



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**TEMA:**

**Diseño y simulación de un arreglo de antenas de microcintas con geometrías triangular y rectangular alimentadas por línea de transmisión para la banda de 2.4 GHz.**

**AUTOR:**

**Park Kim, Daniel**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de  
MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

**TUTOR:**

**Ing. Luis Córdova Rivadeneira, MSc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**30 de enero de 2017**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Park Kim, Daniel**, como requerimiento para la obtención del Título de **Magister en Telecomunicaciones**.

**TUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Luis Córdova Rivadeneira, MSc.**

**DIRECTOR DEL PROGRAMA**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Manuel Romero Paz, MSc.**

**Guayaquil, a los 30 días del mes de enero del año 2017**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Park Kim, Daniel**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Diseño y simulación de un arreglo de antenas de microcintas con geometrías triangular y rectangular alimentadas por línea de transmisión para la banda de 2.4 GHz**, previo a la obtención del Título de **Magister en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 30 días del mes de enero del año 2017**

**EL AUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
**Park Kim, Daniel**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Park Kim, Daniel**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diseño y simulación de un arreglo de antenas de microcintas con geometrías triangular y rectangular alimentadas por línea de transmisión para la banda de 2.4 GHz**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 30 días del mes de enero del año 2017**

**EL AUTOR:**

f. \_\_\_\_\_  
**Park Kim, Daniel**

# REPORTE URKUND

The screenshot displays the URKUND web application interface. At the top, there is a navigation bar with the URKUND logo and a search bar. Below the navigation bar, a list of documents is shown in a table format. The table has columns for document name, status, and actions. The document 'Trabajo Titulacion Daniel Park.docx' is highlighted. Below the table, the detailed view of this document is shown, including its title, author, and a list of sources. The document title is 'Trabajo de Titulación' and the author is 'Park Kim, Daniel DECLARO QUE EI RESPONSABILIDAD Yo, Park Kim, Daniel'. The document content includes a title 'Trabajo de Titulación', a description 'Diseño y simulación de un arreglo de antenas de microondas con geometrias triangulary rectangular alimentadas por linea de transmisión para la banda de 2.4 GHz', and a list of sources including 'Novel Enabling Techn...' and 'Optical ladd / drop ar...'. The interface also shows a sidebar with navigation options and a bottom status bar with system information.

Documento	Presentado	Recibido por	Mensaje
Trabajo Titulacion Daniel Park.docx (D21971126)	2016-09-25 19:27 (05:00)	orlandophilco_7@hotmail.com	Trabajo de Titulación

1% de esta aprox. 32 paginas de documentos largos se componen de texto presente en 2 fuentes.

**Trabajo de Titulación**

Diseño y simulación de un arreglo de antenas de microondas con geometrias triangulary rectangular alimentadas por linea de transmisión para la banda de 2.4 GHz,

previo a la obtención del Título de Magister en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando de derechos intelectuales de terceros conforme a las citas que constan en el documento, cuyos fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido. Guayaquil, a los (día) (del mes de (mes) del año (año) EL

**AUTOR**

Yo, Park Kim, Daniel

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución

Reporte Urkund a Tesis Maestría de Park Kim, Daniel al 1%

Ing. Orlando Philco Asqui MSc.  
Revisor

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia agradezco a Dios por darme fuerza y valor para culminar esta etapa en mi vida.

Agradezco infinitamente a mi madre por ser la amiga y compañera que me ha ayudado a crecer, quien con su afecto y dedicación me ha demostrado su amor y apoyo incondicional en todo momento y ser mi ejemplo a seguir.

También me gustaría agradecer al Ing. Efraín Suarez por toda la colaboración brindada durante la elaboración de este proyecto, por sus consejos y enseñanzas y más que todo por su amistad.

A mi tutora la Ing. María Luzmila Ruilova Aguirre, MSc por su valiosa guía y asesoramiento quien con sus conocimientos, experiencia y motivación ha hecho posible este proyecto.

## **DEDICATORIA**

Quiero comenzar dedicando esta tesis a Dios quien me guio siempre por el camino correcto y me dio la sabiduría necesaria en cada paso dado.

También quiero dedicarle esta tesis a mi madre quién supo darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi hermana quien también a estado siempre ahí incondicionalmente apoyándome, aconsejándome y dándome fuerzas para seguir adelante en todo momento



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Luis Córdova Rivadeneira, MSc.**  
TUTOR

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Orlando Philco Asqui, MSc.**  
REVISOR

f. \_\_\_\_\_

**Ing. María Luzmila Ruilova Aguirre, MSc.**  
REVISOR

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Manuel Romero Paz, MSc.**  
DIRECTOR DEL PROGRAMA



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	17
Justificación.....	17
Antecedentes del problema.....	18
Problema a resolver.....	18
Objeto de estudio .....	18
Objetivo General .....	19
Objetivos Específicos .....	19
Hipótesis .....	19
Metodología.....	19
CAPÍTULO 1. TEORÍA DE LAS ANTENAS .....	21
1.1 Definición de antena.....	21
1.2 Patrón de radiación .....	22
1.3 Directividad .....	25
1.4 Ganancia.....	26
1.5 Impedancia de entrada.....	27
1.6 Ancho de Banda .....	28
1.7 Tipos de antenas .....	28
1.8 Antenas de microcintas .....	30
1.9 Técnicas de alimentación .....	32
1.9.1 Alimentación por línea de microcinta.....	33
1.9.2 Alimentación por sonda coaxial.....	34
1.9.3 Acoplamiento por proximidad.....	35
1.9.4 Acoplamiento por apertura.....	36
1.10 Ventajas y desventajas.....	37
1.11 Utilidades.....	38
CAPITULO 2 ASPECTOS GENERALES DE LOS ARREGLOS .....	39
2.1 Arreglos de antenas .....	39
2.2 Configuraciones de los arreglos .....	40
2.2.1 Redes de alimentación en paralelo.....	40
2.2.2 Redes de alimentación en serie.....	42
2.3 Tipos de arreglos de antenas.....	43
2.4 Divisores de potencia .....	47
2.4.1 Divisor de potencia de cavidad resonante.....	48

2.4.2	Divisor de potencia de Wilkinson .....	50
2.4.3	Divisor de potencia de unión-T.....	52
CAPITULO 3.    DISEÑO Y SIMULACION DE LAS ANTENAS .....		54
3.1	Antena de microcintas con geometría triangular. Diseño de un elemento del arreglo.....	54
Tabla 3.1. Características de los materiales. ....		54
3.2	Simulación de un elemento del arreglo .....	55
3.3	Diseño y simulación de un arreglo de dos elementos alimentados de forma individual. ....	57
3.4	Diseño y simulación del divisor de potencia unión-T.....	59
Tabla 3.2. Valores iniciales del divisor de potencia.....		60
3.5	Diseño y simulación del arreglo de dos elementos alimentados por un divisor de potencia unión-T. ....	61
3.6	Antena de microcintas con geometría rectangular. Diseño de un elemento del arreglo.....	64
Tabla 3.3. Dimensiones de la antena.....		65
Tabla 3.4. Dimensiones de la línea de alimentación.....		65
Tabla 3.5. Dimensiones del sustrato .....		66
3.6.1	Simulación de un elemento alimentado por línea de transmisión... ..	66
3.6.2	Variando el punto de alimentación. ....	69
3.7	Diseño y simulación de un arreglo de dos elementos alimentados de forma individual.....	72
3.8	Diseño y simulación del divisor de potencia unión-T.....	73
Tabla 3.6. Dimensiones del divisor de potencia. ....		75
3.9	Diseño y simulación del arreglo de dos elementos alimentados por un divisor de potencia unión-T. ....	77
CONCLUSIONES.....		82
RECOMENDACIONES.....		83
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....		84
BIBLIOGRAFÍA.....		85

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.....	54
TABLA 3.2. VALORES INICIALES DEL DIVISOR DE POTENCIA.....	60
TABLA 3.3. DIMENSIONES DE LA ANTENA .....	65
TABLA 3.4. DIMENSIONES DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN.....	65
TABLA 3.5. DIMENSIONES DEL SUBSTRATO.....	66
TABLA 3.6. DIMENSIONES DEL DIVISOR DE POTENCIA.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA. 1.1. SISTEMAS DE COORDENADAS PARA ANÁLISIS DE ANTENAS .....	22
FIGURA.1.2. PATRÓN DE ANTENA OMNIDIRECCIONAL.....	23
FIGURA. 1.3. PATRÓN DE RADIACIÓN TOROIDAL .....	24
FIGURA.1.4. PATRÓN DE RADIACIÓN FILIFORME .....	24
FIGURA. 1.5. PATRÓN DE RADIACIÓN HAZ DE ABANICO.....	24
FIGURA. 1.6. PATRÓN DE RADIACIÓN COSECANTE.....	25
FIGURA.1.7. TIPOS DE LÓBULOS DE LAS ANTENAS.....	26
FIGURA. 1.8. ANTENA CON GENERADOR .....	27
FIGURA. 1.9. A) ANTENA DIPOLO. B) ANTENA ESPIRAL. C) ANTENA YAGI.....	29
FIGURA.1.10. ANTENAS DE APERTURA .....	29
FIGURA. 1.11. AGRUPACIONES DE ANTENAS .....	30
FIGURA.1.12. ANTENA PLANA .....	30
FIGURA.1.13. FORMAS COMUNES DE PARCHE DE UNA MICROCINTA .....	31
FIGURA.1.14. FORMAS RECTANGULAR Y CIRCULAR DE UNA ANTENA DE PARCHE DE MICROCINTA.....	33
FIGURA.1.15. PARCHE ALIMENTADO A TRAVÉS DE UNA LÍNEA DE MICROCINTA IMPRESA .....	34
FIGURA. 1.16. ALIMENTACIÓN POR SONDA COAXIAL.....	35
FIGURA. 1.17. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN ACOPLAMIENTO POR PROXIMIDAD DE UNA ANTENA DE MICROCINTA .....	35
FIGURA 1.18 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN ACOPLAMIENTO POR APERTURA.....	36
FIGURA. 2.1. DISTRIBUCIÓN DE UN ARREGLO DE MXN ELEMENTOS .....	40
FIGURA.2.2. CONFIGURACIONES EN PARALELO. A) INTERIOR-HORIZONTAL Y B) INTERIOR-VERTICAL.....	41
FIGURA.2.3. ARREGLOS EN PARALELO. A) EXTERIOR-INTERIOR Y B) EXTERIOR- EXTERIOR .....	42
FIGURA.2.4. ARREGLO EN SERIE. A) ALIMENTACIÓN EN LÍNEA. B) ALIMENTACIÓN FUERA DE LÍNEA. ....	42
FIGURA. 2.5. ARREGLO DE N ELEMENTOS .....	43
FIGURA. 2.6. ARREGLO LINEAL DE 6 ELEMENTOS.....	44
FIGURA.2.7. ARREGLO LINEAL DE N ELEMENTOS CON MEZCLADORES PROPIOS .....	45
FIGURA. 2.8. GEOMETRÍA DEL ARREGLO BIDIMENSIONAL .....	46

FIGURA.2.9. APLICACIÓN TÍPICA DE UN DIVISOR DE POTENCIA .....	47
FIGURA. 2.10. MODELO DE CAVIDAD RESONANTE DE UN SEGMENTO CIRCULAR ....	48
FIGURA.2.11. DIVISOR DE POTENCIA DE CAVIDAD RESONANTE. PRIMER PLANTEAMIENTO .....	48
FIGURA.2.12. DIVISOR DE POTENCIA DE CAVIDAD RESONANTE. SEGUNDO PLANTEAMIENTO .....	49
FIGURA.2.13. CONSIDERACIÓN DE APROXIMACIÓN DEL PUERTO DE ENTRADA .....	50
FIGURA.2.14. DIVISOR DE POTENCIA DE WILKINSON CON RESISTENCIAS A NODO COMÚN .....	51
FIGURA.2.15. MODELO PLANAR DEL DIVISOR DE POTENCIA DE WILKINSON .....	51
FIGURA.3.1. ANCHO DE LA LÍNEA CALCULADO EN EL PCAAD .....	55
FIGURA.3.2. ANTENA INDIVIDUAL .....	55
FIGURA.3.3. ANCHO DE BANDA DE LA ANTENA .....	56
FIGURA.3.4. IMPEDANCIA DE ENTRADA DE LA ANTENA.....	56
FIGURA.3.5. GANANCIA TOTAL DE LA ANTENA .....	56
FIGURA.3.6. DIRECTIVIDAD TOTAL DE LA ANTENA .....	57
FIGURA.3.7. DISEÑO DEL ARREGLO DE DOS ELEMENTOS ACOPLADOS POR LÍNEA DE TRANSMISIÓN .....	57
FIGURA.3.8. ANCHO DE BANDA DE LAS ANTENAS .....	58
FIGURA.3.9. IMPEDANCIAS DE ENTRADA DE LAS ANTENAS .....	58
FIGURA.3.10. GANANCIA TOTAL DEL ARREGLO CON DOS ELEMENTOS .....	59
FIGURA.3.11. DIRECTIVIDAD TOTAL DEL ARREGLO CON DOS ELEMENTOS .....	59
FIGURA.3.12. DISEÑO DEL DIVISOR DE POTENCIA UNIÓN-T.....	60
FIGURA.3.13. PÉRDIDA DE RETORNO DEL DIVISOR .....	61
FIGURA.3.14. IMPEDANCIA EN LA ENTRADA DEL DIVISOR.....	61
FIGURA.3.15. IMPEDANCIA EN SALIDA 1 DEL DIVISOR.....	62
FIGURA.3.16. IMPEDANCIA EN SALIDA 2 DEL DIVISOR.....	62
FIGURA.3.17. DISEÑO COMPLETO DE LA ANTENA.....	62
FIGURA.3.18. ANCHO DE BANDA DE LA ANTENA.....	63
FIGURA.3.19. IMPEDANCIA DE ENTRADA EN LA ANTENA.....	63
FIGURA.3.20. GANANCIA TOTAL DE LA ANTENA .....	63
FIGURA.3.21. DIRECTIVIDAD TOTAL DE LA ANTENA.....	64
FIGURA.3.22. DISEÑO DE LA ANTENA ALIMENTADA POR LÍNEA DE TRANSMISIÓN..	66
FIGURA.3.23. PÉRDIDAS DE RETORNO .....	67

FIGURA.3.24. GANANCIA DE LA ANTENA INDIVIDUAL.....	67
FIGURA.3.25. DIRECTIVIDAD DE LA ANTENA INDIVIDUAL.....	68
FIGURA.3.26. IMPEDANCIA DE ENTRADA.....	68
FIGURA.3.27. ANCHO DE BANDA.....	69
FIGURA.3.28. ANTENA DE MICROCINTAS .....	70
FIGURA.3.29. PÉRDIDAS DE RETORNO .....	70
FIGURA.3.30. IMPEDANCIA DE ENTRADA.....	70
FIGURA.3.31. GANANCIA DE LA ANTENA .....	71
FIGURA.3.32. DIRECTIVIDAD DE LA ANTENA.....	71
FIGURA.3.33. LOS DOS ELEMENTOS DEL ARREGLO.....	73
FIGURA.3.34. GANANCIA DE LOS DOS ELEMENTOS.....	74
FIGURA.3.35. DISEÑO DEL DIVISOR DE POTENCIA UNIÓN-T.....	74
FIGURA.3.36. PARÁMETROS QUE CARACTERIZAN EL DIVISOR .....	75
FIGURA.3.37. IMPEDANCIA DE SALIDA EN EL PUERTO 2.....	76
FIGURA.3.38. IMPEDANCIA DE SALIDA EN EL PUERTO 3.....	76
FIGURA.3.39. DISEÑO COMPLETO DE LA ANTENA.....	77
FIGURA.3.40. PÉRDIDAS DE RETORNO .....	77
FIGURA.3.41. IMPEDANCIA DE ENTRADA EN LA ANTENA.....	78
FIGURA.3.42. GANANCIA DEL ARREGLO DE ANTENA.....	78
FIGURA.3.43. DIRECTIVIDAD DEL ARREGLO DE ANTENA.....	79
FIGURA.3.44. GANANCIA DEL ARREGLO DE ANTENA.....	80
FIGURA.3.45. RAZÓN DE ONDA ESTACIONARIA DEL ARREGLO DE ANTENAS .....	80
FIGURA.3.46. OTROS PARÁMETROS DEL ARREGLO DE ANTENAS.....	81

## RESUMEN

En este trabajo se hace un resumen de los parámetros de las antenas de microcintas, así como sus múltiples métodos de alimentación. Se analizan las propiedades de los arreglos de antenas y de los diferentes tipos de divisores de potencia. Se realiza el diseño y simulación de un arreglo de antenas de microcintas con geometría triangular, así como de un arreglo de 2 elementos de una antena de microcintas de geometría rectangular y de un divisor de potencia tipo T para alimentar el arreglo de antenas. La técnica de alimentación utilizada es mediante línea de transmisión, a una frecuencia de 2.4 GHz. Estas simulaciones se hicieron empleando el programa HFSS v15 (High Frequency Structure Simulator, Simulador de estructuras de altas frecuencias). Se muestran, en los resultados de la simulación, los parámetros que caracterizan las antenas, tales como: ancho de banda, directividad, ganancia e impedancia de entrada

**Palabras clave:** antenas de microcintas, métodos de alimentación, divisores de potencia, HFSS, ancho de banda, directividad, ganancia e impedancia de entrada

## **ABSTRACT**

This paper presents a summary of the parameters of microstrip antennas is done as well as its multiple feeding methods. The properties of the antenna arrays and different types of power splitters are analyzed. Design and simulation of an antenna array microstrip with triangular geometry, as well as an array of two elements of an antenna microstrip rectangular geometry and splitter type T power is performed to feed the arrangement antennas. The technique is used by power transmission line at a frequency 2.4 GHz. These simulations were made using the HFSS program v15 (High Frequency Structure Simulator). Shown in the simulation results, the parameters characterizing the antennas, such as: bandwidth, directivity, gain and input impedance

**Keywords:** microstrip antennas, feeding methods, power splitters, HFSS, bandwidth, directivity, gain and input impedance



## INTRODUCCIÓN

En los finales de los años setenta surgen las primeras propuestas de antenas de microcintas y para principios de los años ochenta se establece oficialmente esta tecnología en términos de antenas y arreglos. Desde su surgimiento los diseñadores giraron su atención hacia las distintas maneras de mejorar y aprovechar las ventajas que brindan estos sistemas con la intención de incrementar las aplicaciones en las cuales pueden ser utilizadas.

Ante el desarrollo alcanzado en el mundo actual, en el cual prolifera la utilización de dispositivos móviles para comunicaciones inalámbricas, se ha convertido en una necesidad dotar a la sociedad de una cobertura de calidad. Esto ha incentivado a los investigadores del sector a preocuparse por crear dispositivos cada vez más eficientes, en términos de rendimiento y abaratamiento de costos.

El empleo de arreglos de antenas parte de que si se interconectan varias antenas mediante una red de alimentación se logra producir un patrón de radiación más direccional y alta ganancia mediante la interconexión de varios elementos de ganancia relativamente baja.

Las antenas de microcintas generalmente se han caracterizados por ser de bajo costo, robustas, bajo perfil, fácil construcción y aunque por sí solas no son capaces de lograr elevadas ganancias, esto se puede contrarrestar implementándolas en arreglos.

### **Justificación**

De acuerdo a lo ya expuesto, es de suma importancia encontrar distintas maneras de mejorar y aprovechar las ventajas que brindan estas antenas de microcintas para aumentar las aplicaciones en que se la puede emplear.

Las comunicaciones inalámbricas y los correspondientes dispositivos móviles obligan a las operadoras a brindar a sus usuarios una cobertura de calidad, esto implica la creación de dispositivos más eficientes, en lo que respecta a rendimiento y eficiencia, pero procurando mantener bajos costos.

Este trabajo se centra en las antenas de microcintas, las cuales son de bajo costo, resistentes, de bajo perfil, fácil construcción y mediante arreglos de antenas se puede mejorar la ganancia de las mismas. Se presenta una caracterización de los parámetros de las antenas de microcintas, sus diversos métodos de alimentación, las propiedades de los arreglos de antenas y de los divisores de potencia.

La investigación realizada se aplica al diseño, simulación, optimización y construcción de un arreglo de antenas de microcintas con geometría triangular y rectangular, con un divisor de potencia tipo T para alimentar el arreglo de antenas. Se emplea un método de alimentación mediante línea de transmisión y una frecuencia de operación de 2.4 GHz. Este diseño se simula mediante el software HFSS v15, para determinar el ancho de banda, directividad, ganancia e impedancia de entrada, parámetros que caracterizan las antenas.

### **Antecedentes del problema**

En la actualidad en los Sistemas de Radiocomunicaciones, está inmerso el diseño y simulación de antenas que generen radiación estable en un adecuado ancho de banda. Para lograrlo es necesario el desarrollo de antenas de microcintas en configuración de arreglos para mejorar los parámetros que caracterizan a dichos elementos en los equipos de telecomunicaciones.

El uso de este tipo de antenas para la construcción de dichos arreglos se debe a las propiedades que presentan las mismas, entre las cuales se incluyen: bajo perfil, poco peso, compacta estructura de montaje y fácil fabricación, pues de esta forma se limita las radiaciones espurias, que consecuentemente deterioran la ganancia.

### **Problema a resolver**

La necesidad de mejorar los parámetros de ancho de banda, directividad, ganancia e impedancia de entrada, que caracterizan a las antenas de microcintas en configuración de arreglos para ser utilizados en los Sistemas de Radiocomunicaciones

### **Objeto de estudio**

Sistemas de Radiocomunicaciones.

## **Objetivo General**

Realizar el diseño y simulación de un arreglo de antenas de microcintas con geometría triangular y con geometría rectangular utilizando el programa HFSS v15.

## **Objetivos Específicos**

1. Realizar una búsqueda bibliográfica acerca de las antenas de microcintas, sus métodos de alimentación y sobre los divisores de potencia.
2. Diseñar una antena de microcinta con geometría triangular y una con geometría rectangular, que operen en la banda de frecuencia de 2.4 GHz y se alimenten por línea de transmisión.
3. Simular y obtener las características generales de las antenas de microcinta diseñadas, mediante el uso del software HFSS v15.
4. Diseñar y simular un divisor de potencia tipo T para alimentar un arreglo de antenas de 2 elementos.
5. Simular y obtener las características generales de un arreglo de antenas de microcintas con geometría triangular y con geometría rectangular que operen en la frecuencia de 2.4 GHz.

## **Hipótesis**

El diseño y simulación de un arreglo de antenas de microcintas con geometrías triangular y rectangular alimentadas por línea de transmisión para la banda de 2.4 GHz, demostrará la posibilidad de incrementar los valores de directividad y ganancia de tales dispositivos, permitiendo su utilización en las comunicaciones inalámbricas.

## **Metodología**

Este trabajo es exploratorio porque pretende explorar la tecnología de las antenas de microcintas y sus métodos de alimentación, así como de los divisores de potencia, estableciendo el Estado del Arte de los mismos y es descriptivo porque permite analizar, diseñar y evaluar estas tecnologías y comprobar que se pueden emplear en las comunicaciones inalámbricas.

Se aplica el paradigma “Empírico-Analítico” con un enfoque “Cuantitativo” porque se utilizan cálculos matemáticos y estadísticos para presentar los indicadores que permitan caracterizar las antenas de microcintas y sus métodos de alimentación.

En el desarrollo de esta investigación se aplicará una metodología de tipo experimental, porque se podrán incrementar los valores de directividad y ganancia de las antenas para comprobar que se puede utilizar en las comunicaciones inalámbricas.

En el siguiente capítulo se desarrollará las teorías de las antenas, con sus definiciones y parámetros característicos.

## **CAPÍTULO 1. TEORÍA DE LAS ANTENAS**

En este capítulo se realiza una definición de antenas y de sus parámetros fundamentales, tales como, patrón de radiación, directividad, ganancia, impedancia de entrada y ancho de banda, se caracterizan los diferentes tipos de antenas, se abordan las diversas formas de alimentación en las antenas de microcintas y aplicaciones de estas.

### **1.1 Definición de antena**

En los textos se encuentran diversas definiciones para una antena, en general coinciden en que es un dispositivo que puede emitir y recibir ondas electromagnéticas, bajo este concepto, el dispositivo emisor convierte voltajes en ondas electromagnéticas y en la antena de recepción se realiza el proceso inverso.

En los equipos emisores y de recepción de radio, se generan voltajes y corrientes de alta frecuencia y las correspondientes ondas electromagnéticas. Para propagarse en el aire los voltajes y corrientes tienen que articularse al medio de transmisión, y es la antena la que se encarga de adecuar las ondas electromagnéticas entre diferentes medios de propagación. Por lo expuesto se considera una antena, como un dispositivo que transforma ondas electromagnéticas guiadas en una línea de transmisión o guía de ondas, en señales que pueden viajar libremente en el aire (Monachesi, Frenzel, Chaile, Carrasco, & Gómez, 2011).

En otras palabras, una antena es una interfaz entre el aire y la línea de conducción, la cual no emite energía al aire, en cambio la antena sí lo hace y esa es su diferencia. De acuerdo al uso de la antena, su tamaño se corresponde con la banda de frecuencias que se va a recibir o emitir, comportándose como un adaptador entre el emisor de energía y el aire si es una antena transmisora y entre el medio de transmisión y el receptor de energía en el caso de la antena receptora (Monachesi, Frenzel, Chaile, Carrasco, & Gómez, 2011).

Una antena ideal es aquella que radia toda la potencia en la dirección o direcciones deseadas, esto casi nunca se puede lograr, pero sí se puede acercarse a lo

deseado. Para cada uno de estos tipos de antena existen varias formas disponibles, cada una de las cuales posee sus propias características de radiación y el problema está en escoger la más apropiada a cada fin práctico en el rango de frecuencias deseado (Balanis C. A., 2009).

## 1.2 Patrón de radiación

Se define como Patrón de Radiación de Amplitud o simplemente como Patrón de Radiación al módulo de la densidad de potencia  $P(\theta, \phi)$  o del campo eléctrico  $E(\theta, \phi)$  en todas las direcciones angulares  $\theta$  y  $\phi$  sobre la esfera de observación (figura 1.1) de radio suficientemente grande para estar en la zona de los campos lejanos o de radiación.

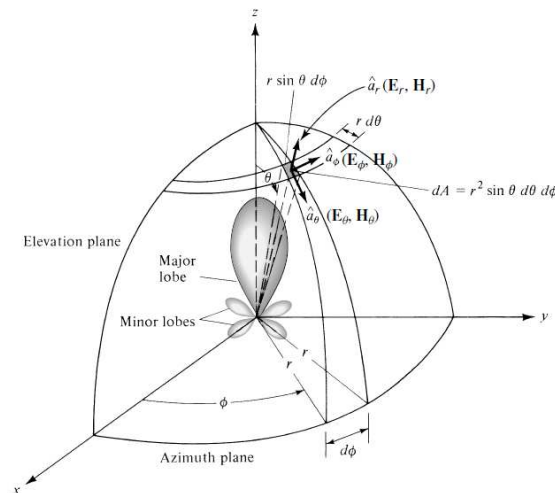


Figura. 1.1. Sistemas de coordenadas para análisis de antenas  
Fuente: (Balanis C. , 2005)

**Diferentes clases de patrones de radiación:** A continuación se detallan algunas clases de patrones de radiación.

**Patrón de radiación isotrópico:** Se define como la característica de radiación de amplitud de una antena isotrópica (También conocido como radiador isotrópico). Una antena isotrópica es aquella que emite igual amplitud de la densidad de potencia en todas las direcciones a su alrededor.

El radiador isotrópico es ideal o hipotético pues en la naturaleza no existe ninguna antena que radie igual densidad de potencia en todas las direcciones a su

alrededor, por lo que no es físicamente realizable, aunque a menudo se toma como elemento de referencia para expresar las propiedades direccionales de cualquier antena real.

**Patrón de radiación direccional:** Se define como la característica de radiación de una antena real. Una antena real es aquella que tiene propiedades de radiación o recepción de las ondas electromagnéticas más efectivas en unas direcciones que en otras.

**Patrón de radiación omnidireccional:** A veces existen patrones de radiación que son direccionales en general pero que en cierto plano no son direccionales, sino constantes y se les conoce en ese plano como patrones de radiación omnidireccionales (Figura 1.2).

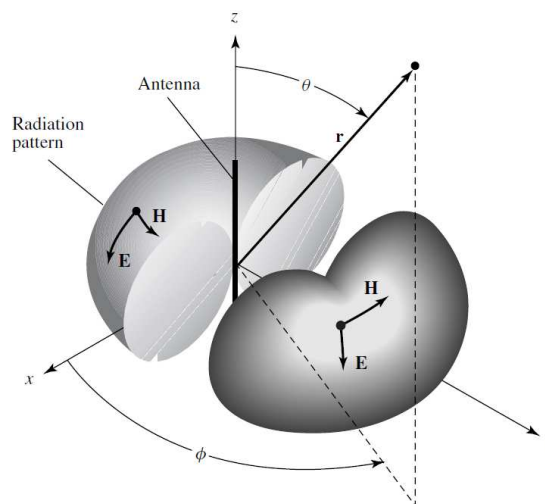


Figura.1.2. Patrón de antena omnidireccional  
Fuente: (Balanis C. , 2005)

**Principales tipos de patrones de radiación:** los siguientes son los principales tipos de patrones de radiación

**Patrones toroidales (figura 1.3):** Los patrones de radiación toroidales son típicos de las antenas dipolos simétricas de longitudes menores de  $2l = 1.25$  longitudes de onda. Su patrón es bidireccional en cualquier plano principal que contenga a la antena. En el otro plano perpendicular a la antena el patrón es omnidireccional.

**Patrón filiforme (figura1.4):** Sus patrones son direccionales. Ambos patrones bidimensionales pueden ser idénticos o diferentes. Su aplicación mayor se encuentra en el servicio de comunicación punto a punto. Posee un nivel de lóbulos secundarios que es imposible eliminar totalmente.

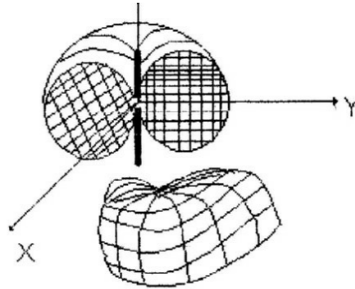


Figura. 1.3. Patrón de radiación toroidal  
Fuente: (Balanis C. , 1997)

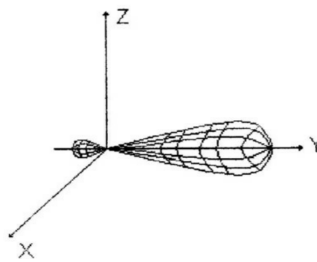


Figura.1.4. Patrón de radiación filiforme  
Fuente: (Balanis C. , 1997)

**Patrón tipo haz de abanico (figura 1.5):** Su patrón de radiación en el espacio tridimensional aparece como una especie de abanico. Su aplicación principal se encuentra en los radares de radio localización.

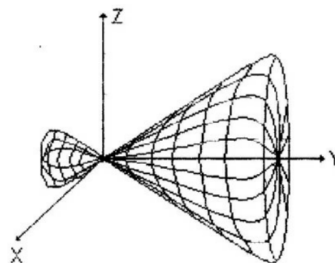


Figura. 1.5. Patrón de radiación haz de abanico  
Fuente: (Balanis C. , 1997)



**Patrón tipo cosecante (figura 1.6):** Este tipo de patrón de radiación encuentra su aplicación típica en radares a bordo de aviones para compensar la pérdida de brillo de la imagen en las zonas más alejadas de tierra respecto a los puntos más cercanos.

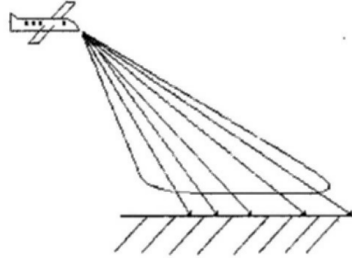


Figura. 1.6. Patrón de radiación cosecante  
Fuente: (Balanis C. , 1997)

**Lóbulos de los patrones de radiación:** Los patrones de radiación de las antenas, generalmente no son uniformes, ya que en una dirección se incrementa su radiación y en otras se anulan. La radiación en cada uno de esos sectores se le conoce como lóbulos (figura 1.7). Los lóbulos se clasifican por sus dimensiones y posición en:

**El lóbulo principal:** Es el que contiene la región de máxima radiación. Hay antenas en que puede existir más de un lóbulo principal.

**Los lóbulos secundarios:** Incluyen todos los lóbulos de radiación de una antena excepto el lóbulo principal.

**Los lóbulos laterales:** Son aquellos lóbulos secundarios con su radiación máxima a los lados del lóbulo principal y generalmente son los mayores entre los lóbulos secundarios.

**Lóbulo trasero:** Es el lóbulo secundario situado en la dirección opuesta a la del lóbulo principal.

### 1.3 Directividad

Es un parámetro secundario de las antenas ya que depende de la forma del patrón de radiación. En ella se establece una comparación entre la densidad de potencia

máxima de una antena con respecto a otra antena tomada como referencia y bajo la condición de que la potencia total radiada sea la misma.

En muchos casos se toma como referencia la antena isotrópica, lo que equivale a comparar la antena contra su valor promedio. En otros casos se toma como elemento de comparación una antena dipolo simétrico ideal de media longitud de onda.

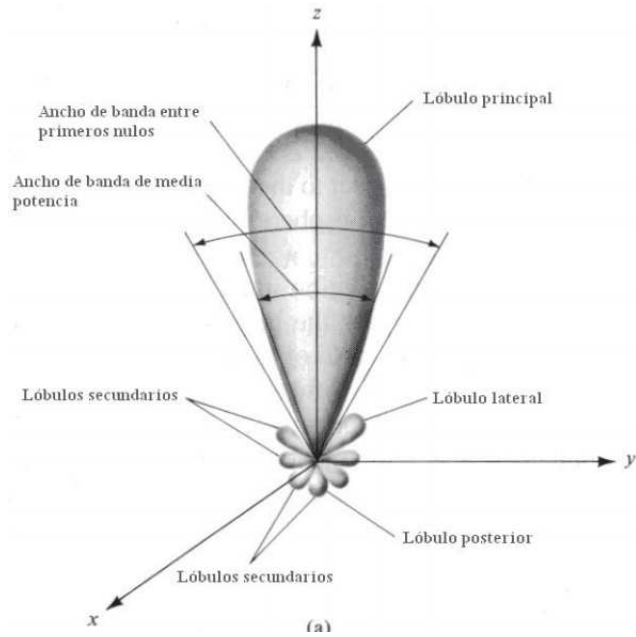


Figura.1.7. Tipos de lóbulos de las antenas  
Fuente: (Balanis C. , 1997), (Hernández R. , 2008)

En esencia, la directividad es uno de los parámetros eléctricos que contribuye a la cuantificación de las propiedades direccionales que poseen todas las antenas.

$$D = \frac{P_{\max}}{P_0} \Big|_{W_r=W_0} \tag{1.1}$$

#### 1.4 Ganancia

La ganancia de una antena es directamente proporcional a la eficiencia de radiación y a la directividad de la antena. Así pues, la ganancia siempre será igual o menor a la directividad de la antena. La ganancia normalmente se expresa en dB como  $G \text{ (dB)} = 10 \log (G)$ .

$$G = e_{\text{rad}}D \quad (1.2)$$

Donde  $e_{\text{rad}}$  es igual a:

$$e_{\text{rad}} = \frac{P_{\text{rad}}}{P_{\text{in}}} = \frac{P_{\text{in}} - P_{\text{loss}}}{P_{\text{in}}} = 1 - \frac{P_{\text{loss}}}{P_{\text{in}}} \quad (1.3)$$

Donde  $P_{\text{rad}}$  es la potencia radiada por la antena,  $P_{\text{in}}$  es la potencia proporcionada a la entrada de la antena y  $P_{\text{loss}}$  es la potencia perdida en la antena.

### 1.5 Impedancia de entrada

Cuando una antena se excita en su entrada por un generador de radiofrecuencia (figura 1.8) con una diferencia de tensión  $V$ , aparece en esta una corriente de excitación  $I_a$ :

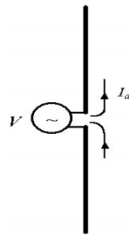


Figura. 1.8. Antena con generador  
Fuente: (Balanis C. , 1997)

La impedancia de entrada se define como la relación entre dichas magnitudes, o sea:

$$Z_{\text{ent}} = \frac{V}{I_a} \quad (1.4)$$

Dónde:  $V$ : Voltaje de excitación o alimentación de la antena.

$I_a$ : Corriente de alimentación que toma la antena.

En general, esa magnitud es compleja, o sea:

$$Z_{ent} = R_{ent} \pm jX_{ent} \quad (1.5)$$

Dónde:

$Z_{ent}$ : Impedancia de entrada de la antena.

$R_{ent}$ : Resistencia de entrada.

$X_{ent}$ : Reactancia de entrada.

### **1.6 Ancho de Banda**

El ancho de banda se define como el intervalo de frecuencias en el cual una antena puede operar satisfactoriamente, donde los límites que conforman este intervalo no deben sobrepasarse.

De una manera más formal se dice que:

El ancho de banda (BW) se puede especificar como la relación entre el margen de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central.

Donde el ancho de banda se puede expresar como:

$$BW = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_0} \quad (1.6)$$

Siendo  $f_0$  frecuencia fundamental.

Se debe tener presente a la hora de definir un ancho de banda, que dependiendo de la antena que se esté analizando, el ancho de banda varía, esto es debido a la geometría con la cual está construida la antena, pues es esta geometría el factor que influye directamente en las frecuencias que puede transmitir y recibir la antena.

### **1.7 Tipos de antenas**

Según el objetivo deseado existen multitud de antenas, las cuales se pueden catalogar en cuatro grupos generales:

**Antenas de hilo.** (James & Hall, 1989), (Poza D. , 1989), (Balanis C. , 1997), (Buenrostro, 2007)

Son las construidas con hilos conductores por donde circulan las corrientes que dan origen a los campos radiados. Se utilizan para las bandas de Media Frecuencia (MF), Alta Frecuencia (HF), Muy Alta Frecuencia (VHF) y Ultra Alta Frecuencia (UHF). En la figura 1.9 se pueden observar una antena dipolo, una antena espiral y una antena Yagi respectivamente.



Figura. 1.9. a) Antena Dipolo. b) Antena Espiral. c) Antena Yagi  
Fuente: (James & Hall, 1989)

**Antenas de apertura** (James & Hall, 1989)

Son excitadas por guías de ondas y utilizan superficies o aberturas para direccionar los campos electromagnéticos. Un ejemplo de este tipo de antenas es la antena de bocina que se puede observar en la figura 1.10



Figura.1.10. Antenas de apertura  
Fuente: (Balanis C. , 2005)

### **Arreglos de antenas o agrupación de antenas** (James & Hall, 1989)

Cuando con un solo elemento no se consiguen las características de radiación requeridas de alguna aplicación, se emplea la combinación de un conjunto de antenas, obteniendo así una gran flexibilidad, esto se puede observar en la figura 1.11 (Godara, 2002).



Figura. 1.11. Agrupaciones de antenas  
Fuente: (James & Hall, 1989)

### **Antenas de microcintas** (James & Hall, 1989).

A este grupo, también conocido como antenas planas (figura 1.12) (Garg, Bhartia, & Ittipiboon, 2001), pertenece la antena diseñada en este proyecto, antenas de parche o antenas de ranura. El rango de frecuencias en las que trabajan oscila entre los 100 MHz y los 50 GHz.



Figura.1.12. Antena plana  
Fuente: (James & Hall, 1989)

La estructura de una antena de microcinta consiste en un parche metálico con dimensiones comparables a la longitud de onda, sobre un sustrato dieléctrico por un lado, el cual posee un plano de masa en el otro.

## **1.8 Antenas de microcintas**

Las antenas de microcintas, conocidas a su vez como antenas de parche o impresas, fueron creadas en 1953 por Deschamps. Posteriormente se conforma un

parche radiador impreso en la superficie de un sustrato dieléctrico que reposa sobre un plano tierra (Buenrostro, 2007).

A menudo las antenas de microcinta son también conocidas como antenas *patch* o de parche. Los elementos de radiación y las líneas de alimentación son usualmente fotograbados en el elemento sustrato dieléctrico. El parche de radiación puede ser cuadrado, rectangular, una cinta delgada o dipolo, circular, elíptica, triangular o cualquier otra configuración. Algunas de estas se muestran en la figura 1.13.

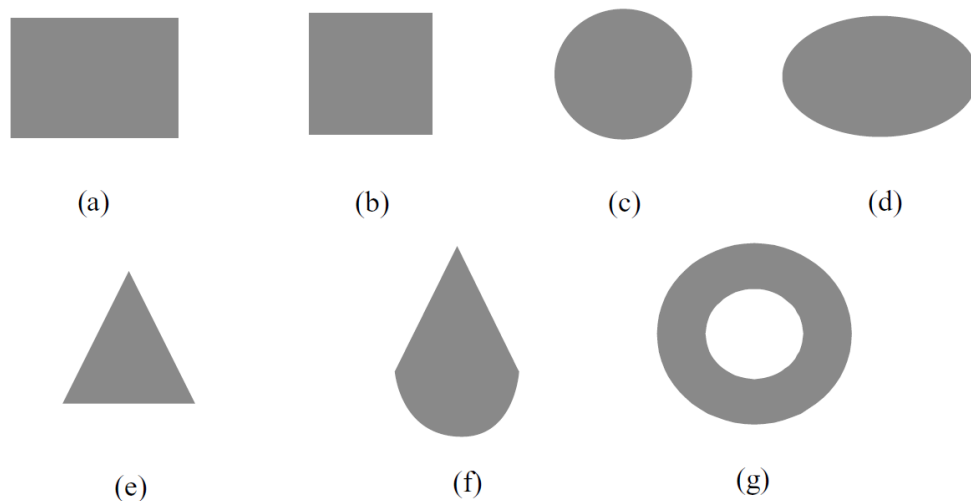


Figura.1.13. Formas comunes de parche de una microcinta  
Fuente: (Godara, 2002)

Cuadrados, rectángulos, dipolos y círculos son los más comunes porque son más fáciles de fabricar y analizar, y además presentan atractivas características de radiación, especialmente bajo radiación de polarización cruzada. Los dipolos microcinta son atractivos porque estos inherentemente poseen un largo ancho de banda y ocupan menos espacio, siendo por esto, más atractivos para arreglos. Las polarizaciones lineal y circular se pueden lograr ya sea con elementos únicos o arreglos de antenas microcinta. Estos últimos, con una o variadas alimentaciones, pueden además ser empleadas para añadir capacidades de análisis y lograr buena directividad (Godara, 2002) (Hernández D. , 2015).

Las antenas impresas se simbolizan mediante dos platos paralelos de una capa de metal y un substrato de dieléctrico introducido entre estos, el plato de metal está infinitamente extendido, más que el otro, así forman el plano tierra y el plato de metal más pequeño se denomina parche radiador, cuyo tamaño es generalmente proporcional a la frecuencia de operación de la onda por lo que esta antena se clasifica como resonante, lo que contribuye a la limitación básica de las antenas de microcinta relacionada con su estrecho ancho de banda, normalmente sólo un pequeño porcentaje de la frecuencia de resonancia (Hernández D. , 2015).

En la figura 1.14a se muestra la forma básica de una antena de microcinta, diseñada con elementos radiantes rectangulares. Cuando el parche está excitado por una línea de alimentación, la carga es distribuida entre la parte inferior del parche de microcinta y el plano tierra. En un instante determinado de tiempo las fuerzas de atracción entre la parte inferior del parche y el plano tierra tienden a sostener una gran cantidad de carga, la fuerza de repulsión empuja la carga al borde del parche, creando una gran densidad de carga en los bordes, estas son las fuentes del campo desbordado.

Asumiendo que el campo eléctrico no tiene ninguna variación a lo largo de la anchura ( $W$ ) y del espesor ( $t$ ) de la estructura de microcinta, el campo eléctrico excitado por el parche sería el mostrado en la figura 1.14b.

El futuro de las líneas de microondas son los llamados circuitos integrados de microondas monolíticas (MMICs) que consisten en la deposición de circuitos planos directamente encima de un substrato semiconductor con la intención de llevar a cabo circuitos completamente integrados.

## **1.9 Técnicas de alimentación**

Un aspecto muy importante cuando se diseña una antena consiste en el esquema de alimentación que tendrá ésta, puesto que sin una estructura eficiente de alimentación las antenas de microcinta no funcionarán correctamente sin importar la precisión llevada a cabo para diseñar el elemento radiante.



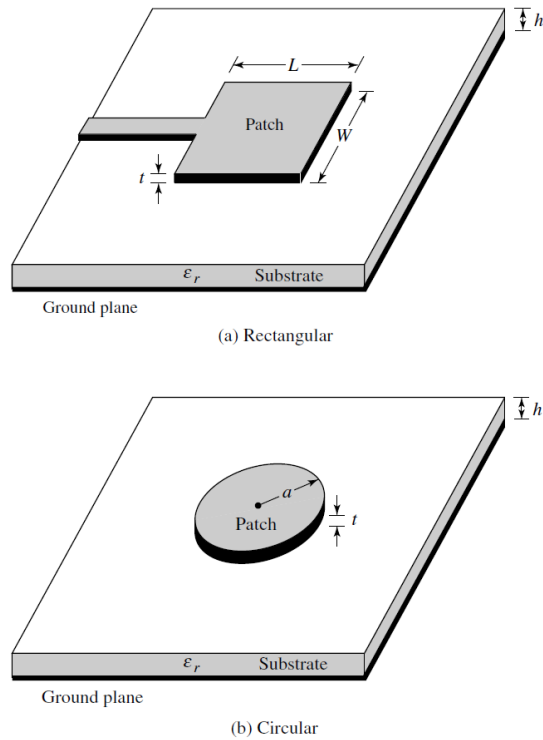


Figura.1.14. Formas rectangular y circular de una antena de parche de microcinta  
Fuente: (Balanis C. , 2005)

Las antenas de microcinta pueden ser alimentadas de dos formas: mediante contacto y sin contacto. En el método con contacto, la potencia de la radiofrecuencia se alimenta directamente al parche radiante mediante un elemento conductor. En el esquema sin contacto, el campo electromagnético es el encargado de transferir la potencia entre la línea de alimentación y el parche radiante (Jorgensen, Loadman, & Chen, 2003).

### 1.9.1 Alimentación por línea de microcinta.

En este tipo de técnica de alimentación, una línea de microcinta se conecta directamente al borde del parche como es mostrado en la figura 1.15, esta línea es menos ancha que el parche. La longitud de la línea cumple con el propósito de acoplar la impedancia de la línea de alimentación con el parche sin la necesidad de usar cualquier otro elemento acoplador adicional. Esto se logra controlando la posición de la inserción.

**Ventajas:** La línea puede grabarse en el mismo sustrato para proporcionar una estructura plana. Este es un esquema que proporciona facilidad de fabricación y simplicidad de diseño así como del acoplamiento de impedancia.

**Desventajas:** Cuando el espesor del sustrato del dieléctrico usado se aumenta provoca el aumento de las ondas de superficie y de la radiación espuria.

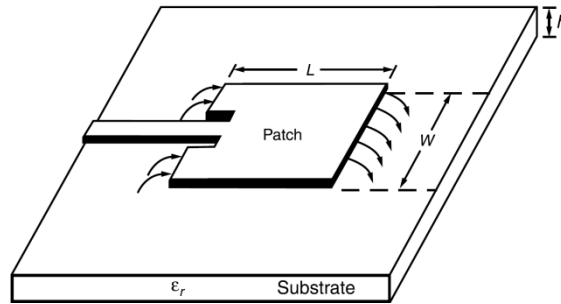


Figura.1.15. Parche alimentado a través de una línea de microcinta impresa  
Fuente: (Balanis C. , 1997)

### 1.9.2 Alimentación por sonda coaxial.

La alimentación por sonda coaxial es una técnica muy común usada para alimentar las antenas de microcintas. Como se puede observar en la Figura 1.16 el conductor interno del conector coaxial va a través del dieléctrico y se suelda al parche radiante y el conductor externo se conecta al plano tierra (Herrera, 2008).

**Ventajas:** Puede ponerse en cualquier posición dentro del parche para acoplarse con su impedancia de entrada. Este método es fácil de fabricar y tiene bajos valores de radiación espuria ya que las pérdidas en la alimentación son menores.

**Desventajas:** Proporciona un ancho de banda estrecho, además un agujero tiene que ser taladrado en el sustrato, lo que resulta más complejo y el conector se destaca fuera del plano tierra haciendo una estructura no completamente plana para sustratos delgados ( $h > 0.02 \lambda$ ). También, para sustratos anchos, la longitud de la sonda aumenta y hace que la impedancia de entrada sea más inductiva, acarreado problemas de acoplamiento. Esta técnica no es adecuada para antenas de alta frecuencia.

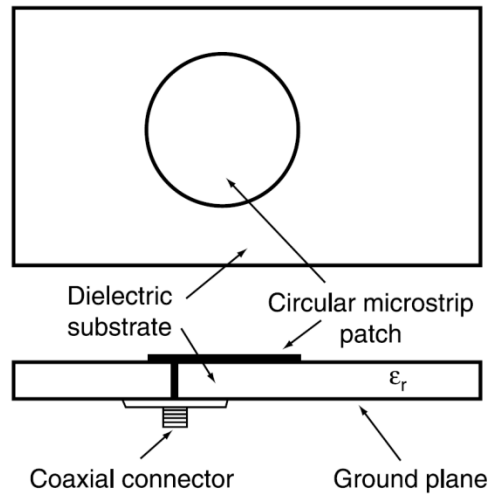


Figura. 1.16. Alimentación por sonda coaxial  
Fuente: (Balanis C. , 1997)

### 1.9.3 Acoplamiento por proximidad.

Este tipo de técnica de alimentación también se conoce como esquema de acoplamiento electromagnético. Como es mostrado en la Figura 1.17, se emplean dos sustratos dieléctricos, así la línea de alimentación queda entre los dos sustratos y el parche radiante se ubica sobre el sustrato superior (Buenrostro, 2007). El acoplamiento puede lograrse controlando la longitud de la línea de alimentación y la proporción de la anchura de la línea y del parche.

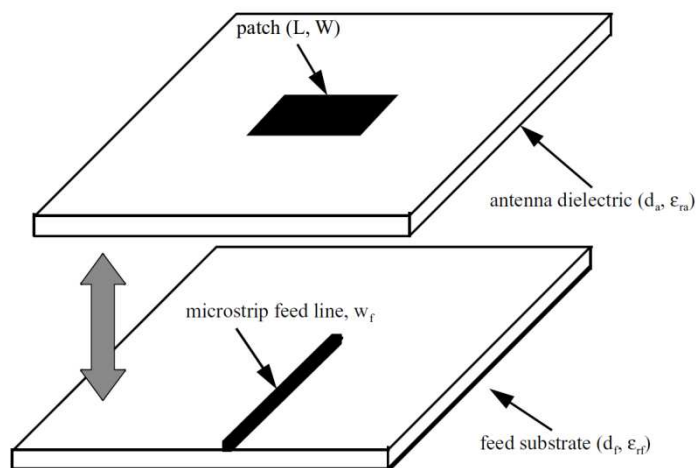


Figura. 1.17. Diagrama esquemático de un acoplamiento por proximidad de una antena de microcinta  
Fuente: (Godara, 2002)

**Ventajas:** Elimina la radiación espuria de la línea de alimentación y proporciona un ancho de banda muy elevado (hasta un 13%), debido al aumento global en el

espesor de la antena de parche de microcinta. Este esquema proporciona elección entre dos medios dieléctricos diferentes, uno para el parche y uno para la línea de alimentación que contribuye a perfeccionar la actuación individual de cada uno.

**Desventajas:** Es difícil de fabricar debido que las dos capas del dieléctrico necesitan la alineación apropiada. Existe además un aumento en el espesor global de la antena.

#### 1.9.4 Acoplamiento por apertura.

En este tipo de técnica de alimentación, el parche radiante alimentado y la línea de microcinta están separados por el plano tierra como es mostrado en la figura 1.18. El acoplamiento entre el parche y la línea de alimentación se realiza a través de una abertura en el plano tierra (Buenrostro, 2007).

La abertura de acoplamiento normalmente se centra bajo el parche. La medida del acoplamiento de la línea de alimentación y el parche es determinada por la forma, tamaño y la localización de la abertura. Generalmente, un material de dieléctrico elevado (elevado  $\epsilon_r$ ) y un dieléctrico delgado se usa para los sustratos del fondo y un dieléctrico grueso y de bajo valor (bajo  $\epsilon_r$ ) se usa para el sustrato superior para optimizar la radiación del parche.

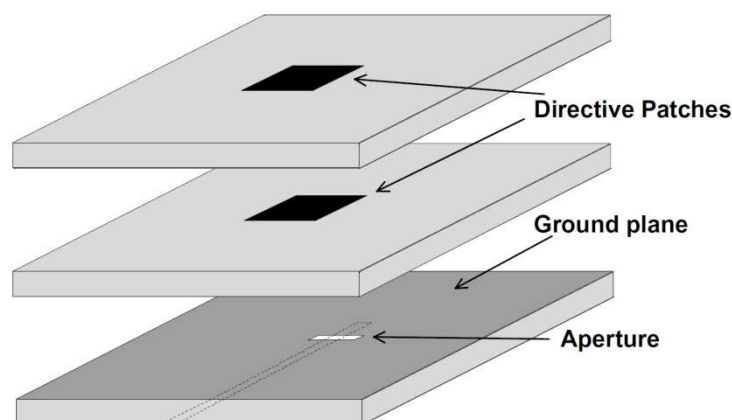


Figura. 1.18. Diagrama esquemático de un acoplamiento por apertura  
Fuente: (Godara, 2002)

**Ventajas:** Una ventaja con respecto a la alimentación por proximidad es que en la alimentación por apertura, al estar la línea de alimentación en la parte inferior y

separada de la antena por el plano de tierra, la radiación de esta es mínima en la dirección de radiación de la antena con lo que se evita que haya interferencias y polarizaciones cruzada. Las antenas de microcintas acopladas por ranura son probablemente los parches a microcintas más utilizados hoy en día en el mercado en general (Balanis C. , 1997).

**Desventajas:** Es difícil de fabricar debido a que las capas múltiples aumentan el espesor de la antena. Este esquema de alimentación también proporciona un ancho de banda estrecho.

### **1.10 Ventajas y desventajas.**

Las ventajas de las antenas de microcinta comparadas con las tradicionales, son (Herrera, 2008):

1. Fácil de añadir dispositivos activos en el sustrato.
2. De poco peso y volumen.
3. Contorno plano que facilita el acoplamiento a diferentes planos.
4. Son relativamente baratos y fáciles de fabricar en serie.
5. Permiten polarización lineal y circular.
6. Diseñadas para operar a diferentes frecuencias (Doble frecuencia y polarización).
7. Estructura robusta y ensamblada en planos rígidos.
8. Relativamente baratas en comparación a equivalentes tecnologías, con muchas interrupciones determinadas y pueden usarse sin ejecutar largos y pesados cálculos.
9. No necesitan arreglo de soporte.
10. Las líneas de alimentación y conexión a otros circuitos pueden elaborarse al mismo tiempo y estar en el mismo arreglo.

Sus desventajas contrastadas con antenas tradicionales son (Herrera, 2008):

1. Limitado ancho de banda.
2. Muestran inconvenientes de tolerancia.
3. Reducida ganancia (aproximadamente 6 dB).

4. Altas pérdidas óhmicas en la interface de alimentación de las estructuras.
5. Requieren arreglos complicados de alimentación para alcanzar mejores rendimientos.
6. Dificultad para alcanzar integridad de polarización.
7. Poca emisión pobre de punto a punto, menos en dispositivos con recortes de ranuras.
8. Emisión indeseada de alimentadores y conexiones.
9. Construidas para baja potencia (aproximadamente 100W).
10. Poca ganancia y eficiencia, elevados niveles de polarización cruzada y acoplamiento mutuo e la estructura operando a frecuencias elevadas.
11. Producen ondas superficiales.
12. Aquellas construidas en sustratos con constante dieléctrica elevada, son elegidas para combinarse con circuitos MMIC RF (Monolithic Microwave Integrated Circuits Radio Frequency), aunque el uso de sustratos con constantes dieléctricas elevadas produce reducida eficiencia y ancho de banda.
13. La emisión de los perfiles podría perturbar las características de las antenas.

### **1.11 Utilidades.**

Las antenas de microcinta son empleadas a menudo en comunicaciones y telemetría en misiles. Los arreglos de microcinta son usados en sistemas de imágenes de satélite como SEASAT y SIR-A. Debido al tamaño y a los requisitos de eficiencia para estas antenas, se utilizan técnicas de alimentación especiales para minimizar las pérdidas.

Pequeños arreglos de radiadores de microcinta, son usados en antenas altímetras de radar. Las antenas de parche han sido usadas en conexiones de comunicaciones entre los barcos, las boyas o balizas y los satélites como GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) y SMS (Short Message Service). Otras aplicaciones relacionadas con la aviación, incluyen antenas de microcinta para las comunicaciones por teléfono y vía satélite. Los sistemas de armas inteligentes usan antenas de microcinta debido a su perfil y costo bajos. Hoy, los sistemas de GPS han probado ser el usuario más importante de las antenas de microcinta.

## **CAPITULO 2 ASPECTOS GENERALES DE LOS ARREGLOS**

En el presente capítulo se tratan los fundamentos teóricos de los arreglos de antenas y de los divisores de potencias más representativos. Aunque la teoría y los tipos de arreglos atendiendo a su geometría son amplios, se tratarán los arreglos lineales, al ser estos básicos en la elaboración de arreglos más complejos.

### **2.1 Arreglos de antenas**

Los arreglos de antenas se definen como una serie de antenas independientes unidas bajo ciertas condiciones, generalmente iguales y orientadas en la misma dirección, que son acomodadas en una disposición física determinada, relativamente cercanas unas respecto a otras, y además cada antena es manejada por un mismo sistema de separación (o combinador) de señal. Son capaces de concentrar la radiación en direcciones deseadas.

A menudo, un simple elemento radiador brinda patrones de ancho de banda de directividad, ganancia y eficiencia inaceptables, por lo que las agrupaciones de antenas se utilizan en multitud de aplicaciones que precisan la síntesis de un diagrama con especificaciones muy precisas de directividad, ancho de haz o nivel de lóbulo principal a secundario.

Permiten además variar electrónicamente la forma del diagrama de radiación modificando la amplitud y la fase de las alimentaciones de las antenas básicas (agrupaciones de barrido electrónico o *Phased Array*). Estos arreglos se clasifican como lineales, circulares, planos o tridimensionales, dependiendo de la posición de sus elementos.

Dos tipos básicos de arreglos de antenas son el uniforme y el no uniforme; en el primero cada elemento del arreglo es alimentado con una señal de igual amplitud y distribución diferencial de fase. Esta clase de arreglo presenta un lóbulo principal estrecho y por lo tanto mayor directividad, presenta también, un considerable número de lóbulos secundarios, por otro lado el arreglo no uniforme

con diferente distribución de amplitud presenta un mayor control sobre los lóbulos secundarios.

Para excitar los arreglos de antenas, se requiere de una red alimentadora, la cual aplica señales de cierta amplitud y cierta fase a cada elemento. La amplitud deseada, se obtiene con el uso de amplificadores y la fase requerida por medio de cambiadores de fase. Los parches radiadores se deben diseñar con  $2^n$  elementos donde ( $n=1, 2, 4, 6, \dots$ ) para asegurar la simetría en el patrón de radiación como se muestra en la figura 2.1. También hay que tomar en cuenta la distribución de los elementos, de forma tal que estos puedan interconectarse con el puerto de alimentación de la antena.

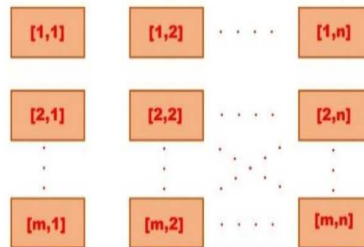


Figura. 2.1. Distribución de un arreglo de  $m \times n$  elementos  
Fuente: (Balanis C. , 1997)

Los arreglos son muy utilizados en las comunicaciones inalámbricas, ya que estos requieren de una buena ganancia, directividad y eficiencia. Con la disposición de un solo elemento, el patrón de radiación tiende a ensancharse lo cual provoca una considerable disminución en cuanto a ganancia y directividad.

## 2.2 Configuraciones de los arreglos

Después de elegir la estructura adecuada de la antena, es significativo el medio de alimentación. Existen muchos métodos de alimentación y de gestión de la distribución de energía en el arreglo. Se conocen dos geometrías de alimentación: en serie y paralelo (Buenrostro, 2007).

### 2.2.1 Redes de alimentación en paralelo.

Se compone de elementos de microcintas con variaciones desiguales de impedancia. La figura 2.2 muestra dos arreglos: el interior-horizontal mostrado en



la figura 2.2(1) e interior-vertical de la figura 2.2(2). En la primera, se incrustan dos líneas de transmisión verticales de elevada impedancia, después se conecta la línea horizontal trasladada  $90^\circ$  referente al centro de las verticales para excluir los nulos en los campos (Buenrostro, 2007).

La horizontal se dibuja con una línea recta de ancho inicial  $n$ , que mejora el enlace y se realiza un dobléz a la línea para aumentar su longitud eléctrica y ajustar la parte imaginaria de la impedancia. No se debe alterar la distancia entre los parches, pues se cambia la ganancia. El arreglo interior-vertical mostrado en la figura 2.2, tiene un método análogo, pero en primer lugar se incrustan las líneas horizontales para conectar los parches y después se opera con la vertical, así se mejora el ancho y largo para acoplarse a  $50\Omega$ . Aquí se adicionan un acople T y un Taper para reducir la interrupción (Buenrostro, 2007), (Sainati, 1996), (Flores-Cuadras, 2006).

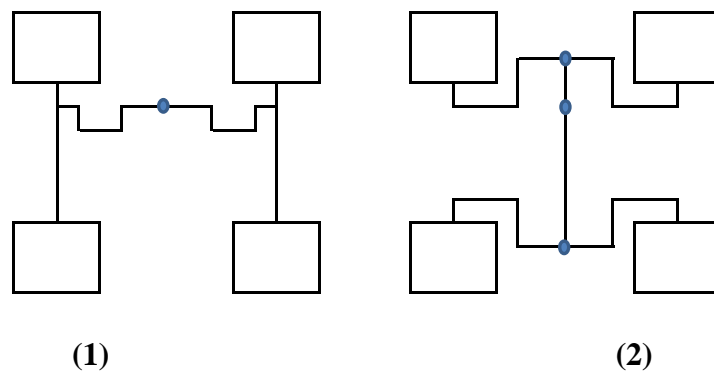


Figura.2.2. Configuraciones en paralelo. a) Interior-horizontal y b) Interior-vertical  
Elaborada por el Autor

A continuación se presentan dos arreglos más: el interior-exterior mostrado en la figura 2.3(1) y el exterior-exterior de la figura 2.3(2). En estos arreglos se emplean métodos como los ya descritos. En el primero se incrustan en primer lugar las líneas horizontales y se determina la impedancia en el acople, ésta será igual para el par de arriba y de abajo, después se plantea la red de articulación y se acerca mediante un Taper. El arreglo exterior-exterior, se ejecuta de forma análoga a la anterior, es decir que se incrustan las líneas horizontales, se calcula la impedancia en el acople de los dos parches, se deduce la red de ensambladura, se

añaden los Tapers para disminuir las interrupciones y se acoplan mediante un desfaseamiento de 180 grados (Sainati, 1996), (Buenrostro, 2007).

### 2.2.2 Redes de alimentación en serie.

Estas redes sólo necesitan un tipo de alimentación de microcinta y hay dos arreglos: alimentación en la línea o fuera de la línea (figura 2.4). En el arreglo fuera de la línea la alimentación va en paralelo a los parches y en el arreglo en línea se emplean parches de dos puertos donde las líneas de transmisión y los parches están alineados. Las líneas entre parches deben presentar elevada impedancia para evitar emisiones indeseadas y los parches se distancian  $\lambda/2$  ( $90^\circ$  eléctricos). Se determina la impedancia en el último parche (parte inferior) que generalmente es compleja, y se ajusta con la impedancia de la fuente de  $50\Omega$ . La impedancia total de entrada de la antena es el aporte de las impedancias de cada parche y cada uno actúa como un circuito resonante (Sainati, 1996), (Buenrostro, 2007).

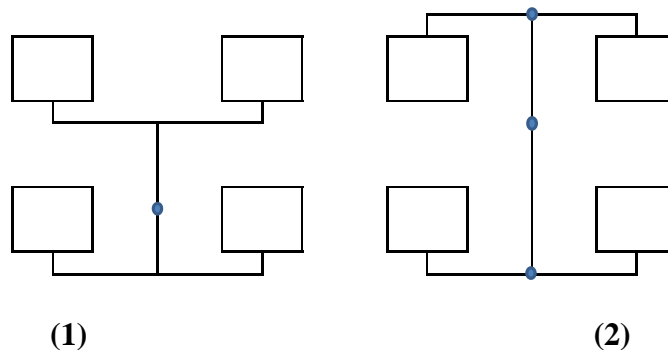


Figura.2.3. Arreglos en paralelo. a) Exterior-interior y b) Exterior-exterior.  
Elaborada por el Autor

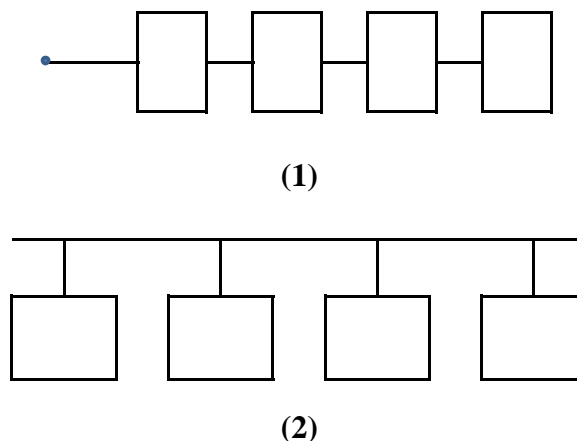


Figura.2.4. Arreglo en serie. a) Alimentación en línea. b) Alimentación fuera de línea.  
Elaborada por el Autor

Este arreglo ocupa un espacio muy pequeño y tiene pérdidas mínimas de inserción, brinda muy poco control de la polarización y permite un muy angosto ancho de banda. Entre sus variados usos están los dispositivos para la búsqueda (escaneo) de otros equipos transceptores (Buenrostro, 2007).

### 2.3 Tipos de arreglos de antenas

A continuación se describen diferentes tipos de antenas:

**Arreglos lineales:** En este tipo de configuración todos los elementos están distribuidos en una línea recta, separados uniformemente una distancia  $d$  y alimentados con una corriente de la misma magnitud pero con un cambio de fase progresivo. En la figura 2.5 se muestra un arreglo lineal de  $N$  elementos representados a lo largo del eje.

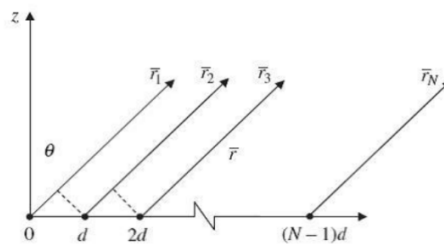


Figura. 2.5. Arreglo de  $N$  elementos  
Fuente: (Abouzahra & Gupta, 2003)

**Arreglo lineal de disparo lateral:** El disparo lateral es el modo más común de operación del arreglo lineal. En este caso,  $\delta = 0$ , por lo que las corrientes en todos los elementos están en fase. El lóbulo principal es lateral a la geometría del arreglo. A medida que se incrementa la distancia entre los elementos del mismo, disminuye el ancho del haz del lóbulo principal, con la condición de que la distancia sea menor que la longitud de onda para lograr un disparo puro.

**Arreglo lineal de disparo axial:** El nombre de este modo de operación indica que la radiación máxima es en la dirección del eje del arreglo. En este caso  $\delta = -kd$  si el disparo es en sentido positivo o  $\delta = kd$  si es en el sentido negativo.

**Arreglos retrodirectivos:** Los arreglos retro-directivos son equivalentes a un reflector de esquina. Fue Van Atta quien inventó un esquema para convertir un arreglo lineal en un reflector. En el próximo párrafo se mostrará un estudio más profundo de este tema. En este caso, el arreglo redirecciona el campo incidente en la dirección de arriba. Debe aclararse que no es necesario que el arreglo sea lineal para que sea retro-directivo, pero en este caso, el estudio se limita a este tipo. Una de las ventajas obvias de esta modalidad de arreglos radica en el hecho de que si el arreglo puede redireccionar la energía en la dirección de arriba, entonces él mismo podrá trabajar bien en ambientes multitrayecto. Si la misma señal llega desde múltiples direcciones, el arreglo retro-directivo la retransmitirá con los mismos ángulos, y la señal regresará a la fuente como si no existiera el multitrayecto.

**Arreglo retrodirectivo pasivo:** Una posible vía de implementación de este tipo de arreglo, es mostrada en la figura 2.6, en la que se muestra un arreglo lineal de seis elementos. Una onda plana incide con cierto ángulo (Abouzahra & Gupta, 2003).

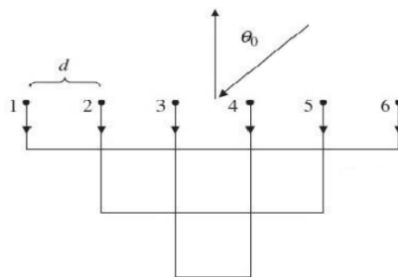


Figura. 2.6. Arreglo lineal de 6 elementos  
Fuente: (Abouzahra & Gupta, 2003)

El vector del arreglo, según la ecuación (2.1), es hallado como:

$$\bar{a} = \left[ e^{-j\frac{5}{2}kd \sin \theta} \ e^{-j\frac{3}{2}kd \sin \theta} \ \cdots \ e^{j\frac{3}{2}kd \sin \theta} \ e^{j\frac{5}{2}kd \sin \theta} \right]^T \quad (2.1)$$

El vector del arreglo recibido, para el ángulo  $\Theta_0$ , viene dado por:

$$\bar{a}_{rec} = \left[ e^{-j\frac{5}{2}kd \sin \theta_0} e^{-j\frac{3}{2}kd \sin \theta_0} \cdots e^{j\frac{3}{2}kd \sin \theta_0} e^{j\frac{5}{2}kd \sin \theta_0} \right]^T \quad (2.2)$$

La entrada del sexto elemento se propaga por la línea de transmisión hasta el primer elemento y se retransmite, repitiéndose este proceso para todos los elementos. De esta forma, la señal transmitida por el elemento  $i$ , fue la recibida por el elemento  $N - i$ , lo cual se puede traducir como la multiplicación del vector del arreglo de la (2.1) por el reverso del vector descrito en (2.2). Un método para revertir el vector en la (2.3) es a través de la matriz de permutación. De esta forma, el factor del arreglo queda:

$$AF = \left[ e^{-j\frac{5}{2}kd \sin \theta} e^{-j\frac{3}{2}kd \sin \theta} \cdots e^{j\frac{3}{2}kd \sin \theta} e^{j\frac{5}{2}kd \sin \theta} \right]^T \cdot \begin{bmatrix} e^{j\frac{5}{2}kd \sin \theta_0} \\ e^{j\frac{3}{2}kd \sin \theta_0} \\ \vdots \\ e^{-j\frac{3}{2}kd \sin \theta_0} \\ e^{-j\frac{5}{2}kd \sin \theta_0} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Así, este arreglo retro-directivo ha retransmitido sucesivamente la señal hacia la dirección de  $\theta_0$ . Este proceso ocurre sin tener en cuenta el ángulo de arribo o ataque (AOA, Angle Of Attack).

**Arreglo retro-directivo activo:** Como posible segunda vía de implementación se tiene la que se puede obtener a través de la mezcla de la señal recibida con un oscilador local. El análisis es más simple si se considera la frecuencia del oscilador local como el doble de la portadora. La figura 2.7 muestra la configuración, en la cual cada salida de la antena tiene su propio mezclador.

La salida de la  $n$ -ésima antena viene expresada como (Abouzahra & Gupta, 2003):

$$R_n(t, \theta_n) = \cos(\omega_0 t + \theta_n) \quad (2.4)$$

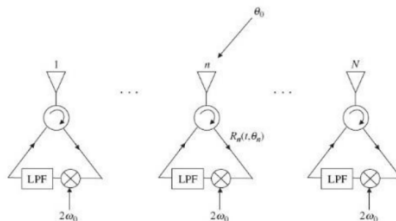


Figura.2.7. Arreglo lineal de  $N$  elementos con mezcladores propios  
Fuente: (Abouzahra & Gupta, 2003)

A su vez, la salida del mezclador será:

$$S_{mix} = \cos(\omega_0 t + \theta_n) \cdot \cos(2\omega_0 t) \quad (2.5)$$

Luego de pasar a través del filtro pasa-bajo (LPF, Low Pass Filter) y de seleccionar el nivel de banda lateral más bajo, la señal transmitida, para el elemento n, está dada por:

$$T_n(t, \theta_n) = \cos(\omega_0 t - \theta_n) \quad (2.6)$$

Este arreglo redireccionará la señal hacia el ángulo de arriba, reconocido como  $\Theta_0$ . Si se selecciona una frecuencia del oscilador local diferente, es suficiente con seleccionar el nivel más bajo de banda lateral para la retransmisión.

**Arreglos bidimensionales** (Abouzahra & Gupta, 2003): La figura 2.8 presenta la geometría bidimensional, arreglo planar; la cual es considerada como una combinación de arreglos lineales. Los elementos están organizados en una cuadrícula rectangular definida por el par (x;y), la separación entre los elementos en el eje x puede ser diferentes al eje y. El arreglo ahora afecta al patrón en las direcciones  $\Theta$  y  $\Phi$ .

Cuando el acoplamiento mutuo es insignificante, la multiplicación del patrón puede ser empleada para encontrar el patrón del campo lejano.

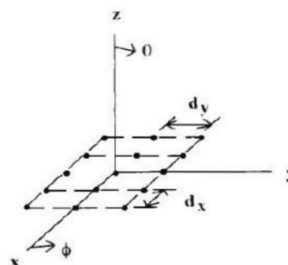


Figura. 2.8. Geometría del arreglo bidimensional  
Fuente: (Abouzahra & Gupta, 2003)

## 2.4 Divisores de potencia

En el área de las telecomunicaciones se permite proponer soluciones en el manejo de la información a distancia, tales soluciones son sistemas complejos que acondicionan la información para ser transmitida por medios guiados o no guiados. Uno de los posibles bloques que conforman los sistemas de telecomunicaciones es el divisor potencia, el cual es utilizado para obtener a partir de una señal varias señales de características correlacionadas, de modo que se pueda disponer en  $n$  puntos diferentes de un circuito,  $n$  señales con características semejantes a una señal de referencia.

Una de las aplicaciones típicas de los divisores de potencia es la alimentación de un arreglo de antenas, en estos sistemas es imprescindible que cada uno de los elementos del arreglo esté alimentado de forma equitativa y que todas las señales que llegan a cada uno de dichos elementos tengan las mismas características en cuanto a amplitud y fase. De igual manera el divisor de potencia nos permite alimentar una serie de antenas directivas para cubrir una mayor área de transmisión, en la figura 2.9 se ilustra este tipo de aplicación de los divisores de potencia.

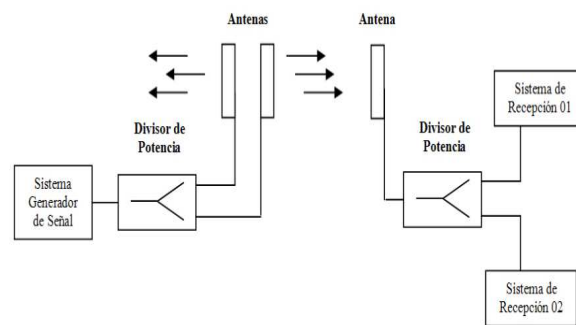


Figura.2.9. Aplicación típica de un divisor de potencia  
Fuente: (Abouzahra & Gupta, 2003)

**Tipos de Divisores de Potencia:** Los tipos de Divisores de potencia más representativos son:

1. Divisor de potencia de cavidad resonante.
2. Divisor de potencia de Wilkinson.
3. Divisor de potencia de unión-T.

Sus características se muestran a continuación:

### 2.4.1 Divisor de potencia de cavidad resonante.

Este modelo está basado en las propiedades de la cavidad resonante circular, que permite almacenar energía y dirigirla, según cada conveniencia, a cualquier punto del circuito donde se necesite. Los criterios de diseño de este divisor de potencia se apoyan en una aproximación del modelo de cavidad resonante (paredes eléctricas y paredes magnéticas) de un segmento circular. Este método fue planteado por (Abouzahra & Gupta, 2002), y se ilustra en la figura 2.10.

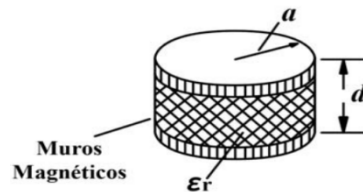


Figura. 2.10. Modelo de cavidad resonante de un segmento circular  
Fuente: (Abouzahra & Gupta, 2002)

El planteamiento inicial, que se ilustra en la figura 2.11, consistió en un sector circular completo el cual es excitado desde el centro de su circunferencia, esto implica realizar una conexión desde la parte inferior de la lámina donde estará impreso el circuito microstrip, suponiendo una ruptura del plano de tierra y una discontinuidad en la estructura planar del mismo, este modelo sería replanteado por (Abouzahra & Gupta, 2002) para realizar el circuito con un sector circular el cual pueda ser excitado desde la misma placa donde reposa la cavidad resonante, este modelo se ilustra en las figuras 2.12 y 2.13.

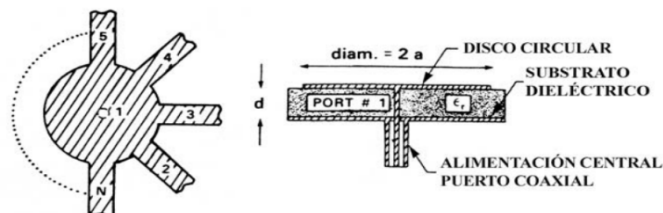


Figura.2.11. Divisor de potencia de cavidad resonante. Primer planteamiento  
Fuente: (Pozar D. , 2012)

En esta aproximación, el campo existente en los márgenes de la circunferencia



del disco es considerado para reemplazar el disco físico por un disco más largo que es rodeado por un perfecto muro magnético. El radio efectivo  $a$  del disco más largo está dado por la siguiente ecuación (Pozar D. , 2012):

$$a = a_o \left\{ 1 + \frac{2d}{\pi \cdot \epsilon_r \cdot a_o} [\ln(\pi \cdot a_o) + 1.7726] \right\}^{1/2} \quad (2.7)$$

Donde  $a_0$  representa el radio físico,  $d$  es la altura del sustrato dieléctrico y  $\epsilon_r$  es la constante de permitividad del sustrato dieléctrico bajo el disco.

Esta aproximación permite obtener la expresión analítica de impedancia que relaciona los puertos del divisor de potencia, basándose en la expresión para la impedancia que involucra a la función de Green de dos dimensiones para un segmento circular con muros magnéticos desarrollada por (Abouzahra & Gupta, 2002) y que se muestra a continuación:

$$Z_{ij} = \frac{1}{W_i \cdot W_j} \int_{W_i} \int_{W_j} G(s_i / s_j) \cdot ds_i \cdot ds_j \quad (2.8)$$

Donde  $W_i$  y  $W_j$ , representan el ancho efectivo de los puertos  $i$  y  $j$ , respectivamente. Se tiene también que  $ds_i$  y  $ds_j$  son distancias incrementales a lo largo del ancho de los puertos. En la figura 2.11 se observa la cavidad resonante y los puertos que la caracterizan como un divisor de potencia.

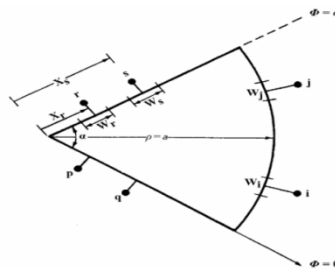


Figura.2.12. Divisor de potencia de cavidad resonante. Segundo planteamiento (Abouzahra & Gupta, 2002)

La función de Green para la impedancia de un sector circular que tiene un ángulo de sector  $\alpha$  múltiplo o submúltiplo entero de  $\pi$  radianes (por ejemplo  $\alpha=180^\circ$ ,  $90^\circ$ ,

60°, 45°, 30°, etc.) es utilizado, en conjunto con la aproximación de radio efectivo, para obtener la matriz de impedancia.

La primera consideración que se realiza para el estudio de este dispositivo es dividir el puerto de entrada en cuatro subpuertos, colocándolos a lo largo de los lados rectilíneos del sector circular, esta consideración propuesta por (Abouzahra & Gupta, 2002) se realiza con el fin de colocar esos subpuertos en un lugar donde no exista una discontinuidad, como es el caso, que se da físicamente, al colocar la línea de entrada en la arista del sector circular.

En la figura 2.13 se muestra gráficamente la consideración de aproximación para el puerto de entrada el cual es dividido en cuatro subpuertos, los puertos de salida estarán ubicados en el extremo circular.

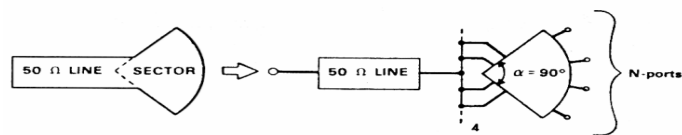


Figura.2.13. Consideración de aproximación del puerto de entrada  
Fuente: (Abouzahra & Gupta, 2002)

## 2.4.2 Divisor de potencia de Wilkinson

En 1960 Ernest Wilkinson (Abouzahra & Gupta, 2002), publica una solución para el problema de la división de señales en RF (Radio Frequency), crea un modelo teórico-práctico de un divisor de potencia para las frecuencias alrededor a los 500 MHz, que viene a solucionar el problema de bajo aislamiento y dificultad en el acople que tiene el modelo de unión-T y presenta las características ideales de un divisor de potencia, que son, señales de salida con amplitudes equitativas y desfase equitativo.

Este divisor de potencia consiste en una línea principal de entrada que es dividida en n líneas de longitud cuarto de onda, al final de las cuales unas resistencias son conectadas de forma radial entre cada una de las salidas de las líneas, uniéndolas en un nodo común de punto flotante, este nodo no está en contacto con la tierra de las señales de salida.

El modelo propuesto es en tres dimensiones, pero su propuesta ha sido llevada a la tecnología planar de manera que pueda implementarse en circuitos microstrip. En la figura 2.14, se presenta el modelo de divisor de potencia de Wilkinson realizado en 1960.

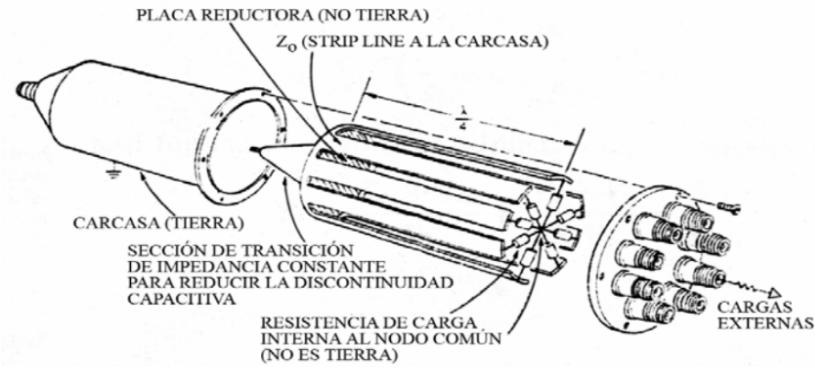


Figura. 2.14. Divisor de potencia de Wilkinson con resistencias a nodo común  
Fuente: (Abouzahra & Gupta, 2003)

En la figura 2.15, se presenta el modelo de divisor de potencia de Wilkinson aplicado a la tecnología planar,  $Z_c$  viene a ser la impedancia característica de las líneas de transmisión, tanto de entrada como de salida.

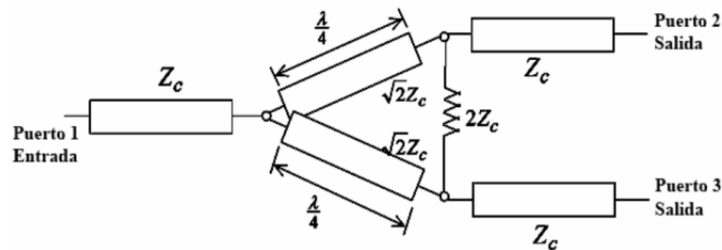


Figura.2.15. Modelo planar del divisor de potencia de Wilkinson  
Fuente: (Abouzahra & Gupta, 2002)

El principio de operación del Wilkinson consiste en que cuando una señal está alimentando al divisor de potencia ésta es dividida, en virtud de la simetría, en señales de salida de igual magnitud e igual fase. No se disipará potencia alguna por las resistencias que unen las pistas con el punto flotante mientras las cargas estén acopladas con los puertos de salida, así entonces todas las líneas de salida estarán al mismo potencial.

Sin embargo, si llegase a ocurrir una reflexión en uno de los puertos de salida, la señal reflejada se dividirá; parte de ella viajará directamente a las salidas restantes a través de las resistencias de punto flotante y el resto de la señal reflejada viajará de regreso al puerto de entrada, que dividirá esta señal nuevamente en el punto de unión de las pistas de un cuarto de longitud de onda regresando nuevamente a los puertos de salida.

Cuando el valor de las resistencias de punto flotante y la impedancia característica de las líneas de transmisión son apropiadamente escogidas, las dos partes de la onda reflejada son iguales en amplitud, por tanto al llevar direcciones contrarias, ocurre la completa cancelación de la onda reflejada causada por el desacople.

### **2.4.3 Divisor de potencia de unión-T**

Es el divisor de potencia más básico, su principio radica en colocar  $n$  puertos de salida a un nodo donde llega el puerto de entrada o alimentación, la potencia de entrada se distribuye a los  $n$  puertos dependiendo de sus impedancias características. Es una solución conveniente para dividir señales en circuitos compactos.

En el diseño del divisor de potencia de unión-T las impedancias características de los puertos de salida deben ser tal que su equivalente en paralelo sea igual a la impedancia característica del puerto de entrada, esto a fin de evitar que en el nodo de unión de los puertos exista una señal reflejada al puerto de entrada o excitación, por tal motivo en primera instancia las impedancias de los puertos de salida no podrían ser igual a la impedancia del puerto de entrada, dado que en el nodo de unión se formaría un punto de desacople.

El divisor de potencia necesitará de varios acopladores de cuarto de onda en cada uno de los puertos de salida para obtener en cada uno de ellos una impedancia igual a la del puerto de entrada en caso de que este sea un requerimiento circuital deseado, en caso contrario, si tal requerimiento se cumple con la disposición de que la impedancia equivalente en el nodo de unión sea igual a la del puerto de entrada, el dispositivo facilitará grandes prestaciones en su

función de divisor de potencia.

Una de las consideraciones que se debe tomar en cuenta, al momento de aplicar este dispositivo, es el pequeño margen de aislamiento entre los puertos de salida, esta situación se presenta por las características del punto de unión o nodo, este punto es común a todos los puertos de salida y los relaciona muy estrechamente. La proporción de división de potencia que se obtiene, en este tipo de dispositivo, viene dado por las impedancias de los puertos de salida en el nodo de separación de señal y su relación con la potencia de entrada y la impedancia característica del puerto de excitación, la ecuación que rige esta relación es la siguiente:

$$P_n = Z_c \times \frac{P_{in}}{Z_n} \quad (2.9)$$

Donde  $P_n$  es la potencia que se entrega por el puerto  $n$ ,  $Z_n$  la impedancia característica del puerto  $n$ ,  $P_{in}$  la potencia de entrada y  $Z_c$  la impedancia característica del puerto de entrada. Estos divisores de potencia son ideales para alimentar un arreglo de antenas dispuestas sobre un mismo circuito planar, dado el pequeño espacio que ocupan dentro del circuito donde se aplique, cualquier desacople de impedancias puede ser resuelto con adaptadores de cuarto de onda. Se debe tener cuidado con la separación con la que se colocan los puertos de salida, dos puertos de salida muy próximos incrementan el problema de poco aislamiento entre las señales de salida.

### CAPITULO 3. DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LAS ANTENAS

En este capítulo se diseña y simula una antena de microcintas con geometría triangular y una rectangular. Tomando estas antenas como base para realizar los arreglos, se procede al diseño y simulación del divisor de potencia para alimentarlas. Se simula el arreglo de antenas de microcintas con geometría triangular y rectangular alimentado por línea de transmisión a la frecuencia de 2.4 GHz.

#### 3.1 Antena de microcintas con geometría triangular. Diseño de un elemento del arreglo.

Para el diseño de un elemento del arreglo hay que tener en cuenta las características de los materiales mostrados en la tabla 1.

Tabla 3.1. Características de los materiales.

Nombres	Constante dieléctrica	Altura
Parche (cooper)	1	0.035 mm
Substrato (FR4)	4.4	1.5 mm

Elaborada por el Autor

La frecuencia de trabajo será  $f_r = 2.4$  GHz.

La velocidad de la luz en el vacío es  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.

La permitividad relativa es  $\epsilon_r = 4.4$ .

Para hallar las dimensiones de los lados del triángulo equilátero es necesario utilizar la siguiente ecuación:

$$fr = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.1)$$

Despejando el valor de a se obtiene:

$$a = \frac{2c}{3fr\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.2)$$

$$a = 39.29 \text{ mm} \quad (3.3)$$

$a$  : longitud de los lados del triángulo equilátero.

El tipo de alimentación utilizada para la antena es por línea de transmisión de microcinta, para calcular el ancho de ésta se utilizó el software PCAAD (Personal Computer Aided Antenna Design) como se muestra en la figura 3.1.

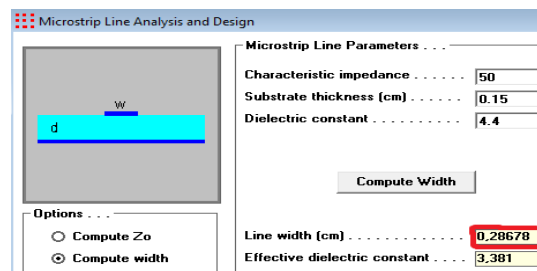


Figura.3.1. Ancho de la línea calculado en el PCAAD  
Elaborada por el Autor

### 3.2 Simulación de un elemento del arreglo

Luego de implementarse el diseño en el software de simulación y optimizarlo con un elemento individual del arreglo queda como se muestra en la figura 3.2.

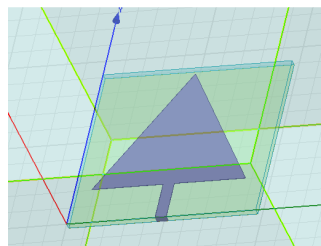


Figura.3.2. Antena individual  
Elaborada por el Autor

Al simular la antena hubo que variar las dimensiones del parche anteriormente calculadas para lograr un mejor acoplamiento de impedancia dentro de la frecuencia de trabajo obteniendo luego de la optimización una dimensión de  $a = 39.06 \text{ mm}$ . El criterio para estimar el acoplamiento de la antena, es que el parámetro  $S_{11}$  sea mejor que  $-10 \text{ dB}$ . En la figura 3.3 se observa este parámetro, véase que se ha logrado un parche triangular alimentado por línea de transmisión

a la frecuencia de 2.4 GHz, con un ancho de banda aproximado de 77 MHz y las pérdidas de retorno de -20.3570 dB.

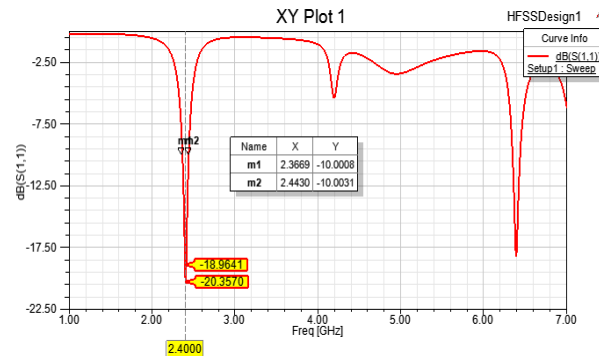


Figura.3.3. Ancho de banda de la antena  
Elaborada por el Autor

En la figura 3.4 se muestran los valores obtenidos para la impedancia de entrada de la antena, la parte real es de 46.99 y la parte imaginaria es de -9.75 para la frecuencia central.

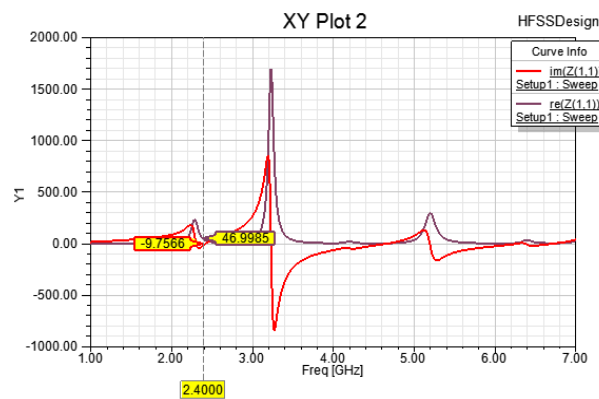


Figura.3.4. Impedancia de entrada de la antena  
Elaborada por el Autor

En la figuras 3.5 y 3.6 se presentan la ganancia y la directividad de la antena individual.

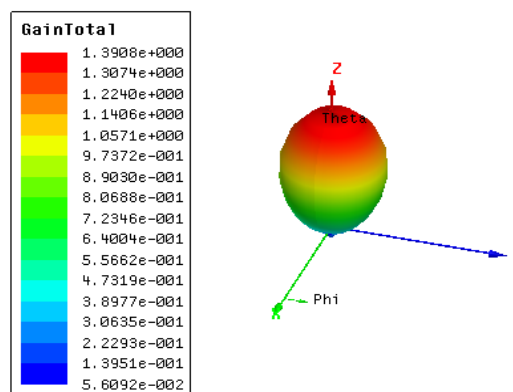


Figura.3.5. Ganancia total de la antena



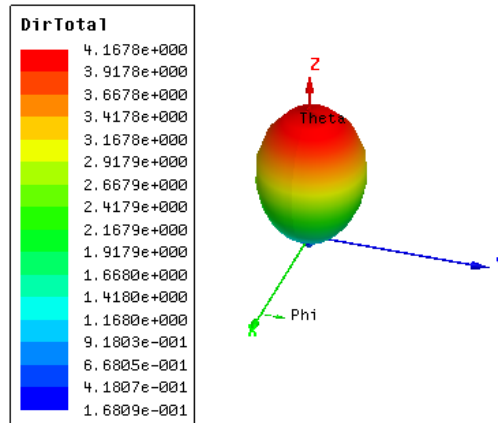


Figura.3.6. Directividad total de la antena  
Elaborada por el Autor

La ganancia total alcanza un valor máximo aproximado a 1.4 dB, este valor es relativamente pequeño debido al substrato utilizado y a la geometría que tiene dicha antena. El patrón de radiación se observa que es directivo y presenta un lóbulo trasero discreto.

### 3.3 Diseño y simulación de un arreglo de dos elementos alimentados de forma individual.

En el siguiente punto se muestran los resultados obtenidos en la simulación para un arreglo de 2x1 elementos. Con el aumento de los elementos se espera mejorar la directividad y la ganancia de la antena. Véase el diseño de un arreglo con dos elementos alimentados individualmente en la figura 3.7.

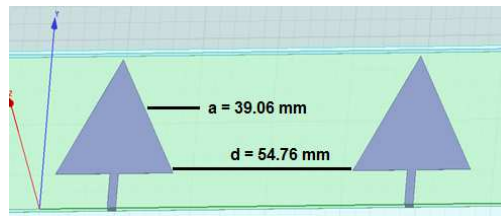


Figura.3.7. Diseño del arreglo de dos elementos acoplados por línea de transmisión  
Elaborada por el Autor

En este arreglo alimentado individualmente, cada antena es la reproducción de la antena diseñada en el epígrafe anterior, con una separación entre elementos de

54.76 mm que es donde la antena posee los mejores parámetros y las distancias de los lados del triángulo de 39.06 mm.

En la figura 3.8 se observa que el ancho de banda de las antenas es de aproximadamente 46 MHz y las pérdidas de retorno de -12.6495.

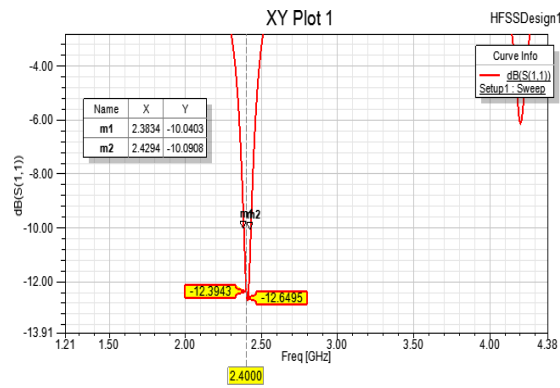


Figura.3.8. Ancho de banda de las antenas  
Elaborada por el Autor

En la figura 3.9 se muestran los valores obtenidos para la impedancia de entrada de las antenas, la parte real es de 36.83 y la parte imaginaria es de -16.63 de la antena de la izquierda y la de la derecha presenta una parte real de 36.09 con una parte imaginaria de -15.72 para la frecuencia central.

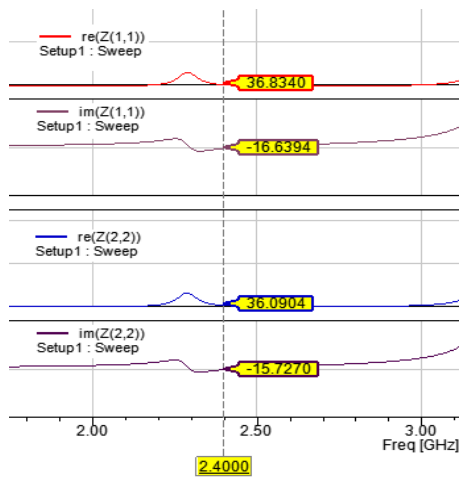


Figura.3.9. Impedancias de entrada de las antenas  
Elaborada por el Autor

En las figuras 3.10 y 3.11 se presentan la ganancia y la directividad del arreglo de dos elementos alimentados individualmente.

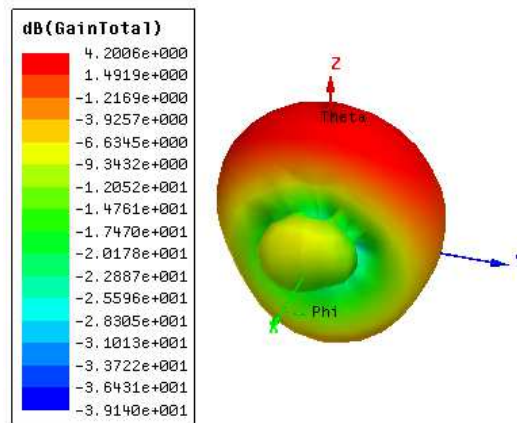


Figura.3.10. Ganancia total del arreglo con dos elementos  
Elaborada por el Autor

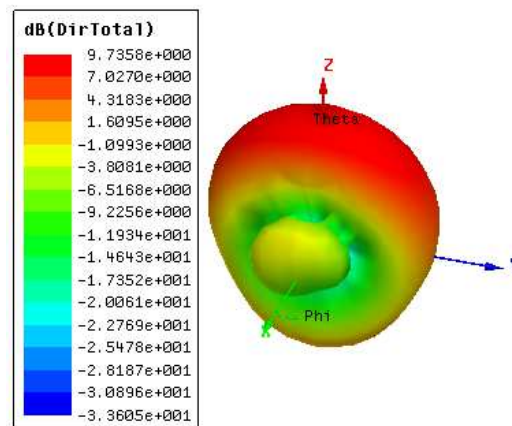


Figura.3.11. Directividad total del arreglo con dos elementos  
Elaborada por el Autor

Como se puede apreciar la ganancia total de la antena con geometría triangular aumentó a 4.2 dB debido a que teóricamente se obtienen 3 dB de aumento de ganancia al duplicar el número de elementos del arreglo, es decir con 2 antenas se ganan 3 dB, con 4 se ganan 6 dB, en la realidad es siempre menor debido a las pérdidas del acoplador y los cables y a la separación de las antenas.

### 3.4 Diseño y simulación del divisor de potencia unión-T.

La figura 3.12 muestra el diseño del divisor de potencia unión-T el cual se utilizará para alimentar las dos antenas de parche con geometría triangular. La alimentación comienza con una línea de 50  $\Omega$ , esta se bifurca para llevar la energía hacia cada parche convirtiendo la impedancia de entrada a cada elemento a un valor de 100  $\Omega$ .

Teniendo en cuenta que, como ya se mencionó, para la implementación del arreglo se reprodujo la antena diseñada por lo cual fue necesario diseñar el transformador original de  $\lambda/4$  para acoplar la impedancia resultante en el punto de bifurcación con la línea de  $100 \Omega$  y así obtener a la salida del transformador los  $50 \Omega$ .

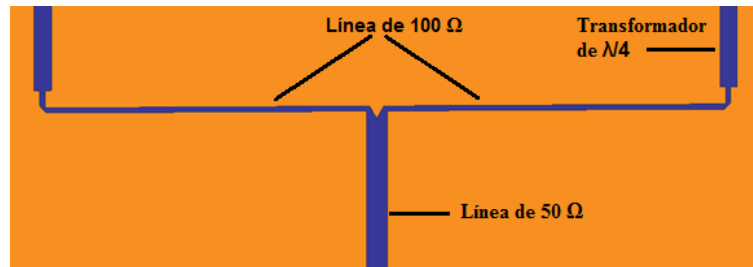


Figura.3.12. Diseño del divisor de potencia unión-T  
Elaborada por el Autor

La impedancia característica del transformador  $Z_0 = \sqrt{Z_{in} Z_{out}}$  obteniendo que  $Z_0 = 70 \Omega$ .

Dónde:

$Z_{in}$ : Es la impedancia a la entrada del transformador.

$Z_{out}$ : Es la impedancia a la salida del transformador.

Tabla 3.2. Valores iniciales del divisor de potencia.

Nombres	Valor (mm)
Ancho de la línea de $50 \Omega$	2.86
Largo de la línea de $50 \Omega$	55
Ancho de la línea de $100 \Omega$	0.6755
Largo de la línea de $100 \Omega$	42
Ancho del transformador de $\lambda/4$	2.362
Largo del transformador de $\lambda/4$	26.6

Elaborada por el Autor

La figura 3.13 muestra las pérdidas de retorno ( $S_{11}$ ) del divisor en su puerto de

entrada de -12.27 dB reflejando que existe buen acoplamiento, pues la potencia que incide la mayor parte no se está reflejando, los parámetros ( $S_{12}$ ) y ( $S_{13}$ ) con un valor de -4.7 dB, nótese que se refleja uno solo debido a que son iguales, ya que el divisor tiene las mismas dimensiones hacia los dos puertos de salida, y ( $S_{23}$ ) es el aislamiento que existen entre ellos con un valor aceptable. La figura 3.14 muestra la impedancia en la entrada del divisor, la 3.15 la impedancia en la salida 1 del divisor y la 3.16 en la salida 2.

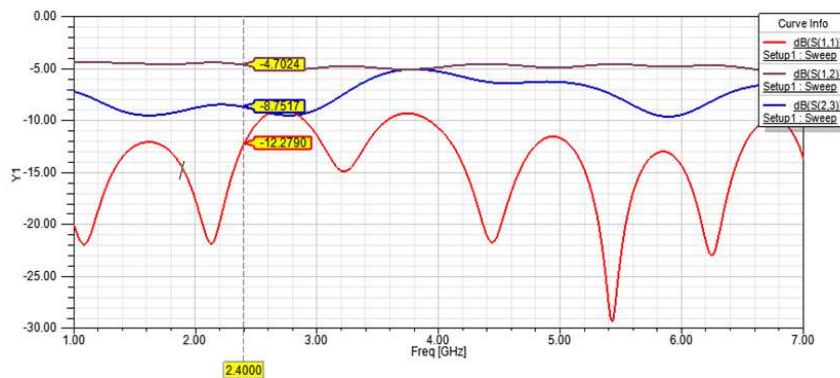


Figura.3.13. Pérdida de retorno del divisor  
Elaborada por el Autor

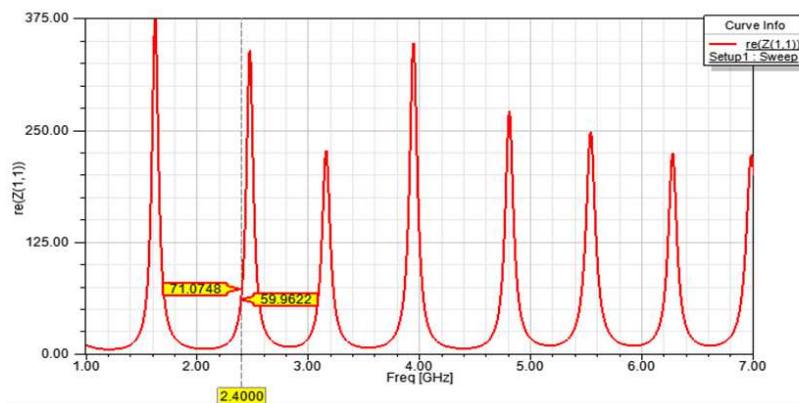


Figura.3.14. Impedancia en la entrada del divisor  
Elaborada por el Autor

### 3.5 Diseño y simulación del arreglo de dos elementos alimentados por un divisor de potencia unión-T.

La figura 3.17 muestra el diseño de las antenas alimentadas por el divisor de potencia de unión-T y las figuras 3.20, 3.21, 3.22, 3.23 y 3.24 se aprecian los parámetros del arreglo.

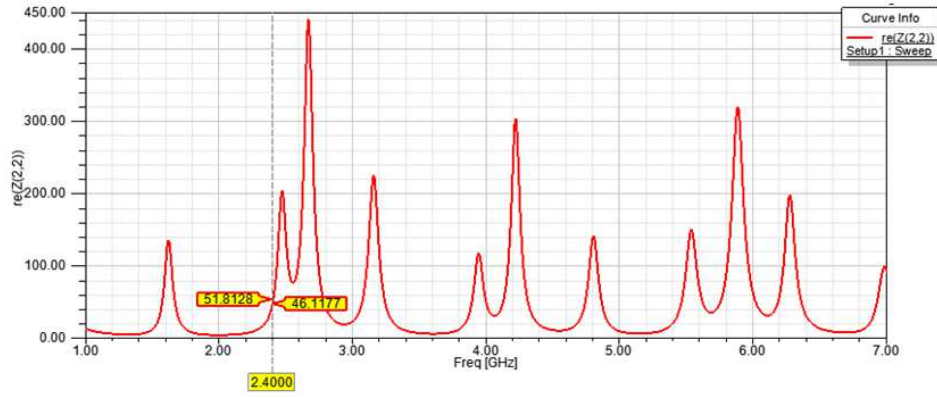


Figura.3.15. Impedancia en salida 1 del divisor  
Elaborada por el Autor

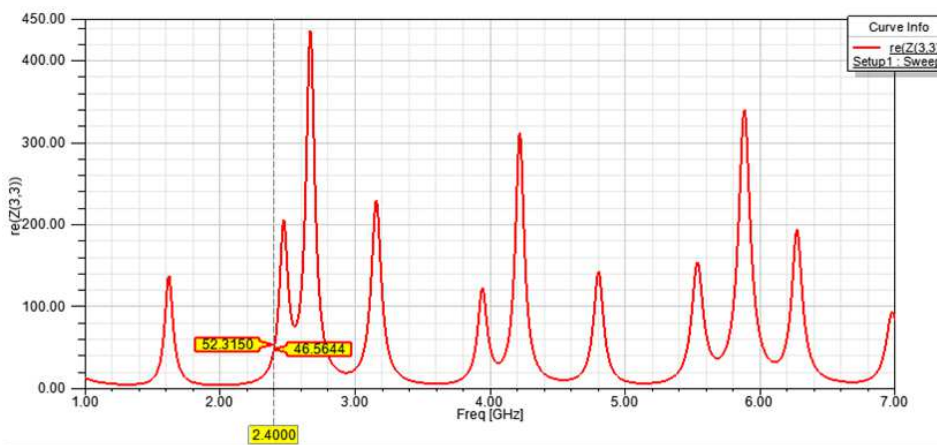


Figura.3.16. Impedancia en salida 2 del divisor  
Elaborada por el Autor

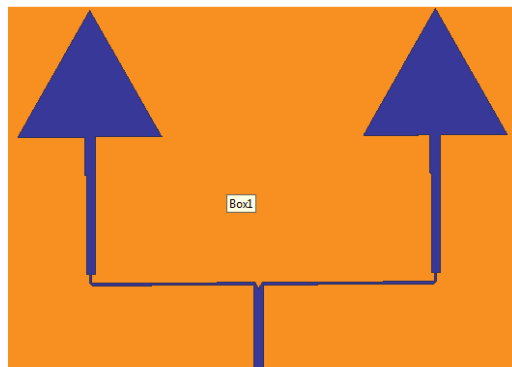


Figura.3.17. Diseño completo de la antena  
Elaborada por el Autor

En la figura 3.18 se muestra que la antena diseñada posee un ancho de banda de 114 MHz el cual es superior a los anteriores y una pérdida de retorno de -20.20 dB.

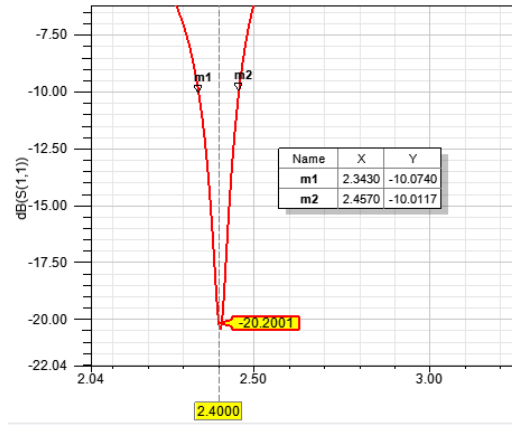


Figura.3.18. Ancho de banda de la antena  
Elaborada por el Autor

En la figura 3.19 se muestra que se ha conseguido lograr un acoplamiento de impedancia satisfactorio arrojando un valor de la parte real de 47.0116 y la parte imaginaria de -3.7656.

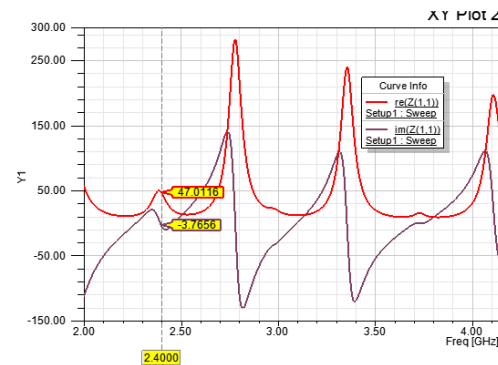


Figura.3.19. Impedancia de entrada en la antena  
Elaborada por el Autor

La ganancia total de la antena es de 4.0638 dB como se observa en la figura 3.20.

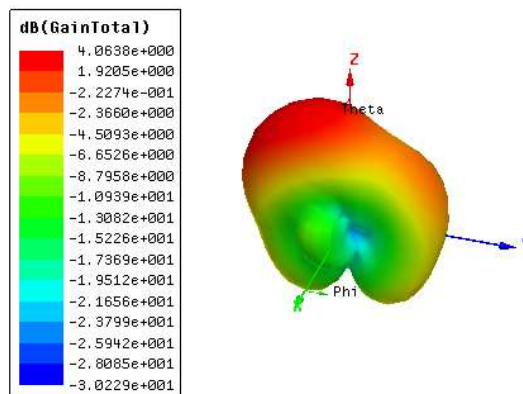


Figura.3.20. Ganancia total de la antena  
Elaborada por el Autor

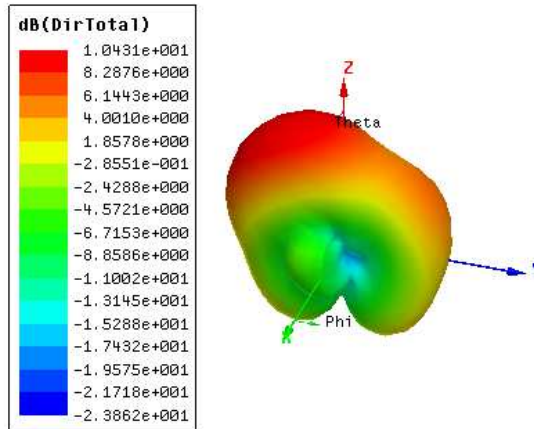


Figura.3.21. Directividad total de la antena  
Elaborada por el Autor

La directividad total de la antena es de aproximadamente 10.43 dB como se observa en la figura 3.21.

### 3.6 Antena de microcintas con geometría rectangular. Diseño de un elemento del arreglo.

Basado en el método de diseño aplicado por (Pojar D. , 2012), se realiza el diseño del primer elemento del arreglo de antena, a continuación se muestran los pasos que se tuvieron en cuenta para realizar el diseño del primer elemento.

- Cálculo de la longitud de onda de la antena.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} = 125 \text{ mm} \quad (3.4)$$

Donde  $c$ : velocidad de la luz ( $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ )

$f_r$ : Frecuencia trabajo (2.4 GHz)

Cálculo del ancho de la antena de microcintas.

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} * \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{V_0}{2f_r} * \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.5)$$

$V_0$ : velocidad de fase (30)

$\epsilon_r$  : permitividad eléctrica (4.5)



Utilizando la ecuación (3.5) se obtuvo que el ancho de la antena es  $W=37.69$  mm.

- Cálculo del largo de la antena.

$$L = \frac{1}{2f_r^2 \sqrt{\epsilon_{reff}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (3.6)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (3.7)$$

Donde            h: altura de la antena  
                       w: ancho de la antena

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.142 * \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)} \quad (3.8)$$

Luego de utilizar las ecuaciones planteadas anteriormente se obtuvo que el largo de la antena es  $L=29.46$  mm. En las tablas 3, 4 y 5 se muestran los datos que se tuvieron en cuenta para el diseño de la antena.

Tabla 3.3. Dimensiones de la antena

Ancho de la antena	37.69 mm
Largo de la antena	29.46 mm
Altura de la antena	0.35

Elaborada por el Autor

Tabla 3.4. Dimensiones de la línea de alimentación

Ancho de la línea	2.86 mm
Largo de la línea	7.75 mm
Altura de la línea	0.035 mm

Elaborada por el Autor

Tabla 3.5. Dimensiones del sustrato

Ancho del sustrato	44 mm
Largo del sustrato	45mm
Altura del sustrato	1.5
Ancho del plano tierra	44 mm
Largo del plano tierra	45 mm
Altura del plano tierra	0.035 mm

Elaborada por el Autor

### 3.6.1 Simulación de un elemento alimentado por línea de transmisión.

Luego de implementar el diseño en el software de simulación, en la figura 3.22 se muestra como queda la antena individual.

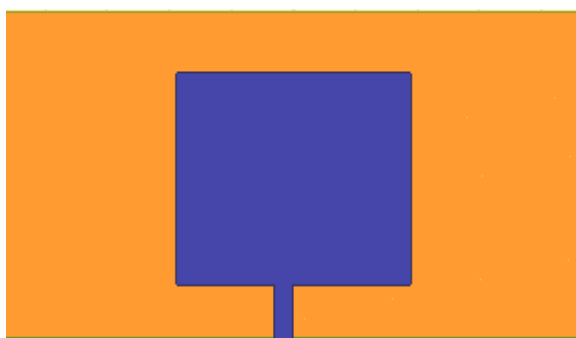


Figura.3.22. Diseño de la antena alimentada por línea de transmisión  
Elaborada por el Autor

En la figura 3.23 se muestran los resultados correspondientes a los parámetros principales de la antena. El primer parámetro que se muestra son las pérdidas de retorno.

El criterio para estimar el acoplamiento de la antena es que  $S_{11}$  sea menor que -10 dB, y se observa que  $S_{11}$  tiene un valor de -14.6670, este es un valor aceptable ya que valores menores que -10 dB demuestran un buen acoplamiento entre la impedancia de entrada y la impedancia en la carga por lo que existe máxima transferencia de potencia.

En las figuras 3.24 y 3.25 se presentan la ganancia y la directividad de la antena individual alimentada por línea de transmisión.

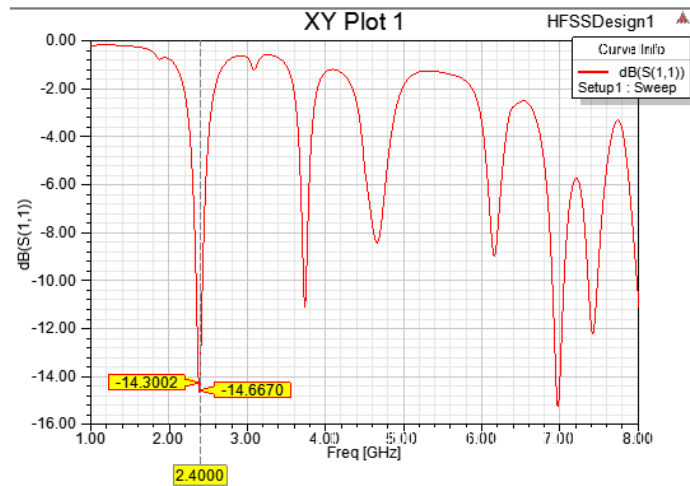


Figura.3.23. Pérdidas de retorno  
Elaborada por el Autor

Como se puede observar en la figura 3.24 el patrón de radiación de la ganancia del primer elemento del arreglo tiene un valor de 2,9179 dB, un valor admisible, ya que teóricamente estas antenas de microcintas en condiciones ideales tienen una ganancia 3 dB, las ganancias de estas antenas no son muy grandes, esa constituye una de sus desventajas y es una de las razones por las cuales este tipo de antena se debe implementar en un arreglo buscando mejorar los valores de la ganancia. En la figura 3.25 se observa que la directividad de la antena es de 7.1982 dB.

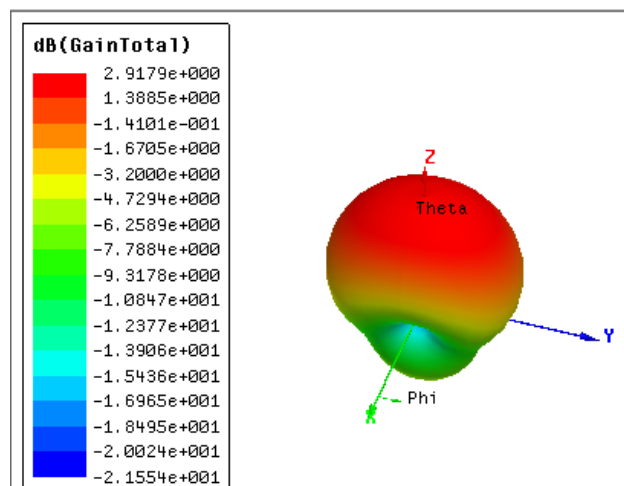


Figura.3.24. Ganancia de la antena individual  
Elaborada por el Autor

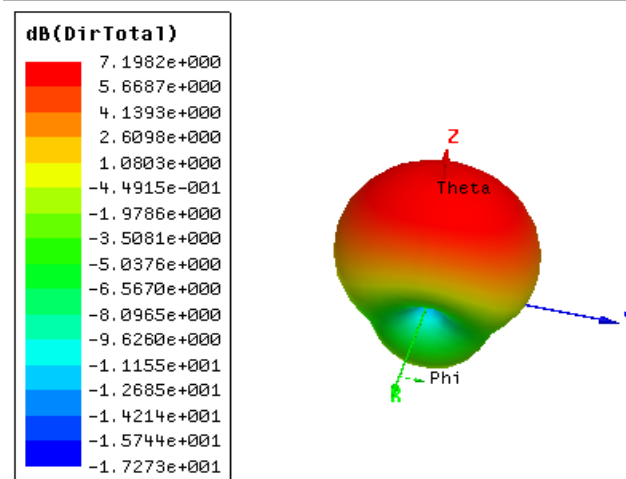


Figura.3.25. Directividad de la antena individual.  
Elaborada por el Autor

Una de las cuestiones más complicadas cuando se diseñan antenas para cubrir un ancho de banda relativamente grande es precisamente mantener estables los valores de las partes real e imaginaria de la impedancia de entrada. En la figura 3.26, se muestran los valores obtenidos para la frecuencia central.

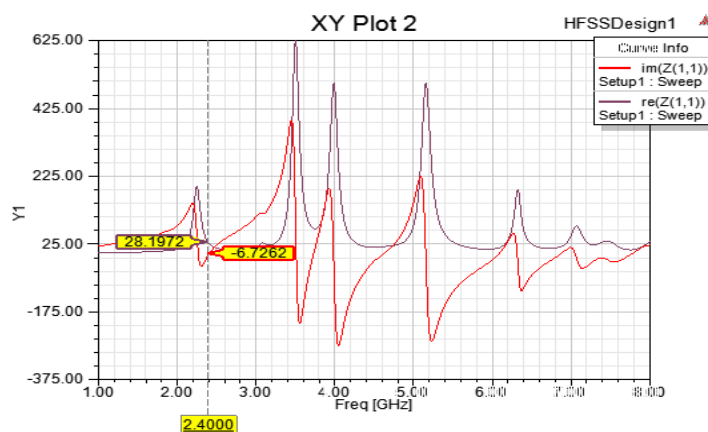


Figura.3.26. Impedancia de entrada  
Elaborada por el Autor

Como se aprecia los valores de impedancia se mantienen en un rango menor que 50  $\Omega$  (la parte real) y que 0  $\Omega$  (la parte imaginaria), los cuales no son valores buenos, ya que la parte real debería estar lo más cercana a 50  $\Omega$  y la parte imaginaria a 0  $\Omega$  para que exista un acoplamiento perfecto y tener máxima transferencia de potencia. Como se observa en la figura 3.26 la parte real tiene un

valor de 28.1972 y la parte imaginaria -6.7262 por lo que existe un desacople de impedancia.

En la figura 3.27 se muestra el ancho de banda a la cual opera la antena.

Como se observa el ancho de banda es de 81.4 MHz lo cual es un valor pequeño pero típico para la antena de microcintas alimentadas por líneas de transmisión las cuales no tienen un gran ancho de banda.

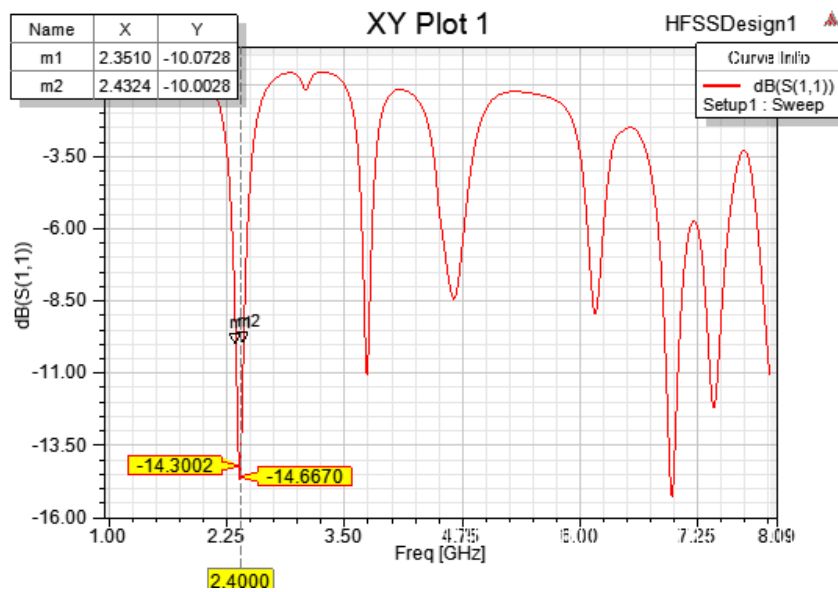


Figura.3.27. Ancho de banda  
Elaborada por el Autor

De los resultados expuestos anteriormente se puede concluir que aunque la antena tiene valores de pérdidas de retorno y ganancia aceptables, los valores de la impedancia de entrada en la antena no son buenos por lo que no va a existir un buen acoplamiento, por lo que se propone variar el punto de alimentación buscando valores de impedancia de entrada aceptables, en el siguiente punto se muestran los resultados obtenidos después de realizar estas variaciones.

### 3.6.2 Variando el punto de alimentación.

Debido a que los valores de impedancia de la antena diseñada no son aceptables se procede a variar el punto de alimentación buscando mejorar estos valores. En la figura 3.28 se muestra como queda la antena después de las variaciones.

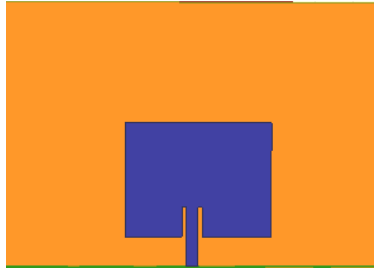


Figura.3.28. Antena de microcintas  
Elaborada por el Autor

Las pérdidas de retorno fueron un parámetro que sufrió variaciones pequeñas, en la figura 3.29 se muestra como queda este parámetro.

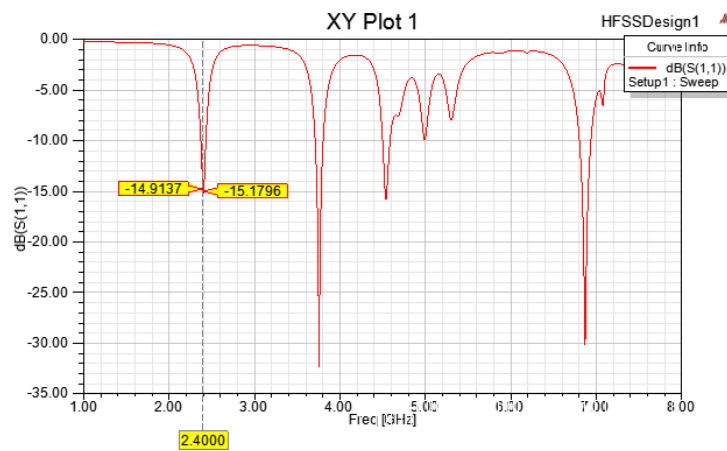


Figura.3.29. Pérdidas de retorno  
Elaborada por el Autor

Como se puede observar el parámetro  $S_{11}$  mejoró alcanzando un valor de -15.1795. En la figura 3.30 se muestra como la impedancia de entrada varió debido a las variaciones en el punto de alimentación.

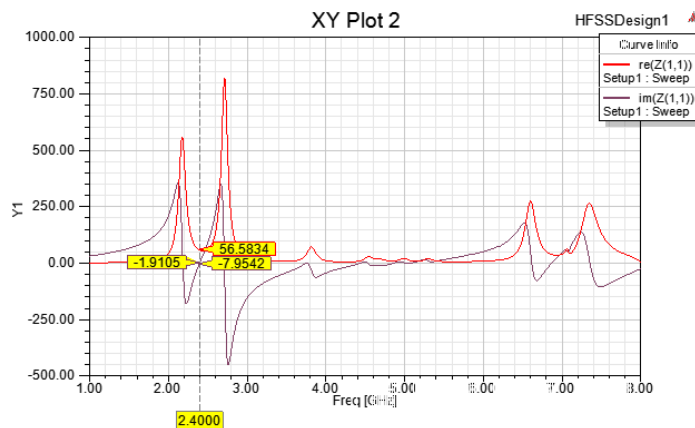


Figura.3.30. Impedancia de entrada  
Elaborada por el Autor

Como se observa, la parte real de la impedancia de entrada da un valor aceptable, 56,5834 y la parte imaginaria -1,9105, con estos valores va a existir un buen acoplamiento de impedancias y por lo tanto se tendrá máxima transferencia de potencia y esto debe incidir en la ganancia de la antenna.

En la figura 3.31 se muestra la ganancia de la antenna. Se puede observar como la ganancia aumentó a 3,4973 esto se debe a que existe un perfecto acoplamiento y por tanto hay máxima transferencia de potencia, esta ganancia es típica de este tipo de antenas.

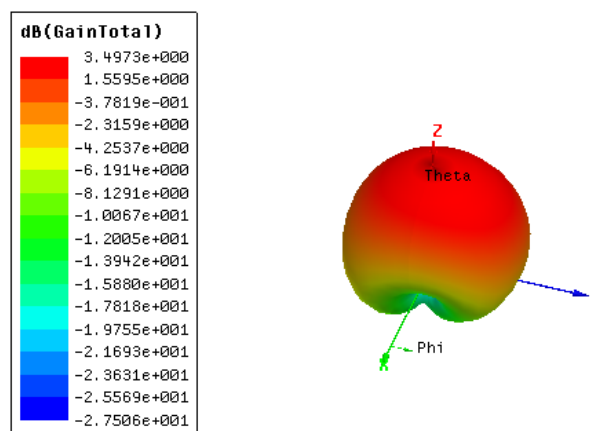


Figura.3.31. Ganancia de la antenna  
Elaborada por el Autor

La figura 3.32 muestra la directividad de la antenna, este fue un parámetro que no sufrió variaciones notables, como se muestra en la figura 3.32 tiene un valor de 7,5494 dB.

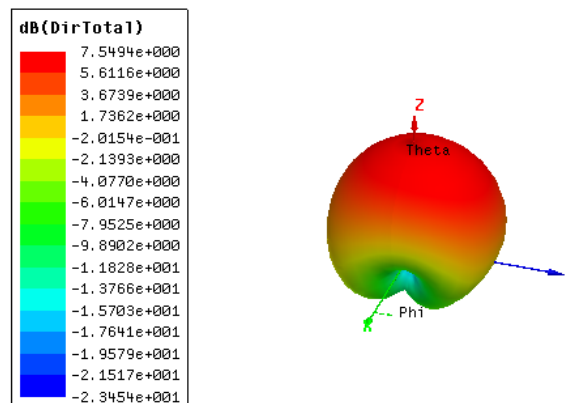


Figura.3.32. Directividad de la antenna  
Elaborada por el Autor

Variando el punto de alimentación se logró que la antena alcanzara valores de impedancia de entrada cercanos a los deseados, y por lo tanto existe un perfecto acoplamiento entre la impedancia de entrada y la de la línea, por lo tanto existe máxima transferencia de potencia, esto influyó en la ganancia de la antena la cual aumento y en las pérdidas de retorno que disminuyeron.

### **3.7 Diseño y simulación de un arreglo de dos elementos alimentados de forma individual.**

En el siguiente punto se muestran los resultados obtenidos en la simulación para un arreglo de 2x1 elementos alimentados de forma individual. Con el aumento de los elementos se espera mejorar la directividad y la ganancia de la antena. Véase el diseño de un arreglo con dos elementos alimentados individualmente en la figura 3.33.

Para agregar el segundo elemento del arreglo se realizó una copia del primer elemento. Se tuvo en cuenta la distancia a la cual se debía colocar el segundo elemento, ya que si están muy separados actúan como elementos individuales y si están muy cerca se produce demasiada interferencia en el comportamiento de los elementos, el espacio  $d_p$  ideal entre los elementos debe ser:

$$\frac{\lambda_0}{10} < d_p < \lambda_0 - w$$

Después de realizar un análisis paramétrico para las diferentes distancias se determinó que la distancia adecuada a la cual se debería ubicar las antenas para que la ganancia fuera máxima es de 48.3 mm, en la figura 3.33 se muestra como quedan los dos elementos de la antena ubicados y alimentados de forma individual.

La figura 3.34 muestra la ganancia del arreglo de antena para la distancia a la cual la ganancia es máxima que es 48.3 mm, como se ve la ganancia aumentó a 6.38 dB. Teóricamente se obtienen 3 dB de aumento de ganancia al duplicar el número de elementos del arreglo, es decir con 2 antenas se ganan 3 dB, con 4 se ganan 6



dB, en la realidad es siempre menor debido a las pérdidas del acoplador y los cables y a la separación de las antenas.

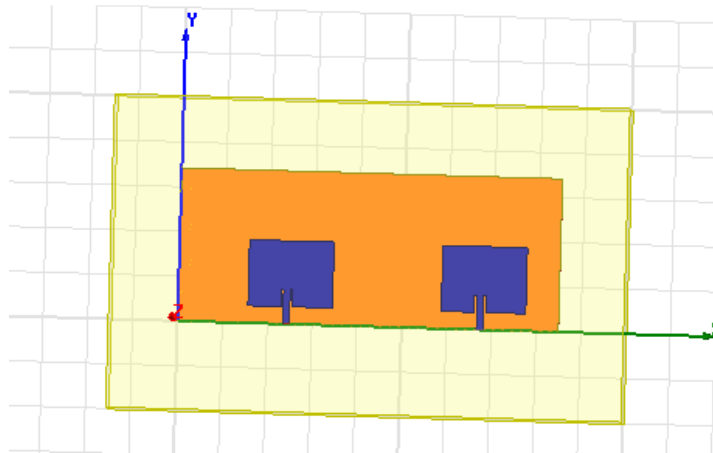


Figura.3.33. Los dos elementos del arreglo  
Elaborada por el Autor

### 3.8 Diseño y simulación del divisor de potencia unión-T.

La figura 3.35 muestra el diseño del divisor de potencia unión-T el cual se utilizará para alimentar las dos antenas de microcintas con geometría rectangular. Este divisor se diseñó y simuló de forma independiente y después de observar los principales parámetros que caracterizan un divisor se montó en el arreglo de antena.

La alimentación comienza con una línea de  $50 \Omega$ , esta se bifurca para llevar la energía hacia cada antena convirtiendo la impedancia de entrada a cada elemento a un valor de  $100 \Omega$ . Teniendo en cuenta que, como ya se mencionó, para la implementación del arreglo se reprodujo la antena diseñada por lo cual fue necesario diseñar el transformador original de  $\lambda/4$  para acoplar la impedancia resultante en el punto de bifurcación con la línea de  $100 \Omega$  y así obtener a la salida del transformador los  $50 \Omega$ .

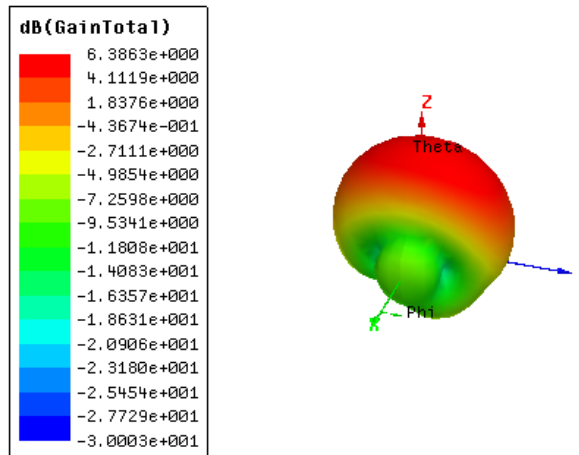


Figura.3.34. Ganancia de los dos elementos  
Elaborada por el Autor

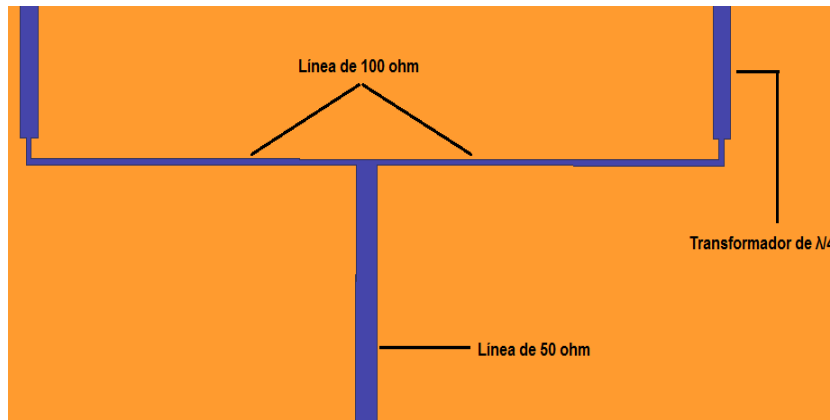


Figura.3.35. Diseño del divisor de potencia unión-T  
Elaborada por el Autor

Para el diseño del transformador de  $\lambda/4$  se tiene en cuenta la impedancia de entrada y la impedancia que se quiere a la salida, como se quiere alimentar el arreglo de antenas con  $50 \Omega$ , esa será la impedancia que se tendrá a la salida y a la entrada del transformador se tendrá una impedancia de  $100 \Omega$ , estas impedancias se relacionan con la siguiente fórmula:

$$Z_0 = \sqrt{Z_{in}Z_{out}}$$

Dónde:

$Z_{in}$ : Es la impedancia a la entrada del transformador.

$Z_{out}$ : Es la impedancia a la salida del transformador.

La tabla 3.6 muestra los valores con los que se diseñó originalmente el divisor de potencia.

Tabla 3.6. Dimensiones del divisor de potencia.

Nombres	Valor (mm)
Ancho de la línea de 50 $\Omega$	2.86
Largo de la línea de 50 $\Omega$	55
Ancho de la línea de 100 $\Omega$	0.6755
Largo de la línea de 100 $\Omega$	42
Ancho del transformador de $\lambda/4$	2.362
Largo del transformador de $\lambda/4$	26.6

Elaborada por el Autor

Después de optimizar el divisor de potencia se obtuvieron los siguientes resultados. En la figura 3.36 se muestra los valores de  $S_{11}$ ,  $S_{12}$  y  $S_{23}$ .

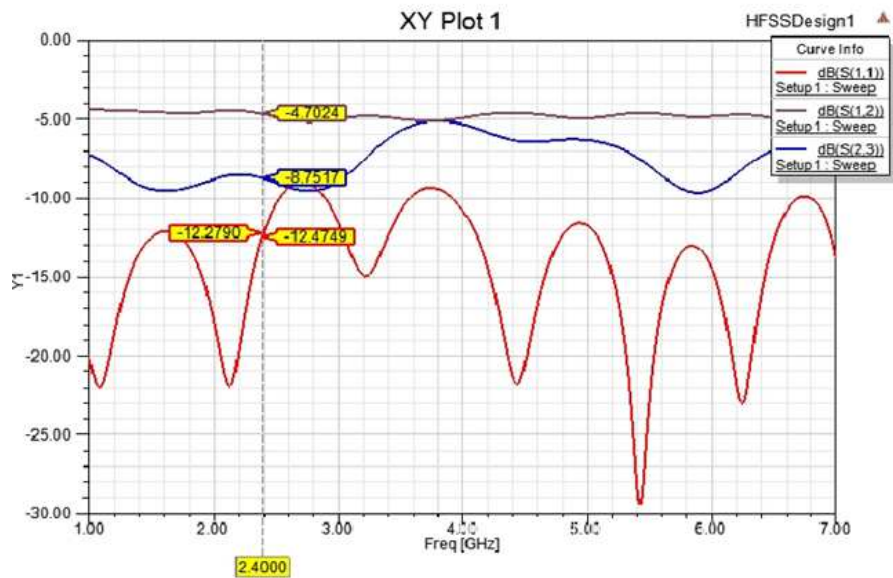


Figura.3.36. Parámetros que caracterizan el divisor  
Elaborada por el Autor

En las figura 3.37 y figura 3.38 se muestran los valores de impedancia a la salida en los puertos 2 y 3 respectivamente.

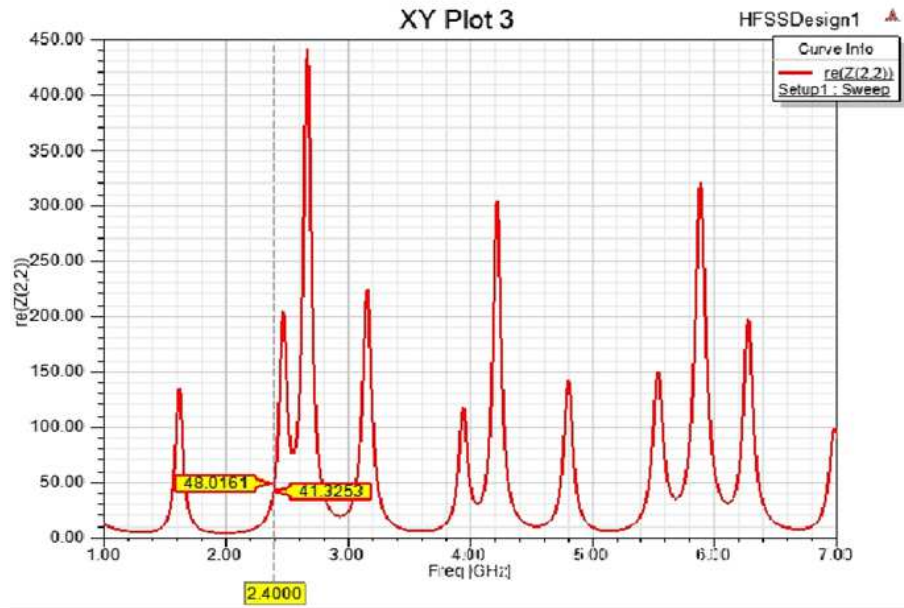


Figura.3.37. Impedancia de salida en el puerto 2  
Elaborada por el Autor

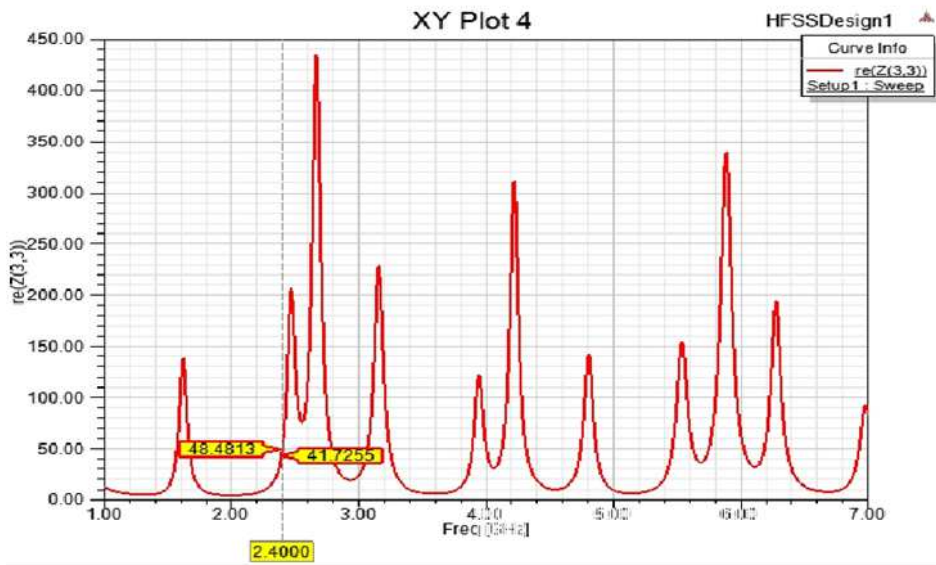


Figura.3.38. Impedancia de salida en el puerto 3  
Elaborada por el Autor

Los gráficos anteriores demuestran que en cada puerto de salida del divisor se obtiene una impedancia equivalente a los  $50\Omega$ , que es el valor con el cual se piensa alimentar el arreglo de antena. En el puerto 2 se refleja una impedancia de 48.0161 y en el puerto 3 se refleja una impedancia de 48.4813. Por lo que se puede afirmar que el divisor cumple con los requerimientos para el que fue diseñado.

### 3.9 Diseño y simulación del arreglo de dos elementos alimentados por un divisor de potencia unión-T.

La figura 3.39 muestra el diseño del arreglo de antenas alimentado por el divisor de potencia de unión-T y en las figuras 3.40, 3.41, 3.42, 3.43 y 3.44 se aprecian los parámetros de ésta.

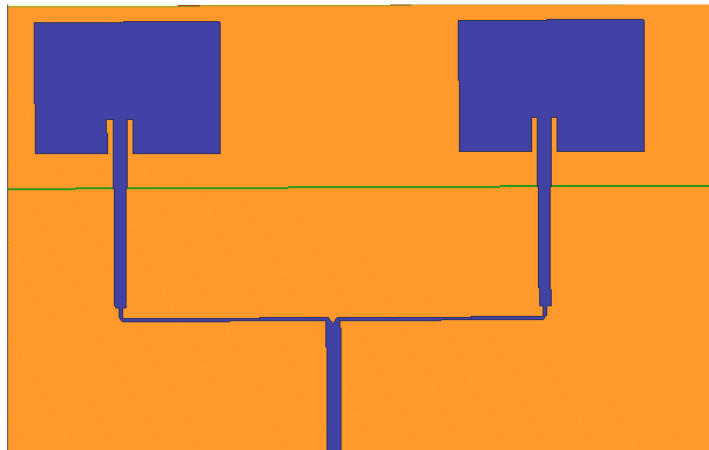


Figura.3.39. Diseño completo de la antena  
Elaborada por el Autor

En la figura 3.40 se muestra las pérdidas de retorno la cual tiene un valor de -42.443.

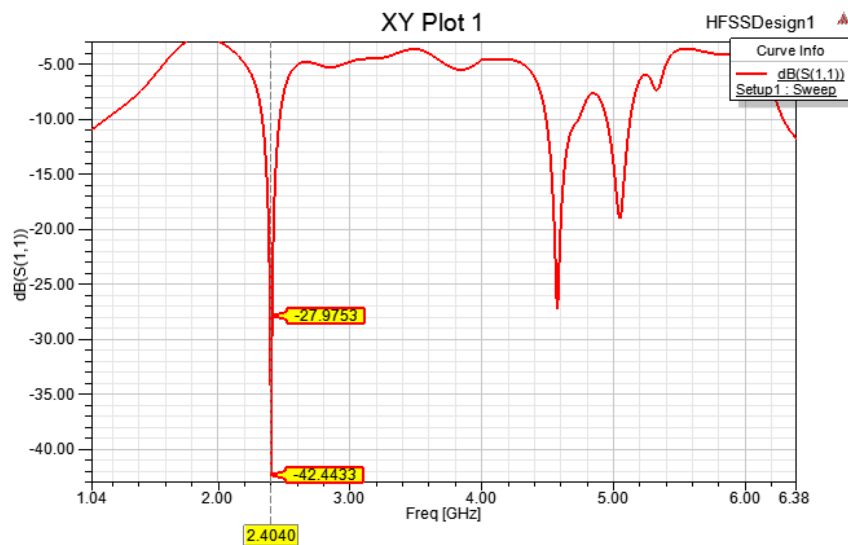


Figura.3.40. Pérdidas de retorno  
Elaborada por el Autor

En la figura 3.41 se muestra que se ha logrado un acoplamiento de impedancia satisfactorio arrojando un valor de la parte real de 49.9820 y la parte imaginaria de 1.5556. Estos valores influyen en las pérdidas de retorno.

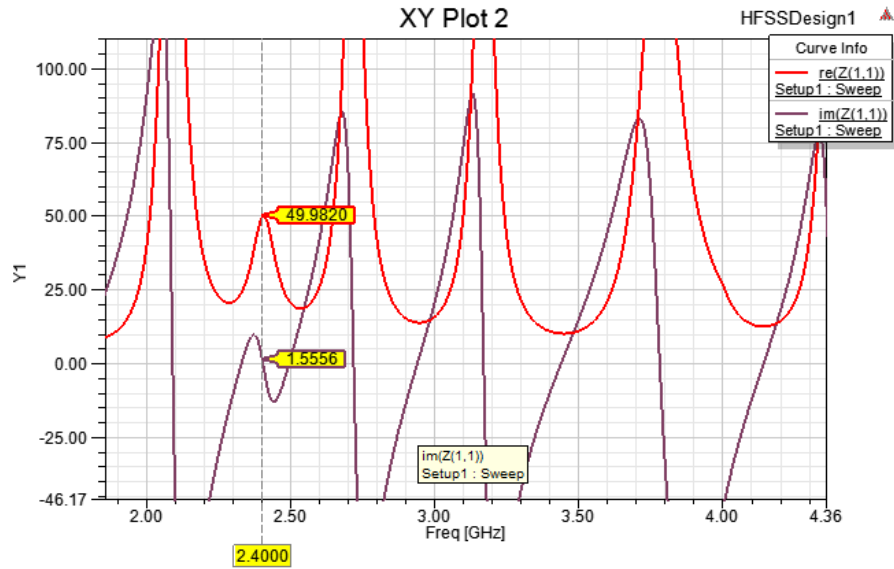


Figura.3.41. Impedancia de entrada en la antena  
Elaborada por el Autor

La figura 3.42 muestra la ganancia del arreglo de antena de dos elementos.

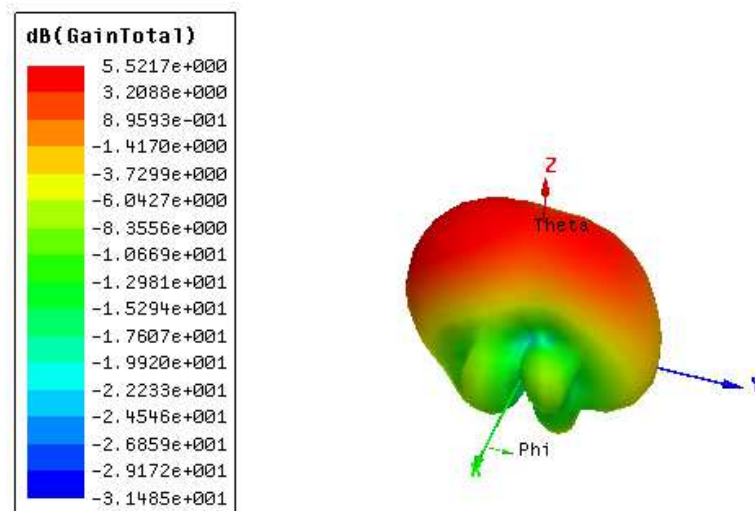


Figura.3.42. Ganancia del arreglo de antena  
Elaborada por el Autor

Como se puede observar en la figura anterior la ganancia de la antena es de 5.5217dB la cual aumentó aproximadamente 3 dB respecto a la ganancia que tenía la antena cuando se simuló un solo elemento, pero disminuyó un poco respecto a

la ganancia de la antena cuando se simuló el arreglo con dos elementos alimentados de forma independiente. Se puede decir que el tamaño del sustrato influye en la ganancia de la antena, o sea, mientras mayor sea el sustrato afectará la ganancia de la antena.

La figura 3.43 muestra la directividad del arreglo de antenas alimentado mediante líneas de microcintas.

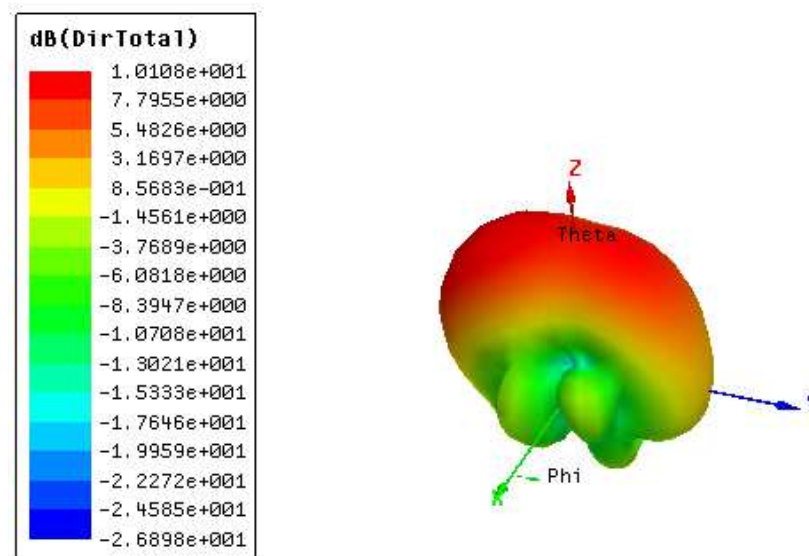


Figura.3.43. Directividad del arreglo de antena  
Elaborada por el Autor

Mediante la figura 3.44 se puede determinar el ancho de banda del arreglo de antenas alimentado mediante líneas de microcintas. Como se puede apreciar aumentó con respecto a un solo elemento como debe ocurrir. Este tipo de antenas de microcintas no se caracterizan por tener un gran ancho de banda. El ancho de banda del arreglo de antenas es de 138 MB, un valor pequeño pero típico de este tipo de antenas.

La figura 3.45 muestra la razón de onda estacionaria, como muestra la figura tiene un valor de 1.0152, lo cual es un valor satisfactorio ya que, este parámetro debe dar lo más cercano a 1 demostrando el buen acoplamiento en impedancias que presenta el arreglo de antenas.

La figura 3.46 muestra otros parámetros de la antena. El parámetro resaltado es la eficiencia de la antena, como muestra la figura, la antena no es muy eficiente, la antena tiene una eficiencia del 34%, lo cual evidencia una de las características de las antenas de microcintas que es que no son muy eficientes, además si se tiene en cuenta que el sustrato con el cual fue construido la antena es FR4, este influye en la eficiencia de la antena.

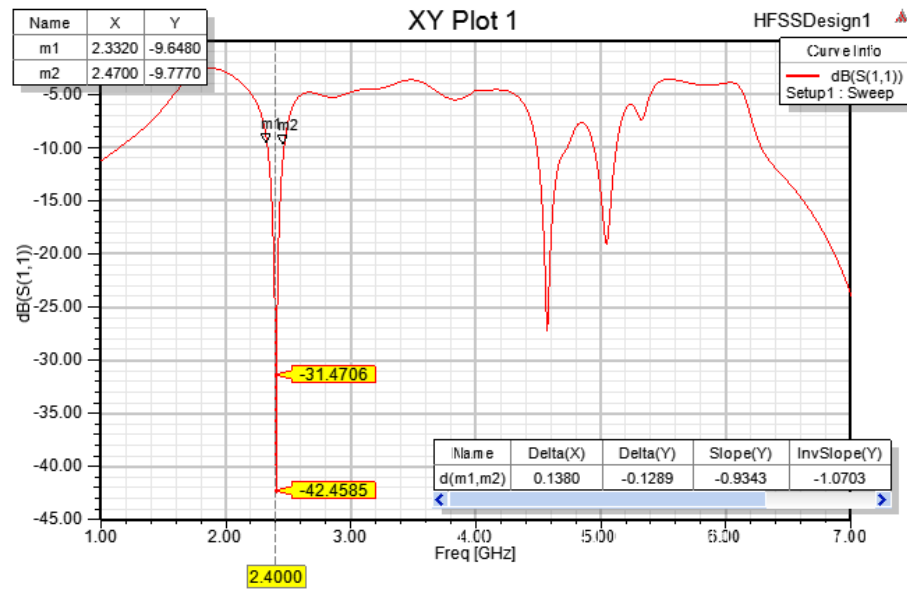


Figura.3.44. Ganancia del arreglo de antena  
Elaborada por el Autor

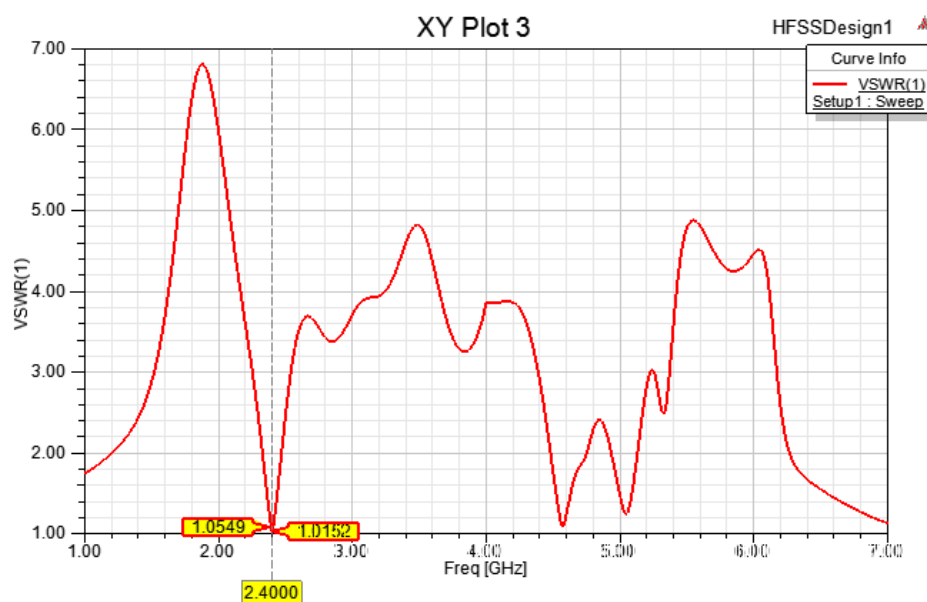


Figura.3.45. Razón de onda estacionaria del arreglo de antenas  
Elaborada por el Autor



Antenna Parameters:

Quantity	Freq	Value
Max U	2.4GHz	0.27951 W/sr
Peak Directivity		10.253
Peak Gain		3.5659
Peak Realized Gain		3.5125
Radiated Power		0.34259 W
Accepted Power		0.98502 W
Incident Power		1 W
Radiation Efficiency		0.3478
Front to Back Ratio		-N/A-
Decay Factor		0

Figura.3.46. Otros parámetros del arreglo de antenas  
Elaborada por el Autor

## CONCLUSIONES

- Se realizó una búsqueda bibliográfica acerca de las antenas de microcintas, sus métodos de alimentación y sobre los divisores de potencia, analizando y determinando los aportes de los autores sobre el tema de esta investigación, datos que se emplearon en los diseños realizados.
- Se realizó el diseño de una antena de microcinta con geometría triangular y una con geometría rectangular, que operen en la banda de frecuencia de 2.4 GHz y se alimenten por línea de transmisión.
- Se efectuó la simulación para obtener las características generales de las antenas de microcinta diseñadas, mediante el uso del software HFSS v15.
- Se realizó el diseño y simulación de un divisor de potencia tipo T para alimentar un arreglo de antenas de 2 elementos.
- Se efectuó la simulación para obtener la caracterización de un arreglo de antenas de microcintas con geometría triangular y con geometría rectangular que operen en la frecuencia de 2.4 GHz.
- En este trabajo se comprobó el comportamiento apropiado, para redes de área local inalámbricas, de un arreglo de antenas de microcintas de dos elementos con geometría triangular y con geometría rectangular, alimentadas con línea de transmisión, mediante el diseño y simulación de estas en el programa HFSS v15. Se verificó la baja eficiencia que presenta este tipo de antenas empleando el substrato FR4, así como su limitado ancho de banda. Se comprobó que aumentando el número de elementos del arreglo de antenas la ganancia de este aumenta, teóricamente en 3 dB, al duplicar el número de elementos del arreglo.

## RECOMENDACIONES

- Optimizar las antenas lo mejor posible para lograr mejores valores.
- Diseñar antenas de microcinta con otras geometrías diferentes, que operen en otras bandas de frecuencia y se alimenten mediante otras variantes.
- Realizar otros diseños con las variantes de acoplamiento para escoger el mejor comportamiento.
- Considerar el trabajo con otros sustratos que doten a estos diseños de un mejor comportamiento.
- Utilizar otros modelos de divisor de potencia para alimentar un arreglo de antenas.
- Efectuar simulaciones para obtener las características generales de las antenas de microcinta diseñadas, mediante otros programas de simulación.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

<b>GOES:</b>	Geostationary Operational Environmental Satellite, Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental
<b>GPS:</b>	Global Positioning System, Sistema de Posicionamiento Global
<b>HF:</b>	High Frequency, Alta Frecuencia
<b>HFSS:</b>	High Frequency Structure Simulator, Simulador de Estructura de Alta Frecuencia
<b>LPF:</b>	Low-Pass Filter, Filtro Pasa-Bajas
<b>MF:</b>	Medium Frequency, Media Frecuencia
<b>MMIC:</b>	Monolithic Microwave Integrated Circuits, Circuitos Integrados Monolíticos de Microondas
<b>PCAAD:</b>	Personal Computer Aided Antenna Design, Diseño de Antenas Ayudado por Computador Personal
<b>RF:</b>	Radio Frequency, Radio Frecuencia
<b>SMS:</b>	Short Message Service, Servicio de Mensaje Cortos
<b>UHF:</b>	Ultra High Frequency, Ultra Alta Frecuencia
<b>VHF:</b>	Very High Frequency, Muy Alta Frecuencia

## BIBLIOGRAFÍA

- Abouzahra, M. D., & Gupta, K. C. (2003). Multiple-Port Power Divider/Combiner Circuits Using Circular Microstrip Disk Configurations. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (Volume:35 , Issue: 12 )*, 1296 - 1302.
- Abouzahra, M., & Gupta, K. (2002). Multiport power divider-combiner circuits using circular-sector-shaped planar components. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (Volume:36 , Issue: 12 )*, 1747 - 1751.
- Balanis, C. (1997). *Antenna Theory: Analysis and Design, 2nd. Edition* (Second Edition ed.). New York U.S.A.: John Wiley and Sons.
- Balanis, C. (2005). *Antenna Theory Analysis and Design. Third Edition*. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Balanis, C. (2016). *Antenna Theory Analysis and Design*. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Balanis, C. A. (2009). *Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd Edition* (Third Edition ed.). United States of America: Wiley-Interscience.
- Buenrostro, S. (2007). *Metodología para el diseño y construcción de antenas de microcintas en la banda WiMax a 3.5GHz*. Tijuana: Instituto Politécnico Nacional.
- C.Autores. (2002). *Manual de estilo de publicaciones de la American Psychological Association*. México: El Manual Moderno.
- Cardama, Á., Jofre, L., Rius, J., Romeu, J., Blanch, S., & Ferrando, M. (2002). *Antenas, Segunda ed.* Barcelona: EDICIONS UPC.
- Constantine A. Balanis. (2016). *Antenna Theory: Analysis and Design, 4th Edition*. . New York: John Wiley & Sons.

- Domínguez, S., Sánchez, E., & Sáqnchez, G. (2009). *Guía para elaborar una Tesis*. México: McGraw Hill.
- Flores-Cuadras, J. (2006). *Diseño y construcción de una antena planar activa para el estándar 802.11a en la banda superior de la U-UNII*. Ensenada, Baja California: CICESE.
- Garg, R., Bhartia, P., & Ittipiboon, A. (2001). *Microstrip antenna design handbook*. Boston: Artech house.
- Godara, L. (2002). *Handbook of Antennas in Wireless Communications*. United States of America : CRC Press.
- Hernández, D. (2015). *Diseño, simulación y comparación de antenas microcintas a una frecuencia de 2.4 GHz*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Hernández, R. (2008). *Diseño, simulación y construcción de antenas tipo parche para bluetooth y WI-FI, bandas 2.4 ghz y 5.8 ghz*. Cholula, Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2003). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
- Herrera, A. (2008). *Fundamentos de Antena de Microcinta*. Veracruz: Universidad Veracruzana.
- James, J. R., & Hall, P. S. (1989). *Handbook of Microstrip Antennas, Volume 1*. London: Peter Peregrinus Ltd. .
- Jorgensen, D., Loadman, C., & Chen, Z. (2003). Retrodirective Antenna Systems for Wireless Communications. *CNSR 2003 Conference*, 20-23.
- Melguizo, M. (2007). *Como escribir un artículo científico*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Méndez, C. (2011). *Metodología. Diseño y desarrollo del proceso de investigación con énfasis en ciencias empresariales*. México: Limusa.

- Monachesi, E., Frenzel, A., Chaile, G., Carrasco, A., & Gómez, F. A. (2011). *Efecto de la Foresta en las Transmisiones electromagnéticas dentro de una WLAN (LAN inalámbrica). Conceptos generales de Antenas* . Tucumán: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Tucumán .
- Pozar, D. (1989). Analysis and design considerations for printed phased-array antennas. En . S. James R. James, *Handbook of Microstrip Antennas, Volume 1* (págs. 693-753). London: Peter Peregrinus Ltd.
- Pozar, D. (2012). *Microwave Engineering Fourth Edition* . United States of America: John Wiley & Sons Inc. .
- Sainati, R. (1996). *CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications*. Artech House. .
- Sandoval, F. (10 de Febrero de 2009). *Antenas Microcinta o Patch*. Obtenido de <http://fralbe.com/>: <http://fralbe.com/2009/02/10/tipos-de-parche-antena-microcinta-o-patch/>
- Wilkinson, E. (2003). An N-Way Hybrid Power Divider. *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques* , 116 - 118.
- WNDW, A. (Octubre de 2013). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo. Cuarta Edición*. Obtenido de <http://wndw.net>: <http://wndw.net/pdf/wndw3-es/wndw3-es-ebook.pdf>



**Presidencia  
de la República  
del Ecuador**



**Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes**



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Park Kim, Daniel**, con C.C: # 0915076699 autor del trabajo de titulación: **Diseño y simulación de un arreglo de antenas de microcintas con geometrías triangular y rectangular alimentadas por línea de transmisión para la banda de 2.4 GHz** previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 30 de enero de 2017

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Park Kim, Daniel**

C.C: **0915076699**





<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Diseño y simulación de un arreglo de antenas de microcintas con geometrías triangular y rectangular alimentadas por línea de transmisión para la banda de 2.4 GHz		
<b>AUTOR(ES)</b>	Park Kim, Daniel		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR</b>	MSc. María Luzmila Ruilova Aguirre, MSc. Orlando Philco Asqui/MSc. Luis Córdova Rivadeneira		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Sistema de Posgrado		
<b>PROGRAMA:</b>	Maestría en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Magister en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	<b>30 de enero del 2017</b>	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	<b>88</b>
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Diseño y simulación de antenas de microcintas Antenas con geometría triangular y rectangular Programa simulador HFSS v15.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Antenas de microcintas, métodos de alimentación, divisores de potencia, HFSS, ancho de banda, directividad, ganancia e impedancia de entrada		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b>	En este trabajo se hace un resumen de los parámetros de las antenas de microcintas, así como sus múltiples métodos de alimentación. Se analizan las propiedades de los arreglos de antenas y los diferentes tipos de divisores de potencia. Se realiza el diseño y simulación de un arreglo de antenas de microcintas con geometría triangular, así como de un arreglo de 2 elementos de una antena de microcintas de geometría rectangular y de un divisor de potencia tipo T para alimentar el arreglo de antenas. La técnica de alimentación utilizada es mediante línea de transmisión, a una frecuencia de 2.4 GHz. Estas simulaciones se hicieron empleando el programa HFSS v15 (High Frequency Structure Simulator, Simulador de estructuras de altas frecuencias). Se muestran, en los resultados de la simulación, los parámetros que caracterizan las antenas, tales como: ancho de banda, directividad, ganancia e impedancia de entrada		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-997485157	<b>E-mail:</b> danparkim@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre: Romero Paz Manuel de Jesús</b>		
	<b>Teléfono:</b> +593-994606932		
	<b>E-mail:</b> manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			