetro por su fase o magnitud concerniente al generador de voltaje.

La postura de un generador de corriente constante y un voltímetro de impedancia infinita en un circuito que es pasivo puede ser llevada a cabo un cambio sin llegar a poder alterar el voltaje a razón del voltímetro en su magnitud o fase concerniente al generador de corriente [8].

El hacer válido este teorema nos deja determinar la mayor parte de las propiedades que corresponden a la antena, como sus medidas hechas en el sistema, para las condiciones de recepción y transmisión.

## **1.9 DEFINICIÓN DE ANTENA**

Es un dispositivo pasivo que tiene como meta transmitir y/o recibir ondas radioeléctricas, porque transforma la respuesta eléctrica en OEM y la adapta al espacio libre para transmitirla o viceversa.

Se cuenta con antenas diferentes, pero todas cumplen el mismo propósito que es ser ocupados de emisor como de receptor de una señal. Cuando las señales fluyen en las dos direcciones, se conoce como bidireccional. Si no se lleva a cabo simultáneamente, sino alternativamente, se conoce como comunicación semidúplex. Las comunicaciones WIFI son bidireccionales semidúplex en su totalidad.

## **1.10 PROPAGACIÓN RF**

La comunicación por medio de radio frecuencias se lleva a cabo en el momento que una señal, en el rango de 30 kHz a 300 GHz es propagada de transmisor a receptor. Entre estos últimos a menudo existe lo que se conoce como línea de vista o LOS (line-of-sight) y la señal adquiere efectos antes de llegar a su destino [9].

## 1.11 GANANCIA DE UNA ANTENA

La ganancia de una antena se define como la medida que toma en cuenta la eficiencia de la antena, así como sus capacidades direccionales como “  $4\pi$  veces la razón de la intensidad de radiación en esa dirección a la potencia neta aceptada por la antena de un transmisor conectado”. Cuando no se estable la dirección la ganancia de potencia se toma usualmente en la dirección de máxima radiación [10].

La ganancia de una antena puede ser concebida como el poder de amplificación de la señal [8]. Representa una relación entre la intensidad de campo en un punto definido, y la intensidad de campo que se hace en el mismo punto y términos. Cuanta mayor sea, mejor es la antena [10].

La unidad de la ganancia de las antenas es el decibel (dB). El cual es calculado con el logaritmo de una relación de valores quedando de la siguiente manera  $Ganancia = 10 \log\left[\frac{(4\pi)(A)}{\lambda^2}\right]$ . Un ejemplo, es la de calcular la ganancia de una antena (por ejemplo, una antena de parche) y tomar como referencia la antena isotrópica. Valor se representa en dBi, dónde la “i” significa isotrópicos, entonces estas unidades se leen como “decibeles isotrópicos” [9].

## 1.12 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN

El espectro electromagnético se separa en las frecuencias de operación que darán en la tabla 1, de acuerdo a la IEEE (Instituto de Ingeniero Eléctrico y Electrónico) [8].

RANGO DE FRECUENCIA	DESIGNACIÓN
3 – 30 KHZ	VLF: Muy Baja Frecuencia
30 – 300 KHZ	LF: Baja Frecuencia
300 – 3000 KHZ	MF: Frecuencia Media
3 – 30 MHZ	HF: Alta Frecuencia
30 – 300 MHZ	VHF: Muy Alta Frecuencia
300 – 3000 MHZ	UHF: Ultra Alta Frecuencia
	Se subdivide en:
1.0 – 2.0 GHZ	Banda L
2.0 – 3.0 – GHZ	Banda S
3 – 30 GHZ	SHF: Súper Alta Frecuencia
	Se subdivide en:

<b>4.0 – 8.0 GHZ</b>	Banda C
<b>8.0 – 12.0 GHZ</b>	Banda X
<b>12.0 – 18.0 GHZ</b>	Banda Ku
<b>18.0 – 27.0 GHZ</b>	Banda K
<b>27.0 – 30.0 GHZ</b>	Banda Ka
<b>30 – 300 GHZ</b>	EHF: Extremadamente Alta frecuencia

**Tabla 1.-** Rango de frecuencias con su designación [8].

### 1.13 POTENCIA TRANSMITIDA

Utiliza dBm (decibelios relativos al nivel de referencia de 1 miliwat) [10]. Por ejemplo, 1 mW son 0 dBm y todas las veces que se duplican los miliwatts, se agregan 3 unidades a los decibele. El número máximo de radiación que emite o es capaz de emitir una antena, que la FCC en los EEUU estipula es de 1 wat [W] (un aproximado a 30 dBm). En Europa tienen como límite 250 mW (24 dBm) [9].

Como se ejemplifica en la tabla 2, donde podemos encontrar la conversión de decibelios a vatios [8]:

<b>dBm</b>	<b>Vatios</b>	<b>dBm</b>	<b>Vatios</b>	<b>dBm</b>	<b>Vatios</b>
<b>0</b>	<b>1 mw</b>	<b>16</b>	<b>40 mw</b>	<b>32</b>	<b>1.6 W</b>
<b>1</b>	<b>1.3mw</b>	<b>17</b>	<b>50 mw</b>	<b>33</b>	<b>2.0 W</b>
<b>2</b>	<b>1.6 mw</b>	<b>18</b>	<b>63 mw</b>	<b>34</b>	<b>2.5 W</b>
<b>3</b>	<b>2.0 mw</b>	<b>19</b>	<b>79 mw</b>	<b>35</b>	<b>3.2 W</b>
<b>4</b>	<b>2.5 mw</b>	<b>20</b>	<b>100 mw</b>	<b>36</b>	<b>4.0 W</b>
<b>5</b>	<b>3.2 mw</b>	<b>21</b>	<b>126 mw</b>	<b>37</b>	<b>5.0 W</b>
<b>6</b>	<b>4 mw</b>	<b>22</b>	<b>158 mw</b>	<b>38</b>	<b>6.3 W</b>
<b>7</b>	<b>5 mw</b>	<b>23</b>	<b>200 mw</b>	<b>39</b>	<b>8.0 W</b>
<b>8</b>	<b>6 mw</b>	<b>24</b>	<b>250 mw</b>	<b>40</b>	<b>10 W</b>
<b>9</b>	<b>8 mw</b>	<b>25</b>	<b>316 mw</b>	<b>41</b>	<b>13 W</b>
<b>10</b>	<b>10 mw</b>	<b>26</b>	<b>398 mw</b>	<b>42</b>	<b>16 W</b>
<b>11</b>	<b>13 mw</b>	<b>27</b>	<b>500 mw</b>	<b>43</b>	<b>20 W</b>
<b>12</b>	<b>16 mw</b>	<b>28</b>	<b>630 mw</b>	<b>44</b>	<b>25 W</b>
<b>13</b>	<b>20 mw</b>	<b>29</b>	<b>800 mw</b>	<b>45</b>	<b>32 W</b>
<b>14</b>	<b>25 mw</b>	<b>30</b>	<b>1.0 W</b>	<b>46</b>	<b>40 W</b>
<b>15</b>	<b>32 mw</b>	<b>31</b>	<b>1.3 W</b>	<b>47</b>	<b>50 W</b>

**Tabla 2.-** Conversión de decibelios a vatios [8].



## 1.14 ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS EN LAS GENERACIONES MÓVILES

En la siguiente tabla 3, se muestran la asignación de frecuencias en los rangos para cada tecnología de red.

Siendo nuestro diseño el que operará en los rangos cercanos de frecuencias de 3.7 GHz (5G).

FRECUENCIA	TECNOLOGÍA DE LA RED
1900 MHz	4G LTE 3G (UMTS/HSPA) 2G (GSM/GPRS/EDGE)
1700/2100 MHz (AWS)	4G LTE 3G (UMTS/HSPA)
850 MHz	4G LTE
700 MHz	4G LTE 4.5 G LTE-A Pro
600 MHz	4G LTE
2.4 GHz	4.5G LTE-A Pro
3.42 – 3.7 GHz Frecuencias bajas (<1GHz) Frecuencias medias (1GHz <f<6GHz) Frecuencias altas (>6GHz)	5G

**Tabla 3.-** Relación entre frecuencia y tecnología de la red [11], [12].

El Instituto Federal de Telecomunicaciones de México presento un estudio más específico de las bandas de frecuencias en México para 5G, dividiendo las frecuencias de operación de 5G y con base en las necesidades las estructuro en tres grandes grupos [12]:

- Frecuencias bajas (<1GHz), brindan mayor cobertura y capacidad limitada [12].
- Frecuencias medias (1GHz <f<6GHz), la cobertura se reduce y la capacidad aumenta, en comparación con las frecuencias bajas [12].
- Frecuencias altas (>6GHz), brindan corto alcance con muy alta capacidad y muy baja latencia [12].

## 1.15 TEORIA DE ANTENAS TIPO PARCHE

El objetivo de una antena es emitir y/o percibir ondas electromagnéticas que le son aprovisionadas, mediante el cual tomaremos de referencia para nuestro diseño el que operará en los rangos de frecuencias de 600 MHz (4G LTE) - 3.7 GHz (5G), por ejemplo: los sistemas asociados a radares, en comunicación móvil, enlaces fijos y demás trabajos. Se cuentan con variadas configuraciones de antenas, todas tienen su característica y aplicación particular, pero también tienen dos objetivos primordiales los cuales son transmitir y/o percibir ondas electromagnéticas, aplicando como transductores a través del medio inalámbrico, por el que se emiten las ondas en el espacio libre a formas guiadas y al contrario [2].

Las ondas electromagnéticas se especifican al tener:

- Longitud de onda  $\lambda$  [se mide en múltiplos o submúltiplos del metro en unidades del Sistema Internacional de Unidades]
- Frecuencia  $f$  [Hz]
- Velocidad de fase  $V_p$  [m/s]

Estos son básicos para lograr diseñar antenas, de los ya mencionados dependen diferentes parámetros, por ejemplo, la impedancia, acoplamiento, polarización, radiación, ancho de banda, directividad y más [2].

Heinrich Rudolph Hertz, curioso y basándose en teorías de James Clerk Maxwell, que combinaban el magnetismo con la electricidad y de esta manera apreciamos el electromagnetismo, Hertz alentado, elaboró varios experimentos, generando ondas eléctricas, estudiando la polarización según las condiciones que decían Faraday y Maxwell. Aumentando su investigar sobre polarización, reflexión, refracción, desde un punto óptico pero dirigida a las ondas electromagnéticas y su propagación, a su vez motivó a un inventor de nombre Guglielmo Marconi, cuestionándose si con esto pudiera mandar mensajes, arraigado a esta inquietud, logro construir un circuito de comunicación inalámbrica a distancias largas y comunicaciones trasatlánticas, hoy en día conocido como un circuito de radiocomunicación completo [13].

El desarrollo de las antenas se basa en la longitud eléctrica, la cual está relacionada con su frecuencia de operación. Estos diseños permiten ser mejorados al adicionar elementos reactivos -capacitivos o inductivos-, aumentando en tamaño del largo eléctrico de operación de la antena, de esta manera se puede disminuir las dimensiones físicas [3].

Las antenas se clasifican como:

- Antenas de alambre: su construcción se basa en hilos conductores capaces de aguantar las corrientes que originan campos radiados [14].

- Apertura: se tienen las cornetas, las aperturas y ranuras sobre planos conductores y de guía de onda [14].
- Planares o de parche: hechas en placas metálicas encima de sustratos dieléctricos [14].
- Reflector: llamadas también parabólicas.

Para que nuestro entendimiento acerca de la manera en que las antenas trabajan, es muy necesario adquirir un conocimiento sobre sus parámetros. Es algo bastante complicado el tener los valores de estos parámetros en una manera analítica, por esta razón se utiliza ayuda de un software que es un simulador con gama amplia de diseños ya existentes, así también como propuestas innovadoras que son hechas constantemente.

Es algo complicado encontrar ecuaciones sobre el diseño que ofrezcan alguna medida precisa para la elaboración de antenas, para determinado tipo de tarea, o mejora en investigación, son capaces de estar elaboradas de geometrías no armónicas, difícilmente capaces de parametrizar con desarrollos sencillos, aumentando su dificultad de la cantidad de variables a tomar en cuenta para llevar el cálculo de sus parámetros, una forma fácil de explicar la manera en que las antenas se comporta es por patrones de dispersión o también parámetros S, pudiendo verse a través de simulaciones en el software.

### **1.15.1 PARAMETROS DE LAS ANTENAS**

Los parámetros de una antena deben de tener ciertas características que aseveren su mismo funcionamiento para que se le logre considerar con un buen radio electromagnético. Conceptos como lo es la ganancia, directividad, impedancia, patrón de radiación y otros más.

Ya antes dicho, el material que sea puede ser afectado o puede afectar la radiación, pero apenas algunos que cubran ciertos requerimientos podrán considerarse como antenas y aun en este grupo, se cuenta con antenas deficientes y eficientes, las cuales tienen que ser definidas.

Un ejemplo es cuando se busca una antena con amplio ancho de banda, muy complicadamente podrá tener ganancias altas, a pesar de eso, esto es aceptable por sus condiciones operativas, por otro lado, si la antena deseada no se requiere para no depender de un ancho de banda, y que tampoco se maneje en diferentes bandas, es posible implementar una antena con un bajo ancho de banda y/o directiva, pero a su vez tener un mayor benéfico, a pesar de esto, de igual forma es

aceptable. Esto va a depender de la aplicación o de las ventajas presentadas, porque también es posible que en la totalidad de los parámetros puedan observarse valores altos a la vez, por directividad o ganancia, acoplamiento, ancho de banda, lo que es considerado alguno de los compromisos a tener en cuenta cuando se diseñan antenas.

## 1.15.2 IMPEDANCIA

Una antena tiene que estar en conexión, puede ser en un equipo transmisor o receptor y con respecto al valor de impedancia que se encuentre en su entrada, tendría que estar de una manera conectada a la etapa posterior, lo cual generalmente es una línea de transmisión, la cual a menudo será dueña de una impedancia desigual [3]. Identificar y asimilar los valores tiene un gran valor para eludir pérdidas de señal o averías en los dispositivos que llevan a cabo la medición, a causa de reflexiones debidos a un desacoplamiento. Es primordial la impedancia en las antenas, conocida como impedancia de entrada  $Z_{in}$ . Brindando así la información necesaria para tener el conocimiento de cuanta de la potencia inyectada es transmitida y así averiguaremos si se cumple la máxima transferencia de potencia, tanto en la recepción como en su transmisión, la impedancia es igual cuando recibe y cuando transmite.

Se le vinculan dos valores populares como reactancia y resistencia y se asocian de la siguiente manera (2.2)

$$Z_{in} = R_a + jX_a \quad (2.2)$$

Donde:

- $R_A$ = Efecto resistivo que provoca la Disipación
- $X_A$ = Efecto reactivo que provoca la radiación de la energía

$R_A$  representa la disipación, la que pasa de 2 formas, una de ellas en forma de radiación  $R_r$ , y la otra manera es de disipación térmica, esta misma es causada por el aumento de la temperatura de los elementos o resistencia óhmica  $R_{ohmic}$ . Sin embargo, por lo general las pérdidas óhmicas son mucho menos que las causadas por radiación electromagnéticas. La reactancia que entra o  $X_A$  es la porción de energía concentrada en el campo próximo o zona de Fresnel de la antena y en la situación de que no se contará con reactancia a ciertas frecuencias se tomará en cuenta resonante; es decir, tendrá un comportamiento puramente resistivo [13].

Consideramos  $R_A$  de la siguiente manera:

- $R_A = R_r + R_{ohmic}$
- $R_r$  = Resistencia de Radiación
- $R_{ohmic}$  = Resistencia Óhmica

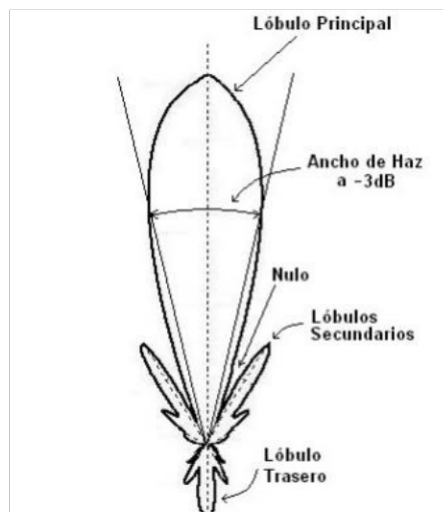
### 1.15.3 PATRÓN DE RADIACIÓN

Es “una representación gráfica de las propiedades de radiación de una antena como una función de sus coordenadas espaciales. Mayormente el patrón está determinado en el campo ajeno. Y en función de sus coordenadas direccionales”.

Es posible hallar propiedades donde encontramos la repartición espacial de la energía que radia en 2 dimensiones como se ejemplifica en la figura 1, con su referencia desde el origen de un plano polar, en otras palabras, “del observador o de la fuente de radiación”; y demás coordenadas cartesianas en radianes, nos muestra el número de energía radiada en distintas trayectorias, comúnmente dichas en decibelios [3].

El lóbulo con un tamaño mayor o “El lóbulo que contiene la mayor cantidad de radiación dirigida en determinada dirección”, gráficamente se coloca este lóbulo en medio de  $\theta = 0^\circ$ .

El resto de cantidad de lóbulos son menos con referencia al principal ya antes mencionado, hay lóbulos laterales, estos regularmente se encuentran a un lado del principal, y el trasero se localiza dirigido a  $180^\circ$  con respecto al de mayor tamaño.



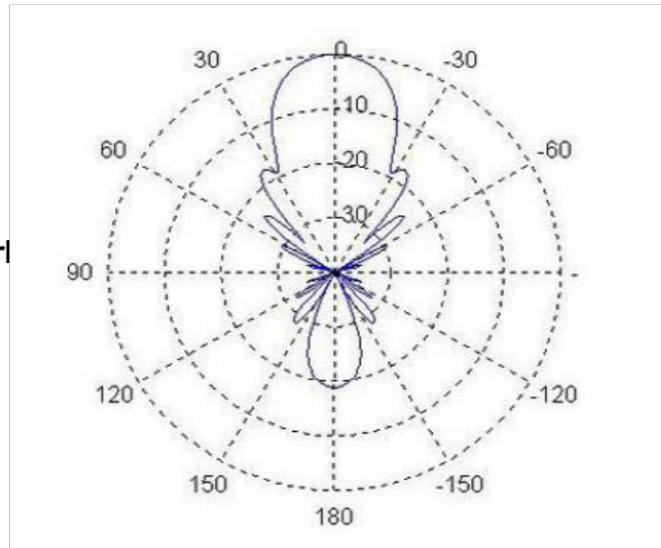
**Figura 1.-** Representación del patrón de radiación en 2D en forma polar [15].

Cada parte del patrón que radia son conocidas como lóbulos y son clasificadas como:

- Principal o mayor
- Los menores que abarca a los lóbulos periféricos.
- Lóbulo trasero

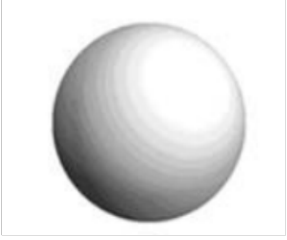
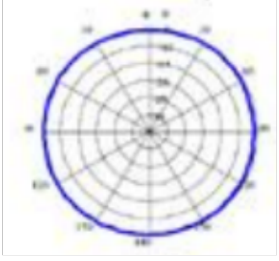
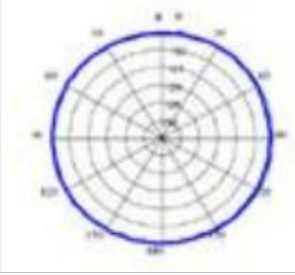
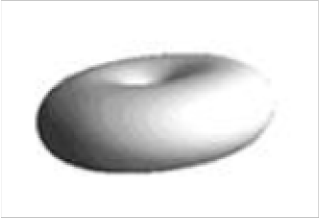
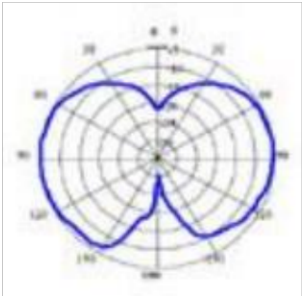
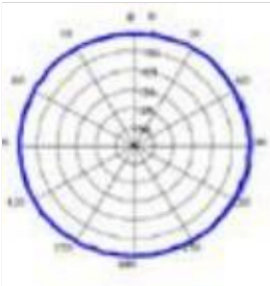
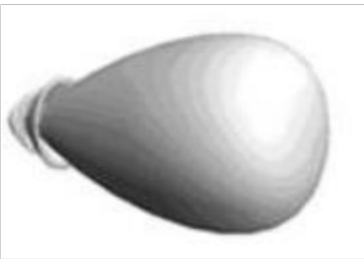
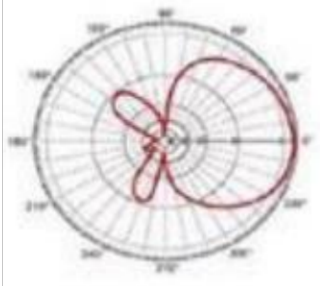
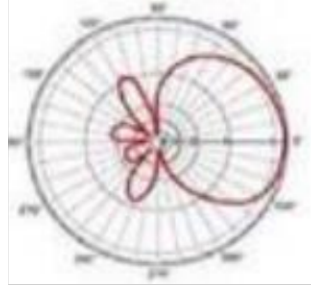
HPBW es la distancia angular que la potencia decrece un 50% desde  $0^\circ$  o 0dB, hasta -3dB como se representa en la figura 2, algo también importante es la distancia que existe entre los primeros nulos del patrón, conocido como FNBW.

Error! Bookmarl



**Figura 2.-** Representación del patrón de radiación en forma polar 2D traducido en dB [16].

Hay en existencia 3 ideales tipos de patrón de radiación que de igual forma funcionan para clasificar distintos modelos de antenas por sus atributos de radiación que tienen, como se representa en la siguiente tabla 4 donde veremos sus gráficas en planos eléctricos y magnéticos.

Diagramas Tridimensionales	Plano Eléctrico	Plano Magnético
<p>A) Isotrópico</p> 		
<p>B) Omnidireccional</p> 		
<p>C) Directivo</p> 		

**Tabla 4.-** Formas teóricas de Patrones de Radiación [13].

Las antenas también se clasifican por sus propiedades de radiación:

1. **Isotrópica:** tiene una radiación equivalente en su totalidad de direcciones, además tiene una manifestación adecuada, por lo que no se encuentra en existencia ni un solo origen de radiación isotrópica, siendo su concepto nada

provechoso para probar conceptos y teorías de la propagación y su radiación, hipotéticamente [13].

2. **Omnidireccional:** suceso especial a diferencia de los otros dos casos, puesto que emite la máxima radiación en todas direcciones de un plano, a su vez en la dirección perpendicular es de menor grado, haciendo una dona como patrón de radiación [8].
3. **Directiva:** muestra la cantidad mayor de radiación que emite hacia una sola dirección, a su vez en las demás su transmisión o recepción es menor o prácticamente nula, normalmente tiene uno de mayor y los otros de intensidad inferior [13].

#### **1.15.4 ANCHO DE BANDA**

Unidad (Hertz) de intervalo de frecuencias reducido por 2 frecuencias de corte, en donde se encuentra el aumento de cantidad de potencia de la señal, en otras palabras, es la unidad del intervalo de frecuencias mediante el sistema genera una respuesta [4]. Este, está definido por 3 frecuencias, las de corte inferior, la central y la superior, normalmente que se quiere que la antena lleve a cabo sus operaciones. El ancho de banda es localizado haciendo las medidas de pérdidas por retorno en el puerto que entra, a su vez es determinado entre el intervalo de frecuencias por debajo de los -10dB, ya que en valores mayores a los -10dB se tiene la seguridad de llegar a más del 90% que la que suministra.

A continuación, mostraremos la interacción que existe en el parámetro  $S_{11}$  en dB y sus porcentajes específicos a la transmitida o acoplada y la reflejada a partir de los -3dB, en la cual la potencia acoplada es un aproximado de 50%, el 2do valor con importancia lo encontramos en los -10dB, en donde la potencia reflejada es de un aproximado de 10% y la transmitida o acoplada es de un aproximado de 30%. La potencia emitida será mayor si se encuentra por debajo de este valor, en donde tenemos el conocimiento de que, mientras más negativo en dB sea  $S_{11}$ , la potencia transmitida se acercará a 100%. Poco más o menos abajo de los -20dB, aproximadamente a 100% y cualquier valor debajo de este se volverá el adecuado para su trazo, como se ejemplifica en la tabla 5 [5].



<b>Parámetro de Reflexión (dB)</b>	<b>Potencia Reflejada -S11- (%)</b>	<b>Potencia Acoplada (%)</b>
-3	50.12	49.88
-4	39.81	60.19
-5	31.62	68.38
-6	25.12	74.88
-7	19.95	80.05
-8	15.85	84.15
-9	12.59	87.41
-10	10.00	90.00
-11	7.94	92.06
-12	6.31	93.69
-13	5.01	94.99
-14	3.98	96.02
-15	3.16	96.84
-16	2.51	97.49
-17	2.00	98.00
-18	1.58	98.42
-19	1.26	98.74
-20	1.00	99.00

**Tabla 5.-** Potencia reflejada, acoplamiento y relación entre el coeficiente de reflexión (dB) [8].

También se puede caracterizar el ancho de banda dependiendo de que parámetro es el deseado de controlar, puede ser la impedancia o ganancia. En cuanto a la impedancia, esta lleva a cabo su medida en VSWR, y esta puede calcularse de la siguiente manera [5]:

$$BW = \left( \frac{F_{VSWR}}{F_o} \right) (100) \quad (2.4)$$

Dónde:

BW= Ancho de Banda

$F_{VSWR}$ = Intervalo de frecuencias donde VSWR es menor a 2(VSWR<2)

$F_o$ = Frecuencia central [Hz]

Otro lado importante es el ancho de banda fraccional:

$$FBW = \frac{BW}{F_o} = \frac{F_H - F_L}{F_o} = \frac{W_H - W_L}{W_o} = \frac{W_H - W_L}{\sqrt{W_H * W_L}} \quad (2.4)$$

Dónde:

BW=Ancho de banda [Hz]

$F_o$ = Frecuencia central

$F_H$ = Frecuencia de corte superior

$F_L$ =Frecuencia de corte inferior

$W_o$ = Frecuencia angular central

$W_H$ = Frecuencia angular de corte superior

$W_L$ = Frecuencia angular de corte inferior

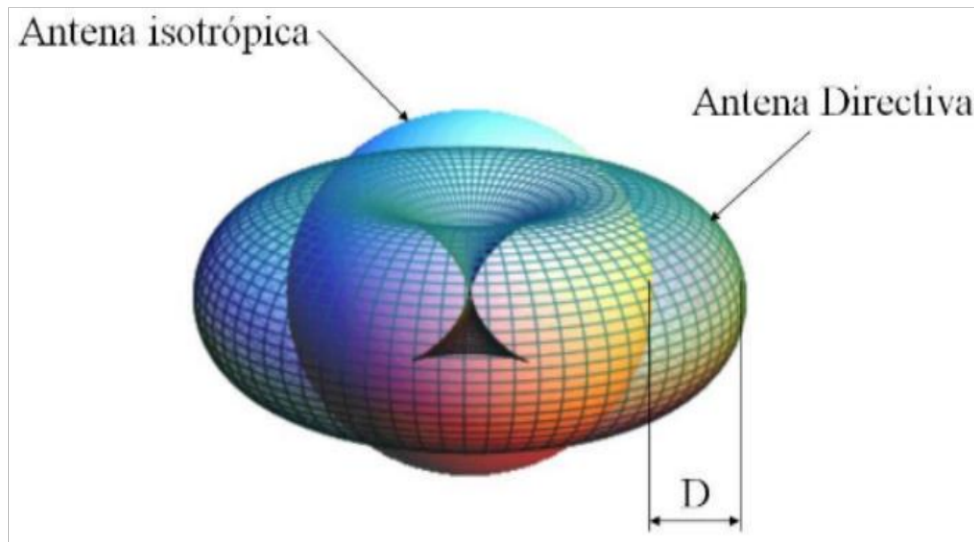
### 1.15.5 DIRECTIVIDAD

Hace referencia a la relación que hay de densidad de potencia que radia hacia un sentido a debida longitud y la que esta emitirá hacia el mismo sentido una antena isotrópica que “radiase la misma potencia” [4].

Siendo la relación que hay entre la potencia de radiación,  $U$ , siendo el sentido con el que emite la fuerza de radiación media por todos los sentidos,  $U_o$ . La potencia media de radiación es la misma a la total  $P_{rad}$  fraccionada entre  $4\pi$ . Si el resultado no es la especificada, concluimos que debe ser la radiación máxima en la misma dirección [13].

$$D = \frac{U}{U_o} \quad (1.5); \quad U_o = \frac{P_{rad}}{4\pi} \quad (1.6); \quad D = \frac{P_{rad}U}{4\pi} \quad (2.5)$$

Este valor de directividad es el mismo al valor de ganancia cuando este pase a ser 100% eficaz. Observando así los dos patrones de radiación distintos, podemos ver uno que es isotrópico y el otro es omnidireccional, las dos con densidad de potencia igual, pero repartida en un volumen distinto, como se ejemplifica en la figura 3. Estableciendo el enlace que existe en el sentido máximo de radiación donde se observa su directividad y esté será el caso de la omnidireccional y esta radiación misma, pero isotrópica, será su directividad [4].



**Figura 3.-** La directividad, una relación existente entre una fuente isotrópica y una omnidireccional [17].

## 1.15.6 EFICIENCIA

Es un parámetro que hace una conexión entre la directividad y su ganancia de una antena. La  $e_o$  tiene varios factores en cuenta, como las pérdidas que tienen las terminales donde entra la información, también las pérdidas por dieléctrico que es dentro del material, ondas reflejadas en caso de un desacoplamiento y algún alta en la temperatura, la eficiencia la vemos como:

$$e_o = e_r e_c e_d \quad (2.7)$$

Dónde:

$e_o$  = Eficiencia Total

$e_r$  = Reflexiones u ondas reflejadas

$e_c$  = Eficiencia de conducción

$e_d$  = Eficiencia del dieléctrico

Su cálculo no es fácil, al igual que el valor se mantiene de forma experimental, es más fácil obtenerla al relacionarla con el coeficiente de reflexión  $\Gamma$  como se muestra a continuación:

$$e_o = e_{cd}(1 - |\Gamma|^2) \quad (2.7)$$

Donde:

$e_{cd} = e_c e_d$  es el mismo valor que asocia a la ganancia con la directividad de una antena

$P_r$  = Potencia radiada

$P_{in}$  = Potencia de entrada

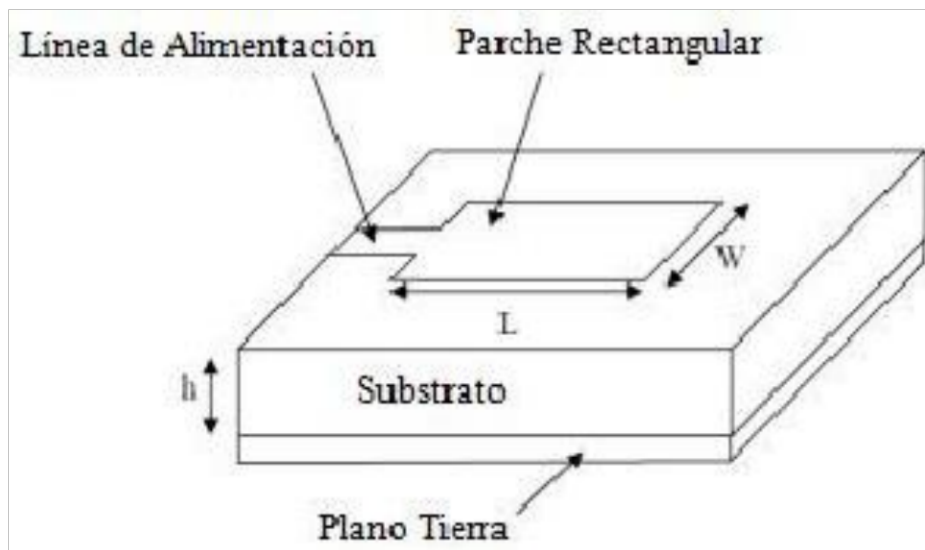
$$G = e_{cd}D \quad (1.10); \quad e = \frac{P_r}{P_{in}} \quad (2.7)$$

## 1.16 ANTENAS TIPO PARCHE

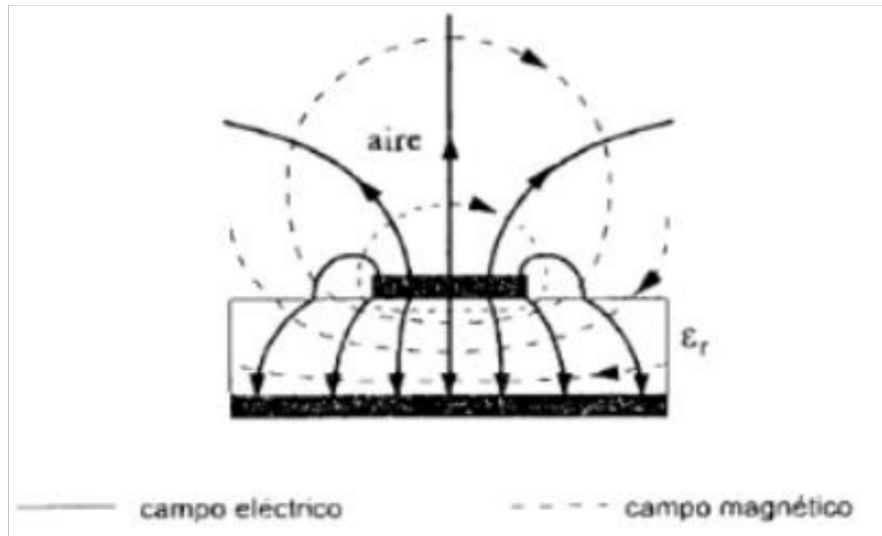
Cumple los principios de cualquier antena, una antena parche o microcinta es en pocas palabras un radiador de microcinta con una superficie capaz de conducir, encima de un dieléctrico y en el plano de tierra tenemos una base metálica.

Una antena se construye encima de sustratos dieléctricos que cuentan con una permitividad pequeña, con fines de ganar una mayor eficiencia de radiación, ya que si el valor de un material es alto, contara con un campo eléctrico mayor en el interior de las paredes conductoras y su propagación al espacio libre será más fácil.

En una microcinta o antena parche, la propagación de la energía electromagnética es dentro del sustrato, entre el territorio previsto mediante el espacio metálico conductor y su correspondiente plano de tierra, como se ejemplifica en la figura 4. Se cuenta con una polarización vertical en las líneas de campo eléctrico, de esta manera logran producir una propagación de modo Transverso electromagnético o TEM, solo si el grosor de "h" del sustrato, obedezca la relación " $\lambda \gg h$ ", de igual forma, hay un fenómeno que se crean en las orillas de la microcinta o antena parche, como campos de control, estos mismos son de tal relevancia en la planificación de antenas tipo parche, no obstante las líneas de microcintas se transforman como una respuesta negativa ya que incrementan la longitud eléctrica de los elementos, alterando así la impedancia de la microcinta, como se ejemplifica en la figura 5 [13].

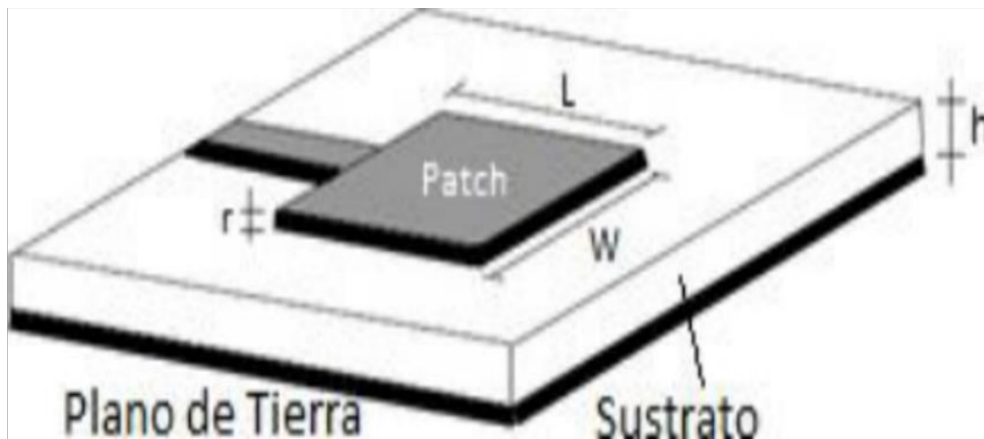


**Figura 4.- Geometría básica de una Microcinta [18].**



**Figura 5.-** Líneas de campo eléctrico y magnético de una Microcinta [17].

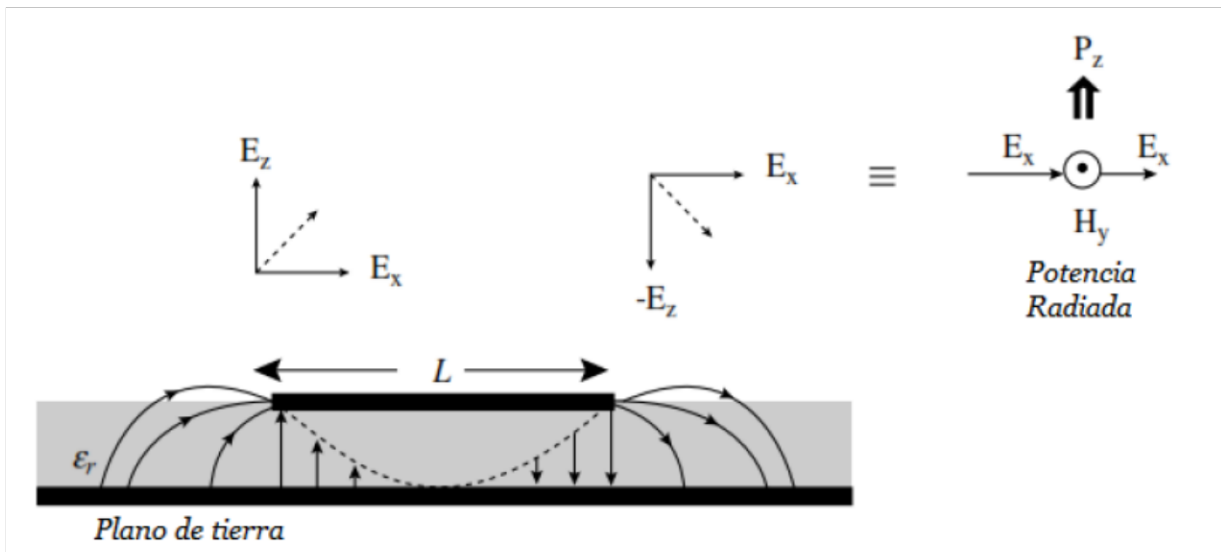
Visto lo anterior, es de esperarse que una antena tipo parche se comporte de manera igual que la microcinta, encontrando una igualdad porque sus proporciones  $L$  y  $W$  actúan de la misma forma a una microcinta aislada o recortada, adquiriendo una forma rectangular, esta puede verse como un espacio entre 2 superficies mientras los rodea muros magnéticos, entonces se domina su propagación en un modo transversal magnético en la dirección "Z" o también asociado a  $TM_z$ , como se ejemplifica en la siguiente figura 6.



**Figura 6.-** Antena Rectangular con proporciones  $L$  y  $W$  encima de un sustrato dieléctrico que cuenta con plano tierra [18].

El hueco retumba debajo de la índole de que cuente con la longitud física  $L \approx \frac{\lambda}{2}$  [mm]. Siendo los bordes los que se encuentran aperturados infringiendo dos condiciones, la primera representa en el centro del parche el campo eléctrico y siendo de 0 y la segunda representa cerca de los bordes la máxima, es decir,  $x = \pm \frac{L}{2}$  a través de polarizaciones adversas entre uno y otro borde.

En el momento que se encuentra en resonancia la antena, hay una aglomeración de carga de los bordes, siendo esto la máxima cantidad de campo que se encuentra acumulada en los bordes, resultando en el origen al efecto conocido como “campos de contorno”, causado por que el campo eléctrico no se mantiene estático por completo en forma vertical. La pendiente de campo mediante sus vectores, es capaz de ser dividido en horizontales y verticales, haciendo que sus atributos en campo eléctrico mediante la trayectoria “z” sean anulados, visualizando únicamente la propagación del campo electrónico en la dirección “x”, ofreciendo una respuesta de propagación de campo eléctrico en trayectoria de “Ex “será ortogonal su propagación en el campo magnético o “Hy”, radiando verticalmente en el Vector de Poynting o “Pz”, como se ejemplifica en la figura 7 [13].



**Figura 7.-** Campo Eléctrico y su distribución a lo largo de la longitud  $L$  de una antena tipo parche [14].

### 1.16.1 PARAMETROS EN LAS ANTENAS TIPO PARCHE

Hay en existencia condiciones especiales, estas deben de ser consideradas para llevar a cabo la consideración para el boceto de una antena de tipo parches rectangular.

### 1.16.2 DIRECTIVIDAD DE ANTENAS TIPO PARCHE

Depende del espesor que tenga el sustrato y el valor de permitividad del que sea acreedor, la directividad de la antena va en aumento conforme mayor o más espeso sea el sustrato. Tomaremos al espesor del sustrato a "h" y su ancho como "W".

Mientras el grosor de un sustrato crece a medida que sea mayor el ancho del grosor "W", también incrementa la directividad, sujetado a la relación  $\frac{W}{\lambda_0}$ , como se ejemplifica en la figura 8.

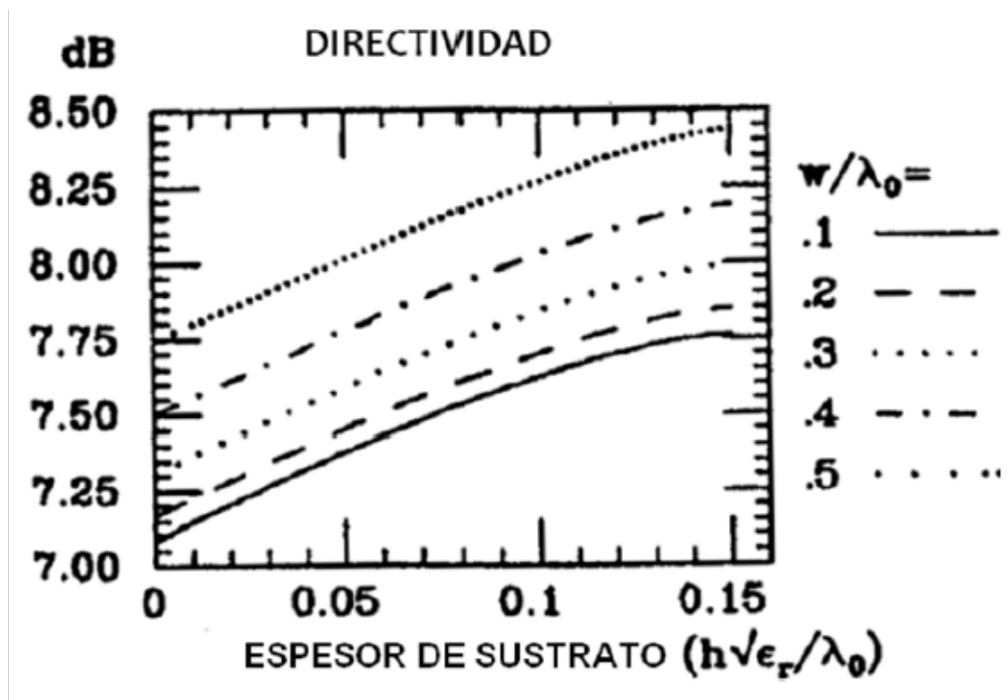
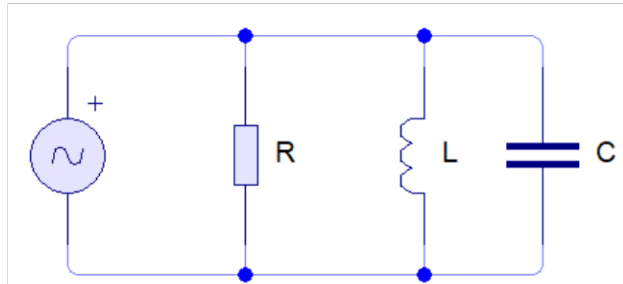


Figura 8.- Directividad de antena de tipo parche con función del espesor del sustrato a distintas relaciones [9].



### 1.16.3 RESISTENCIA DE RESONANCIA

Las antenas tipo parche son conocidas como huecos resonantes y se pueden representar a través de un circuito conocido como RLC en forma paralela para la propagación dominante, como se representa en la figura 9.

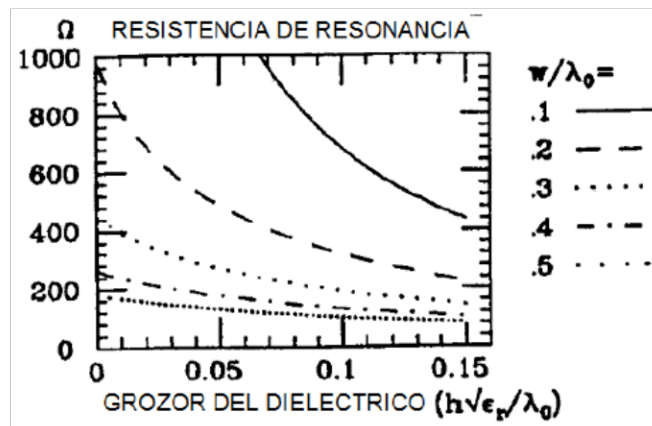


**Figura 9.-** Circuito equivalente para la transmisión dominante [19].

Siendo la impedancia equivalente o “ $Z_{in}$ ”, el cual incorpora un valor reactivo y otro real, en el que se tiene que el valor resistivo y el valor reactivo con una variación y siendo simétricos alrededor de la frecuencia de resonancia [13].

En la resonancia, la antena tiene una impedancia puramente resistiva y por ende la componente reactiva se vuelve 0 y dada esa condición la  $R_r$  forma a ser parte del valor más importante para encontrar el punto óptico que lo alimenta y acoplar la impedancia equivalente en el mismo.

Las particularidades más importante de una antena tipo parche son su permitividad relativa “ $\epsilon_r$ ”=2.2 y en ohmios el valor de resistencia de resonancia. Conforme se incrementa el ancho del parche y el espesor del sustrato, la valía de resonancia de su resistencia disminuye y viceversa, como se ejemplifica en la figura 10.



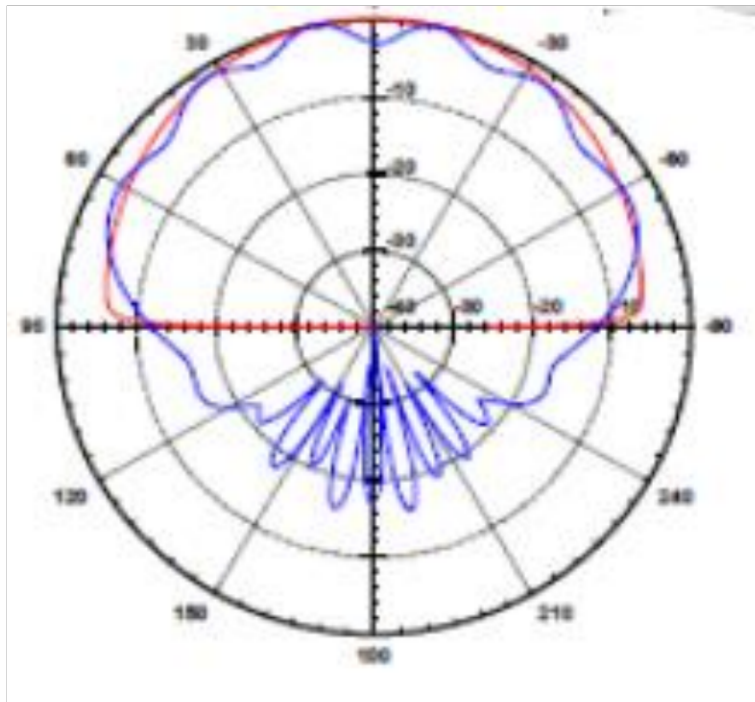
**Figura 10.-** Radiación o Resonancia de la Resistencia en relación del espesor del sustrato a distintas funciones [18].

## 1.16.4 PLANO DE TIERRA Y PATRÓN DE RADIACIÓN

Planteando de la idea que es infinito, emitiendo las radiaciones indeseadas y sus aplicaciones.

Siendo sinceros, no existen o no hay planos de tierra infinitos, inclusive se cuenta con planos de tierra casi de la misma proporción que el de la antena, a continuación, mostraremos la radiación de un patrón cotejando el plano de tierra y su longitud de onda, pero incrementado al doble este mismo y un plano de tierra infinito, como se ejemplifica en la figura 11, logramos apreciar en un caso ideal, ya que no se cuenta con lóbulos laterales no traseros, exponiendo un plato directivo en su totalidad, prácticamente este patrón no tiene posibilidades de producir planos de tierra “reducidos”, porque contando con incremento al doble que la longitud de onda, se aprecian alteraciones en el repartimiento de potencia y también de lóbulos traseros y laterales [13].

Concluyendo con que las dimensiones modificaran la respuesta y conforme vaya incrementando conforme a las proporciones de la antena y la longitud de onda relacionada con una superficie de resonancia, la cantidad de energía que se es mandado sea aún mayor [13].

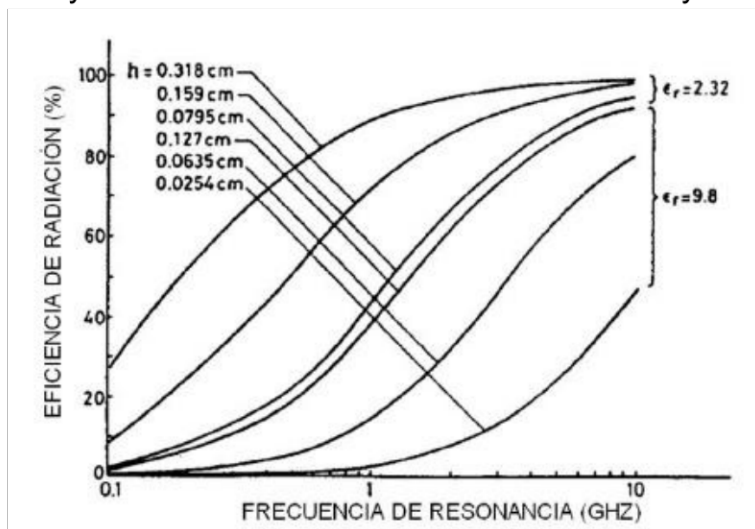


**Figura 11.-** Comparación entre un plano de tierra infinito y uno real: Rojo) Infinito; Azul) Real [20].

### 1.16.5 EFICIENCIA DE RADIACIÓN

La eficiencia de la radiación puede ser vista gracias a la potencia de entrada y la radiada, demostrando la importancia del valor que juega la elección del sustrato gracias a la permitividad dieléctrica que contiene, el espesor y el ancho, además de que tiene que ver con los materiales, porque por lo regular aumentan conforme más pequeña sea la permitividad. Por otro lado, cuando el espesor del sustrato “h” es mayor, disminuye la respuesta de radiación.

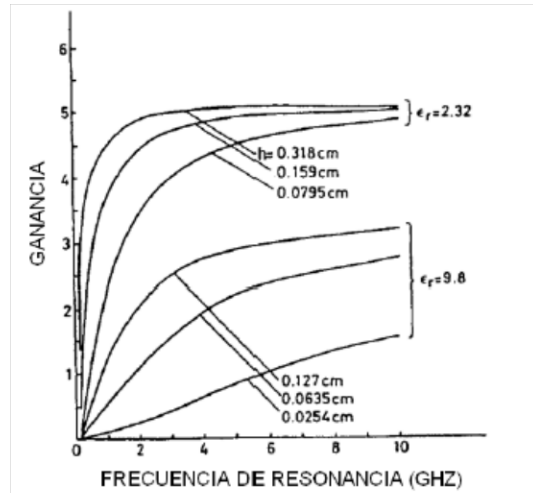
Tiene diferencia con relación a la frecuencia, como se muestra en la figura 12 en donde la eficiencia de radiación varía, aumentando de 0% a 100% conforme baja la permitividad eléctrica y su espesor aumenta, de igual manera la frecuencia de resonancia es mayor cuando la eficiencia de radiación es mayor.



**Figura 12.-** Relación de la frecuencia de resonancia para el modo TM10 contra la eficiencia de radiación [18].

### 1.16.6 FRECUENCIA DE RESONANCIA

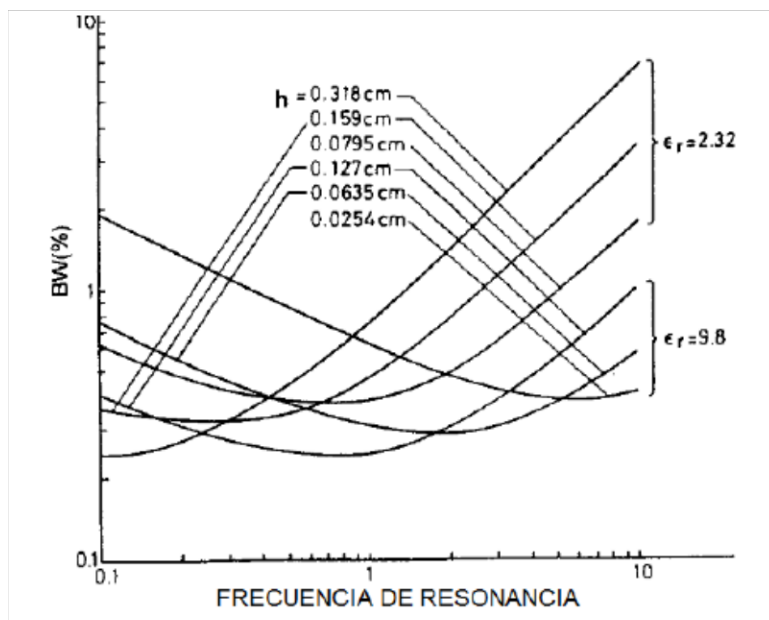
En una antena tipo parche hay una relación entre la ganancia y la frecuencia como veremos a continuación, el rendimiento es mayor hacia frecuencias más altas, igual incrementa con relación a la permitividad dieléctrica del sustrato que tiene un valor inferior y es mayor al espesor del sustrato, como se representa en la figura 13 [1].



**Figura 13.-** Respuesta de resonancia en el modo TM<sub>10</sub> [18].

### 1.16.7 ANCHO DE BANDA

El ancho de banda muestra una conducta semejante a una curva en donde hay variados valores de Permitividad eléctrica, diferentes frecuencias y espesor del sustrato, es posible que sea mayor o menor en “menores frecuencias”, así como también puede ser mayor o menor en “mayores frecuencias”, dependiendo de la elección de los ya mencionados 3 aspectos, como se ejemplifica en la figura 14.



**Figura 14.-** Variación de ancho de banda de una antena tipo parche [18].

# CAPITULO 2. ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE ANTENAS DE PARCHE

## 2.1 ECUACIONES PARA OBTENER DIMENSIONES FISICAS DE UNA ANTENA DE PARCHE

Las siguientes ecuaciones nos permiten obtener las dimensiones físicas de una antena de parche y son estimaciones que nos proporcionaran los resultados cercanos para su elaboración, dependiendo esencialmente de escoger el tipo de sustrato y de sus proporciones para su diseño así como su comportamiento; en estos se utilizan sustratos de permitividad baja, para que estos le proporcionen un aumento en la propagación hacia el espacio libre [4].

Existen distintos tipos de ecuaciones para realizar sus cálculos, estas son algunas con las que se pueden obtener una primera aproximación [4]:

$$W = \frac{\lambda_0}{2} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r - 1}} \quad (2.1)$$

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

Donde:

$$W = \text{Ancho del parche [nm]}$$

$$L = \text{Largo del parche [nm]}$$

$$\lambda_0 = \text{Longitud de onda en el vacio o espacio libre [nm]}$$

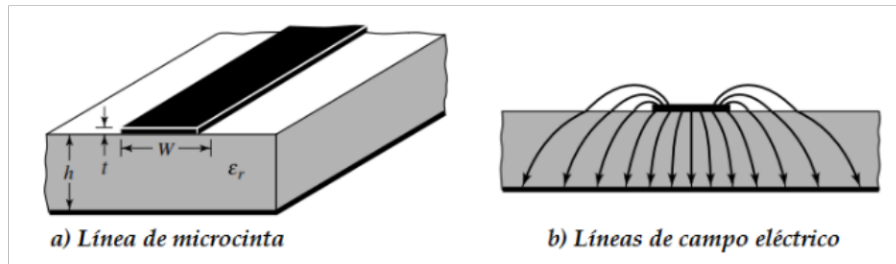
$$f = \text{frecuencia de resonancia [Hz]}$$

$$c = \text{Velocidad de la luz en el espacio libre } 3 \times 10^{11} \text{ [mn/s]}$$

$$\epsilon_r = \text{Permitividad dieléctrica del sustrato}$$

Estas no toman en cuenta el espesor del sustrato, "h" tampoco lo que este produce en la frontera, permaneciendo actualmente en los extremos en la "L", esto se representa mediante la figura 15, mediante su repartición y con pendiente en los extremos en "L". Esto se produce porque el campo se dispersa entre medios

distintos, siendo donde la superior parte del campo la que se propaga en el interior del dieléctrico, dándole así superior permitividad, aunque parte de la onda se esparza abajo de la microcinta, mientras que las demás se transmiten en el espacio libre o aire. Siendo de periferia y provocando “eléctricamente” que el “W” no se permita tomar en consideración hasta la orilla metálica, sino hasta la frontera que define estos campos, resultando en la posible estimación e implicando una cantidad de “permitividad efectiva”  $\epsilon_{rf}$  y el espesor, “h”, del sustrato [3].



**Figura 15.- a) Microcinta (líneas) [8]. b) Campo Eléctrico (líneas) [8].**

Incorporación a la permitividad efectiva y la relación  $W/h$  del sustrato para lograr el tamaño de la siguiente forma [4]:

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r}{2} + \frac{\epsilon_r}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h}{W}}} \right) \quad (2.3)$$

$$\Delta L = 0.412 \frac{\epsilon_r + 0.300}{\epsilon_r + 0.258} \left( \frac{\frac{W}{h} + 0.264}{\frac{W}{h} + 0.813} \right) \quad (2.4)$$

$$L_{ef} = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{ref}}} - 2\Delta L \quad (2.5)$$

Donde:

$$\epsilon_{ref} = \text{Permitividad relativa efectiva } [F/m]$$

$$h = \text{Grosor del sustrato } [nm]$$

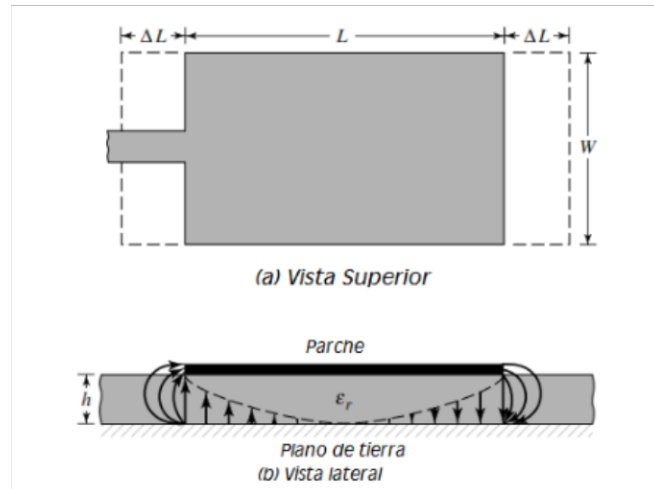
$$W = \text{Ancho de la antena } [nm]$$

$$L_{ef} = \text{Longitud (largo) efectiva del parche } [nm]$$

$$\Delta L = \text{Alargamiento eléctrico por campos de contorno } [nm]$$

Tomando en consideración el tamaño de la longitud de "L" = " $L_{ef}$ ", a causa de la periferia que produce mayor cantidad de " $\Delta L$ ", mostrándose en la figura 16 (a),

adicionándose en la forma de propagación del modo dominante  $TM_{10}$ , mostrándose en la figura 16 (b).



**Figura 16.-** a) Vista superior y su aumento en  $\Delta L$  [8]. b) Vista lateral [8].

## 2.2 FORMAS DE ALIMENTACIÓN

Hay diversos métodos para suministrarlas, de las que sobresalen:

Cables coaxiales, las microcintas, acoplamientos por aproximación y acoplamientos de apertura [18-20]. Las líneas de microcintas son sencillas de fabricar y diseñar; aunque cobrando un costo en el diseño viéndose afectado la propagación y el acoplamiento.

Descubrir un acoplamiento conveniente se vuelve muy complicado, ya que éste será muy exacto y se tiene que elaborar mediante un método de implantación adentro del parche, mediante acopladores tipo  $\lambda/4$ , cambiando el lugar de la microcinta a la longitud de su ancho " $W$ ", siendo de las utilizadas.

Los estados de diseño más adecuados consisten en elegir sustratos con valores aproximados a la unidad, aunque en el diseño de microcinta no sea así [13].

Comúnmente la alimentación y la antena se trazan de igual forma en el sustrato y al elegir de baja permitividad se obtiene un aumento en la capacidad de radiación de una antena, mejorando la naturaleza del trazo de las líneas de microcinta que estas lo alimentan, dando así como un resultado negativo el que no propaguen todas las ondas por sobre su diseño y dando así radiaciones espurias que modificarán la respuesta de la misma [5].

### **2.2.1 ALIMENTACIÓN POR INSERCIONES DE LINEAS DE TRANSMISIÓN**

Consiste en introducir una línea de transmisión dentro del parche por medio de las ranuras [3]. El diseño y control de esta se vuelve muy fácil, porque en relación con el aumento del espesor del sustrato “h” las radiaciones espurias y ondas superficiales en el punto de alimentación ondas superficiales y las raditaciones espurias en el punto de alimentación se incrementan, siendo así que limite demasiado el ancho de banda en los diseños prácticos [13].

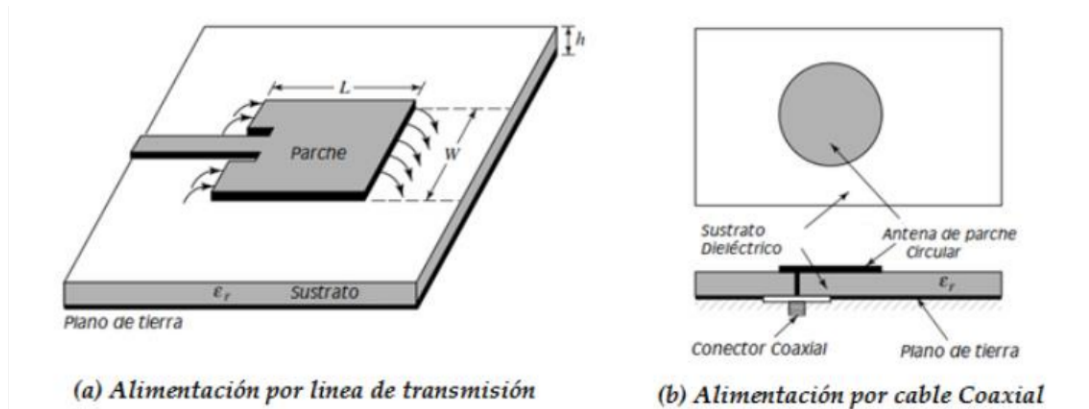
### **2.2.2 ALIMENTACIÓN POR INSERCIONES Y CABLE COAXIAL**

La representación es mediante una perforación muy contigua al centro del parche, mediante el conductor exterior se añade al plano de tierra y el conductor central del cable añade al parche, esto se ejemplifica en la figura 17 (b).

Siendo un método superior, porque da resultados muy prometedores en las radiaciones espurias significativas, denotando que siempre hay una separación entre la línea de alimentación y el diseño de la antena, porque los materiales contienen propiedades dieléctricas distintas, además de que en donde se diseña expresa una cantidad alta en el cable coaxial y en el de Permitividad bajo, esto se ejemplifica en la figura 17 (a) y la figura 17 (b), observando la desigualdad, en las cuales las dos son trazadas en un sustrato de igual permitividad, siendo forzadas a radiar y contener la mayor cantidad de señal posible cada una, volviéndolo problemático porque la naturaleza de la situación no es la más agradable entre una antena y una microcinta llegando a la relación inversa con relación al valor de permitividad [4].



A diferencia del cable coaxial, porque esta problemática no sucede en la permitividad del dieléctrico del cable coaxial y la del sustrato siendo distintas y no volviéndose necesario en comprometerse entre la alimentación y el diseño de la antena, existiendo la problemática del uso de cables coaxiales en arreglos de antenas para suministrar cada componente y complicando así el trazado, porque aumentan el número de elementos y estos requieren de más conexiones que se traducen en más cables, llegando a ser un diseño nada práctico, antiestético y de difícil construcción y acoplamiento [2].



**Figura 17.- a) Línea de transmisión [8]. b) Cable Coaxial [8].**

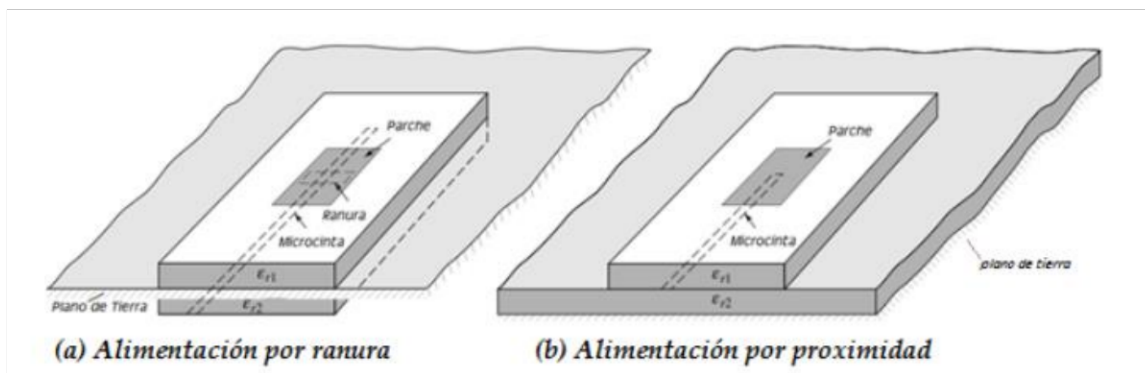
### 2.2.3 ALIMENTACIÓN POR RANURAS O APERTURAS EN EL PLANO DE TIERRA

Siendo las más difíciles de fabricar y con un “ $W$ ” pequeño, pero con poca radiación espuria.

Se conforman mediante el diseño el cual se realiza individualmente en cada estructura, mediante dos dieléctricos diferentes que asocian un plano de tierra, situándolo entre ambas estructuras, mostrándolo en la figura 18 (a), donde el campo eléctrico se acopla mediante una ranura en el plano de tierra, cerca del centro del parche o donde la antena presente el mejor acoplamiento, obtenido la mejora en el diseño, entre la microcinta y la antena porque se vuelven independientes y dejan de tener convergencia entre la selección de un sustrato que contemple tanto en la radiación de la antena de parche como en la propagación en la línea de transmisión [1].

## 2.2.4 PROXIMIDAD POR ALIMENTACIÓN

Se conforma en diseñar en dos sustratos dieléctricos de distinta permitividad, teniendo en cuenta el valor menor de una antena de microcinta pero asocian el plano de tierra, donde se encuentra debajo de las dos geometrías, en primer lugar la antena, a la mitad la microcinta y al final el plano de tierra, esto se representa en la figura 18 (b) [1].



**Figura 18.-** a) Ranura por Alimentación (Izquierda) [8].  
b) Proximidad por Alimentación (Derecha) [8].

## 2.2.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS SOBRE LAS ANTENAS TIPO PARCHE

Existe un gran número de antenas tipo parche con distintas geometrías, mediante las que se pueden tomar en cuenta para trazarlas, teniendo independencia para ofrecer muchos tipos de proyectos y trazos, tomando siempre en cuenta que los radiadores sean eficientes, sus parámetros y sabiendo que en cualquier ventaja siempre habrá un compromiso de satisfacer cada una de las exigencias que requieren determinadas aplicaciones, estableciendo siempre: el peso o la portabilidad, las dimensiones, etc., y siendo posible el poder elegir técnicas y distintos materiales más precisos y correctos para el diseño; tomando en cuenta que existen algunos muy específicos para cada área que se desea abarcar.

## Ventajas

- △ Bajo perfil de montaje
- △ Bajo peso
- △ Fácil fabricación
- △ Estructura Plana y/o flexible
- △ Bajo costo de Producción
- △ Son antenas relativamente pequeñas

## Desventajas

- ▽ Pérdidas por ondas superficiales
- ▽ Radiaciones espurias en alimentación
- ▽ Baja ganancia
- ▽ Baja eficiencia

# **CAPÍTULO 3. METODOLÓGIA Y DESARROLLO**

## **3.1 DISEÑO DE ANTENAS MEDIANTE TCAD (DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA)**

Es un software que analiza la componente electromagnético tridimensional (EM 3D), es de alto rendimiento, usado para analizar, diseñar y optimizar sistemas y componentes electromagnéticos o también conocidos como EM [21].

Los solucionadores numéricos de los programas de diseño asistido por computadora (TCAD) de campo electromagnético para aplicaciones de todo el espectro, son encontrados adentro de una interfaz de usuario que pueden acoplarse para llevar a cabo simulaciones híbridas, lo cual hace que los ingenieros tengan la facilidad de analizar una gama amplia de sistemas de una forma directa y eficiente. La optimización nos da la libertad del uso de prototipos virtuales que pueden identificar y menguar con ciertos posibles problemas, optimizando el rendimiento del dispositivo y disminuyendo el número de prototipos físicos necesarios porque aminora el alto riesgo en fracasar en las pruebas.

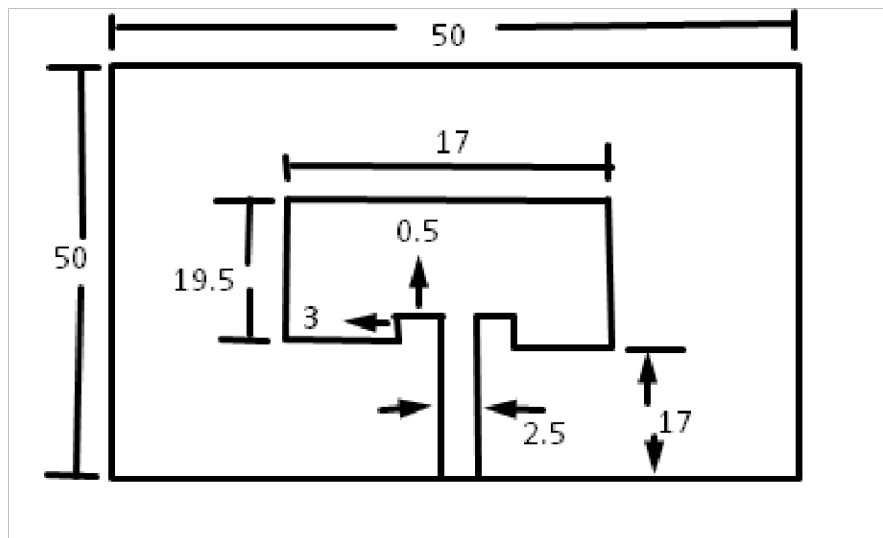
## **3.2 PROPUESTA DEL DISEÑO**

Revisando exhaustivamente la literatura sobre antenas tipo parche, se encuentran deficiencias en diseños actuales, tales como en la geometría (ya que a la fecha no se cuenta con una gran expertiz en cuanto al diseño), adaptación (para ser usada en distintas aplicaciones tecnológicas), frecuencia de trabajo (porque son reducidas en alcance en el rango de frecuencias de 1900 MHz, siendo esté factor un limitante en el desempeño de su conectividad, comparándolas con las tecnologías actuales, tales como la 4.5G LTE-A Pro y 5G) y en la optimización [3]-[5]. Desde los primeros diseños han surgido varias innovaciones, ya sea como en su estructura y en las aplicaciones, lo que antepone a este tipo de investigación como uno de los más llamativos cuando de microondas se habla, llevándonos así a concentrarnos en mejorar la antena con un mayor alcance y patrón de radiación en el orden de los -33 dB's, buscando optimizar con un material distinto, en este caso el de la implementación de un material como el laminado de alta frecuencia Rogers RO3003

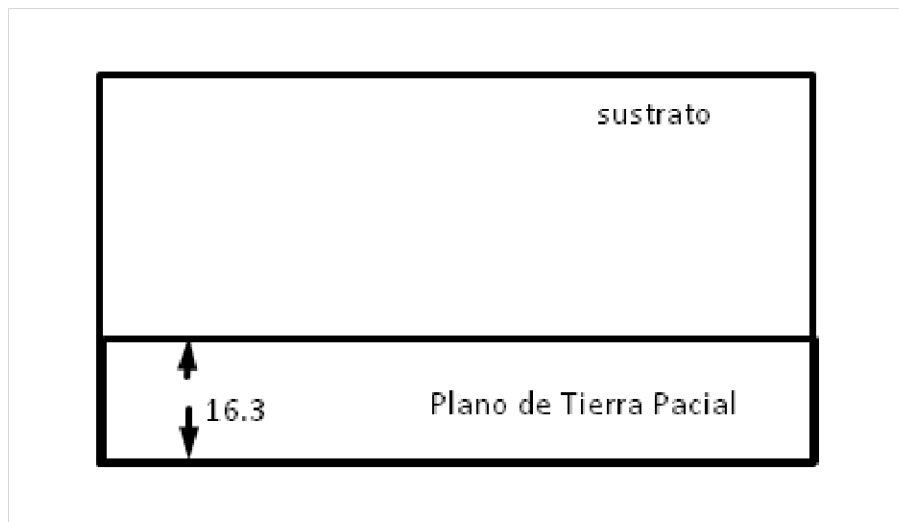
(compuesto de PTFE rellenos de cerámica que se implementa en placas de circuitos impresos en usos comerciales de RF y microondas) mejorando sus atributos (tales como disminuir su tamaño), los cuales permiten un mejor desempeño en la transición y recepción de dicha antena.

Los siguientes son los valores finales de la antena tipo parche a optimizar:

- **Sustrato Rogers 3003**
- **Permitividad = 3.0**
- **Espesor del sustrato = 1.5mm**



**Figura 19.- Vista delantera Sustrato Rogers 3003 [22].**



**Figura 20.- Vista Trasera Sustrato Rogers 3003 [22].**

### 3.3 LAMINADOS RO3003

Laminados de alta frecuencia Rogers RO3003 es un compuesto de PTFE rellenos de cerámica para su implementación en placas de circuito impreso en usos comerciales de RF y microondas, como se representa en la figura 20.



**Figura 21.- Laminado RO3003 [23].**

Otorgan una muy buena estabilidad de la constante dieléctrica (Dk) en frecuencias y temperaturas. También anexa la eliminación del cambio escalonado en Dk que a menudo ocurre cuando se ve afectado por la temperatura ambiente en materiales de vidrio de PTFE. Idóneo para usos que incluyen radares automotrices (77 GHz), asistencia al conductor en sistemas avanzados (ADAS) e infraestructura inalámbrica 5G (onda mm).

Características:

- Constante dieléctrica de  $3.00 \pm 0.4$
- Factor de disipación de 0,0010 a 10GHz.
- Coeficiente lineal de expansión térmica baja, en los ejes X, T y Z de 17, 16 y 25ppm/°C respectivamente.

Beneficios:

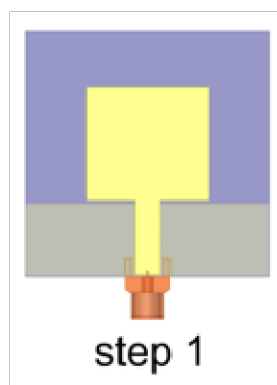
- La baja pérdida de la constante dieléctrica acepta su uso en aplicaciones hasta 77GHz.
- Certificado ISO 9001 con un precio económico de la lamina.

El lector que quiera conocer más características acerca del sustrato Rogers 3003 puede consultar la hoja de especificaciones [3,4], dónde 3 es el número de referencia por orden de aparición [23].

### 3.4 PROPUESTA DE SOLUCIÓN MEDIANTE OPTIMIZACIÓN

Mediante el uso del simulador TCAD (programa de diseño asistido por computadora por sus siglas en inglés) se modelaron los patrones de radiación de la respuesta de la antena usando diferentes materiales dieléctricos, con el objetivo de conseguir una optimización que mejorara la respuesta de la antena.

Se tomó como referencia la publicación hecha por Hasan et al [5] quienes llevaron a cabo una antena tipo parche y nosotros tomamos de referencia parte de una de sus primeras fases de la antena (la señalada en el paso 1 – *step 1* -).



**Figura 22.-** Primera Fase de la antena [5].

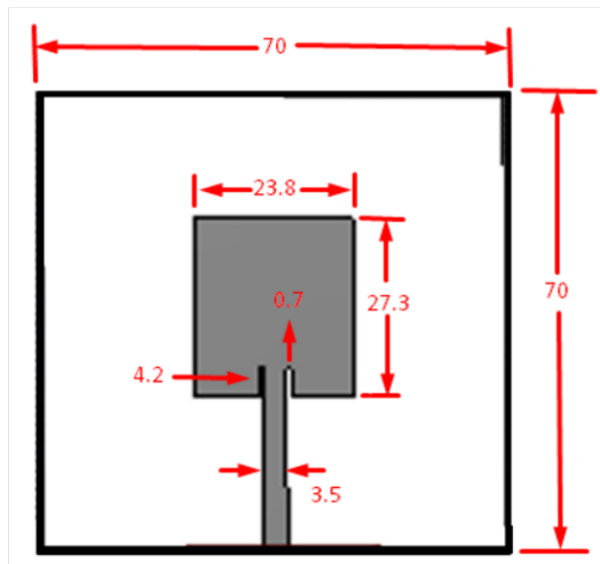
En la tabla 6 se muestran los parámetros de modelado de la antena reportados por Hasan, Chou y Bashir, es decir, la geometría de la antena y características dieléctricas y magnéticas del sustrato [5].

<b>Parámetros</b>	<b>W</b>	<b>L</b>	<b>P<sub>w</sub></b>	<b>P<sub>L</sub></b>	<b>T<sub>w</sub></b>	<b>T<sub>L</sub></b>
<b>Valor (mm)</b>	40	40	20	18.5	4	12.1
<b>Parámetros</b>	<b>G<sub>L</sub></b>	<b>n<sub>w</sub></b>	<b>n<sub>L</sub></b>	<b>g</b>	<b>S<sub>L</sub></b>	<b>S<sub>w</sub></b>
<b>Valor (mm)</b>	11.95	4	1.4	0.55	3.68	0.4
<b>Parámetros</b>	<b>t<sub>g</sub></b>	<b>t<sub>d</sub></b>	<b>t<sub>b</sub></b>	<b>t<sub>h</sub></b>	<b>U<sub>g</sub></b>	<b>U<sub>w</sub></b>
<b>Valor (mm)</b>	1.9	3.6	6.6	10.1	1	0.8
<b>Parámetros</b>	<b>U<sub>d</sub></b>	<b>U<sub>L</sub></b>	<b>f<sub>L</sub></b>	<b>f<sub>w</sub></b>	<b>f<sub>d</sub></b>	<b>S<sub>p</sub></b>
<b>Valor (mm)</b>	7.5	13	0.7	8.1	1.2	7

**Tabla 6.-** Tabla de dimensiones óptimas propuestas de la antena [5].

Este trabajo presenta una técnica de mejora del ancho de banda de una antena monopolo con la ayuda de DGS, además, las investigaciones experimentales relacionadas con el rendimiento en el dominio del tiempo de la antena monopolo UWB propuesta, dando como resultado la dispersión y comunicación libre [5].

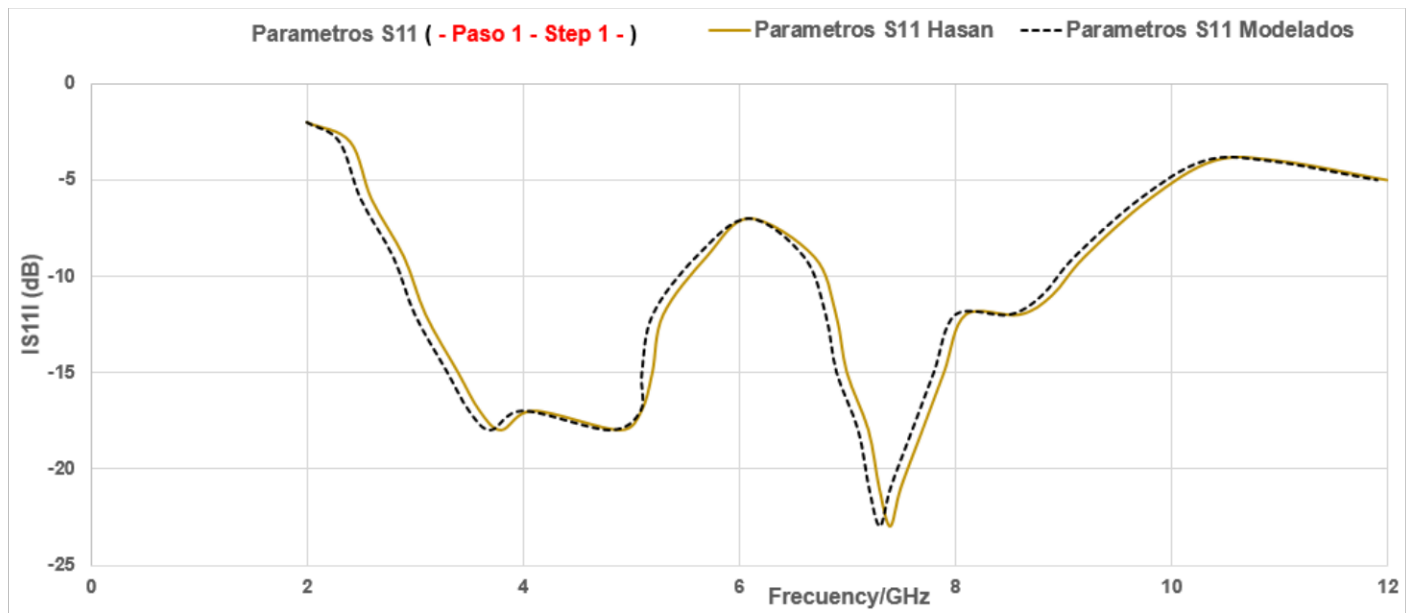
El uso de esta antena monopolo permite proponer antenas MIMO 2x2 y 4x4 con varias métricas de diversidad como aislamiento ECC, DG y CCL; siendo evaluados y encontrados dentro de los límites aceptables. Las antenas propuestas son compactas y planas y son adecuadas para dispositivos UWB portátiles [5].



**Figura 23.- Geometría de la antena tipo parche hecha Hasan et al. [5].**

De esta forma llevamos a cabo la optimización de la antena Hasan et al [5], solo desarrollando la primera fase, dando como resultado la gráfica que a continuación se muestra en la figura 23, la cual hace una comparación entre la gráfica extraída de la literatura y la gráfica modelada.





**Figura 24.-** Gráfica que hace comparación de los parámetros S11 de la primera fase del Dr. Md Nazmul Hasan con respecto al modelado hecho por el software de optimización [5].

Posteriormente fue ajustado con respecto a nuestros parámetros requeridos para mostrar el rango próximo de frecuencia de 3.7 GHz de la antena optimizada.

En la propuesta de solución de la antena, se comenzó optimizando una antena común tipo parche encontrada en la investigación y se modeló mediante las siguientes especificaciones, parámetros y materiales, mismas que se tomaron en cuenta como base para está.

- Frecuencia mínima = 0.6 GHz
- Frecuencia máxima = 6 GHz
- Sw = Ancho del Sustrato = 50 mm
- SL= Largo del Sustrato = 50 mm
- SH = Profundidad o Espesor del Sustrato = 1.5 mm
- GL = Ancho de la tierra = 16.3 mm
- Mt = Espesor de la tierra = 0.035 mm
- MW = Ancho del rectángulo que junta la microcinta con la tierra = 2.5 mm
- ML= Largo del rectángulo que junta la microcinta con la tierra, antes de entrar a las ranuras = 17 mm
- PW = ancho de la microcinta = 17 mm

- PL= largo de la microcinta = 19.5 mm
- InW = ancho de las ranuras = 0.5 mm
- InL = largo de las ranuras = 3 mm
- K = ancho de tierra física = 6.04 mm

1 Microcinta con las siguientes propiedades:

-Material PEC = Conductor Eléctrico Perfecto o PTFE = Poli tetrafluoretileno.

-Con una Condición Térmica PTC o Perfecta Condición Térmica.

1 Substrato de Material laminado de alta frecuencia Rogers RO3003 (compuesto de PTFE rellenos de cerámica), con las siguientes propiedades:

-De tipo normal.

-Con  $\epsilon = 3$

-Con  $\mu = 1$

-Con un electric tand = 0.001 (constante fit).

-Una condición térmica de 0.5 (W/K/m).

1 Tierra con las siguientes propiedades:

-Material PEC = Conductor Eléctrico Perfecto o PTFE = Poli tetrafluoretileno

-Con una condición térmica PTC o perfecta condición térmica

1 Puerto con las siguientes propiedades:

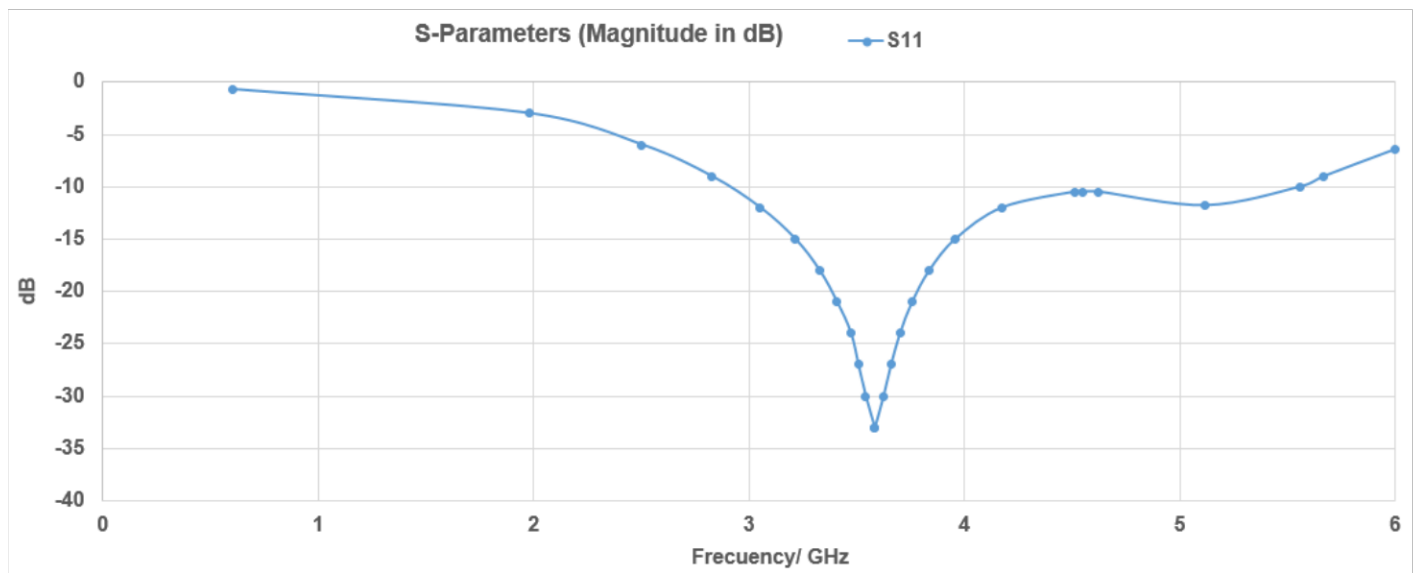
-Ningún blindaje.

-Número de modos = 1

-Ningún ángulo de polarización.

-Dist. A ref. Plano = 0

En la figura 25 nos despliega el parámetro S11 de la antena tipo parche simulada, en esta propuesta de simulación, aparece una gráfica que tiene como referencia en el eje "x" a los dB y en el eje "y" la frecuencia en GHz, lo que proporciona una magnitud en dB, pero nos presenta un mínimo en frecuencia de 3.585 GHz, el cual es el que más se aproximó al rango de frecuencias buscado de 3.7 GHz.



**Figura 25.-** *Parámetro S11 de Magnitud en dB's de la propuesta de optimización para la antena tipo parche.*

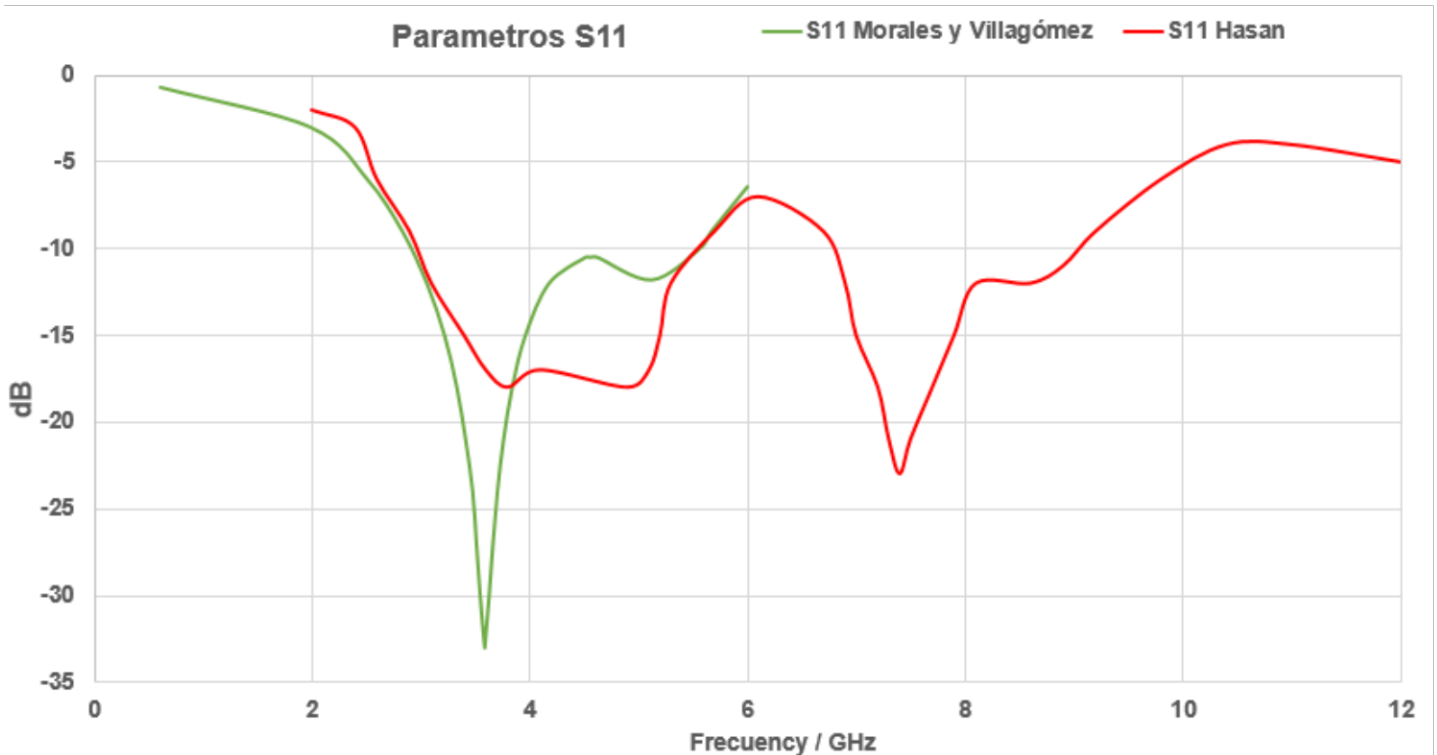
Esta respuesta cumple el objetivo particular y por esta razón fue seleccionada como idónea en este caso, ya que presenta su parámetro en el rango buscado.

Nota: La mejor optimización obtenida del dispositivo fue del orden de -33 dB y en frecuencia de 3.59 GHz como se mostró en la figura 25.

## ANALISIS COMPARATIVO DE LOS PARAMETROS S11

En la prueba de los parámetros S11, que se muestra de color rojo hecha por Hasan et al [5], nos podemos dar cuenta que tiene un rango de frecuencia de 2 a 12 GHz, con respecto a la nuestra que tiene un rango de frecuencia de 0.6 a 6 GHz, también se aprecia que en dB's Hasan tiene una variedad de mínimos con órdenes distintos, pero a pesar de esto, se denota con un mínimo del orden de los -23 dB's, con respecto al nuestro en el cual apreciamos la optimización modelada porque nuestras medidas y rangos ocupados nos muestran un mínimo en el orden de los -33 dB's, haciendo esto, que nuestra antena tenga una mayor ganancia.

En la prueba de los parámetros S11, que se muestra de color verde, se aprecia una aproximación de frecuencia a 3.585 GHz el cual es el que más se aproximó al rango buscado de frecuencia de 3.7 GHz, considerando esta optimización lo más próximo al objetivo buscado.



**Figura 26.-** Análisis de Parámetros S11, relación entre dB's y frecuencia de la prueba de optimización para la antena tipo parche.

## CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

Se llega a la conclusión de que el parámetro S11 es el coeficiente de reflexión del puerto de entrada, esta entrada son las señales que se ven reflejadas en la figura 26, haciendo una comparativa entre los parámetros de Hasan y los nuestros, donde Hasan *et al.* proponen el diseño de una antena en un rango de frecuencia de 3.18 a 11.5 GHz, a pesar de esto nosotros no buscábamos un rango tan elevado en frecuencia, ya que nuestro objetivo es el aproximarnos a un rango de frecuencia de 3.7 GHz, la cual es considerada para ser usada en la tecnología 5G, llegando a esta aproximación mediante el modelado de nuestra antena tipo parche, proponiendo un rango de frecuencia de 0.6 a 6 GHz y un diseño con las siguientes medidas, las cuales son las siguientes: 50x50 milímetros al cuadrado del sustrato, un espesor de 1.5 milímetros, 17x19.5 milímetros al cuadrado en la microcinta, una extensión de 17x2.5 milímetros al cuadrado, ranuras en la parte inferior de la microcinta de 3x0.5 milímetros al cuadrado y un plano de tierra de 50x16.3 milímetros al cuadrado en la parte inferior trasera del sustrato. Estos parámetros S11 son visualizados siempre y cuando se muestre la gráfica con una relación entre dB's y frecuencia, en este caso la frecuencia se encuentra en GHz.

El modelado de este diseño nos presenta un mínimo del orden de -33 dB's y este a su vez con una aproximación buscada en frecuencia de 3.7 GHz. Concluyendo así que las dimensiones de la antena con un parche cuadrado y con el uso del material conocido como laminado Rogers 3003 o RO3003, nos permite llegar al resultado cumpliendo con los objetivos.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Nawaz, S., Latrach, M., & Poutain, S. (2005). *Theoretical Investigation of a Circular Patch Antenna in the Presence of a Left-Handed Metamaterial* (Vol. 4). Thailand: IEEE.
- [2] Jun, H., Chun-sheng, Y., & Qing-chun, L. (2006). *New Patch Antenna with MTM Cover*. Bangkok: J Zhejiang University SCIENCE.
- [3] Garg, B., & Sabharwal, A. (2011). *Microstrip Patch Antenna Incorporated with Left Handed Metamaterial at 2.4 GHz*. India: International Conference on Communication Systems and Network Technologies.
- [4] Vicenti, R., Rossi, R., & Dionigi, M. (2021). *Single-Layer Line-Fed Broadband Microstrip Patch Antenna on Thin Substrates*. Italy: Electronics.
- [5] Hasan, M., Chu, S., & Bashir, S. (2019). *A DGS monopole antenna loaded with U-shape stub for UWB MIMO applications* (Vol. 61). South Korea: Microwave and Optical Technology Letters.
- [6] Hernández, M. (2021). *La red 5G en México se queda atrás*. México: FORBES MÉXICO De Statista, Ericsson Base de datos.
- [7] Lainez, C., Schmidt, K., & Andrade, A. (2020). *Visión y prospectiva de la conectividad 5G*. México: Instituto Federal de Telecomunicaciones.
- [8] Stutzman, Warren, L., Thiele, & Gary, A. (1981). *Antenna theory and design*. New York: John Wiley & Sons.
- [9] Garg, R. (2001). *Microstrip antenna design handbook*. Boston: Artech House.
- [10] Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. México: Pearson Educación.
- [11] OPTICA, F. (15 de Marzo de 2021). *FUNDACION CARLOS SLIM*. Obtenido de Capacitateparaeempleo: web:  
<https://capacitateparaeempleo.org/pages.php?r=.tema&tagID=2710&load=2933&n=0>
- [12] México, P. d. (20 de Marzo de 2019). *Unidad de Espectro Radioelectrico*. Obtenido de Instituto Federal de Telecomunicaciones.:  
<http://www.ift.org.mx/sites/default/files/panoramadelespectroradioelectricoenmexicopara5g.pdf>

- [13] Aguado, F. (2016). *DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS DE PARCHE PEQUEÑAS A 3.7 GHZ BASADO EN UNA ESTRUCTURA METAMATERIAL*. México: IPN.
- [14] Guha, D., & Antar, M. (2010). *Microstrip and Printed Antennas: New Trends, Techniques and Applications*. Estados Unidos de América: WILEY.
- [15] Luna, A. (2018). *Antenas en Óptica y Electrónica*. Puebla: Instituto Nacional de Astrofísica.
- [16] Albero, A. (2017). *DESARROLLO DE UNA GUI PARA LA REPRESENTACIÓN 2D Y 3D DEL DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE ANTENAS*. España: Universidad de Alicante.
- [17] Turmero, P. (30 de Diciembre de 2009). *Las Antenas*. Obtenido de monografias.com: <https://www.monografias.com/trabajos105/antenas-conductores/antenas-conductores.shtml>
- [18] Kaschel, H. (Octubre de 13 de 2018). *Geometría de la Antena Parche Microcinta*. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/figure/Geometria-de-la-Antena-Parche-Microcinta\\_fig2\\_284184331](https://www.researchgate.net/figure/Geometria-de-la-Antena-Parche-Microcinta_fig2_284184331)
- [19] Huck, M. (29 de Abril de 2018). *Resolviendo circuitos RLC*. Obtenido de marcoshuck: <https://marcoshuck.medium.com/resolviendo-circuitos-rlc-a535e44c5b32>
- [20] Castrillón, S. (2016). *IMPLEMENTACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ANTENA MICROSTRIP EN GEOMETRÍA DE ANILLO*. Colombia: ITM.
- [21] SIMULIA. (2018, Enero 15). *CST STUDIO SUITE*. Retrieved from Dassault Systemes: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/cst-studio-suite/>
- [22] Tensorbundle. (2021, Marzo 2). *CST Tutorial: Wideband Microstrip Patch Monopole Antenna*. Retrieved from Youtube: <https://youtu.be/RnubpFGeHXk>
- [23] Materials, R. S. (11 de Junio de 2019). *Advanced Connectivity Solutions*. Obtenido de Rogers Corporation: <https://www.rogerscorp.cn/-/media/project/rogerscorp/documents/advanced-electronics-solutions/english/data-sheets/ro3000-laminate-data-sheet-ro3003----ro3006----ro3010----ro3035.pdf>

## 6. GLOSARIO

### A

ADAS: Sistemas avanzados de asistencia al conductor., 47

### B

BW: Ancho de Banda, 27

### E

EHF: Extremadamente Alta frecuencia, 17

EM: Espectro Magnético, 45

### F

FCC: Comisión Federal de Comunicaciones, 17

FNBW: Ancho de haz de los primeros nulos., 23

### H

HF: Alta Frecuencia, 16

HPBW: Ancho del haz de mediana., 23

### I

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, 12, 14, 16

### L

L: Largo, 16, 31, 32

LF: Baja Frecuencia, 16

LOS: Línea de mira, 15

LTE: Long Term Evolution, 19

### M

MF: Frecuencia Media, 16

### O

OEM: Ondas Electromagnéticas, 15

### P

PTFE: Conocido químicamente como politetrafluoroetileno y coloquialmente como Teflon, 10, 11, 46, 47

Pz: Vector de Poynting, 32

### S

SHF: Super Alta Frecuencia, 16

### U

UHF: Ultra Alta Frecuencia, 16

### V

VHF: Muy Alta Frecuencia, 16

VLF: Muy Baja Frecuencia, 16

VSWR: Voltage Standing Wave Ratio, 27

### W

W: Ancho, 31, 33, 36

### Y

Yagi-Uda: Antena direccional inventada en 1926, por Hidetsugu Yagi de la Universidad Imperial de Tohoku y, en menor parte, por Shintaro Uda., 13