



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES
Y REDES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP CON
CONTROL DE FASE UTILIZANDO DIODO VARACTOR PARA
APLICACIONES DE WIFI

TRABAJO DE TITULACIÓN
Tipo: DISPOSITIVO TECNOLÓGICO

Para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTOR:

JOSÉ FERNANDO CUDCO ROJAS

Riobamba-Ecuador

2018



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES
Y REDES

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP CON
CONTROL DE FASE UTILIZANDO DIODO VARACTOR PARA
APLICACIONES DE WIFI

TRABAJO DE TITULACIÓN
Tipo: DISPOSITIVO TECNOLÓGICO

Para optar al grado académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTOR: JOSÉ FERNANDO CUDCO ROJAS

TUTOR: ING. HUGO OSWALDO MORENO AVILES Ph.D

Riobamba-Ecuador

2018

@2018, José Fernando Cudco Rojas.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP CON CONTROL DE FASE UTILIZANDO DIODO VARACTOR PARA APLICACIONES DE WIFI, de responsabilidad de José Fernando Cudco Rojas, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Julio Santillán		
VICEDECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Patricio Romero		
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Ing. Hugo Moreno Ph. D		
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Pedro Infante M.		
MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

Yo, José Fernando Cudco Rojas, declaro ser el autor del presente trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP CON CONTROL DE FASE UTILIZANDO DIODO VARACTOR PARA APLICACIONES DE WIFI, que fue elaborado en su totalidad por mi persona, bajo la dirección del Ingeniero Hugo Moreno Avilés Ph.D, haciéndome totalmente responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

José Fernando Cudco Rojas

DEDICATORIA

A mi papa Dios por permitirme culminar con éxito esta etapa educativa, a mis papis José y Bertha por su apoyo incondicional en todo momento, por sus consejos y cariño para guiarme por el camino del bien que fueron mi fuente de inspiración para seguir adelante en el cumplimiento de este objetivo, a mi querido hermano Joel.

AGRADECIMIENTO

A Dios que es dueño de todo conocimiento y sabiduría, que me ha permitido cumplir con éxito este objetivo, hallar gracia ante él y todos los que me rodean, por todas sus bendiciones ya que sin él no hubiese sido posible llegar tan lejos.

Mis agradecimientos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por abrirme sus puertas y forjar mis conocimientos. A todos mis maestros que de una y otra forma me brindaron sus conocimientos los cuales forjaron mi carácter para ser competitivo en el ámbito laboral.

Un agradecimiento especial a mi director de tesis al Dr. Hugo Moreno, por la paciencia, la disponibilidad de su tiempo y la confianza que me brindo ha sido posible el desarrollo del presente trabajo de titulación.

A mis papis José y Bertha, por su esfuerzo y apoyo, siendo siempre mi mayor inspiración y mi mayor orgullo de tenerlos, gracias por ese sacrificio de amor infinito e incondicional.

A mi familia, que de una u otra forma estuvieron siempre alentándome y de manera muy especial a mis primos Washington, América , gracias por todo el apoyo y palabras de aliento en todo momento.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xvii
SUMMARY.....	xviii
CAPITULO I.....	7
1 MARCO TEÓRICO	7
1.1 HISTORIA DE LAS ANTENAS	7
1.2 DEFINICIÓN	7
1.3 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	8
1.4 ECUACIÓN DE TRANSMISIÓN	8
1.5 PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN	9
1.5.1 Impedancia	9
1.5.2 Intensidad de radiación.....	10
1.5.3 Diagrama de Radiación	10
1.5.4 Polarización	11
1.5.5 Ancho de banda	11
1.5.6 Directividad.....	12
1.5.7 Ganancia.....	13
1.6 MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ANTENAS	13
1.6.1 Antenas Microstrip.....	13
1.6.1.1 Características.....	13
1.7 MÉTODOS DE ALIMENTACIÓN.....	17
1.7.1 Línea microstrip.....	17
1.7.2 Sonda coaxial.....	17
1.8 MATERIALES DIELECTRICOS	18
1.8.1 FR4	18
1.8.2 Roger/Duroid 5880.....	19
1.8.2.1 Aplicaciones	19
1.9 SISTEMAS DE CONTROL DE FASE DE ANTENAS	21
1.9.1 Matriz de Butler	21
1.9.1.1 Estructura.....	21
1.9.2 Acoplador Híbrido de Cuadratura	22
1.9.3 Acopladores branch-line	23
1.9.4 Conmutador de fase	24

1.9.5	<i>Cruces (Crossover)</i>	24
1.9.6	<i>Antena con Control de Fase con Diodo Varactor</i>	25
1.10	BIAS-TEE	26
1.10.1	<i>Funcionamiento</i>	26
1.11	DIODO VARACTOR	28
1.11.1	<i>Funcionamiento</i>	28
1.12	INDUCTORES 100 NH	29
1.12.1	<i>Funcionamiento</i>	29
CAPITULO II		30
2	IMPLEMENTACION DELPROTOTIPO; HARDWARE Y SOFTWARE	30
2.1	CONCEPCIÓN GENERAL DEL DISPOSITIVO	30
2.1.1	<i>Concepción general de la antena de control de fase</i>	30
2.2	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ANTENA	31
2.2.1	<i>Requerimientos software</i>	31
2.2.1.1	<i>ANSOFT DESIGNER V3</i>	31
2.2.2	<i>IDC</i>	35
2.2.3	<i>Parámetro Z</i>	39
2.2.4	<i>Diagrama de radiación</i>	40
2.3	REQUERIMIENTOS HARDWARE	41
2.3.1.1	<i>Bloque de Alimentacion</i>	42
2.3.1.2	<i>Bloque de procesamiento de datos y voltaje</i>	42
2.3.1.3	<i>Bloque de proteccion</i>	42
2.3.1.4	<i>Bloque generador de señales</i>	42
2.3.2	<i>Antena transmisora</i>	42
2.3.2.1	<i>Proteccion del diodo varactor</i>	42
2.3.3	<i>Varactor</i>	43
2.3.4	<i>Bias tee</i>	43
2.3.5	<i>Inductor</i>	44
2.3.6	<i>Resistencia</i>	44
2.4	CONSTRUCCIÓN DE LA ANTENA	44
3	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA	49
3.1	RESULTADOS SOFTWARE	49
3.1.1	<i>Resultados en la simulación de la antena</i>	49
3.2	ESTRUCTURA HARDWARE	50
3.2.1	COMPONECCTES DEL TRANSMISOR	50
3.2.1.1	<i>Antena transmisora</i>	49
3.2.1.2	<i>BIAS TEE</i>	49
3.2.2	CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS	52
3.2.2.1	<i>Fuente de alimentacion</i>	49
3.2.2.2	<i>Generador de señales</i>	49

3.2.3	COMPONENTES DE LA RECEPCION	55
3.2.3.1	<i>Antena Receptora</i>	55
3.2.2.2	<i>Analizador de espectro</i>	49
3.3	PRUEBAS DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	56
3.3.1	<i>Distancia de funcionamiento</i>	57
3.3.2	<i>Niveles máximos y mínimos de voltaje</i>	57
3.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
3.4.1	<i>Rango de 1 a 1.5V</i>	60
3.4.2	<i>Rango de 2 a 2.5V</i>	61
3.4.3	<i>Rango 3V</i>	62
3.4.4	<i>Desplazamientos de fase</i>	64
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES	68
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Parámetros de las antenas parche.....	32
Tabla 1-3: Especificaciones de funcionamiento	54
Tabla 2-3: Distancia de funcionamiento.....	57
Tabla 3-3: Cambios de fase con un rango de 0 a 0.5 V	59
Tabla 4-3: Cambios de fase con un rango de 1 a 1.5 V	60
Tabla 5-3: Cambios de fase con un rango de 2 a 2.5 V	62
Tabla 6-3: Cambios de fase en 3 V	62
Tabla 7-3: Desfases obtenidos según el voltaje	63
Tabla 8-3: Rango de desfase	64
Tabla 9-3: Rango de desfases con sus respectivas ganancias	64

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Impedancia de la antena	9
Figura 2-1:	Diagramas de radiación	11
Figura 3-1:	Ancho de banda a distintas frecuencias	12
Figura 4-1:	Medición del ancho de banda de una antena.....	12
Figura 5-1:	Impedancia de la antena	13
Figura 6-1:	Esquema estructural de una antena microstrip.....	14
Figura 7-1:	Tipos de antenas microstrip.....	15
Figura 8-1:	Dimensionamiento de una antena microstrip.....	16
Figura 9-1:	Método de alimentación de Línea microstrip	17
Figura 10-1:	Método de alimentación de sonda coaxial	18
Figura 11-1:	Material FR4.	19
Figura 12-1:	Material Rogers.	21
Figura 13-1:	Diagrama básico de la matriz de Butler de 4x4	22
Figura 14-1:	Acoplador Híbrido de cuadratura <i>branch-line</i>	23
Figura 15-1:	Acoplador Híbrido de cuadratura <i>branch-line</i> multisección.	23
Figura 16-1:	Esquema Conmutador Fase	24
Figura 17-1:	Estructura de un Crossover.....	25
Figura 18-1:	Concepción general del sistema de comunicación con cambio de fase.....	26
Figura 19-1:	Componentes del Bías Tee	27
Figura 20-1:	Bias Tee.....	27
Figura 21-1:	Componentes del diodo varactor	28
Figura 22-1:	Simbología del diodo varactor.....	29
Figura 23-1:	Modelo compacto del inductor	29
Figura 1-2:	Concepción general del sistema de comunicación con cambio de fase.....	30
Figura 2-2:	Medidas de la antena parche en 2.4 Ghz.....	31
Figura 3-2:	Antena parche.....	33
Figura 4-2:	Selección de las capas del sustrato	33
Figura 5-2:	Frecuencia de operación y ganancia de la antena	34
Figura 6-2:	Antena parche con línea de transmisión	34
Figura 7-2:	Diseño del IDC.....	35
Figura 8-2:	Circuito equivalente del IDC	35
Figura 9-2:	Diseño y Medidas del IDC en la antena.....	36
Figura 10-2:	Implementación de regiones para componentes electrónicos	36
Figura 11-2:	Ubicación de los componentes electrónicos y alimentación	37
Figura 12-2:	Diseño de la antena de variación de fase	38

Figura 13-2:	Parámetros de la antena a una frecuencia de 2.4Ghz	39
Figura 14-2:	Parámetro Z, impedancia imaginaria e impedancia real	39
Figura 15-2:	Parámetro Z en 2 dimensiones.....	40
Figura 16-2:	Parámetro Z en 3 dimensiones.....	40
Figura 17-2:	Diagrama de bloques para el cambio de fase.....	41
Figura 18-2:	Conexión de sistema de protección del diodo varactor	42
Figura 19-2:	Diagrama de bloques del sistema de protección del diodo varactor.....	42
Figura 20-2:	Diagrama de bloques de la alimentación al circuito de cambio de fase	43
Figura 21-2:	Diodo varactor SMW 1430	43
Figura 22-2:	Bias Tee BT10M6G2P3A	43
Figura 23-2:	Inductor FIXED IND 100NH 200MA 1.5 OHM.....	44
Figura 24-2:	Resistencia de 20 K Ω	44
Figura 25-2:	Exportación a AutoCAD	45
Figura 26-2:	Diseño de la antena transmisora con sus medidas	46
Figura 27-2:	Fresadora laser	47
Figura 28-2:	Antena transmisora con el puerto sma	47
Figura 29-2:	Conexión de componentes electrónicos.....	47
Figura 30-2:	Conexión de la fuente de alimentación.....	48
Figura 31-2:	Conexión con el Bias Tee.....	48
Figura 1-3:	Diseño de la antena simulada	49
Figura 2-3:	Frecuencia central de operación de la antena simulada	50
Figura 3-3:	Antena transmisora con sus componentes electrónicos	51
Figura 4-3:	Bias tee.....	51
Figura 5-3:	Conexiones con el Bias tee.....	52
Figura 6-3:	Fuente de alimentación.....	53
Figura 7-3:	Generador de Señales ANRITSU MG3692C	53
Figura 8-3:	Equipo de transmisión	54
Figura 9-3:	Antena receptora	55
Figura 10-3:	Analizador de espectro ANRITSU MS2724C.....	55
Figura 11-3:	Funcionamiento del bloque de recepción	56
Figura 12-3:	Rango de cobertura de la antena.....	57
Figura 13-3:	Determinación del patrón de radiación	58
Figura 14-3:	Posicionamiento de las antenas para el enlace.....	58
Figura 15-3:	Funcionamiento del Sistema de Comunicación	59
Figura 16-3:	Cambio de fase en el rango de 0 a 0.5 V	60
Figura 17-3:	Cambio de fase en el rango de 1 a 2.5 V	61
Figura 18-3:	Cambio de fase en el rango de 2 a 2.5 V	61

Figura 19-3:	Cambio de fase con inducción de 3V	62
Figura 20-3:	Desplazamientos de fase.....	65
Figura 21-3:	Ganancias vs Voltaje y Desfase.....	66

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ISM:	Industrial, Scientific and Medical
FCC:	Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos
UHF:	Ultra High Frequency
VHF:	Very High Frequency
GFSK:	Gaussian Frequency Shift Keying (Modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana)
FSK:	Frequency Shift Keying (Modulación por desplazamiento de frecuencia)
ECMA	Organización de estándares para la comunicación y la información.
NFC Forum	Asociación industrial sin fines de lucro encargada de regular la interacción
ECMA	European Computer Manufacturers Association
CSS	Cascading Style Sheets (Hojas de Estilo en Cascada)
WIFI	Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica).
LF	Low Frequency (Baja Frecuencia).
HF	High Frequency (Alta Frecuencia).

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1	9
Ecuación 2-1	9
Ecuación 3-1	9
Ecuación 4-1	9
Ecuación 5-1	10
Ecuación 6-1	10
Ecuación 7-1	10
Ecuación 9-1	10
Ecuación 10-1	12
Ecuación 11-1	13
Ecuación 12-1	13
Ecuación 13-1	13
Ecuación 14-1	13
Ecuación 15-1	16
Ecuación 16-1	16
Ecuación 17-1	16
Ecuación 18-1	16
Ecuación 19-1	22
Ecuación 20-1	23
Ecuación 21-1	23
Ecuación 22-1	24
Ecuación 23-1	24
Ecuación 1-2	32
Ecuación 2-2	32

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Medición de la antena transmisora

ANEXO B: Lectura de la antena receptora

ANEXO C: Rango de cobertura de las antenas

ANEXO D: Cambio de voltaje para la variación de la fase

ANEXO E: Análisis del desplazamiento de fase en la antena transmisora

ANEXO F: Antena transmisora con alimentación de la fuente

ANEXO G: Posicionamiento de la antena receptora para la lectura de la antena transmisora

ANEXO H: Frecuencia central en el analizador de espectro

ANEXO I: VARACTOR

ANEXO J: RESISTENCIA DE 20K

ANEXO K: Data sheet de la resistencia de 20k

ANEXO L: Inductor

ANEXO M: Data sheet del inductor

RESUMEN

Mediante la tecnología microstrip, que está basada en la composición de capas dieléctricas se generó el diagrama para la implementación de una antena plana con control de fase utilizando diodo varactor para aplicaciones de wifi. El diseño de la antena reconfigurable fue construido bajo la frecuencia central de 2.4 Ghz, siendo capaz de modificar parámetros como ancho de banda, ganancia, y frecuencia, mediante la inducción de voltaje al diodo varactor que constituye parte de la antena y aprovecha las técnicas constructivas para mejorar los parámetros ante variaciones de la tensión aplicada. En la construcción se utilizó un BIAS TEE para establecer puntos de polarización, permitiendo el paso de frecuencia y voltaje en canalización directa a la antena y manteniendo un alto aislamiento como protección del generador de señales evitando que afecte las propiedades electromagnéticas de la señal. El diodo varactor realiza las modificaciones de desfase de la señal, logrando tener un control de fase al variar la tensión en la antena, los datos generados de este proceso han sido evaluados y comparados con las pruebas de simulación y laboratorio. Con los patrones de radiación obtenidos se visualizó en el analizador de espectros, los cambios de voltajes los cuales determinaron variaciones de la ganancia las mismas que mejoraron en las distintas frecuencias en el rango de 2.370 GHz a 2.373 GHz, por lo cual se establece que el prototipo del sistema de comunicación puede ser escalable para una amplia gama de rango de frecuencias no solo en sistemas wifi controlando el direccionamiento del patrón de radiación, Se recomienda el estudio del diodo varactor en los diseños de antenas para mejorar parámetros y cambios de fase.

Palabras Claves: <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <TELECOMUNICACIONES>, <MICROSTRIP (TECNOLOGÍA)>, <DIODO VARACTOR >, <INDUCTOR FIXED 100NH 200MA 1.5 OHM>, < CONTROL DE FASE >, <WIFI (TECNOLOGÍA)>.

SUMMARY

Through the microstrip technology, a design and implementation of a microstrip antenna with phase control using varactor diode for wifi applications was developed. The design of the reconfigurable antenna was built under the central frequency of 2.4 GHz, being able to modify parameters such as bandwidth, gain, and frequency, by inducing voltage to the varactor diode that constitutes part of the antenna and takes advantage of the constructive techniques in order to improve the parameters before variations of the applied tension. In the construction a BIAS TEE device was used to establish polarization points, allowing the passage of frequency and voltage in direct channeling to the antenna as well as maintaining a high isolation as protection of the signal generator avoiding affecting the electromagnetic properties of the signal. The varactor diode performs the phase shift modifications of the signal, obtaining a phase control by varying the voltage in the antenna, demonstrating it with the results in the simulation and the laboratory tests. Once determined the radiation angles for the different configurations, as well as the changes of voltages, the variations of the gain that improved in the different frequencies in the range of 2.370 GHz to 2.373 GHz were obtained. It is concluded that it is applicable to short range wifi systems, since the radiation lobe can be addressed in different areas. A study of the varactor diode in antenna designs is recommended to improve parameters and phase changes.

Key words: <TECHNOLOGY AND SCIENCES OF ENGINEERING >, <TELECOMMUNICATIONS>, <ANTENNAS>, <MICROSTRIP (TECHNOLOGY)>, <VARACTOR DIODE>, <INDUCTOR>, <PHASE CONTROL>, <WIRELESS COMMUNICATIONS>.

INTRODUCCIÓN

El avance de la ciencia y tecnología se ha orientado en las comunicaciones a gran distancia sin la utilización de medios guiado, debido a esto se ha estado innovando en la última década en la búsqueda de circuitos prácticos con usos múltiples enfocados en comunicaciones inalámbricas, como son las antenas en los que se han estado enfatizándose en obtener óptimos parámetros para transmisión y recepción de información.

En los sistemas de comunicaciones las antenas son elementos importantes en la transmisión y recepción de señales electromagnéticas, con la evolución de la tecnología han ido cambiando cada una de las características y parámetros en la construcción de antenas para las distintas frecuencias de operación, como: sensibilidad, ganancia, niveles de radiación etc, pero no se ha obtenido grandes avances en el control automático de cambios de fase o ángulos del patrón de radiación.

Por esta razón se pretende una investigación en busca de características y parámetros de control de fase propios de una antena y conjuntos con elementos electrónicos permitan cambiar, modificar y seleccionar los parámetros de radiación en una antena, mediante la influencia de tensión con un diodo varactor, evitando el movimiento manual de la antena transmisora, que en la actualidad se lo realiza.

Una de las tecnologías con alto desarrollo para la fabricación de antenas en la última década es la tecnología microstrip, en la cual podemos modificar su estructura mediante la utilización de componentes electrónicos como el diodo varactor, para poder ejercer un control en la fase obteniendo sistemas de beamforming.

La implementación de esta antena se basará en el estándar de la IEEE 802.11 en campo de alta frecuencia del espectro radio eléctrico dentro de la banda ICM, debido al alto uso de esta frecuencia en pequeñas, grandes empresas y a nivel doméstico, con la cual se propone reducir interferencias he incrementar la ganancia.

En este capítulo se investigan los parámetros y característica necesarios para conseguir una variación de la fase mediante la utilización del diodo varactor bajo la influencia directa del voltaje, así también el estudio de características principales que influyen en una antena según el diseño que estas utilicen generando parámetros adecuados acorde a los objetivos planteados.

ANTECEDENTES

Michael Faraday bajo las diversas investigaciones de trabajos relacionados con la corriente, tensión y resistencia, permitieron que relacionados con la corriente, tensión y resistencia, permitieron demostrar que la Fuerza Electromotriz Inducida por una bobina produce un campo magnético, más conocida como la Ley de Faraday. (Barresi, 2010).

Ley de Faraday menciona que cualquier cambio por a inducción electromagnética es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o tensión) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, ya seas en un medio móvil respecto a un campo magnético estático no uniforme, o la variación de las líneas de campo que atraviesan dicha superficie mediante un giro. (Faraday, 2016,pp 1-2)

Desde la antigüedad se han venido realizando experimentos y descubrimientos donde se ha demostrado que las ondas electromagnéticas podían viajar a la velocidad de la luz y no fue hasta 1886 que James Clerk Maxwell lo descubrió basado en postulados como Heinrich Lenz, Faraday y otros más, muestra que la corriente debida a la f.e.m. inducida se opone al cambio de flujo magnético, de forma tal que la corriente tiende a mantener el flujo. Esto es válido tanto para el caso en que la intensidad del flujo varíe, o que el cuerpo conductor se mueva respecto de él.(Gavilánez López & Ripalda Carranza, 2017, p. 2).

A raíz de esto se originó la radio difusión y las comunicaciones mediante la creación de la primera antena que fue conocida como una ranura resonante que fue un cilindro con ranuras que tienen como punto de excitación una espira o línea bifilar en los extremos de la ranura, que generaban efectos inductivos en paralelo. (Rodas, 2015, p.12).

Durante el transcurso de los años cuarenta se empezó con la creación de nuevos diseños de antenas como reflectoras, lentes bocinas y otras más enfocadas para la aplicación en los sistemas de radar debido a la segunda guerra mundial. Esto fue el primer paso para las evoluciones de las comunicaciones.

Hoy en día, la comunicación inalámbrica se está desarrollando rápidamente y avanzando hacia la prestación simultánea de servicios múltiples con dimensiones de dispositivos más compactos, esta tendencia es impulsada por las demandas cada vez mayores de los usuarios, que han sido difíciles de satisfacer con antenas estáticas. Construir el filtro de RF en los chips como un medio para abordar este problema es difícil, y los filtros reconfigurables de banda ancha necesitan un área grande y son muy complicados. Cuando los chips de semiconductor de óxido de metal complementario de banda ancha (CMOS) se pusieron a disposición, se llamó la atención sobre las antenas reconfigurables en frecuencia.

Utilizando una sola antena sintonizable para eliminar la necesidad de múltiples antenas y filtros que operan en varias bandas de frecuencia, esta antena reconfigurable puede aumentar la capacidad y la calidad del servicio. También se puede reducir el tamaño del sistema y el número de componentes.

El sistema wifi es un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica. Los dispositivos habilitados con wifi (como una computadora personal, un televisor inteligente, una videoconsola, un teléfono inteligente o un reproductor de música) pueden conectarse a internet a través de un punto de acceso de red inalámbrica. Dicho punto de acceso tiene un alcance de unos veinte metros en interiores, alcance que incrementa al aire libre.

Esta nueva tecnología surgió por la necesidad de establecer un mecanismo de conexión inalámbrica que fuese compatible entre distintos dispositivos. Buscando esa compatibilidad, en 1999 las empresas 3Com, Airones, Intersil, Lucent Technologies, Nokia y Symbol Technologies se unieron para crear la Wireless Ethernet Compatibility Alliance, o WECA, actualmente llamada Alianza Wi-Fi. El objetivo de la misma fue designar una marca que permitiese fomentar más fácilmente la tecnología inalámbrica y asegurar la compatibilidad de equipos.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En un sistema de wifi, uno de los principales objetivos es proporcionar una señal de datos de forma inalámbrica en un rango determinado, para proporcionar esa función se utiliza una antena que irradie esa señal, pero la fase de esta antena esta estática, la forma de mover la fase será moviendo la antena.

¿Será posible implementar una antena que permita cambiar su frecuencia de operación mediante un circuito electrónicos que permita un control dinámico de radiación?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Será posible diseñar una antena microstrip con una frecuencia de operación de 2,4 GHz con control de fase?

¿Será que un control de fase utilizando el diodo varactor obtiene mejores resultados que un método tradicional?

¿Al Diseñar la antena en el simulador me permitirá obtener resultados previos a la construcción de la antena?

¿Con la implementación de la antena y su control de fase se obtendrá resultados similares que los obtenidos en la simulación?

¿La antena implementada tendrá las características deseadas en cuanto al control de fase requerido para el uso en sistemas de wifi?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.

El presente proyecto pretende incorporar un diseño en una antena, para ser incorporado en nuestro medio como una alternativa de un sistema de comunicaciones para el cambio dinámico de frecuencias en un sistema wifi, sin necesidad de la utilización de múltiples antenas o cambio de posicionamiento de cada una de las antenas, por lo cual se establecerá el uso de implementos electrónicos que permitan variar la fase.

Para el cambio de fase que se propone en el trabajo de titulación se basará, mediante el estudio de el voltaje incidente en cavidades resonantes, bajo la utilización de las líneas de transmisión como cavidades a lo cual se le denomina IDC, que permiten variar la fase por medio de las propiedades que los dieléctricos poseen.

Con el diseño y construcción de la antena microstrip con control de fase utilizando el diodo varactor, se espera tener mejores resultados al del uso de una antena tradicional ya que irradiara en distintas zonas por medio del control de fase.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

El circuito que se pretende construir utilizara componentes electrónicos de alta frecuencia que permitirán controlar el desplazamiento de la fase por medio de la aplicación de un voltaje de corriente continua. Una de los comprometes principales en el dispositivo electrónico es el diodo varactor que se comportara como un condensador, más utilizado en la construcción de radios am y fm.

El proceso para la inducción de un voltaje y una frecuencia en un mismo canal es realizado por el dispositivo bias tee, el cual mezcla la señal eléctrica con la señal de radio frecuencia permitiendo que esas dos señales se anexen en la salida de uno de los puertos del dispositivo.

El dispositivo tecnológico a diseñar evitara la utilización de varias antenas, así como el desplazamiento de cada una de las antenas, para la transmisión de información, debido que con el diseño de las antenas está en la capacidad de emitir ondas electromagnéticas en diferentes rangos de frecuencia con una misma posición.

con este diseño

Además de permitir parámetros técnicos adecuados, que mejoraran la eficiencia de trabajo dentro del sistema de comunicaron, donde se pretende su aplicación para el campo de las telecomunicaciones de forma práctica. evitando la utilización de antenas, energía y la optimización de infraestructura (ahorro de espacio).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar una antena microstrip con control de fase utilizando diodo varactor para aplicaciones de wifi.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir de una antena microstrip con control de fase utilizando diodo varactor para aplicaciones de wifi, utilizando software libre.
- Implementar un control de fase de radiación utilizando el diodo varactor para adaptarlo a la antena diseñada.
- Comparar los resultados entre el método propuesto utilizando el diodo varactor y el método tradicional conectando directamente la antena.
- Verificar el funcionamiento de la antena al receptor las frecuencias de operación bajo un análisis del espectro en entornos de laboratorio.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

Alexander Stepánovich Popov hizo uso de las investigaciones y postulados de Hertz y Maxwell, para la construcción de un elemento radiante, que años después se consideró la primera antena que fue construida, con esto dio inicio al estudio de los radiantes en componentes y circuitería electrónica (Gavilánez López and Ripalda Carranza, 2017)

1.1 Historia de las antenas

Tras investigaciones que se realizaron desde la segunda guerra mundial fue necesario la creación de nuevos diseños de antenas que no solo permitan trabajar a frecuencias específicas. La innovación en las antenas había empezado con la utilización de arreglos de barrido para poder establecer mayor directividad.

También mayor cobertura, miniaturización, nimitización de antenas aplicadas en la gran mayoría de los campos tecnológicos como aplicaciones para sistemas de radares para detección de objetos, sistemas aeronáuticos, sistemas satelitales, sistemas de navegación, sistemas de la aviación, sistemas de control de velocidad, sistemas meteorológicos, operando en frecuencias del espectro electromagnético (Gavilánez López y Ripalda Carranza 2017, p.3).

1.2 Definición

Las antenas son dispositivos esenciales para los sistemas de comunicaciones, así como para los sistemas radio eléctricos (Vielma, 2005, p 5). Estos elementos radiantes propagan ondas electromagnéticas en un espacio libre de forma inalámbrica WLAN (LAN inalámbrica).

La frecuencia a la que se propagará las ondas dependerá de la configuración con la que la antena fue fabricada, manejando parámetros que caracterizan que garanticen la recepción de las ondas electromagnéticas para establecer el enlace (Monachesi et al., 2011, p 1).

Son dispositivos que contienen componentes ferromagnéticos o metálicos que permiten la radiación y recepción de señal electromagnéticas de ondas planas los cuales contienen circuitos

de transmisión y recepción respectivamente los mismo que generan voltajes y corrientes eléctricas a una frecuencia de operación determinada que se asocian con ondas electromagnéticas, para ser emitidas por el espacio libre que al llegar a su destino la antena se encarga de acoplar los campos electromagnéticos entre diversos medios conductores (Monachesi et al., 2011,p 1).

También las antenas adaptan las ondas electromagnéticas a las guías de onda o también llamadas líneas de transmisión, permitiendo ser un traductor entre la señal de la línea de transmisión y el espacio radioeléctrico (Monachesi et al., 2011, p. 2).

1.3 Líneas de transmisión

Tanto la línea de transmisión como la antena permiten captar y transmitir ondas electromagnéticas, así como la distribución de la energía eléctrica, la diferencia está que la una lo realiza en un canal de espacio libre, mientras que los la otra lo hace con medios guiados como(Balanis 1984,p 3):

- Conductores
- Estructuras de soporte
- Aisladores
- Accesorios de ajustes entre aisladores y estructuras de soporte
- Cables
- Protectores de descargas atmosféricas

1.4 Ecuación de transmisión

Michael Faraday después de los experimentos que realizo en el año de 1831, demostró que una corriente eléctrica es generada de un campo magnético variable, postulado utilizado para explicar la relación entre la electricidad y el magnetismo por James Clerk Maxwell mediante las ahora conocidas Ecuaciones de Maxwell, principio básico en el campo de antenas (Gavilánez López and Ripalda Carranza, 2017; Universidad Politécnica De Valencia, 2017, p.01, http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Historia_antenas.pdf).

Con los estudio de las ecuaciones Maxwell se puede determinar postulados como el de la velocidad electromagnética se iguala a la velocidad de la luz además de las ecuaciones que se muestran a continuación en las ecuaciones (Balanis, 1984,p 5):

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \text{Ley de Gauss} \quad \text{Ecuación 1-1}$$

$$\nabla \cdot E = \frac{\partial B}{\partial t} \quad \text{Ley de Faraday – Henry} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad \text{Ley de Gauss para el Magnetismo} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

$$\nabla \cdot E = \mu_0 \cdot J \quad \text{Ley de Ampere} \quad \text{Ecuación 4-1}$$

Con las leyes de Maxwell empezaron descubrimientos con hilos como un monopolio y elementos radiantes que operaban con frecuencias LF, MF, y HF, cuyas dimensiones variaban para cada una de las frecuencias mientras más grande la frecuencia menor las dimensiones de la antena. (Time Rime, <http://timerime.com/es/periodos/3275330/Comunicaciones+radioelectricas/>)

1.5 Parámetros de transmisión

Para poder establecer condiciones óptimas para la transmisión y recepción de la información en un enlace de datos se debe considerar los siguientes parámetros esenciales para las antenas:

1.5.1 Impedancia

La impedancia se refiere a la razón que se establece entre la intensidad de corriente y entre la tensión en los puntos de entrada de la antena. Es decir, la potencia disipada por efecto de pérdidas resistivas, la oposición al paso de la corriente es la suma de resistencias óhmicas más, se puede apreciar su representación en la Figura 1-1. (Vielma 2005, p. 19)

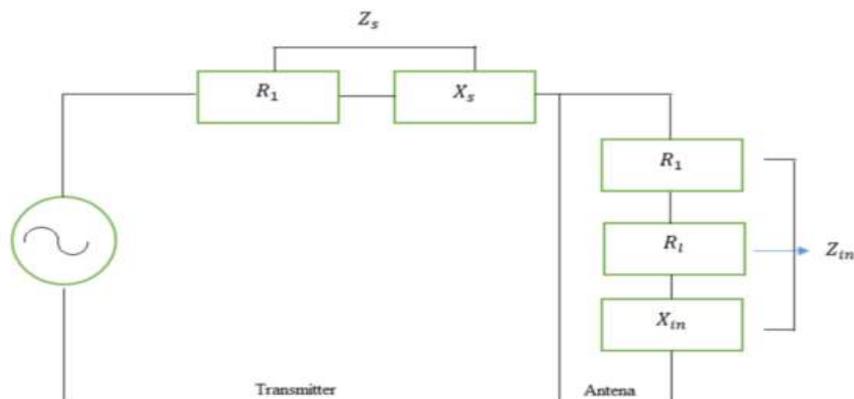


Figura 1-1: Impedancia de la antena

Fuente: (Vielma 2005, p. 19)

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$$

Donde:

Z_{in} Es la impedancia de la antena en los terminales

R_{in} Es la resistencia de la antena en los terminales

X_{in} Es la reactancia de la antena en los terminales

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R_a + jX_a \quad \text{Ecuación 5-1}$$

$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = R_a + jX_a = (R_r + R_\Omega) + jX_a \quad \text{Ecuación 6-1}$$

$$\eta = \frac{W_1}{W_1} = \frac{W_2}{W_1 + W_2} = \frac{I^2(R_r)}{I^2(R_r + R_\Omega)} = \frac{(R_r)}{(R_r + R_\Omega)} \quad \text{Ecuación 7-1}$$

1.5.2 Intensidad de radiación

Es la razón entre los campos magnéticos y eléctricos que influyen en la antena es decir según el postulado es la densidad de potencia radiada es decir la potencia por unidad de superficie con una dirección. Las fórmulas de cálculo se expresan a continuación:

$$W_r = \iint k(\theta, \varphi) = \iint k(\theta, \varphi) \sin(\theta) d\theta d\varphi \quad \text{Ecuación 8-1}$$

$$W_r = \iint P(\theta, \varphi) ds \quad \text{Ecuación 9-1}$$

1.5.3 Diagrama de Radiación

Es la representación gráfica de la relación de potencia radiada en decibels que se grafica en coordenadas polares o esféricas o también en diagramas de polarización y fase. Estos diagramas representan el efecto de radiación solo en campos lejanos, debido a que en el campo cercano las ondas electromagnéticas generadas no se consideran un patrón de radiación. (Curotto, Espinosa y Vergara 2012, p. 5).

A partir del diagrama de radiación se puede determinar varios parámetros como la dirección, el patrón de radiación que posee a antena transmisora y receptora, los lóbulos principales y secundarios, el ancho de banda y el nivel de radiación de un punto. Todos estos parámetros deben

garantizar la eficiencia en la radiación de la antenna, en la Figura 2-1(Curotto, Espinosa y Vergara 2012, p. 6)

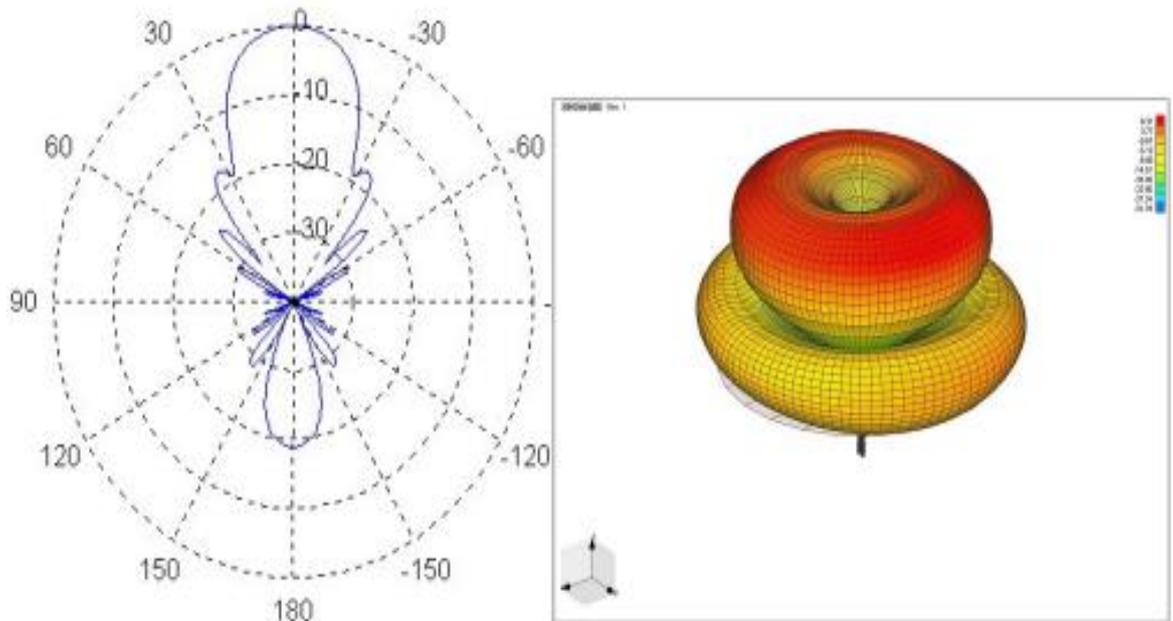


Figura 2-1: Diagramas de radiación

Fuente: (Curotto, Espinosa y Vergara 2012, p. 6)

1.5.4 Polarización

Se define a la polarización como la unión de los campos eléctricos y magnéticos en forma perpendicular que se generan en far field o campo lejano al viajar hacia su zona de cobertura. Existen dos modos de polarización(Villar Etxeondo, Víctor Javier; Sorolla Ayza, Mario; Beruete Díaz, 2012, p. 32):

- Polarización vertical
- Polarización horizontal

Hay que tener en cuenta que una antenna con polarización horizontal no podrá comunicarse con una antenna de polarización vertical. Es decir, las emisiones de campos electromagnéticos deben ser captados por una antenna con polarización similar. (Curotto, Espinosa y Vergara 2012,P. 8).

1.5.5 Ancho de banda

Es un rango en el cual entra en funcionamiento una cierta banda de frecuencias comprendida entre puntos de respuestas estableciendo un máximo y un mínimo y una frecuencia central en la Figura

3-1 se aprécia una banda de frecuencias con su respectivo ancho de banda en antenas más utilizadas.(Pérez 2013, p.7).

Antenna	Center Frequency	Frequency Range	Fractional Bandwidth	Ratio	Percentage Bandwidth
Patch	1000 MHz	985-1015 MHz	0.03	1.0305:1	3%
Dipole	1000 MHz	960-1040 MHz	0.08	1.083:1	8%
Horn	1000 MHz	154-1848 MHz	1.694	12:1	169.40%
Spiral	1000 MHz	95-1900 MHz	1.805	20:1	180.50%

Figura 3-1: Ancho de banda a distintas frecuencias

Fuente:(Curotto, Espinosa y Vergara 2012, p. 7)

Para los cálculos del ancho de banda (BW), se expresa la razón de la frecuencia máxima menos la frecuencia mínima mediante la relación inversa de la frecuencia de operación se obtiene un ancho de banda estrecha especialmente con tecnología microstrip, la fórmula para la aplicación del cálculo de ancho de banda es (Vaca Parra and Venegas López, 2011, p.23):

$$BW = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_0} \quad \text{Ecuación 10-1}$$

Gráficamente también se puede determinar el ancho de banda desde el punto de -10 dB debido a que se considera una ganancia aceptable a partir de ese punto como se puede observar en la Figura 4-1 (Balanis, 1984; Gavilánez López and Ripalda Carranza, 2017).

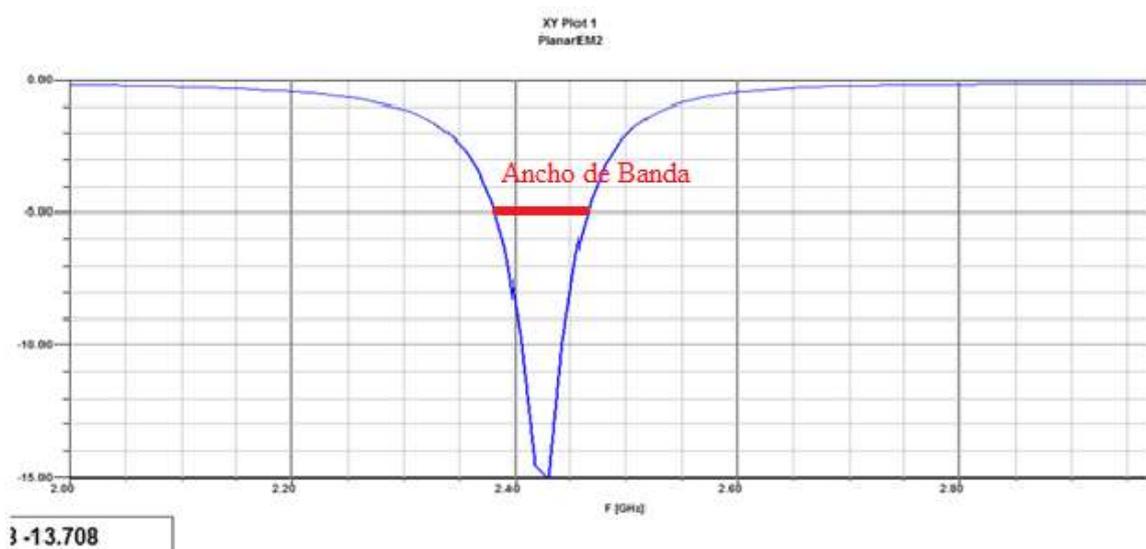


Figura 4-1 Ancho de banda de la antena.

Realizado por: CUDCO, José 2018

1.5.6 Directividad

Según lo mencionada por el autor Canga menciona que: “Es la densidad de potencia radiada en una dirección y distancia por una antena y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica a igualdad” (Canga 2011, p.20). En la Figura 5-1 se puede observar.

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_e} = \frac{4\pi}{\theta_1\theta_2}$$

Ecuación 11-1

$$D = \frac{1}{\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} F(\theta, \varphi)^2 \sin(\theta) d\theta d\varphi}$$

Ecuación 12-1

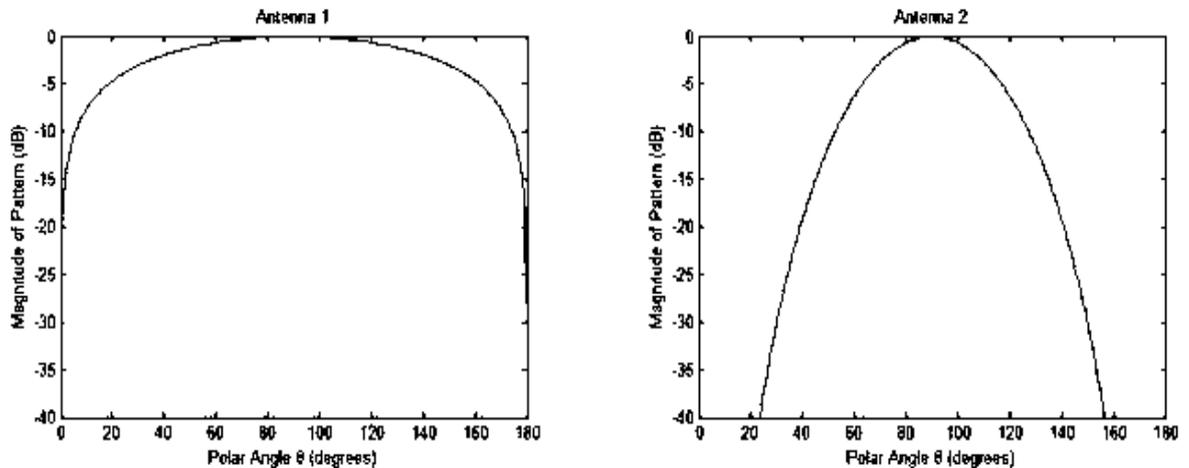


Figura 5-1: Impedancia de la antena

Fuente:(Vielma 2005, p. 19)

1.5.7 Ganancia

La relación que se establece con la densidad de potencia radiada en una dirección por una antena y la densidad de potencia que radia en la misma dirección de una antena isotrópica a igual distancia y potencia entregada a la antena. (Vielma 2005,p 21).

$$\epsilon_R = \frac{P_{radiation}}{P_{input}}$$

Ecuación 13-1

$$G = \epsilon_R D$$

Ecuación 14-1

1.6 Materiales para la construcción de antenas

1.6.1 Antenas Microstrip

La tecnología microstrip fue creada en los años 50, pero se empiezan a incorporar en los años 70, siendo un parche metálico sobre un sustrato dieléctrico, para evitar las pérdidas (Seco Prieto, 2009, p. 4). Las antenas desarrolladas con tecnología microstrip fueron más pequeñas, más económicas, más ligeras, mejoro el patrón de radiación, frecuencia de resonancia y polarización, también se podían realizar construcciones con dimensiones de λ , $\lambda/2$, $\lambda/4$.(Ferrando & Valero, 2015, p.10)

Las antenas tipo parche fueron utilizadas en los laminados de los equipos más avanzados como vehículos, aviones, misiles, satélites, etc. y otros dispositivos modernos no tan sofisticados entre los cuales los representativos son: teléfonos inteligentes comunicaciones 2G, 3G, 4G GPRS, sistemas de comunicantes de geolocalización, enlaces satelitales (Balanis, 2005, pp. 4-5, 811), (Hernandez, 2018,p. 6).

Mediante el uso de líneas de transmisión y criterios de resonadores fue implementado la tecnología microstrip, que se desarrollaron en circuitos impresos denominados striplines sobre un dieléctrico, el mismo que se puede observar en la Figura 6-1 (Garg, 2001, p. 1)

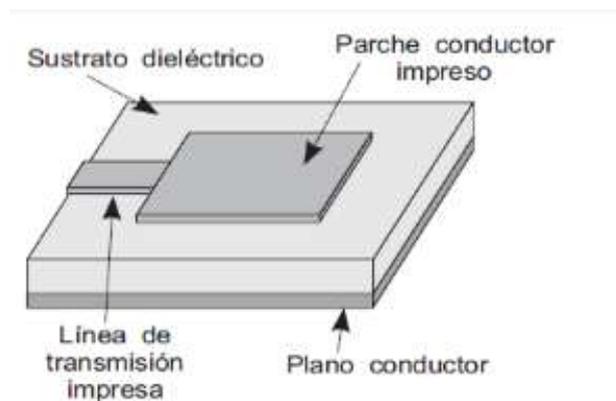


Figura 6-1: Estructura de la antena microstrip

Fuente: http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Transparencias_reducidas/Tema_9.pdf

El material con el que está fabricado el parche es con un conductor de cobre u oro pueden tomar cualquier diseño por complejo que sea y ser plasmado en la capa superior, permitiendo hacer el trabajo de construcción de manera más eficiente y fácil (Cardama et al, 2002, p.270; Garg et al., 2001, p.1).

La oscilación en el espacio libre se produce en un rango de $0.003\lambda_0$ y $0.05\lambda_0$ en el plano de tierra, El material con el que se construye el parche está separado por una capa dieléctrica denominado sustrato, cada uno de estos sustratos posee una contante dieléctrica (ϵ_r) más conocida como permitividad el cual varía dependiendo del material con el que se ha fabricado (Balanis, 1984, p 812).

Este tipo de antenas se clasifican por la forma que estos poseen como se observa en la Figura 7-1:

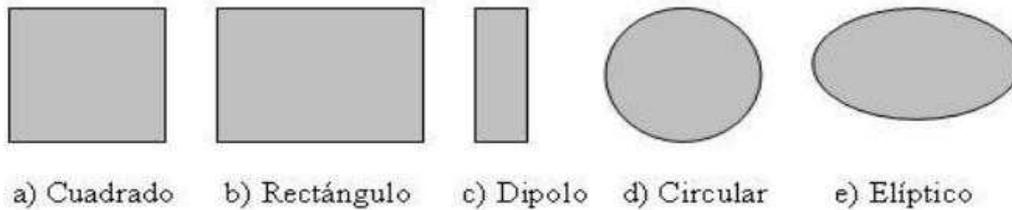


Figura 7-1: Tipos de antenas microstrip.

Fuente: Cardama et al, 2002, p.271

También con la tecnología microstrip se puede construir antenas parche, travelling-wave y de ranura, dipolos. En el trabajo de titulación se plantea la construcción de una antena parche para una frecuencia del estándar IEEE 802.11 (Garg et al., 2001, p.8).

La tecnología microstrip o más conocidas como antenas parche tienen una estructura de tres capas conductor dieléctrico conductor, donde se diseña la antena (radiador metálico) que tiene una longitud de dimensiones similar a la longitud de onda, construido en la primera capa superior (Neron and Gilles-Y, 2005, p. 8), como se observa en la Figura 8-1.

1.6.1.1 Características

La tecnología microstrip está basado mediante el estudio de líneas de transmisión por lo cual se crearon tres modelos como son:

- Modelo por línea de transmisión
- Modelo de cavidades
- Modelo de onda completa

Para el presente trabajo se basará en el modelo uno y dos Modelo de línea de transmisión y Modelo de cavidades cada una de estas diseñada en un sustrato conjunto con la antena parche separado por una línea de transmisión y una cavidad resonante con impedancia y de longitud L (Gaviláñez López & Ripalda Carranza, 2017, p. 31)

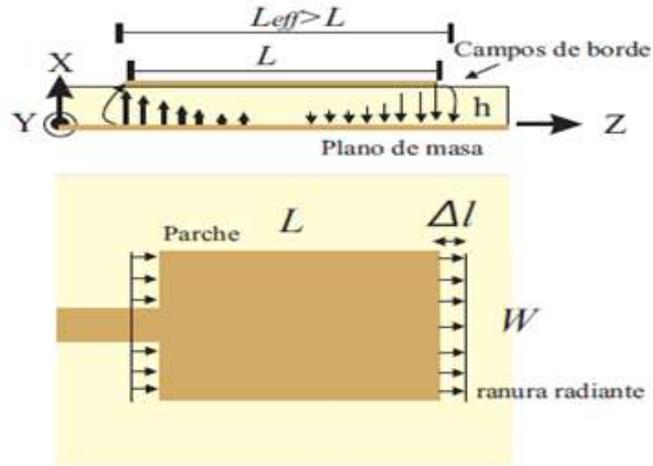


Figura 8-1: Dimensionamiento de una antena microstrip.
Fuente: Ramírez, 2013, p.49.

Establecido los modelos de a utilizar con tecnología microstrip se empezará con el análisis de la frecuencia de resonancia buscando las medidas adecuadas de los valores de longitud y ranura radiante del material (Jiménez, 1994, p. 6) es decir la constante de permitibilidad que constituirán la antena path más conocidos como parámetros L y W. Estos parámetros de determinaran a partir de las ecuaciones que se indican a continuación (Gavilánez López and Ripalda Carranza, 2017):

$$W = \frac{1}{2f_0\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}\sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} \quad \text{Ecuación 15-1}$$

$$L = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad \text{Ecuación 16-1}$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff}+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{reff}+0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \quad \text{Ecuación 17-1}$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \sqrt{\frac{1}{1+12\frac{h}{W}}} \quad \text{Ecuación 18-1}$$

Donde (Jiménez, 1994, p.7):

f_0 = frecuencia de operación de la antena (KHz).

W = Ancho del parche radiador.

ϵ_0 = Permitividad en el espacio libre, $\epsilon_0 = 8.854 * 10^{-12} \text{ F/m}$.

h = Altura del sustrato.

μ_0 = Permeabilidad en el espacio libre, $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \text{ H/m}$.

ϵ_r = Constante dieléctrica del sustrato.

ϵ_{reff} = Constante dieléctrica efectiva.

1.7 Métodos de Alimentación

Para la alimentación de las antenas parche se utilizan métodos como:

- Línea microstrip
- Sonda coaxial
- Alimentación por proximidad o Apertura

1.7.1 Línea microstrip

Los métodos más utilizados tenemos la alimentación mediante cable coaxial y alimentación mediante línea de transmisión (Cardama Aznar *et al.*, 2002, p. 20). Este método emplea una tira conductora de la medida de la anchura de la línea de transmisión la cual estará anexada en un borde del circuito equivalente, este método produce pérdidas o una radiación de espuria de entre 2% y 5% como se ve en la Figura 9-1 (Yu, 2014).

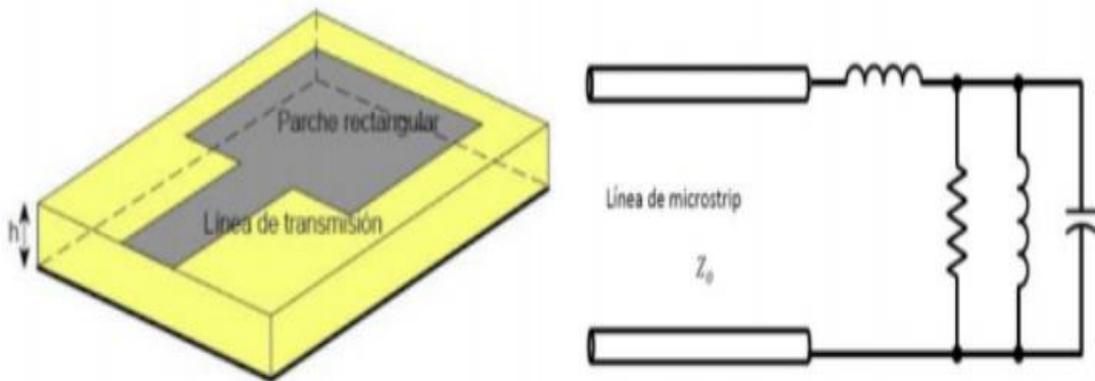


Figura 9-1: Método de alimentación de Línea microstrip

Fuente: (Yu, 2014).

1.7.2 Sonda coaxial

La alimentación coaxial o la alimentación de la sonda es una técnica muy común utilizada para alimentar antenas Microstrip (Mahafza, 2000, p.4). La alimentación coaxial es el método de alimentación en el que el conductor interno del cable coaxial está unido al parche de radiación de la antena, mientras que el conductor externo está conectado al plano de tierra como se muestra en la Figura 10-1 (Singh *et al.*, 2016, p. 5).

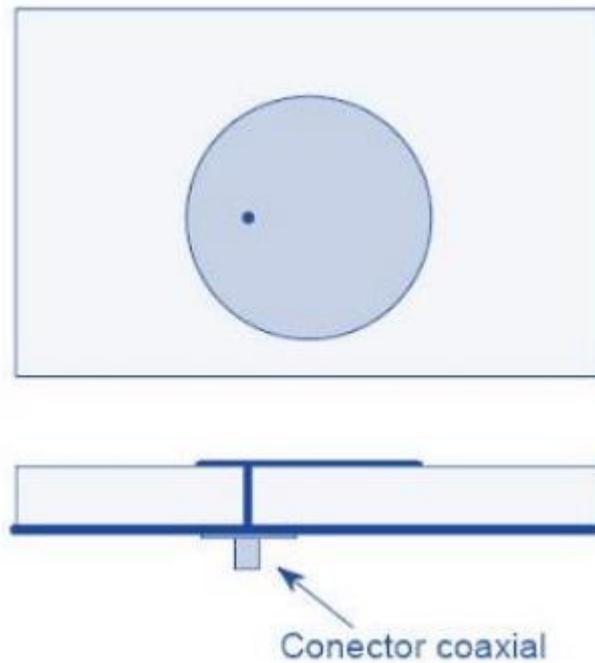


Figura 10-1: Método de alimentación de sonda coaxial
 Fuente: (Yu, 2014).

La principal ventaja de este tipo de esquema de alimentación es que la alimentación se puede colocar en cualquier ubicación deseada dentro del parche con el fin de que coincida con su impedancia de entrada. Este método de alimentación es fácil de fabricar y tiene baja radiación no esencial (Singh et al., 2016, p. 5).

Sin embargo, su principal desventaja es que proporciona un ancho de banda estrecho y es difícil de modelar, ya que un orificio debe ser perforado en el sustrato y el conector sobresale fuera del plano de tierra, por lo que no lo hace completamente plano para sustratos gruesos ($h > 0.02\lambda_0$) (Skolnik *et al.*, 1980, p. 6). Además, para sustratos más gruesos, por lo tanto para determinar la impedancia en el circuito para la longitud de onda hay que realizar cálculos para determinar lo cual si se hace mal con lleva a problemas de emparejamiento. (Singh et al., 2016, p 6).

1.8 MATERIALES DIELECTRICOS

1.8.1 FR4

Es una placa electrónica que está compuesta por 16 capas laminadas formadas con capas conductoras y cada uno de las capas está separada por material aislante, las capas toman el nombre de vías las mismas que están unidas a través de orificios los cuales están electro cubiertos con una

sustancia generado por un proceso químico en cada uno de los paneles y paredes de las vías (Huerta-Chua et al., 2001, p. 2)

La mayoría de las placas de circuito impreso se basan en un laminado de tela de fibra de vidrio tejida y epoxi estos laminados tienen las denominadas propiedades del material visco-elástico (Bhowmik and Srivastava, 2010, p. 9), es decir que cuenta con propiedades tales como la elasticidad y la expansión térmica al seleccionar un laminado. Los laminados FR4 no son adecuados conductores para el diseño de circuitería debido almacenamiento y pérdida, temperatura de transición vítrea, coeficiente de temperatura térmica, expansión y resistencia a la flexión.(C.I.F, 2014, p. 4).

El material FR4 es utilizado para la construcción de circuitos impresos que son comercializados por su bajo costo debido a su fabricación con materiales como papel impregnado de resina fenólica (Pertinax), fibra de vidrio, impregnados con una resina epóxica resistente a las llamas(Huerta-Chua et al., 2001, p. 8), el material se puede observar en la Figura 11-1.



Figura 11-1: Material FR4.

Fuente: <http://xurl.es/fykk5>

1.8.2 Roger/Duroid 5880

Los materiales laminados Rogers 5880 se fabrican utilizando los mismos materiales y procesos de alta calidad y confiabilidad que Rogers ha desarrollado, lo que permite a Rogers efectuar algunos diseños, bajo las propiedades dieléctricas de los PCB son críticas. Ya sea de alta velocidad, RF, microondas o móvil, donde la administración de energía es clave, encontrará más

situaciones en sus prototipos que requieren propiedades dieléctricas de placa que las que el FR-4 estándar simplemente no puede ofrecer.

Es un material conductor para circuitos de alta frecuencia con un relleno de material PTFE (es decir sustratos de vidrio y cerámica) que están compuestas por laminas con un material de alta pureza por lo cual existen muchos beneficios para su uso y aplicaciones de alta confiabilidad, aeroespaciales y de defensa, estos materiales se caracterizan por (ROGERS CORPORATION, 2018):

- Pérdida eléctrica baja.
- Baja absorción de humedad
- Dk estable sobre frecuencia
- Baja desgasificación para aplicaciones espaciales.

1.8.2.1 Aplicaciones

- Sistemas de radar aerotransportados y terrestres.
- Aplicaciones de onda milimétrica
- Sistemas de radar militar
- Sistemas de orientación de misiles
- Transceptores de satélite especial

Los materiales Rogers se han innovado en la amplia gama de PCB con materiales dieléctricos Rogers 5880. Estos nuevos materiales dieléctricos de baja pérdida significan un mayor rendimiento para sus prototipos de PCB (RAYMING PCB & ASSEMBLY, 2015) como se puede apreciar en la Figura 12-1.

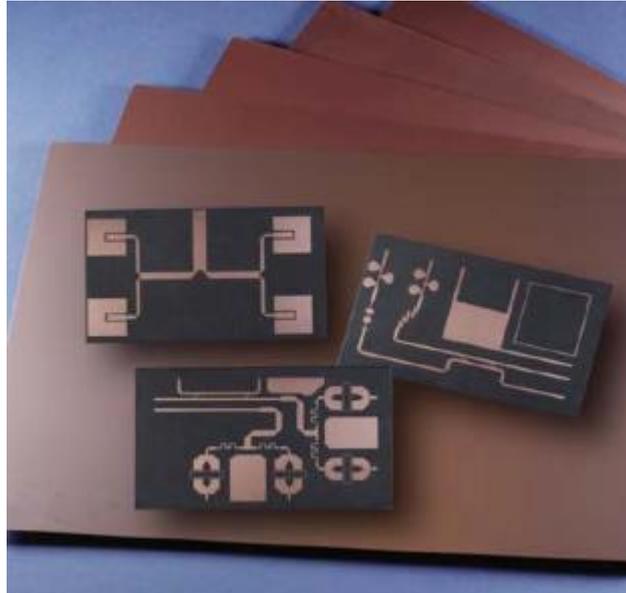


Figura 12-1: Material Rogers.

Fuente: <https://www.raypcb.com/rogers-5880-pcb/>

1.9 SISTEMAS DE CONTROL DE FASE DE ANTENAS

1.9.1 *Matriz de Butler*

Es la base fundamental para el desfaseamiento de una frecuencia en sistemas formadores de fase su construcción se basa en acopladores y desplazadores que son circuitos pasivos generando un patrón de radiación directivo con diferentes desfaseamientos.

1.9.1.1 *Estructura*

Está compuesta por puertos entrada/salida donde cada salida posee una conexión de antenas (array de antenas) que efectúan un monitoreo de las direcciones del patrón de radiación que están ligadas al paso de los electrones en la entrada de esta manera realiza la función mecánica en la comunicación. (Cerna Loli, 2015, pp 2-4; Shaikh, 2015, pp 1-2).

Hay que mencionar que la alimentación de un array de antenas esta dado bajo una matriz de butler que permite el control de la onda radiada en forma direccional en sus puertos de salida como se ve en la Figura 13-1 que representa la estructura compuesta por conmutadores de fase y acopladores híbridos dividiendo la potencia radiada en las salidas (Cerna R, 2014, pp.2,10).

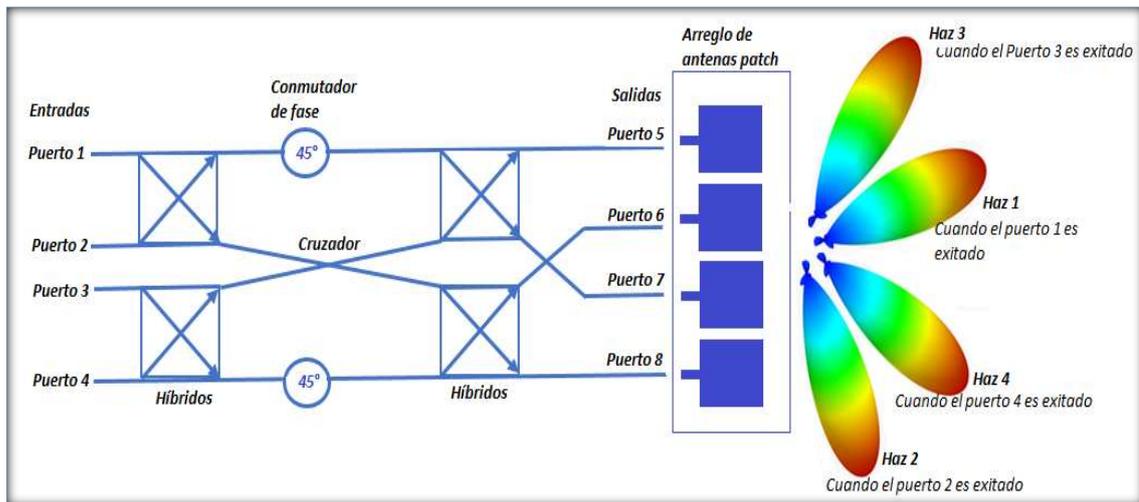


Figura 13-1: Diseño de la matriz de Butler

Fuente: (Gavilánez López and Ripalda Carranza, 2017, p. 9)

1.9.2 Acoplador Híbrido de Cuadratura

Estos son circuitos pasivos utilizados para desfazar la frecuencia de operación mediante divisores de frecuencia variando la señal de entrada en $\pi/2$ muy utilizados para altas frecuencias con el uso de formadores de fase (*beamforming*).

Para el cálculo del número de acopladores se utiliza la ecuación 19-1

$$\text{Número Acopladores Híbridos} = \frac{N}{2} \log_2 N \quad \text{Ecuación 19-1}$$

Donde:

N es el número de salidas y entradas de dicha matriz.

La estructura del acoplador híbrido se presenta en la Figura 14-1, la misma que está conformada por el acoplamiento de líneas de transmisión en un sustrato microstrip con un valor de impedancia tomada al calcular la longitud de onda (λ) (Gavilánez López and Ripalda Carranza, 2017).

Este método dividirá la señal la señal en dos partes iguales de potencia, desfasando la señal de entrada en $\pi/2$ y reduciendo en menos tres decibeles por la impedancia en las líneas de transmisión separadas a $\lambda/4$. (Seco A., 2009, pp. 75-76; Bhowmik W. y Srivastava S., 2010, p.2;)

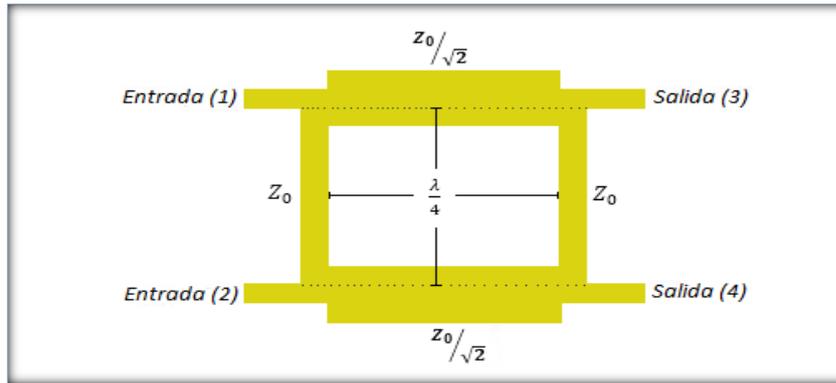


Figura 14-1: Esquema del Acoplador de cuadratura

Fuente:(Gavilánez López and Ripalda Carranza, 2017, p. 11)

Los calculo elementales para la longitud de onda en el dieléctrico (λ) y longitud de onda en el espacio libre se indica en las ecuaciones 20-1 y 21-1

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad \text{Ecuación 20-1}$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{(\epsilon_{reff})^{0.5}} \quad \text{Ecuación 21-1}$$

Existen varias formas de acoplar las señales entre los más conocidos tenemos:

- Acopladores *branch-line*
- Acopladores cascada
- Acopladores multisección
- Acopladores sincrónicos
- Acopladores periódicos

1.9.3 Acopladores *branch-line*

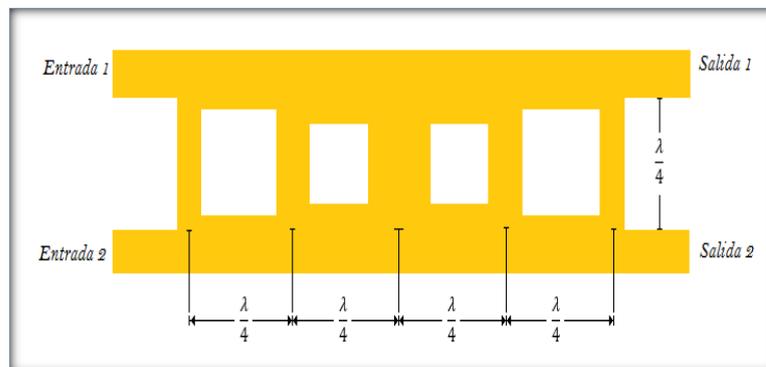


Figura 15-1: Diseño del Acoplador de cuadratura de multisección.

Fuente:(Gavilánez López and Ripalda Carranza, 2017, p. 14)

La estructura del mismo se puede observar en la Figura 15-1 las cuales se basan en líneas de transmisión en conexión en paralelo y serie con separaciones $\lambda/4$ entre cada una de las líneas de transmisión.

1.9.4 Conmutador de fase

Permite un retardo en la fase es decir un desfaseamiento de la señal recibida acoplado las señales mediante un cortocircuito en este método se considera importante el número de conmutadores necesarios como se ve en la Figura 16-1, el mismo que se calcula con la siguiente ecuación 22-1 (Bhowmik W. y Srivastava S., 2010, pp.2).

$$\text{Número Conmutadores de fase} = \frac{N}{2} [(\log_2 N) - 1] \quad \text{Ecuación 22-1}$$

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} L \quad \text{Ecuación 23-1}$$

Con la ecuación 23-1 se calcula la diferencia de fase del conmutador, determinando los parámetros:

L es la longitud de la línea de transmisión

λ es la longitud de onda en una línea microstrip

Conociendo:

λ_0 es la longitud de onda en el espacio libre

ϵ_{ref} es la constante dieléctrica efectiva de la línea microstrip.

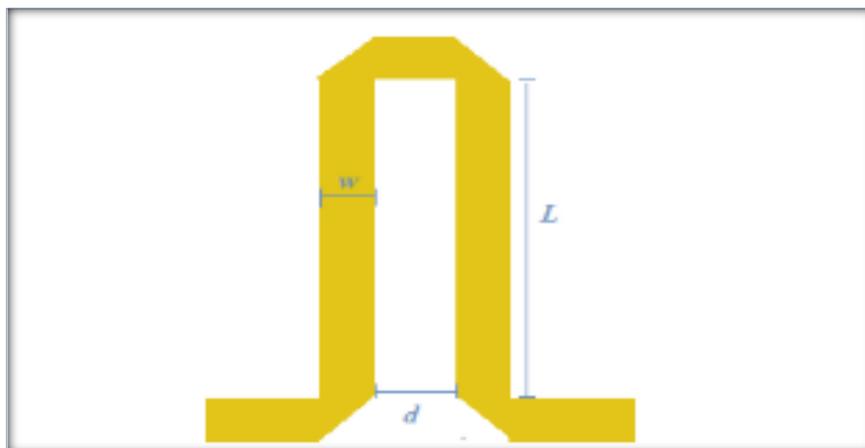


Figura 16-1: Diseño de un conmutador de fase

Fuente:(Gavilánez López and Ripalda Carranza, 2017, p.19)

1.9.5 Cruces (Crossover)

Constituye el diseño de una línea de líneas de transmisión que entrelaza las líneas conductoras en el sustrato metálico dando el aspecto de una matriz, mediante el cual se produce un acoplamiento al cual se denomina acopladores de 0 dB como se aprecia en la Figura 17-1.

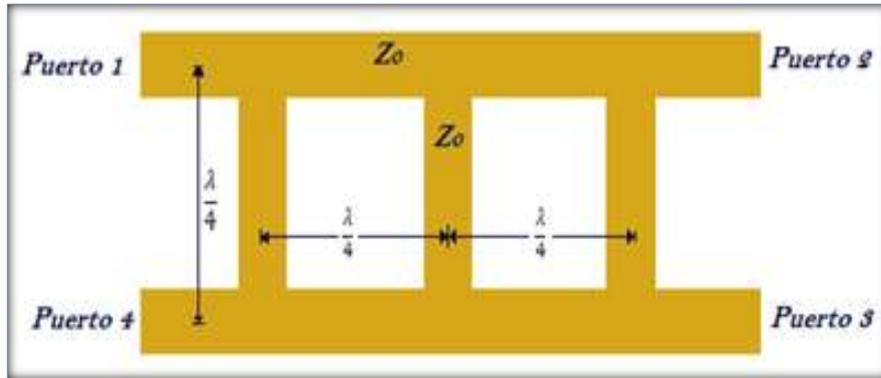


Figura 17-1: Esquema de un acoplador crossover

Fuente:(Gavilánez López and Ripalda Carranza, 2017, p. 21)

El acoplamiento está formado por acopladores híbridos ubicados en cascada denominado cruzador, estos cruzadores están unidos a cuatro puertos (Nerón J, 2005, p. 3; Shaikh F. y Akhade B., 2015, p.2):

- El primer puerto posee la señal con la alimentación,
- El segundo puerto posee la señal de 0.
- El tercer puerto posee la señal de 0.
- El tercer puerto posee la señal de 0 y la alimentación.

1.9.6 Antena con Control de Fase con Diodo Varactor

La antena con control de fase permitirá variar la frecuencia mediante la inducción de voltaje con el funcionamiento de un dispositivo electrónico capaz de soportar voltaje y frecuencia, y basados en el estudio del primer capítulo se determinó que el mejor componente para soportar un rango de frecuencias y voltajes es el diodo varactor.

Este elemento electrónico se comporta como un condensador variable al momento de aplicar un voltaje DC (voltaje de corriente continua). Para hacer esto posible se necesita de un bias tee el cual me permitirá anexar la frecuencia de operación proveniente del generador de señales, también la tensión generada por la fuente de alimentación, como se aprecia en la Figura 18-1.

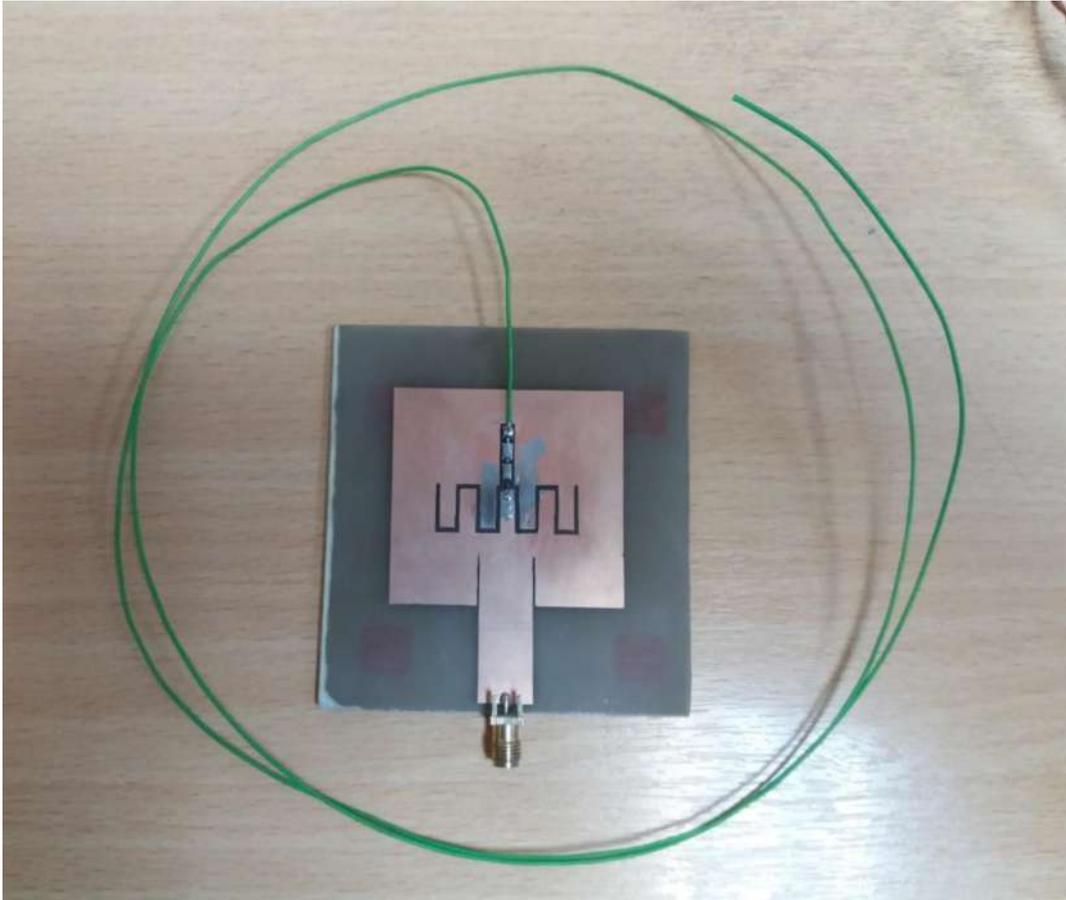


Figura 18-1: Concepción general del sistema de comunicación con cambio de fase.
Realizado por: CUDCO, José 2018

1.10 BIAS-TEE

Más conocido como bias T que opera desde un rango de frecuencias de 0.1 MHz a 12.4 GHz, que contiene una configuración SMA con puertos de entrada FR los mismo que ofrecen una característica de buen rendimiento de 1.5 dB como máximo de inserción de pérdidas y 30dB como mínimo de aislamiento (PASTERNAK 2017, p.1).

1.10.1 *Funcionamiento*

El funcionamiento del bias T es típicamente con el uso de la inserción de una señal DC dentro de una señal RF vías que son polarizadas por un amplificador o cualquier dispositivo activo, una fuente de poder de salida conectada sin interrumpir la señal de RF.

Estos pueden también ser usado como DC que provee retorno a la tierra del parche para la entrada del dispositivo bloque DC que provee una señal de corriente directa, que fluye a través de la salida

del dispositivo. Estos están disponibles en varios conectores configurables sobre diferentes bandas de frecuencia para adaptarse a sus necesidades.(PASTERNAK 2017, p.1). en la Figura 19-1 se puede apreciar

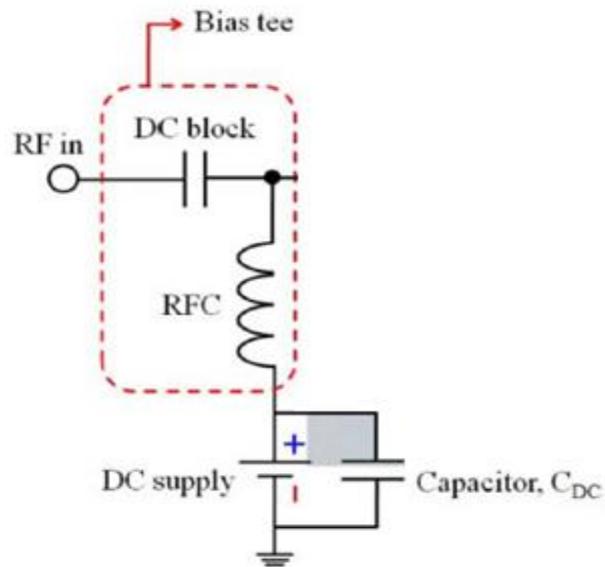


Figura 19-1: Componentes del Bías Tee
Fuente: (Somarith, Hyunseong y Sungjoon 2014, p. 1043)

Estos componentes emplean corrientes o voltajes a los circuitos de RF de polarización considerando que, el inductor en el circuito bloquea todas las señales de RF para que no lleguen al Puerto 3 y permite que todas las señales de CC pasen. Este dispositivo de tres puertos se puede apreciar en la Figura 20-1(Somarith, Hyunseong y Sungjoon 2014, p. 1043)



Figura 20-1: Bias Tee
Fuente: (Somarith, Hyunseong y Sungjoon 2014, p. 1043)

1.11 DIODO VARACTOR

Es un elemento electrónico formado con material silicio fabricados para cambiar la capacitancia variable. Cuando se aplica un voltaje es más conocido como diodo varicap su principal aplicación en las frecuencias FM. En la Figura 21-1 se puede apreciar cada una de las componentes del diodo varicap. (ECURED, 2011).

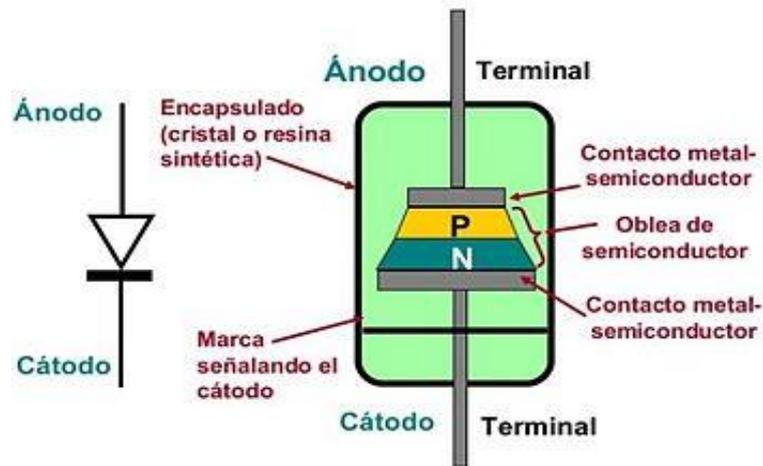


Figura 21-1: componentes del diodo varactor

Fuente: <http://xurl.es/94jw1>

1.11.1 Funcionamiento

Su funcionamiento se basa en la variación de la zona de barrera (anchura de la barrera), es un fenómeno que ocurre en la unión PN donde, la tensión inversa aplicada en sus terminales (puntos extremos) produce una variación en la anchura de barrera la misma que está ligada al voltaje inverso que se aplica (ECURED 2011, https://www.ecured.cu/Diodo_varicap).

- Cuando el voltaje de polarización tiene un valor de cero es porque el diodo varactor presenta una máxima capacitancia y su zona de agotamiento es sumamente delgada.
- En cambio, mientras más elevado sea la tensión inversa que se aplica en el diodo varactor más estrecha es la capa de agotamiento disminuyendo la capacitancia.

Condiciones de funcionamiento del diodo varactor (Acosta 2010, p. 17)

- Valor de la capacitancia.
- Voltaje.
- Variación en capacitancia con voltaje.
- Voltaje de funcionamiento máximo

- Corriente de la salida.

Su simbología se presenta en la Figura 22-1



Figura 22-1: Simbología de un diodo varactor

Fuente: <http://xurl.es/hkzlt>

1.12 INDUCTORES 100 NH

Son componentes electrónicos pasivos basado en un enrollamiento de un conductor estos hilos fabricados mediante el uso de material de metal, obleas tipo N, orientación (100) y resistividad entre 2.38 y 3.85, también llamados bobinas que son elementos lineales, el circuito equivalente se ve en la Figura 23-1 (Huerta-Chua *et al.*, 2001, p. 46).

1.12.1 Funcionamiento

Estos dispositivos permiten el almacenamiento y desfogue de energía mediante el uso de campos magnéticos además del bloqueo de las señales AC.

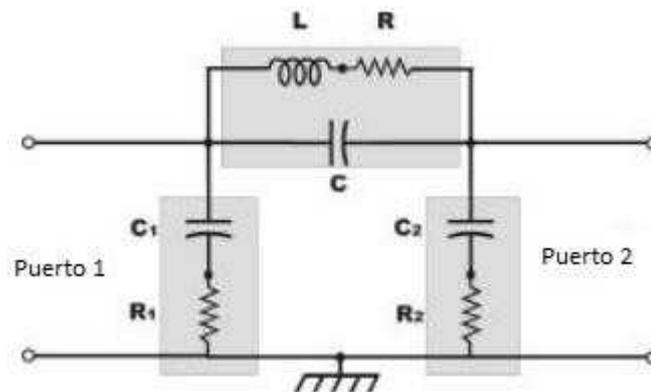


Figura 23-1: Modelo compacto del inductor

Fuente: (Huerta-Chua *et al.* 2001, p 46)

CAPITULO II

2 IMPLEMENTACION DELPROTOTIPO; HARDWARE Y SOFTWARE

El presente capitulo detalla la concepción e implementación de la antena mediante la utilización del diodo varactor con tecnología microstrip, basado en una frecuencia de operación de 2.4Ghz perteneciente a la banda ICM en el rango de alta frecuencia para la variación de fase con la inducción de voltaje.

2.1 Concepción general del dispositivo

2.1.1 *Concepción general de la antena de control de fase*

Los procesos que se siguieron después de la investigación fueron la creación del diseño y construcción que involucra el método investigativo, deductivo y experimental, para adquisición de conocimientos sobre teorías, formulas y postulados que garantizan los parámetros y características de las antenas, como también los materiales y posibles tecnologías a ser aplicadas en su construcción. El esquema de funcionamiento se aprecia en la Figura 1-2.

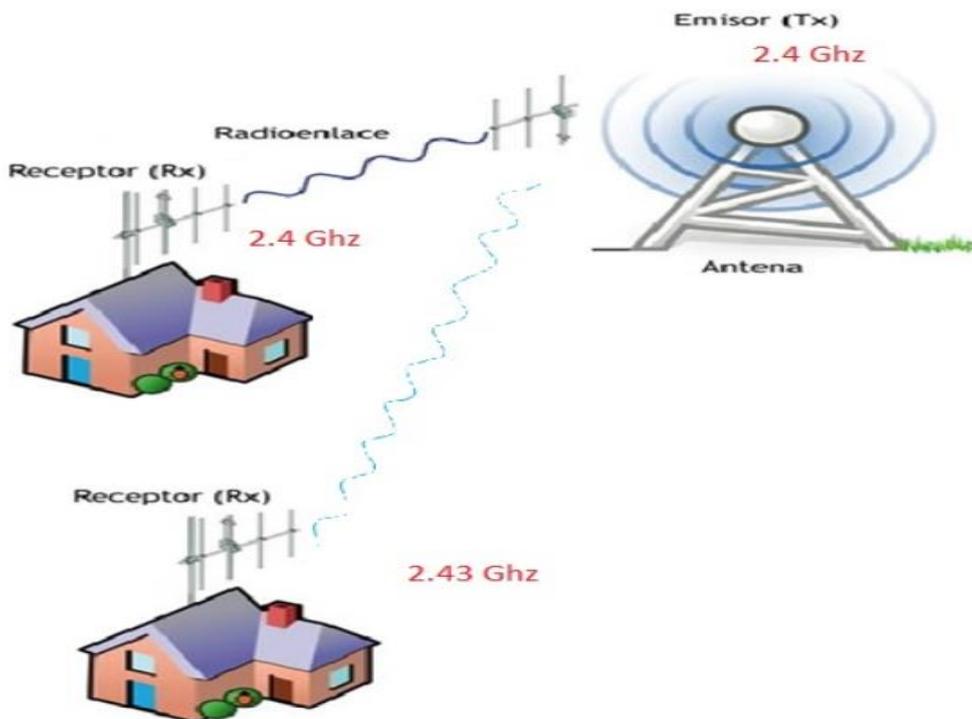


Figura 1-2: Concepción general del sistema de comunicación con cambio de fase.
Realizado por: CUDCO, José 2018

2.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ANTENA

2.2.1 *Requerimientos software*

2.2.1.1 ANSOFT DESIGNER V3

Es una poderosa herramienta de simulación de complejos cálculos de distribución de corrientes en estructuras, así como parámetros de antenas, magnitudes, componentes de campos eléctricos y magnéticos (Vielma 2005,p. 41). Con este simulador se realizó el diseño para la antena.

Para el diseño de la antena se planteó un método de “antena tipo parche” debido a que su implementación se basara con tecnología microstrip y las posibles complicaciones que esta representa ante un diseño muy elaborado.

Para el diseño la antena parche se utilizó la herramienta **Estimate** que permite tener un diseño cuadrado de la antena parche con medidas aproximadas a las reales, estas medidas fueron obtenidas a partir de la frecuencia de 2.4 que se aprecian en la Figura 2-2.

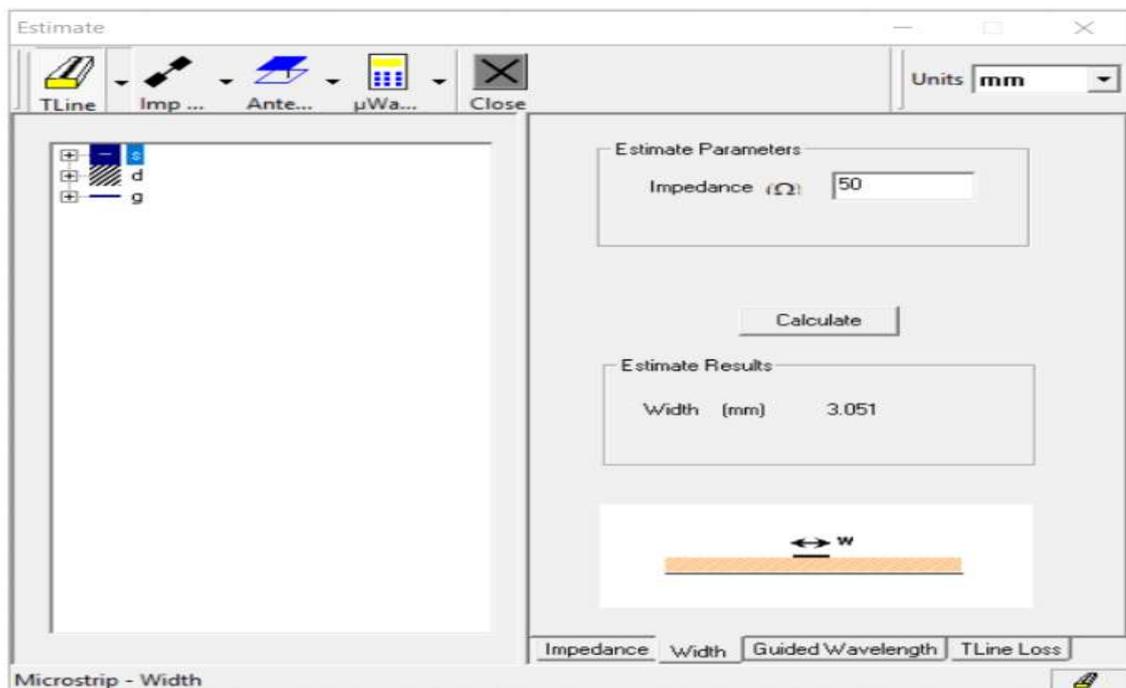


Figura 2-2: Medidas de la antena parche en 2.4 Ghz.

Realizado por: CUDCO, José 2018

También se puede observar el posible del punto exacto para la ubicación de puerto de excitación que va a unir la antena con la línea de transmisión, donde se debe efectuar un acoplamiento entre el puerto y el cable SDMA que tiene una impedancia de 50 ohm

A partir de estas medidas se inició la creación del diseño para la antena transmisora, medidas que fueron acopladas a $\lambda/2$ para la reducción del tamaño de la antena, para esto es necesario aplicar las fórmulas de la ecuación 1-2 y ecuación 2-2.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad \text{Ecuación 1-2}$$

$$\lambda_0 = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^9}$$

$$\lambda_0 = 0.125 * 100$$

$$\lambda_0 = 13 \text{ mm}$$

Una vez que se obtuvo el valor de λ se procede a sacar $\lambda/2$ con la ecuación 2-2

$$l = \frac{\lambda_0}{2} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

$$l = \frac{0.125}{2}$$

$$l = 0.0625$$

Una vez obtenida las medidas exactas con los cálculos realizados se procede a la creación del diseño ingresando los datos al software Designer, conjunto a los parámetros de una antena parche los mismo que se puede identificar en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Parámetros de una antena microstrip

Propiedad	Valor
Constante Dieléctrica (ϵ_r)	4.4
Espesor del sustrato (h)	1.6mm
Frecuencia de Operación (f_0)	2.4 GHz
Velocidad de la luz	339
Permeabilidad en el espacio libre (μ_0)	$4\pi * 10^{-7} \text{ H/m}$
Permitividad en el espacio libre (ϵ_0)	$8.854 * 10^{-12} \text{ F/m}$

Realizado por: CUDCO, José 2018

El diseño principal se considera una antena parche rectangular con un puerto de excitación para un conector hembra SMA como se aprecia en la Figura 3-2.



Figura 3-2: Antena parche
 Realizado por: CUDCO, José 2018

Se inició con la selección del material adecuado que formara parte del sustrato de la antena, según la investigación el material adecuado para la implementación es Roger/Duroid 5880 que poseen $\epsilon_r=2.20$ que minimiza las pérdidas del material dieléctrico.

Pero el material a utilizarse es el FR4, debido a que en el país no se puede encontrar el material Roger/Duroid 5880 los dos materiales poseen características similares, pero con grandes diferencias desde el momento que es elaborado el material (precio y calidad), FR4 no es el mejor material para la creación de antenas de parche, debido a que es un dieléctrico con muchas pérdidas y la antena tipo parche no contaría con una buena eficiencia en sus parámetros.

En la Figura 4-2 se observa la selección del material FR4 para la creación del sustrato.

Layers		Stackup						
	Name	Type	Material	Drag Mode	Thickness	Lower Elevation	Upper Elevation	Roughness
—	s	signal	copper	middle align	0mm	1.6mm	1.6mm	0mm
▨	d	dielectric	FR4_epoxy		1.6mm	0mm	1.6mm	
—	g	metalizedsignal	copper	middle align	0mm	0mm	0mm	0mm

Figura 4-2: Selección de las capas del sustrato
 Realizado por: CUDCO, José 2018

Una vez escogido el material del sustrato se procede con el diseño de la antena, esta se puede observar en la Figura 4-2, Con las medidas generadas por el software Designer y algunas modificaciones en su variación de tamaño no se pudo lograr la frecuencia de operación deseada de 2.4Ghz, como resultado se tiene la gráfica de la Figura 5-2, que muestra una ganancia muy baja y o se encuentra en la frecuencia de 2.4

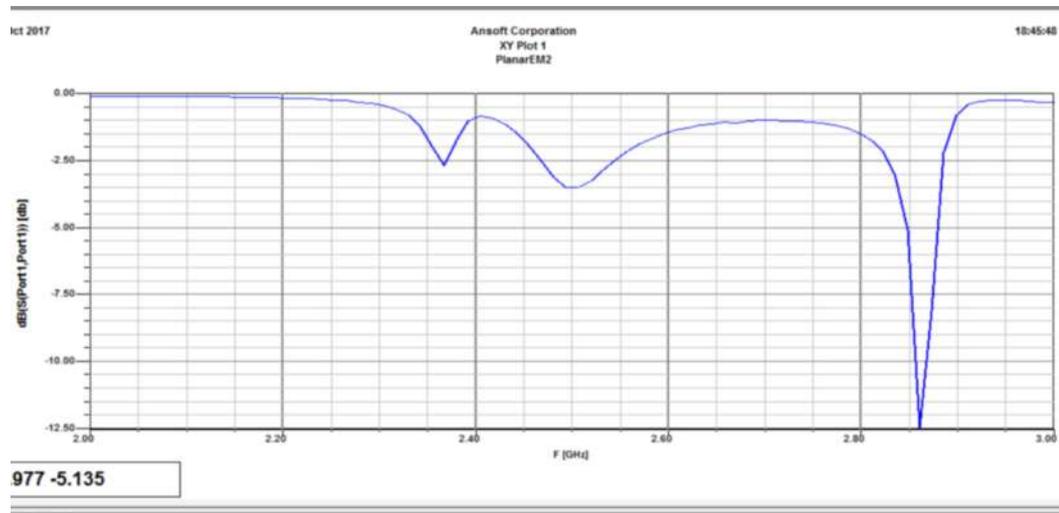


Figura 5-2: Frecuencia de operación y ganancia de la antena
Realizado por: CUDCO, José 2018

Por lo cual se procede a realizar cambios en el diseño de la antena parche para obtener mayor ganancia y que su funcionamiento sea en la frecuencia deseada (2.4Ghz).

Uno de los primeros cambios que se realizó fueron las dimensiones con medidas de 48 milímetros de ancho y 45 milímetros de alto. Como se observa en la Figura 6-2

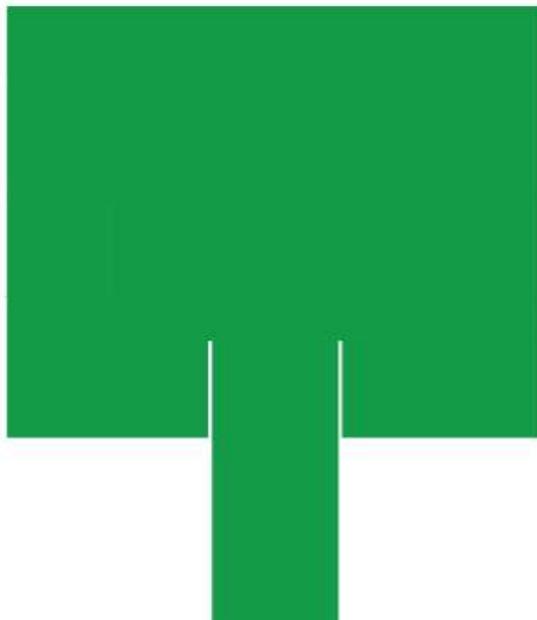


Figura 6-2: Antena parche con línea de transmisión
Realizado por: CUDCO, José 2018

2.2.2 IDC

El segundo cambio fue establecer un IDC estudiado en el capítulo anterior el cual permitirá hacer el cambio de las fases, el mismo que se puede apreciar en la Figura 7-2 y también es parte importante para ajustar la frecuencia de resonancia debido a que puede actuar como una guía de onda.



Figura 7-2: Diseño del IDC
Realizado por: CUDCO, José 2018

La antena propuesta necesita un diseño con un IDC para poder lograr uno de los objetivos planteado, que es el cambio de frecuencia, el mismo que se lograra con una línea de transmisión que funcionara como el circuito equivalente que se muestra en la Figura 8-2, cambiando sus inductancias y capacitancias al momento de utilizar el diodo varactor.

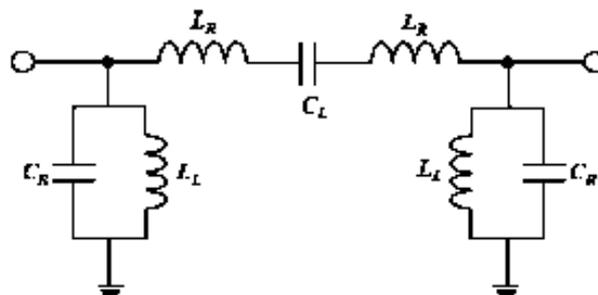


Figura 8-2: Circuito equivalente del IDC
Realizado por: (Somarith, Hyunseong and Sungjoon, 2014, p. 1043)

Con este análisis previo se procedió a la creación del diseño IDC en la antena parche, cuyas medidas basadas en postulados utilizados por otros investigadores donde determinan un cambio favorable de frecuencia al implementar esta guía de onda.

Las medidas con las cuales nos basamos fueron tomadas del documento Frecuencia reconfigurable sustrato integrado de guía de ondas de la antena (Somarith, Hyunseong and Sungjoon, 2014), los cuales trabajan con parámetros similares por lo fueron de gran utilidad para sacar nuestras propias medidas adaptando los valores a nuestras necesidades para nuestro propio modelo de IDC en la antena parche. Como se aprecia en Figura 9-2.

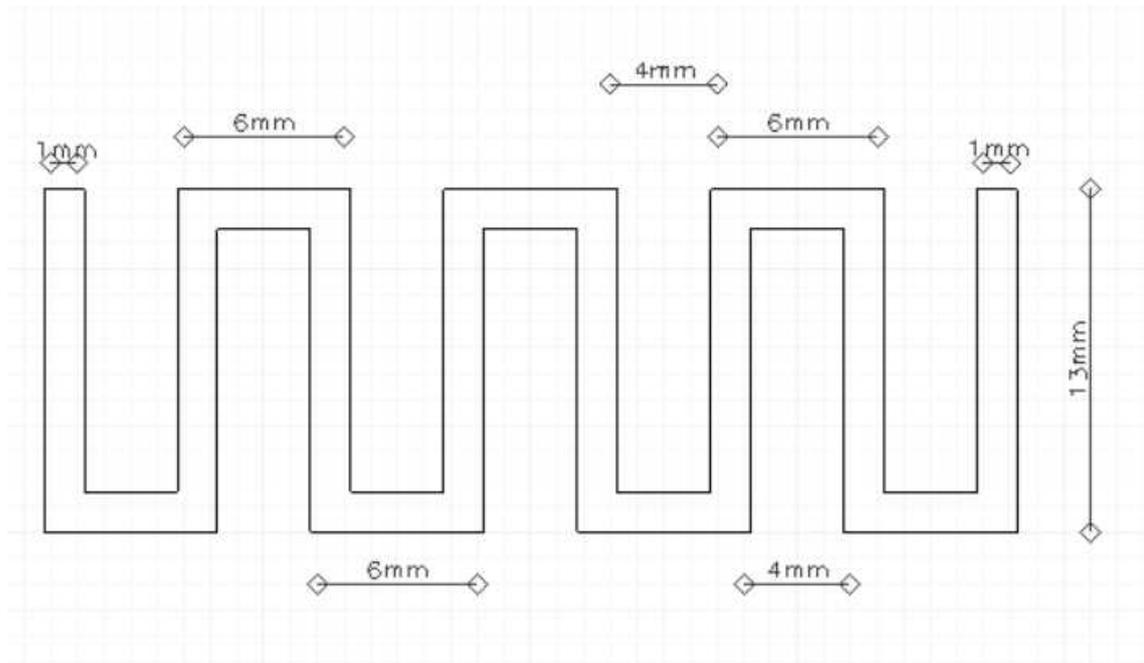


Figura 9-2: Diseño y Medidas del IDC en la antena

Realizado por: CUDCO, José 2018

Para poder implementar los componentes electrónicos (diodo varactor, resistencia e inductor) así como la línea de alimentación (positivo y negativo), según el estudio realizado en el capítulo 1. Entonces el tercer cambio que se realizó, es la creación de zonas o regiones donde van a colocarse los componentes en conexión en serie, en la Figura 10-2 se puede apreciar las regiones creadas en la antena con la unión IDC.

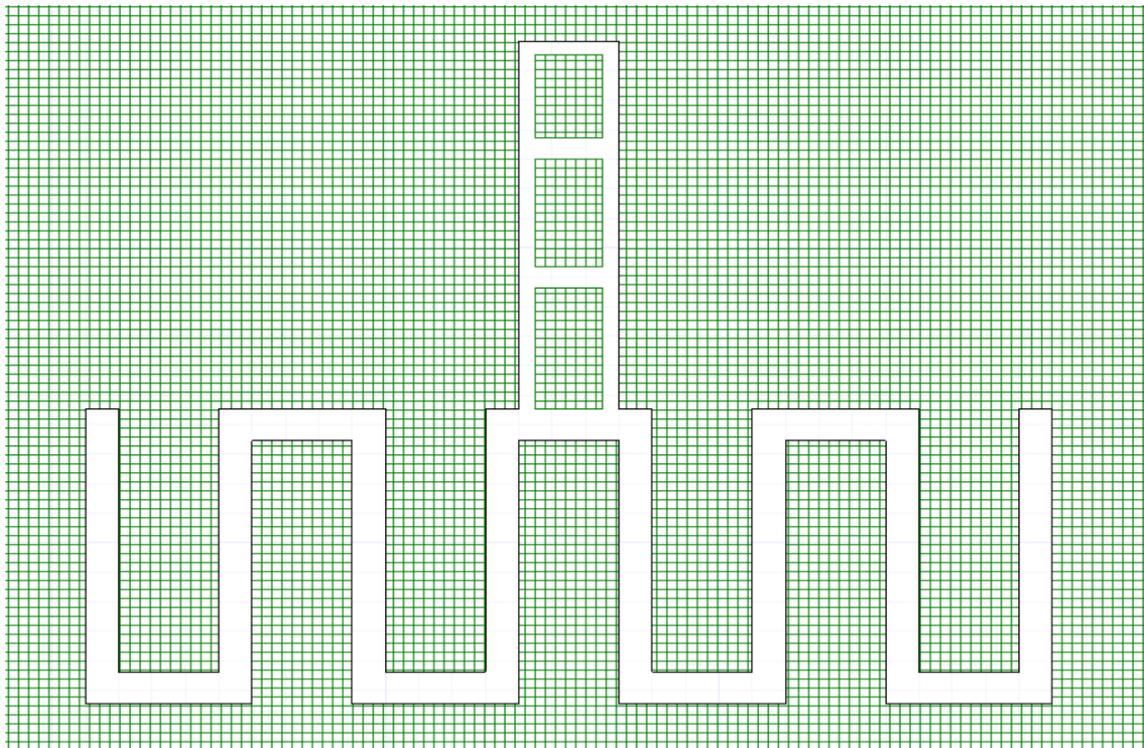


Figura 10-2: Implementación de regiones para componentes electrónicos

Realizado por: CUDCO, José 2018

Para colocar los componentes de forma permanente se eligió el punto medio de la antena donde se concentra la mayor frecuencia de resonancia del condensador interdigital además de obtener una simetría dentro de la cavidad ISM y la radiación se generará desde el punto céntrico de la antena como se muestra en la Figura 11-2

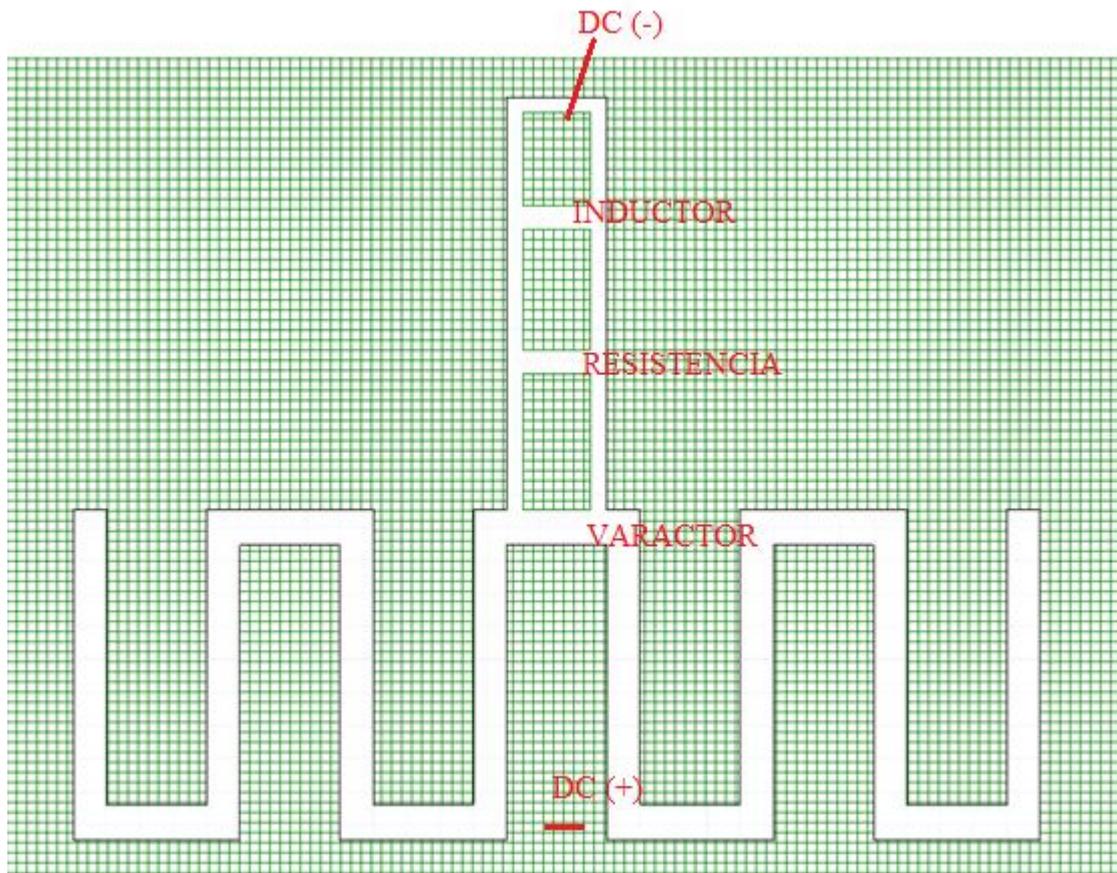


Figura 11-2: Ubicación de los componentes electrónicos y alimentación
Realizado por: CUDCO, José 2018

Una vez realizado el diseño del IDC con las medidas expuestas anteriormente ya dentro de la antena parche, con las respectivas modificaciones de los valores en amplitud y longitud para variar su tamaño y se acoplen a otras medidas de las líneas. Para esto se hizo uso de la opción **optimétrics** herramienta del software Designer que permite mover los puntos de la antena y líneas milimétricamente.

Cuando se modifica algún punto se generan resultados automáticos los cuales se pueden visualizar en **result**. Con una de estas modificaciones se puede obtener una respuesta que generan parámetros óptimos para la implementación de una antena, donde la ganancia fue de más de -15dB en el punto de operación de la frecuencia a la que fue construida la antena (2.4 Ghz.). El nuevo modelo de la antena, para la implementación se puede observar en la Figura 12-2.

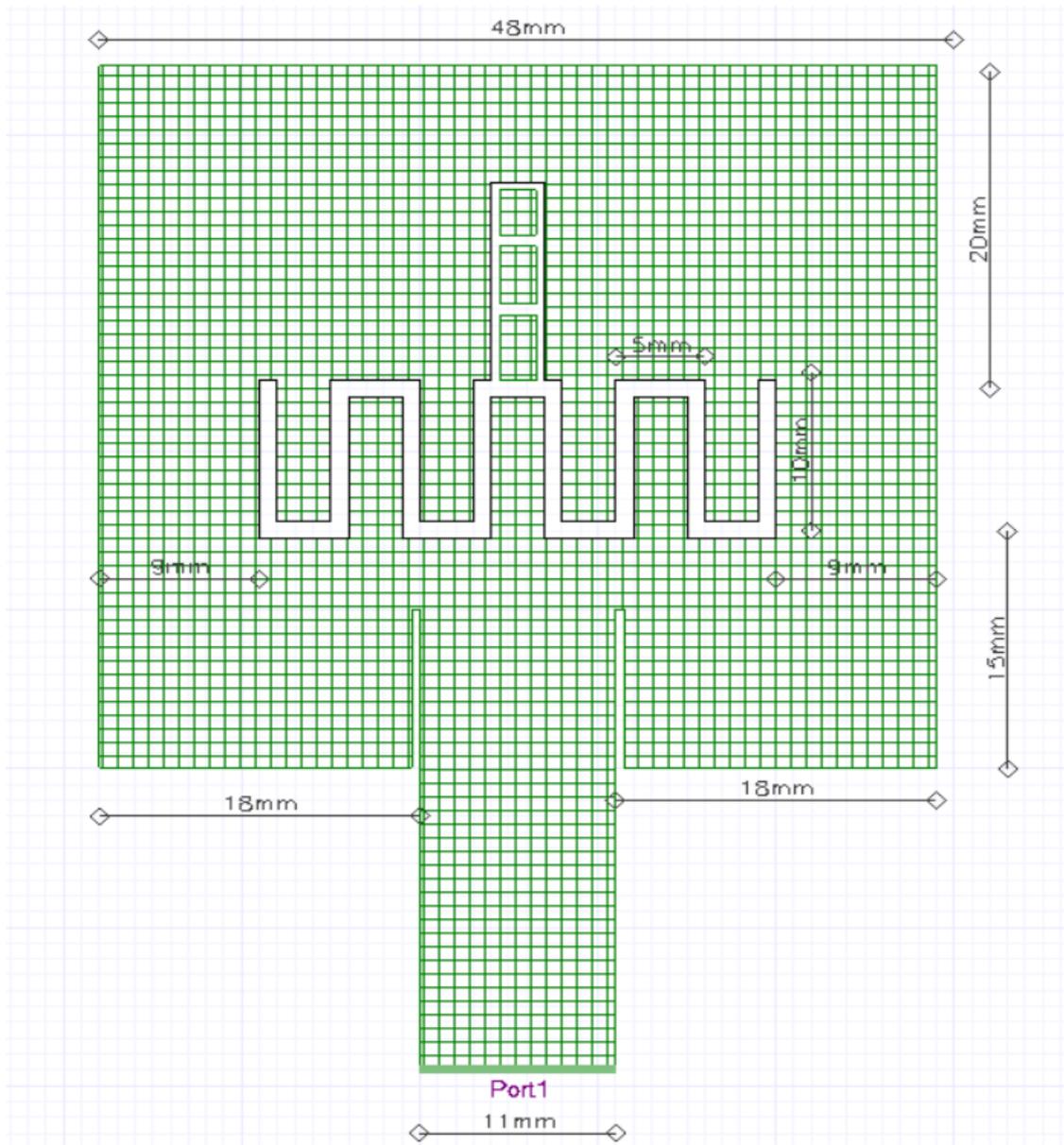


Figura 12-2: Diseño de la antena de variación de fase

Realizado por: CUDCO, José 2018

Una vez detenida la simulación se observa los resultados deseados bajo los parámetros que se muestran en la Figura 13-2

- Frecuencia de operación de la antena 2.4 GHz
- Ganancia de la antena -23dBs
- VSWR menor a 2

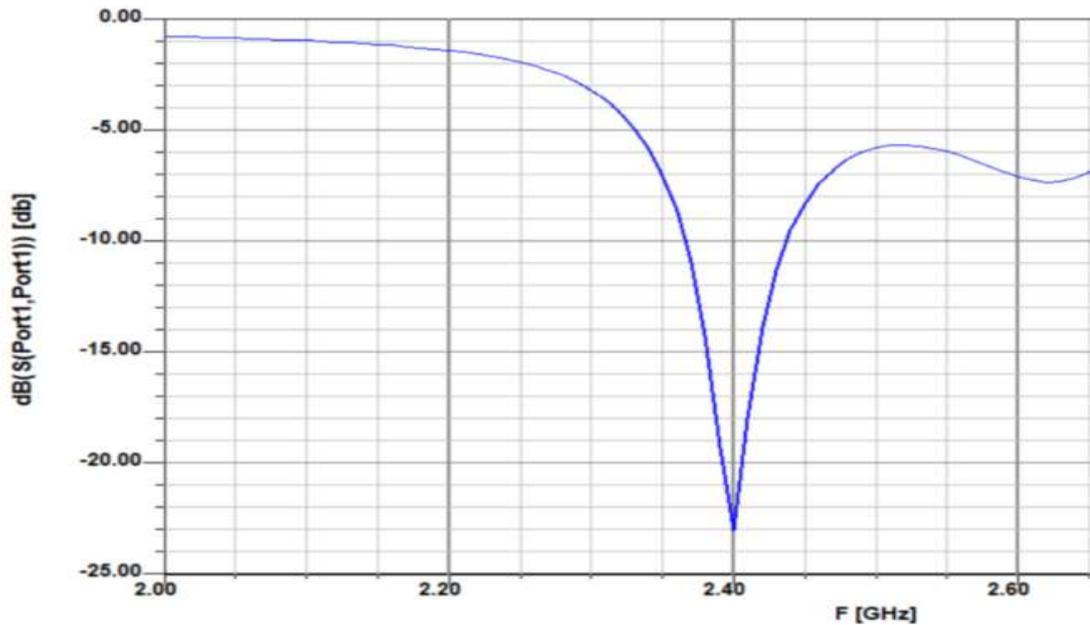


Figura 13-2: Parámetros de la antena a una frecuencia de 2.4Ghz

Realizado por: CUDCO, José 2018

2.2.3 Parámetro Z

El parámetro Z se puede apreciar en la Figura 14-2, que muestra los resultados de impedancia real e imaginaria, en la frecuencia de 2.4, donde se observa un valor de 0 identificado con la línea azul al parámetro de entrada imaginaria mientras que en el parámetro de entrada real identificado con el color rojo tiene un valor de 50 ohmios.

18 Dec 2017

Ansoft Corporation
XY Plot 2
PlanarEM1

13:56:15

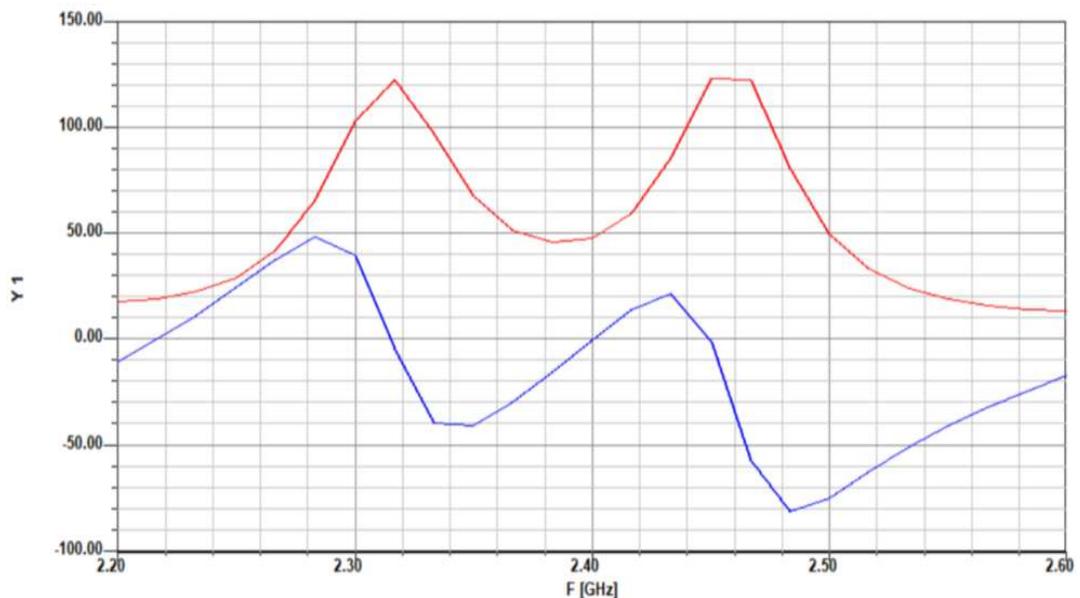


Figura 14-2: Parámetro Z, (impedancia imaginaria y real)

Realizado por: CUDCO, José 2018

2.2.4 Diagrama de radiación

Se puede observar la orientación de las ondas electromagnéticas irradiadas por la antena en los vectores theta y phi en 0 y 90 grados como se aprecia en la Figura 15-2. Donde el lóbulo principal de radiación muestra una dirección específica a la cual está apuntando el componente Theta que se identifica con el color rojo.

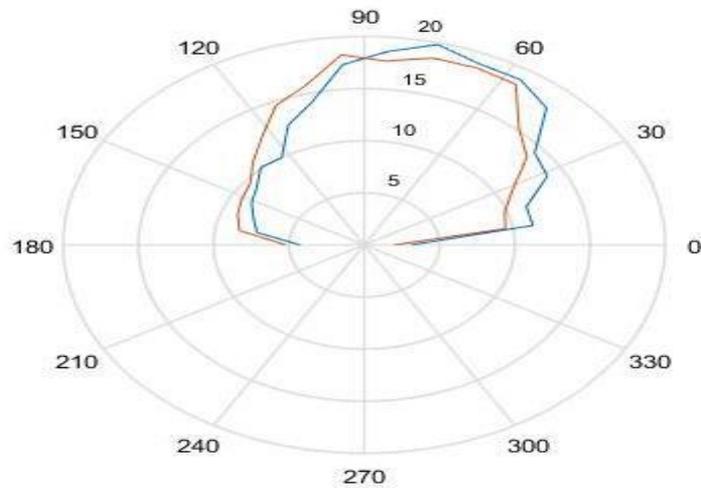


Figura 15-2: Parámetro Z en 2 dimensiones

Realizado por: CUDCO, José 2018

Mientras que en la Figura 16-2 se observa la frecuencia directiva en 3 dimensiones que se desplaza en el componente Theta que se identifica con rojo el lóbulo de radiación principal.

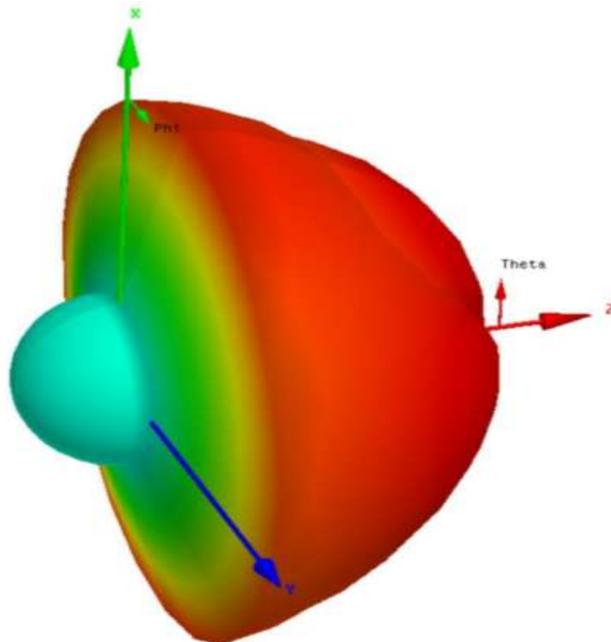


Figura 16-2: Parámetro Z en 3 dimensiones

Realizado por: CUDCO, José 2018

2.3 Requerimientos Hardware

El diagrama de bloques que se muestra en la Figura 17-2, constituirán el circuito de cambio de fase en empereza su funcionamiento al entrar en contacto con la antena. En el diagrama de bloques se identifican cada uno de los componentes que constituirán los bloques de alimentación, bloque de procesamiento de datos y voltaje, bloque de protección y bloque generador de señales.

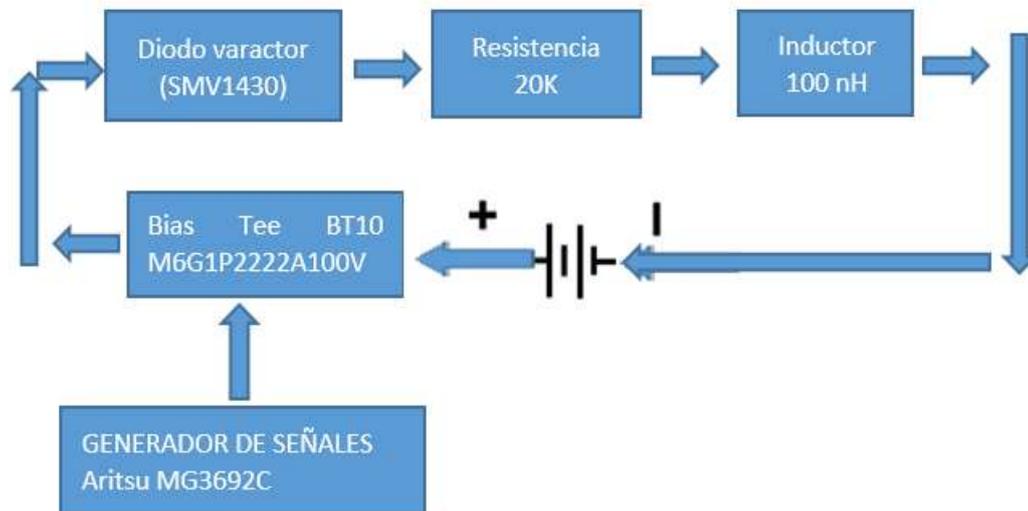


Figura 17-2: Diagrama de bloques para el cambio de fase

Realizado por: CUDCO, José 2018

2.3.1.1 Bloques de Alimentación

Es donde estará conectada la fuente de alimentación en un rango de 0 a 30 Voltios energizando al circuito por medio del bias tee y haciendo tierra en el dieléctrico.

2.3.1.2 Bloque de procesamiento de datos y voltaje

La unión del voltaje con la señal de la radio frecuencia se la realiza en el bias tee para emitir la señal a la antena mediante la cavidad resonante conocida como IDC.

2.3.1.3 Bloque de protección

Para evitar los cambios de voltaje, corriente y brindar una protección al diodo varactor que pueda quemarse.

2.3.1.4 Bloque generador de señales.

Es la parte que genera la onda electromagnética que realizara las mismas funciones de un transmisor en un sistema de comunicaciones.

2.3.2 Antena transmisora

2.3.2.1 Protección del diodo varactor

El sistema de lineal que está conformado por diodo varactor, resistencia, inductor sirve de protección para el diodo varactor y eficiencia de funcionamiento del mismo, en la Figura 18-2 se puede observar la posición adecuada de su conexión en la antena transmisora.

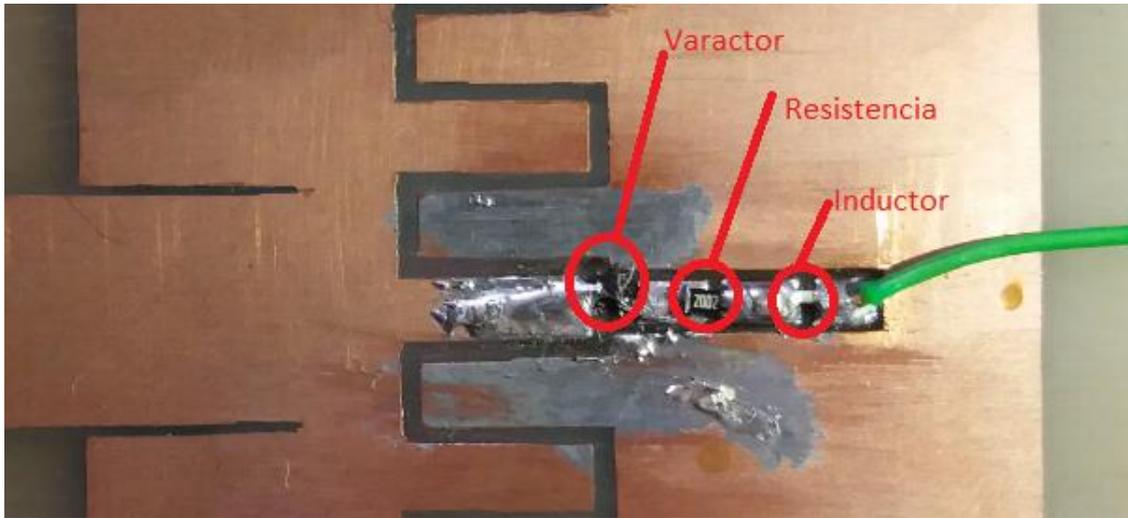


Figura 18-2: Conexión de sistema de protección del diodo varactor

Fuente: (Somarith, Hyunseong and Sungjoon, 2014, p. 6)

La estructura y los componentes utilizados se detallan en el diagrama de bloques de la Figura 19-2, así como su conexión en forma lineal



Figura 19-2: Diagrama de bloques del sistema de protección del diodo varactor

Realizado por: CUDCO, José 2018

- **Diodo Varactor:** Funciona como un capacitor variable.
- **Resistencia de 20K:** El funcionamiento de la resistencia es como una protección debido a que limita el paso de la corriente hacia el diodo varactor.
- **Inductor:** Es un elemento electrónico de inducción electromagnética elevando el voltaje.

Para el proceso de alimentación del circuito se observa de forma detallada como intervienen los componentes y a que bloques se debe realizar la conexión como se aprecia en la Figura 20-2

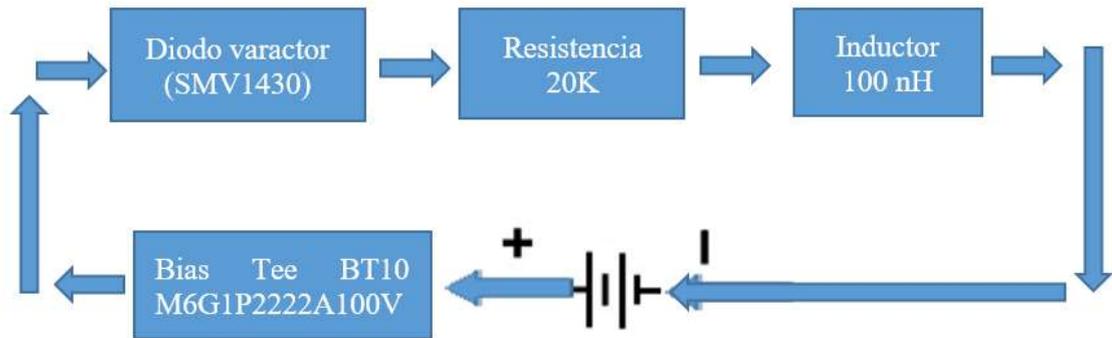


Figura 20-2: Diagrama de bloques de la alimentación al circuito de cambio de fase
 Realizado por: CUDCO, José 2018

2.3.3 Varactor

El diodo varactor a utilizarse es el SMW 1430, que se comporta como un capacitor variable que funciona con una sintonización de 1.24pf a 0.31pf en un rango de voltaje de polarización desde 0 a 30 voltios corriente continua. El mismo que se puede apreciar en la Figura 21-2.



Figura 21-2: Diodo varactor SMW 1430
 Fuente: <https://www.digkey.com/products/es?keywords=863-1733-1-nd>

2.3.4 Bias tee

El bias Tee a utilizarse es el modelo BT10M6G2P3A el rango de operación del este dispositivo es de 10MHz a 6GHz, el tienen un comportamiento de un acoplador ya que anexa las dos señales (señal eléctrica más la radio frecuencia), donde ingresa la frecuencia de operación del generador con el voltaje de polarización de la fuente en este caso solo va ingresar el voltaje positivo, el dispositivo se puede apreciar en la Figura 22-2.



Figura 22-2: Bias Tee BT10M6G2P3A
 Realizado por: CUDCO, José 2018

2.3.5 *Inductor*

Es una bobina multicomponente electrónico capaz de controlar un campo magnético para evitar elevar la corriente, el inductor a utilizar es el FIXED IND 100NH 200MA 1.5 OHM, se puede ver en la Figura 23-2.



Figura 23-2: Inductor FIXED IND 100NH 200MA 1.5 OHM
Fuente: <https://www.digikey.com/products/es?keywords=311-20.0KCRDKR-ND>

2.3.6 *Resistencia*

La resistencia a utilizarse es una resistencia de 20 K Ω que se opone al paso del flujo de electrones limitando la corriente, su función es proteger al diodo varactor, como se puede ver en la Figura 24-2.



Figura 24-2: Resistencia de 20 K Ω
Fuente: <https://www.digikey.com/products/es?keywords=311-20.0KCRDKR-ND>

2.4 CONSTRUCCIÓN DE LA ANTENA

Una vez realizado las simulaciones con las debidas correcciones, donde los parámetros del diseño de la antena son correctos se procede a la fase de exportación del diseño al software AutoCAD, como se muestra en la Figura 25-2 se puede apreciar.

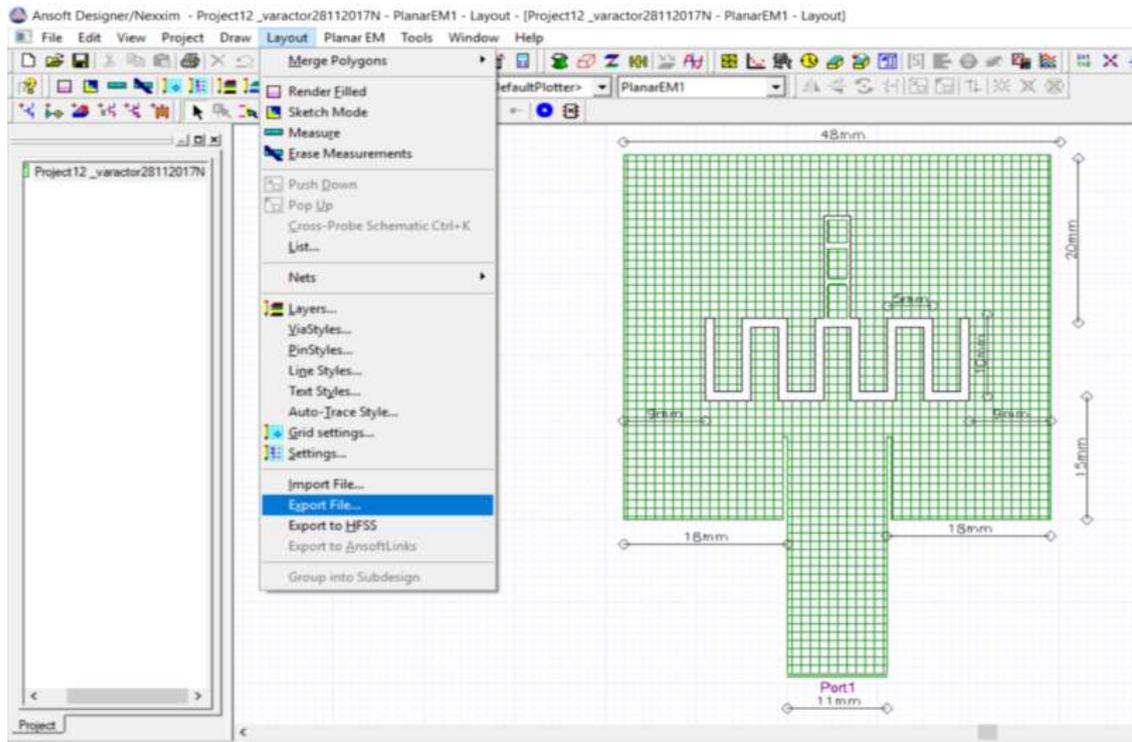


Figura 25-2: Exportación a AutoCAD

Realizado por: CUDCO, José 2018

AutoCAD es una herramienta para dibujo técnico en 2 y 3 dimensiones que nos permítela creación y construcción de planos de ingeniería, esencial para obtener las dimensiones exactas de la antena transmisora de cambio de fase que fue guarda en un formato DWG nativo de Autodesk y en PDF (Autodesk, 2018).

Las medidas para la antena que se van a considerar en el sistema son:

A= 17.5	G=4.5
B=0.5	H=1.10
C=11	I=7.80
D=47	J=4.10
E=19.0	K=12.5
F=10.0	L=3.6

Medidas de la IDC

M=2.80	Q=1.0
N=7.4	R=9.0
O=0.5	S=44.3
P=3.0	

Para el diseño de la antena generado en Autocad del plano se obtuvo en formato pdf para su impresión, el cual se puede apreciar en la Figura 26-2.

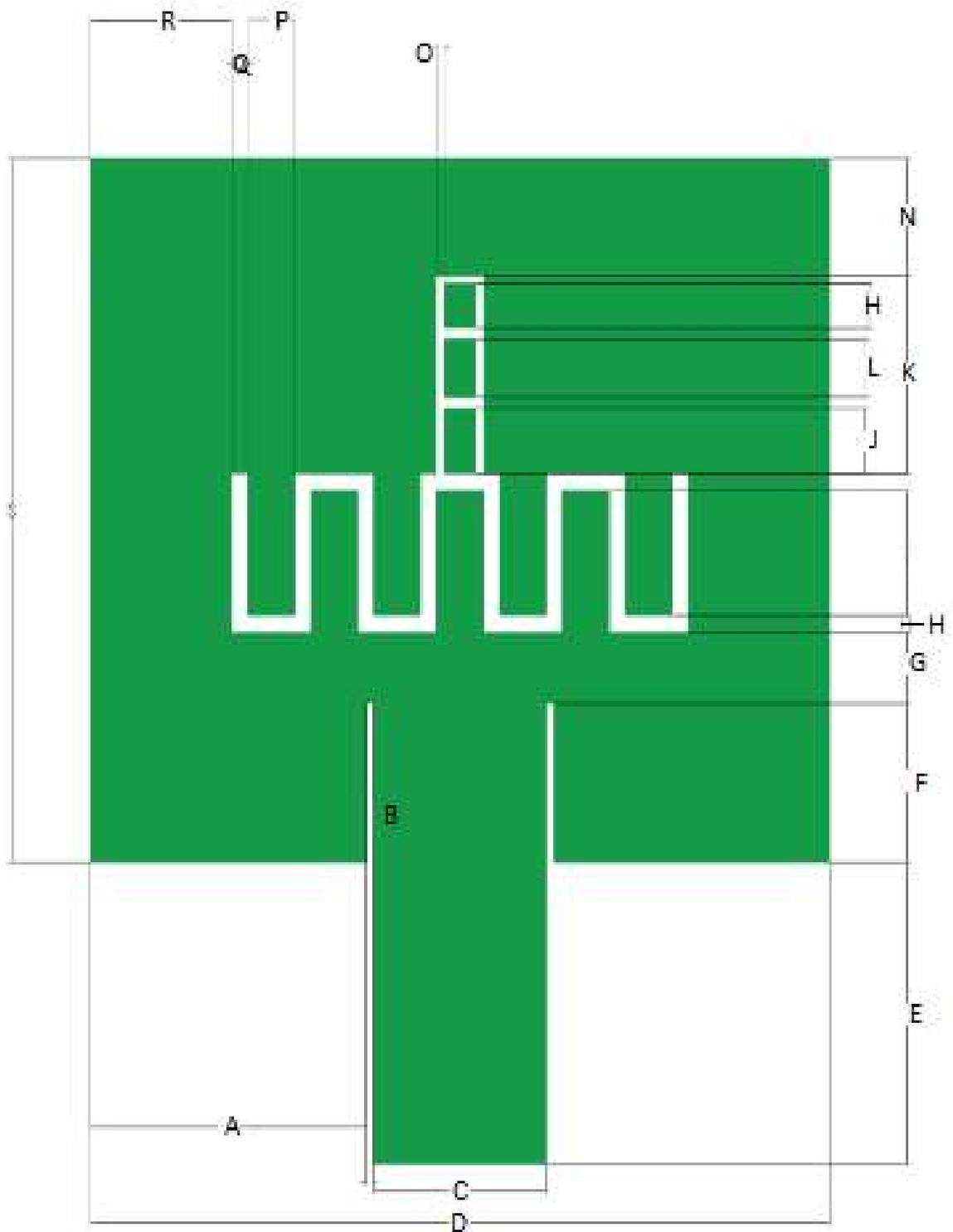


Figura 26-2: Diseño de la antena transmisora con sus medidas
 Realizado por: CUDCO, José 2018

Con el diseño exportado en AutoCAD, se procedió a la impresión del mismo en el material FR4 mediante una fresadora láser, la cual es utilizada a través de un software donde se ingresan las medidas y automáticamente se procede a corta en el sustrato con las especificaciones indicadas se puede apreciar en la Figura 27-2



Figura 27-2: Fresadora laser
Realizado por: CUDCO, José 2018

Una vez plasmado el diseño en el sustrato FR4, se procede a colocar el conector sma como punto de conexión de la alimentación matriz como se aprecia en la Figura 28-2

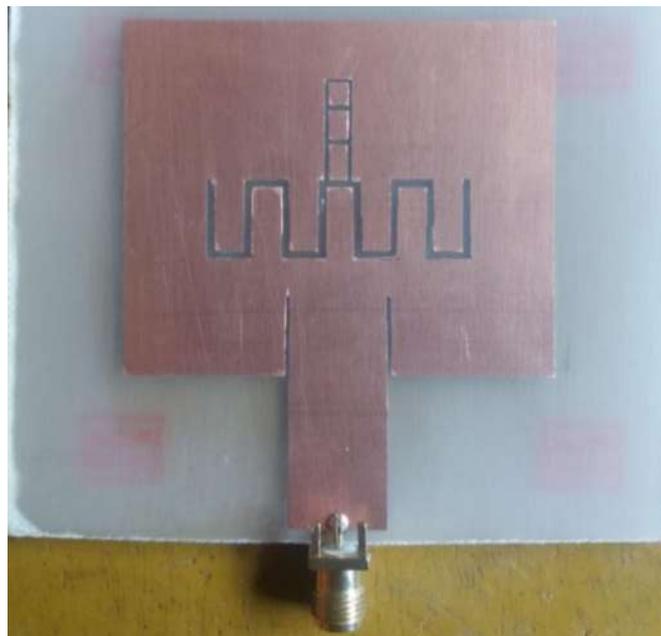


Figura 28-2: Antena transmisora con el puerto sma
Realizado por: CUDCO, José 2018

Después se procedió a soldar los componentes electrónicos (diodo varactor, resistencia e inductor), así como también se soldó el cable de la alimentación de la fuente negativa (-) o tierra como se aprecia en la Figura 29-2.



Figura 29-2: Conexión de componentes electrónicos
Realizado por: CUDCO, José 2018

La unión de todos los componentes en la antena transmisora se puede apreciar en la Figura 30-2 que esta lista para sus conexiones y pruebas necesarias.

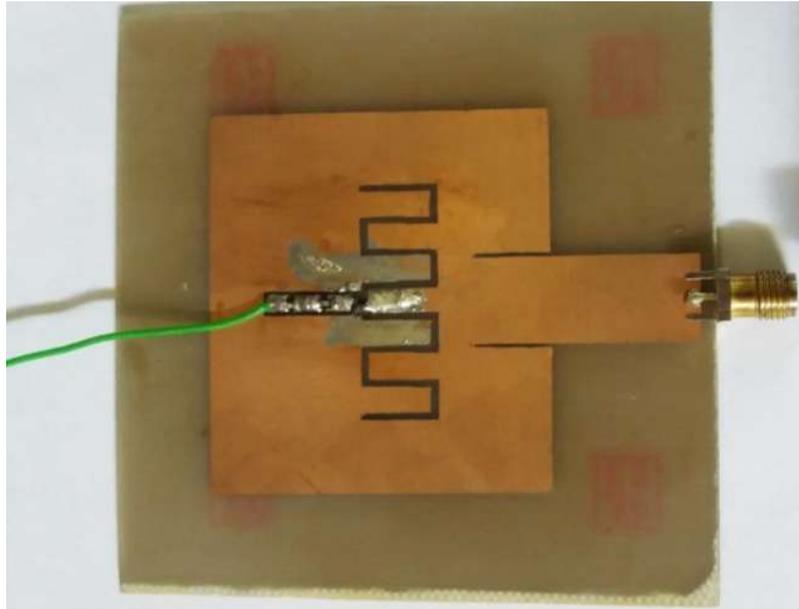


Figura 30-2: Conexión de la fuente de alimentación
Realizado por: CUDCO, José 2018

Las conexiones para las antenas construidas con tecnología microstrip o FR4 por lo general van conectadas con conectores sma hembra y en los cables de la antena al generador utilizan los conectores machos, como se aprecia en la Figura 31-2.



Figura 31-2: Conexión con el Bias Tee
Realizado por: CUDCO, José 2018

CAPITULO III

3 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA

Una vez terminado el proceso de construcción de las antenas (transmisoras y receptoras), se procede a la fase de pruebas, resultados que serán visualizados mediante la utilización del analizador de espectro ANRITSU MS2724C, que permitirá observar los desplazamientos de la fase al momento de inducir un voltaje con el diodo varactor he iniciar con el análisis de nuevas frecuencias obtenidas.

3.1 RESULTADOS SOFTWARE

3.1.1 *Resultados en la simulación de la antena*

El diseño utilizado para la antena transmisora se presenta en la Figura 1-3, la misma que está enfocada en el rango de alta frecuencia de la banda libre ISM. El modelo de la antena fue enfocado en un tipo de antena tipo parche con un patrón de radiación direcciva a 2.4 GHz.

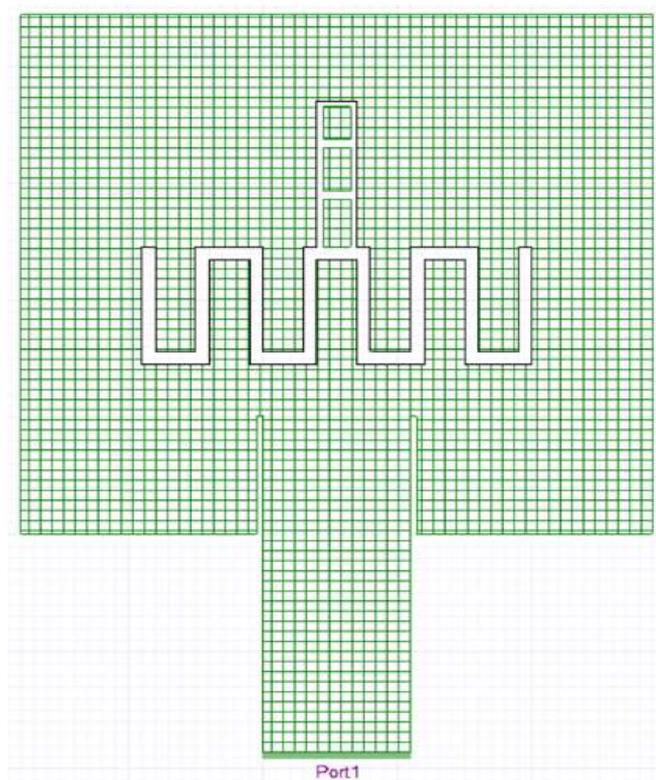


Figura 1-3: Diseño de la antena simulada

Realizado por: CUDCO, José 2018

Mediante el software Designer V3, en la opción RESULT se obtuvo el parámetro de ganancia de la antena, a una frecuencia de operación 2.4 GHz la misma que se puede apreciar en la Figura 2-3.

La ganancia de esta antena fue de -23 dB, que es un indicativo de buenas características en la construcción de las antenas.

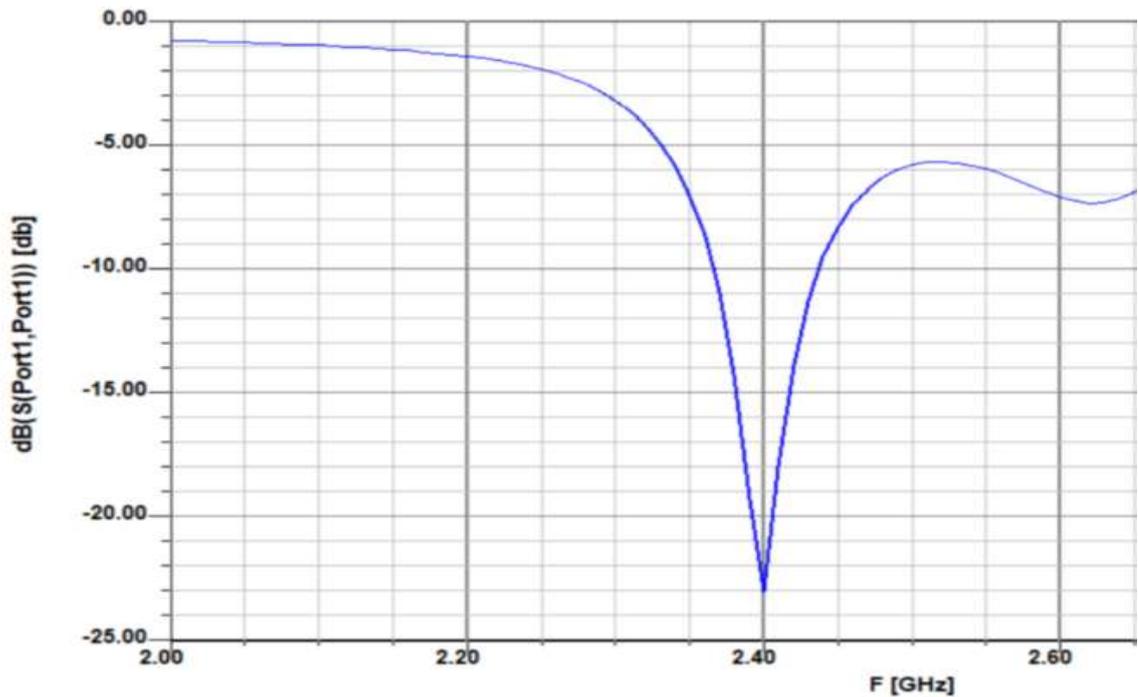


Figura 2-3: Frecuencia central de operación de la antena simulada

Realizado por: CUDCO, José 2018

3.2 ESTRUCTURA HARDWARE

3.2.1 COMPONENTES DEL TRANSMISOR

Una vez comprobado la funcionalidad de la antena a nivel de software se procede con el análisis de resultados a nivel de hardware.

3.2.1.1 Antena transmisora

La Figura 3-3 muestra la antena con la conexión del diodo varactor, que permitirá la inducción de voltaje de ánodo a cátodo para la variación de fase, así como la emisión de ondas electromagnéticas de forma directiva.

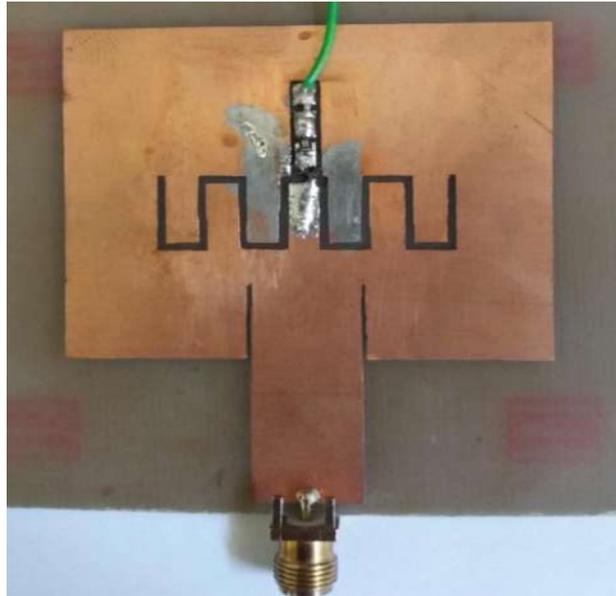


Figura 3-3: Antena transmisora con sus componentes electrónicos
Realizado por: CUDCO, José 2018

3.2.1.2 BIAS TEE

En la Figura 4-3 se observa el dispositivo que permitirá anexar voltaje y frecuencia, donde el puerto **RF IN** ingresara la frecuencia proveniente del generador de frecuencias en el cual se manejará con la frecuencia de operación que se va a trabajar, en el puerto **IN voltaje DC** ingresara el voltaje de corriente continua o corriente DC de la fuente de alimentación, y como resultado se obtendrá las dos señales mezcladas tanto la frecuencia de operación con el Voltaje DC hacia la antena transmisora por el puerto **RF & DC (+)**.



Figura 4-3: Bias tee
Realizado por: CUDCO, José 2018

Mediante la conexión da la antena transmisora con el bias tee, permitirá insertar un voltaje dentro de la antena para modificar la fase de la misma, donde el bias tee adoptará un funcionamiento similar al comportamiento de un bypass, para la inferencia de un voltaje en el rango de 0 a 3 V.

La unión de las conexiones de la fuente de alimentación, el generador de señales y la comunicación con antena transmisora se puede observar en la Figura 5-3, así también el acoplamiento con otros dispositivos necesarios para el correcto funcionamiento que constituye el equipo de transmisión.

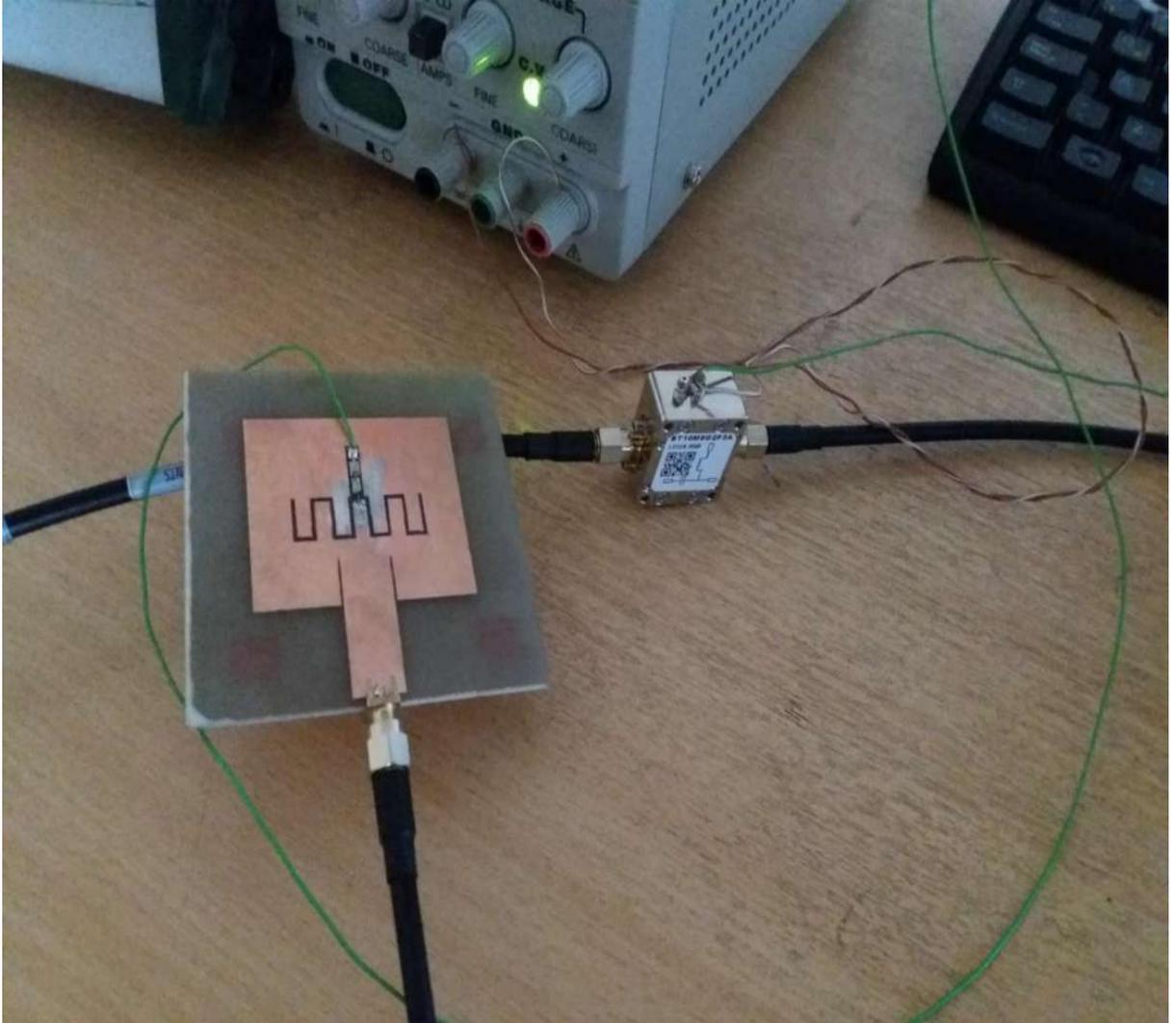


Figura 5-3: Conexiones con el Bias tee

Realizado por: CUDCO, José 2018

3.2.2 *CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS*

3.2.2.1 *Fuente de alimentación*

Para la utilización de la fuente de voltaje es necesario determinar un rango de funcionamiento para la parte de transmisión, debido a que la fuente de alimentación genera un voltaje de 0 a 30 V. Con una corriente de funcionamiento hasta de 2 Amperios, como se puede observar en la Figura 6-3



Figura 6-3: Fuente de alimentación
Realizado por: CUDCO, José 2018

3.2.2.2 *Generador de señales*

Para la emisión de la señal se va a utilizar el generador de señales como un equipo de transmisión para la generación de ondas electromagnéticas. En la Figura 7-3 se puede observar el generador de señales de marca ANRITSU MG3692C a utilizar, que trabaja en un rango de 0.1Hz a 70 GHz / 500 GHz. Para lo cual se estableció en la misma frecuencia de operación que trabaja la antena, con una ganancia de 10 dBm en el transmisor.



Figura 7-3: Generador de Señales ANRITSU MG3692C
Realizado por: CUDCO, José 2018

La Figura 8-3 se aprecia el bloque de transmisión del presente trabajo de titulación es decir las conexiones de los equipos (generador de señales, la fuente de alimentación), con el bias tee y este a su vez con la antena emisora.

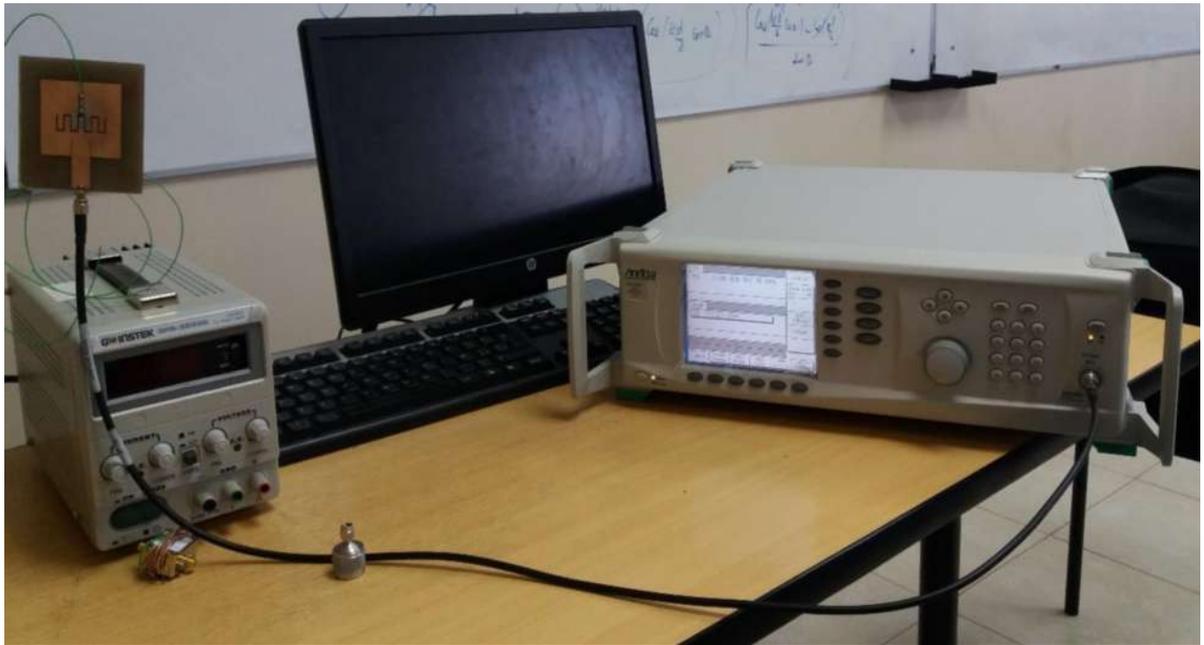


Figura 8-3: Equipo de transmisión
Realizado por: CUDCO, José 2018

También en la tabla 1-3 se puede apreciar el funcionamiento del bloque de transmisión con niveles de voltaje de rangos mínimos, con esto se consiguió probar que las conexiones realizadas fueron correctas, y en caso de que existiera fallas no afecte a los otros equipos. Con las pruebas satisfactorias con voltajes mínimos, se procede a iniciar la fase de variación de voltaje y corriente con los niveles altos.

Después de la fase de calibración del nuevo dispositivo se inician variaciones de voltaje con cambios de voltaje en el rango que nos permite la fuente de alimentación de 0 a 30 V con una corriente de 2 mA. El dispositivo no presento ningún fallo, tampoco inconvenientes con los otros equipos, por lo cual se considera un equipo estable bajo las siguientes especificaciones.

Tabla 1-3: Especificaciones de funcionamiento

Voltaje	Intensidad
0 - 30 V	0 a 1 A

Realizado por: CUDCO, José 2018

3.2.3 COMPONENTES DE LA RECEPCION

3.2.3.1 Antena Receptora

Está diseñada a la misma frecuencia de operación que la antena transmisora la cual captara las señales electromagnéticas de la antena transmisora, la misma que nos ayudara al análisis de datos al conectarla al analizador de espectros, permitiendo visualizar de manera concisa la variación de la fase. Cómo se puede observar en la Figura 9-3

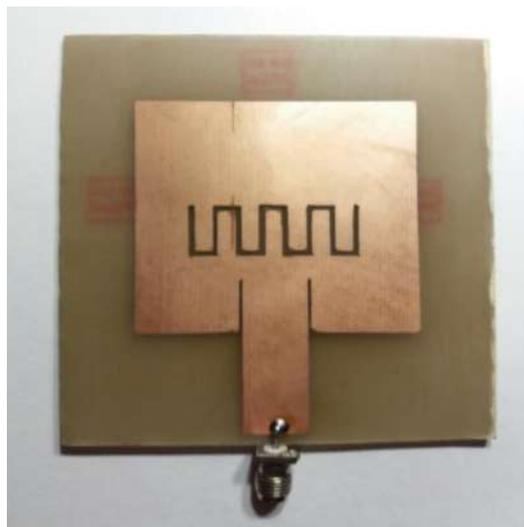


Figura 9-3: Antena receptora
Realizado por: CUDCO, José 2018

3.2.3.2 Analizador de espectro

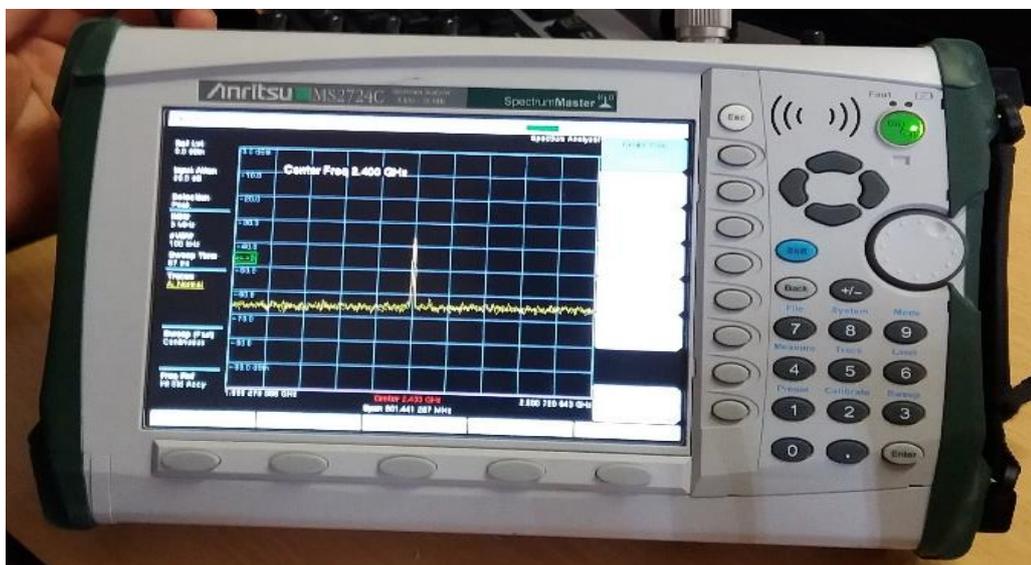


Figura 10-3: Analizador de espectro ANRITSU MS2724C
Realizado por: CUDCO, José 2018

Con la ayuda del analizador de espectro ANRITSU MS2724C se puede conocer las frecuencias de un lugar específico con sus respectivos componentes espectrales de una señal mediante una gráfica en escala logarítmica, constituyendo una herramienta ideal para la adquisición de resultados de las pruebas, como se muestra en la Figura 10-3.

La unión de la antena receptora con el analizador de espectros se hizo con los conectores SMA que presenta pérdidas mínimas de la señal, en la Figura 11-3 donde se aprecia la operatividad del equipo captando señales a la frecuencia de 2.4 GHz.

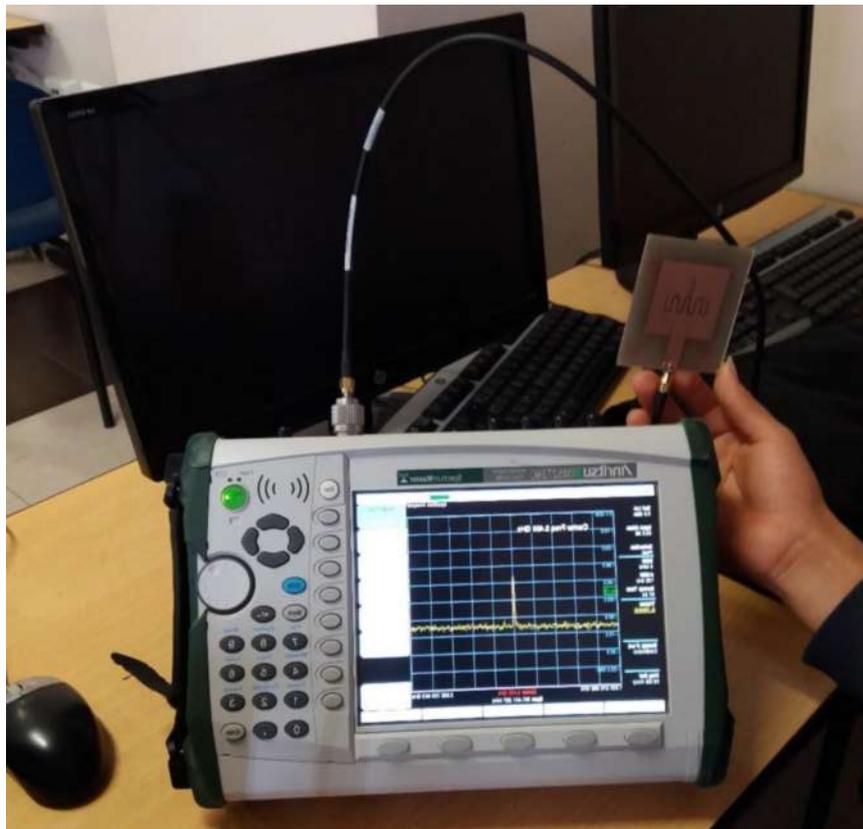


Figura 11-3: Funcionamiento del bloque de recepción
Realizado por: CUDCO, José 2018

3.3 Pruebas del sistema de comunicación

El diseño del sistema de comunicación está basado como un enlace punto a punto, por las características que posee la antena de transmisión (antena directiva), por tal motivo las antenas deben tener una línea de vista para que las ondas electromagnéticas sean captadas.

En la Figura 12-3 se observa la adecuada sujeción de las antenas para alinearlas una frente a la otra, creando una línea de vista ideal sin pérdidas por el medio, es decir sin interferencias entre la transmisión y recepción evitando las preocupaciones y cálculos para la zona de Fresnel.



Figura 12-3: Rango de cobertura de la antena
 Realizado por: CUDCO, José 2018

3.3.1 *Distancia de funcionamiento*

Al ser una implementación de prueba el sistema de comunicaciones (un prototipo de antenas transmisoras y receptoras y voltajes y corrientes bajas), no posee un alcance adecuado por lo cual se ha creado la Tabla 2-3, en la cual se presenta el rango de funcionamiento entre el sistema de transmisión y recepción.

Las distancias de funcionamiento que se obtuvo se detallan a continuación:

Tabla 2-3: Distancia de funcionamiento

Distancia	0.5 m	1m	2m	3m	4m
Decibelios	-41dBm	-52.3dBm	-75.02dBm	-98.3dBm	S/N

Realizado por: CUDCO, José 2018

3.3.2 *Niveles máximos y mínimos de voltaje*

El diodo varactor el mismo que se encuentra anexo a la antena en el bloque de transmisión, va a recibir la inducción de voltaje que será variado desde la fuente de alimentación donde se obtuvo las siguientes razones:

Al aplicarse un voltaje máximo es decir un voltaje mayor a 28.5 V como se aprecia en la Figura 13-3, no se tuvo ningún cambio es decir no hubo un Desfase, ni Ganancia, ni cambio de Amplitud.



Figura 13-3: Determinación del patrón de radiación
Realizado por: CUDCO, José 2018

Mientras que al aplicarse un voltaje mínimo como vemos en la Figura 14-3 se obtuvieron cambios de frecuencia y ganancia



Figura 14-3: Posicionamiento de las antenas para el enlace
Realizado por: CUDCO, José 2018

3.4 Análisis de resultados

Al analizar cada una de las pruebas se obtuvieron datos muy interesantes y curiosos, como al momento de iniciar las pruebas se hizo la primera media de la antena que fue realizada con un voltaje 0V y una corriente de 0 Amperios en la fuente de alimentación.

Es decir, como la antena fue creada originalmente sin cambiar ninguno de sus parámetros. Esto se puede observar en la Figura 15-3, que presenta un pico en la frecuencia de 2.37 GHz con una ganancia de - 62 dBm.



Figura 15-3: Funcionamiento del Sistema de Comunicación
Realizado por: CUDCO, José 2018

Mientras que en la Tabla 3-3 al variar ligeramente la perilla de la fuente de alimentación se observó ya una variación de ganancia cambiando de -46 a -54 y -62 dBm. Con un incremento del voltaje de 0.1 V, estos datos son visualizados en el analizador de espectro.

Tabla 3-3: Cambios de fase con un rango de 0 a 0.5 V

Frecuencia	0 V	0,5 V
2.370 Ghz	- 62 dBm	- 63 dBm
2.371 Ghz	- 46 dBm	- 47 dBm
2.372 Ghz	- 54 dBm	- 54 dBm
2.373 Ghz	0 dBm	- 86 dBm

Realizado por: CUDCO, José 2018

Al seguir variando el voltaje vario la fase es decir cambio la frecuencia de operación de la antenna con ganancia muy aceptable en cada una de las frecuencias la misma que se visualiza en la Figura 16-3.

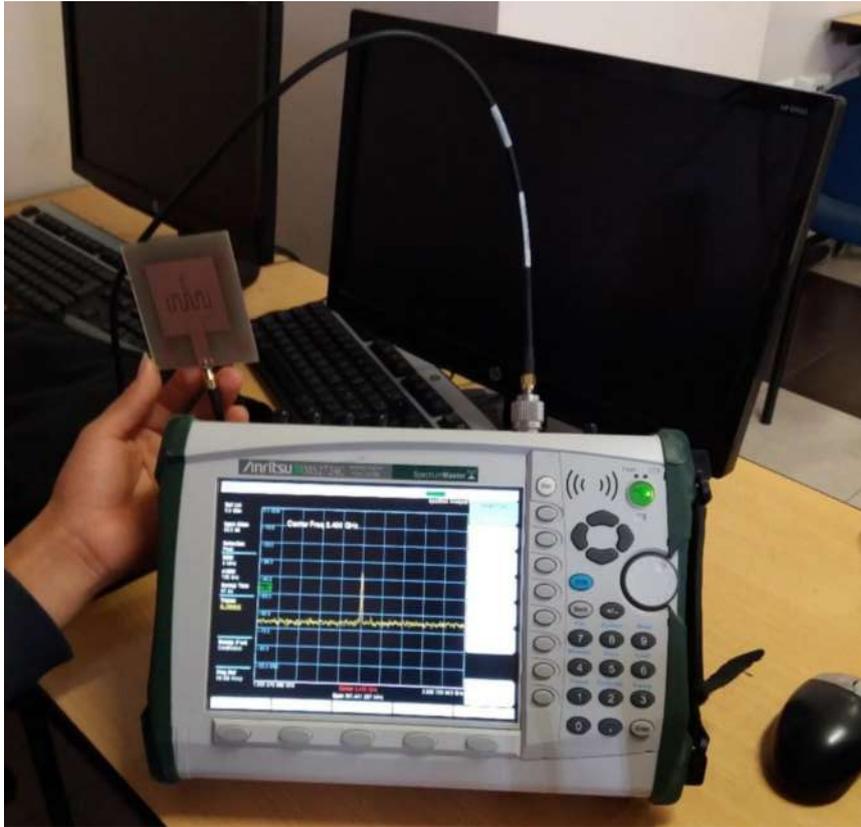


Figura 16-3: Cambio de fase en el rango de 0 a 0.5 V
Realizado por: CUDCO, José 2018

3.4.1 *Rango de 1 a 1.5 V*

Al elevar el voltaje a 1 V y 1.5 V se puede observar en la Figura 17-3 los cambios de fase con sus respectivas ganancias todos estos datos obtenidos se detallan en la Tabla 4-3

Tabla 4-3: Cambios de fase con un rango de 1 a 1.5 V

Frecuencia	1 V	1,5 V
2.370 Ghz	-64 dBm	-62 dBm
2.371 Ghz	-48 dBm	-47 dBm
2.372 Ghz	-54 dBm	-53 dBm
2.373 Ghz	-87 dBm	-87 dBm

Realizado por: CUDCO, José 2018



Figura 17-3: Cambio de fase en el rango de 1 a 2.5 V
 Realizado por: CUDCO, José 2018

3.4.2 *Rango de 2 a 2.5 V*

De manera similar los cambios obtenidos con voltajes de 2 y 2.5 V, muestra un ligero cambio de fase con cambios en el parámetro de ganancia. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 5-3 y sus rangos de desfase se muestra en la Figura 18-3



Figura 18-3: Cambio de fase en el rango de 2 a 2.5 V
 Realizado por: CUDCO, José 2018

Tabla 5-3: Cambios de fase con un rango de 2 a 2.5 V

Frecuencia	2 V	2,5 V
2.370 Ghz	-61 dBm	-62 dBm
2.371 Ghz	-46 dBm	-47 dBm
2.372 Ghz	-53 dBm	-55 dBm
2.373 Ghz	-86 dBm	-87 dBm

Realizado por: CUDCO, José 2018

3.4.3 Rango 3 V

Con ultimo cambio que se pudo visualizar en la Figura 19-3 fue con el voltaje de 3V dicho voltaje muestra cambios de ganancia en la misma frecuencia obtenida anteriormente como se muestra en la Tabla 6-3

Tabla 6-3: Cambios de fase en 3 V

Frecuencia	3 V
2.370 Ghz	-63 dBm
2.371 Ghz	-47 dBm
2.372 Ghz	-55 dBm
2.373 Ghz	-88 dBm

Realizado por: CUDCO, José 2018

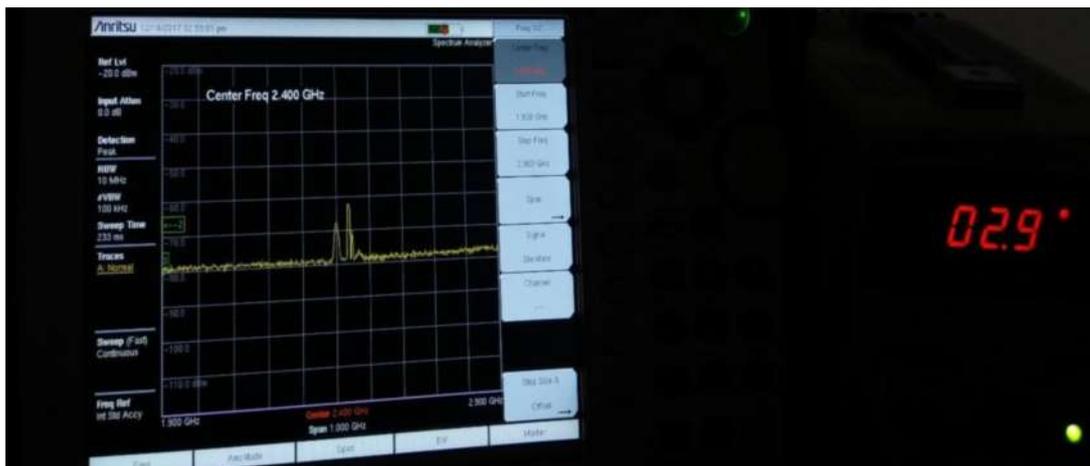


Figura 19-3: Cambio de fase con inducción de 3V

Realizado por: CUDCO, José 2018

Con los datos obtenidos en cada una de las pruebas mediante el analizador de espectro al variar el voltaje, se pudo observar que es posible lograr el cambio de fase con el diodo varactor que es el objetivo principal del estudio. Por tal motivo se determina mediante los datos en la tabla 7-3 que es posible utilizar la misma antena para variar el rango de frecuencia de operación.

Tabla 7-3: Desfases obtenidos según el voltaje

Frecuencia	0V	0.5 V	1.0 V	1.5 V	2.0 V	2.5 v	3.0 v
2.360 Ghz	0 dBm						
2.361 Ghz	0 dBm						
2.362 Ghz	0 dBm						
2.363 Ghz	0 dBm						
2.364 Ghz	0 dBm						
2.365 Ghz	0 dBm						
2.366 Ghz	0 dBm						
2.367 Ghz	0 dBm						
2.368 Ghz	0 dBm						
2.369 Ghz	0 dBm						
2.370 Ghz	-62 dBm	-63 dBm	-64 dBm	-62 dBm	-61 dBm	-62 dBm	-63 dBm
2.371 Ghz	-46 dBm	-47 dBm	-48 dBm	-47 dBm	-46 dBm	-47 dBm	-47 dBm
2.372 Ghz	-54 dBm	-54 dBm	-54 dBm	-53 dBm	-53 dBm	-55 dBm	-55 dBm
2.373 Ghz	0 dBm	-86 dBm	-87 dBm	-87 dBm	-86 dBm	-87 dBm	-88 dBm
2.374 Ghz	0 dBm						
2.375 Ghz	0 dBm						
2.376 Ghz	0 dBm						
2.377 Ghz	0 dBm						
2.378 Ghz	0 dBm						
2.379 Ghz	0 dBm						
2.380 Ghz	0 dBm						
2.381 Ghz	0 dBm						
2.382 Ghz	0 dBm						
2.383 Ghz	0 dBm						
2.384 Ghz	0 dBm						
2.385 Ghz	0 dBm						
2.386 Ghz	0 dBm						
2.387 Ghz	0 dBm						
2.388 Ghz	0 dBm						
2.389 Ghz	0 dBm						
2.390 Ghz	0 dBm						
2.391 Ghz	0 dBm						
2.392 Ghz	0 dBm						
2.393 Ghz	0 dBm						
2.394 Ghz	0 dBm						
2.395 Ghz	0 dBm						
2.396 Ghz	0 dBm						
2.397 Ghz	0 dBm						
2.398 Ghz	0 dBm						
2.399 Ghz	0 dBm						
2.40 Ghz	0 dBm						

Realizado por: CUDCO, José 2018

En la Tabla 8-3 se ve el desplazamiento de la frecuencia inicial donde ha variado de un rango inicial de 2.3700 Ghz hasta 2.3733 Ghz.

Tabla 8-3: Rango de desfase

Frecuencia	0V	0.5 V	1.0 V	1.5 V	2.0 V	2.5 v	3.0 v
2.3700 Ghz	x						
2.3704 Ghz		x					
2.3711 Ghz			x				
2.3716 Ghz				x			
2.3722 Ghz					x		
2.3726 Ghz						x	
2.3733 Ghz							x

Realizado por: CUDCO, José 2018

3.4.4 Desplazamientos de fase

Los rangos de frecuencias presentan desfases, estos desfases pueden mejorar con la implementación de las antenas en un material dieléctrico con menor permitividad, debido a que esta constante física refiere la polarización según los campos eléctricos en el medio que se emplee. En este caso el material Fr4 cuenta con una alta permitividad $\epsilon_r=4.4$ que es alta ante materiales como Roger/Duroid 5880 que poseen $\epsilon_r=2.20$.

En cada una de las nuevas frecuencias se obtuvieron parámetros de ganancia aceptables, para el funcionamiento con su nueva frecuencia de operación, las misma que variaron con la aplicación del voltaje en el rango de -46 dBm a -88 dBm.

La tabla 9-3 nos indica los valores de desplazamiento de la fase en distintos puntos de frecuencia con su respectiva ganancia, estos valores cambian notablemente con el voltaje mejorando su ganancia mientras se eleva más el voltaje o sea cercano a 5 V.

Tabla 9-3: Rango de desfases con sus respectivas ganancias

Frecuencia	0V	0.5 V	1.0 V	1.5 V	2.0 V	2.5 v	3.0 v
2.370 Ghz	62 dBm	63 dBm	64 dBm	62 dBm	61 dBm	62 dBm	63 dBm
2.371 Ghz	46 dBm	47 dBm	48 dBm	47 dBm	46 dBm	47 dBm	47 dBm
2.372 Ghz	54 dBm	54 dBm	54 dBm	53 dBm	53 dBm	55 dBm	55 dBm
2.373 Ghz	0 dBm	86 dBm	87 dBm	87 dBm	86 dBm	87 dBm	88 dBm

Realizado por: CUDCO, José 2018

En la Figura 20-3 se aprecia el desfase de las frecuencias desde su posición inicial 2.36 Ghz frecuencia con la que fue diseñada la antena. Los cambios se desfases se indican con diferente color en la gráfica con su respectiva ganancia y su ancho de banda.

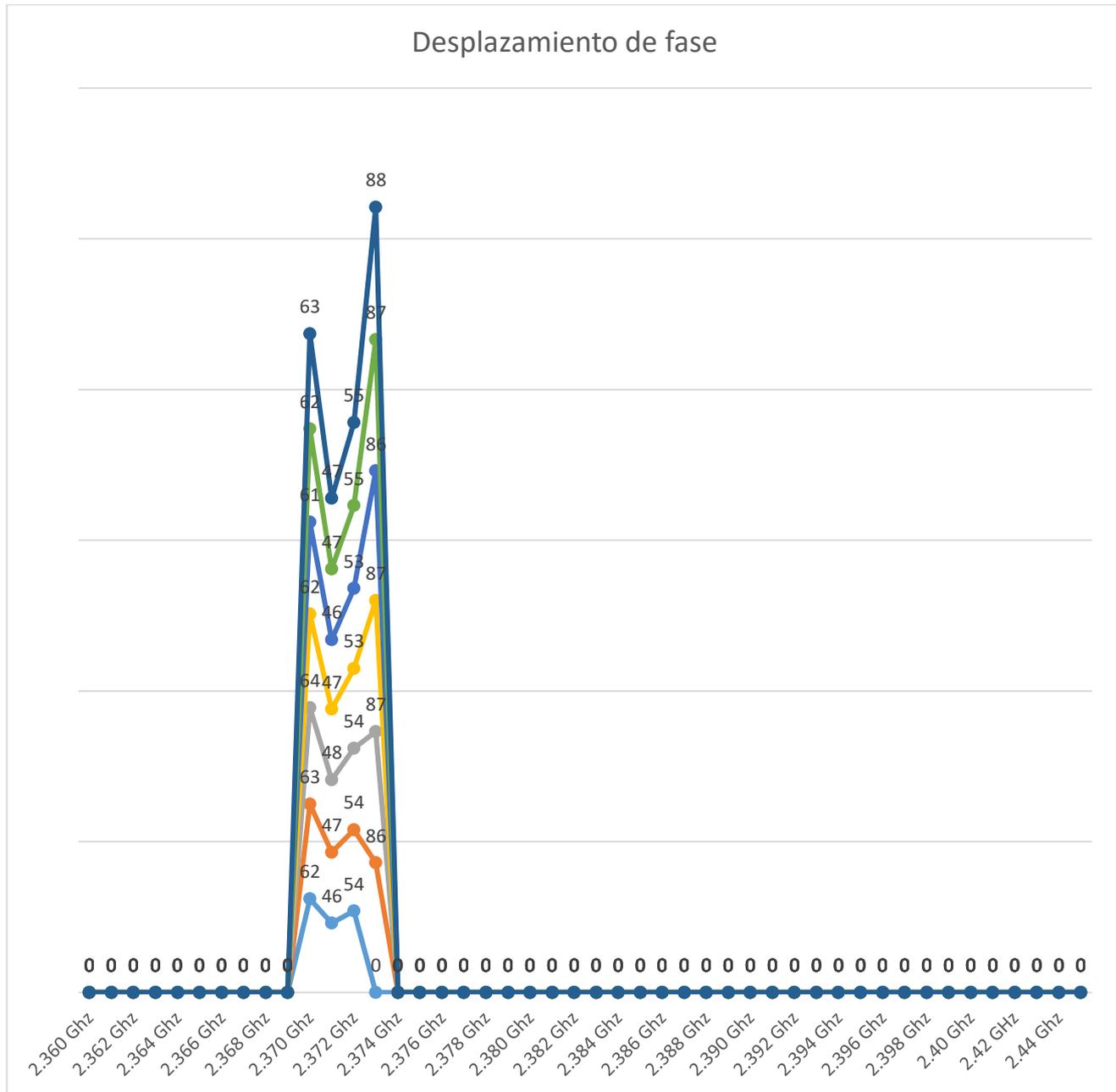


Figura 20-3: Desplazamientos de fase
 Realizado por: CUDCO, José, 2018

En el Figura 21-3 se visualiza la gráfica de la ganancia de cada uno de los cambios de fase con respecto al voltaje y la frecuencia, donde se incrementa la ganancia cuando el diodo varactor induce mayor voltaje en un rango de 0 a 5V.

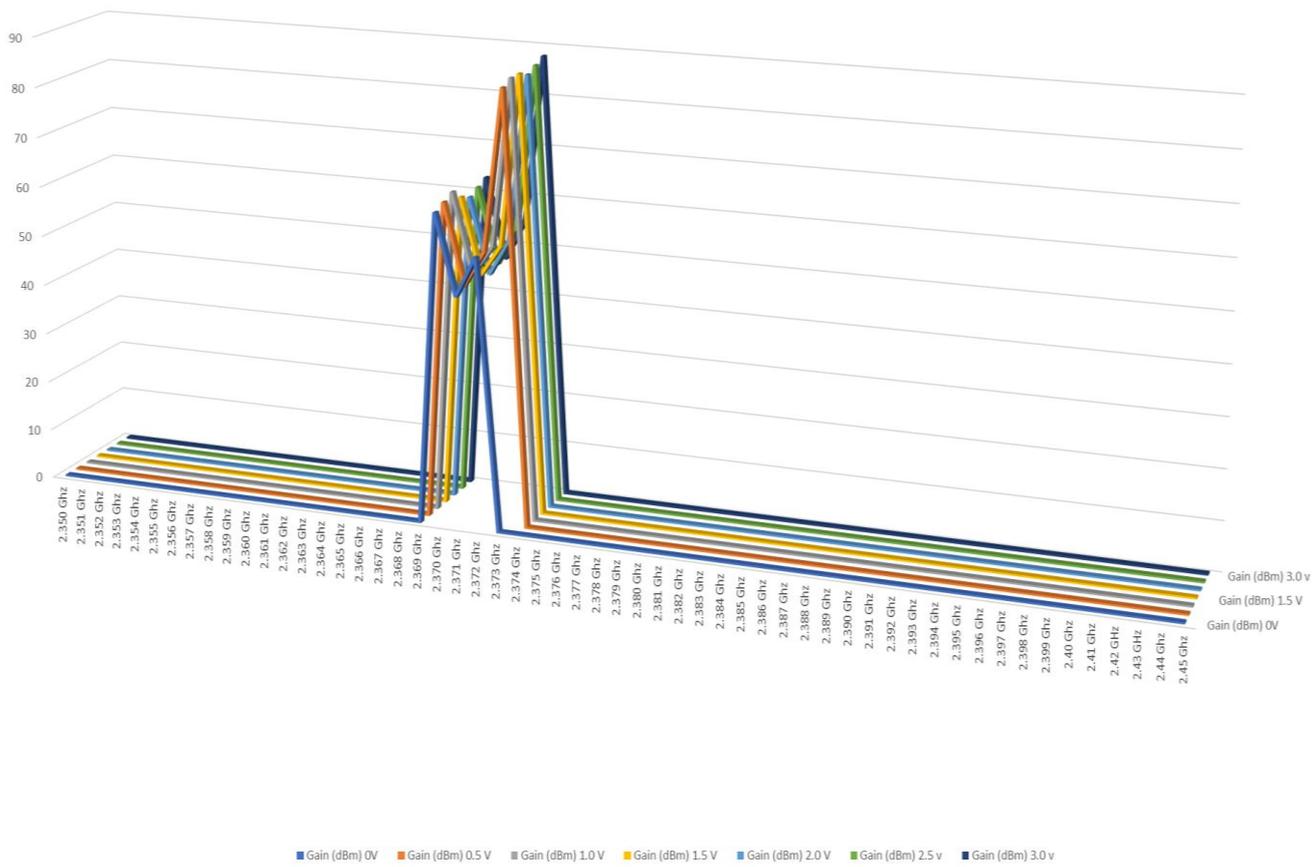


Figura 21-3: Ganancias vs Voltaje y Desfase
 Realizado por: CUDCO, José, 2018

CONCLUSIONES

- Con el diseño realizado en Ansoft Designer v3 para la frecuencia 2.4 Ghz se obtuvieron las medidas adecuadas de la antena parche y la cavidad resonante (IDC), que permitirán el cambio de fase al aplicar un voltaje directo al material conductor a través del diodo varactor.
- La implementación del circuito electrónico anexado a la antena microstrip genera una onda cuadrada en el centro del IDC, produciendo un desplazamiento en la fase, tomando en cuenta que a mayor voltaje mayor es el desplazamiento de la fase.
- La antena microstrip se construyó con el material dieléctrico Fr4 y la unión del circuito se realiza mediante conexiones en los conectores SMA lo que permite conectar al generador de señal para realizar las pruebas físicas en el laboratorio
- Con las pruebas ejecutadas se comprobó que la antena diseñada trabaja a una frecuencia de 2.4 GHz y que puede desplazar su fase en un rango determinado al implementar un diodo varactor en el IDC.
- Para la verificación del desplazamiento de la fase se detalla en la tabla 7-3, donde se muestra los parámetros de ganancia y desplazamiento adecuados para la transmisión y recepción.

RECOMENDACIONES

- Se Sugiere la utilización de material dieléctrico rogger duroid 5870 para obtener mayor rango de desfases, ya que esta presenta menor permitividad que el material dieléctrico Fr4.
- En el proceso de la implementación del diseño de la antena en el material dieléctrico se aconseja utilizar una fresadora digital para su construcción.
- El proceso de impresión debe ser realizado directamente de AutoCAD, ya que puede variar las medidas originales al exportarlo en otro software.
- Calibrar de forma adecuada los equipos para no tener errores en las mediciones.

BIBLIOGRAFÍA

- **AUTODESK AUTOCAD**, 2018. (Consulta: 28 Octubre 2018). Disponible en: <http://www.3dcadportal.com/autocad.html>.
- **BALANIS, C. (1984)** *Antenna theory; analysis and design*. Second, *Proceedings of the IEEE*. Second. New York: 1984, pp. 1-85 811-872.
- **BALANIS, C. A.** *Antenna theory analysis and design*. 3ra ed. New Jersey - USA: Wiley, 1984, pp. 1-85 811-872.
- **BARBERÁN MOREIRA, Jeneffer Joselin, & DOMINGUEZ OROSCO, Rodrigo Fernando.** *Sistema radar para reconstrucción de objetos 3D mediante la utilización del dispositivo KINECT (Tesis de pregrado)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería en Electrónica Telecomunicaciones y Redes [en línea]. Riobamba – Ecuador. 2016. pp. 8-9. [Consulta: 02 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/5412#sthash.6dTUH7Dk.dpuf>
- **BARRERA DOLORES, Juan Esteban, & GARCIA DELGADO, Jorge Luis.** *Sistemas de Radar de aproximación para el AICM (Tesis de pregrado)*. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica [en línea]. México. 2012. pp.1-8. [Consulta: 30 de enero de 2018]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/12214>
- **BHOWMIK, Wriddhi, & SRIVASTAVA, Shweta.** “Optimum Design of a 4x4 Planar Butler Matrix Array for WLAN Application”. *Cornell University Library* [en línea], 2010, vol. 2, Issue 1, pp. 68-74. Consulta: 03 de febrero de 2018]. ISSN 1004 – 4821. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/1004.4821>
- **BARRESI, A.** *LEY DE FARADAY-LENZ*, Buenos Aires, 2010. [Consulta: 13 October 2018]. Disponible en: <http://www2.ib.edu.ar/becaib/bib2007/LopezL.PDF>
- **C.I.F ‘FR4 Data Sheet’** 2014. [Consulta: 30 Mayo 2018]. Disponible en: <https://www.farnell.com/datasheets/1644697.pdf>.

- **CANGA, F.** ‘*Antenas*’, Madrid-España 201, p 20.
- **CARDAMA, Ángel; et al.** *Antenas*. 2da ed. Barcelona – España: Edicions UPC, 2002, pp. 1-27; 270-272.
- **CERNA LOLI, Rafael David.** *Diseño e implementación de un sistema de beamforming utilizando una matriz de Butler compacta para las bandas AWS y PCS 1900 MHz (Tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería [en línea]. Lima – Perú. 2014. pp. 44-59. [Consulta: 02 de febrero de 2017]. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5942>
- **CUROTTO, F., ESPINOSA, S. AND VERGARA, M.** ‘*Antenas, Polarización y Diagramas de Radiación*’, Barcelona España, 2012, p. 25. [Consulta: 27 Enero 2018]. Disponible en: https://www.ucursos.cl/usuario/9553d43f5ccbf1cca06cc02562b4005e/mi_blog/r/Informe_Antenas.pdf.
- **FARADAY, M.** *Experimental Researches In Electricity - Volume 1*. Read Books Ltd. Miami EEUU, 2016. [Consulta: 13 Octubre 2018] Disponible en: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=gDZRDAQAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=michael+faraday+&ots=bpfJPp9kUU&sig=As2Wqlh8Lzy2prG-8TYxbG-_tVU#v=onepage&q=michael faraday&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=gDZRDAQAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=michael+faraday+&ots=bpfJPp9kUU&sig=As2Wqlh8Lzy2prG-8TYxbG-_tVU#v=onepage&q=michael%20faraday&f=false)
- **FERRANDO, M. AND VALERO, A.** *Antenas*. Valencia – España, 2015. [Consulta: 13 Enero 2018] Disponible en: http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Antenas_microstrip.pdf.
- **GAVILÁNEZ LÓPEZ, K. E. AND RIPALDA CARRANZA, D. G.** *Diseño e implementación de una antena plana con control de fase utilizando la matriz de Butler para aplicaciones radar de corto alcance.* [En línea (tesis). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Consulta: 26 Junio 2018]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6870>
- **GARG, Ramesh; et al.** *Microstrip Antenna Design Handbook*. London-Inglaterra Artech House, 2001, pp. 1-28; 253-289.

- **HERNANDEZ, L.** ‘Capítulo 3: *Antenas tipo parche o de microstrip*’, Bogota Colombia, 2018, p. 22. (Consulta: 4 Mayo 2018). Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_a_r/capitulo3.pdf
- **HUERTA-CHUA, J. ET AL.** ‘*Fabricación y caracterización de inductores sobre silicio*’, Murcia-España, 2011. pp. 44–49. (Consulta: 27 Octubre 2018). Disponible en: <https://www.fis.cinvestav.mx/~smcsyv/supyvac/13/sv134401.pdf>.
- **JIMENEZ, José; et al.** “*Procedimiento de Diseño y Realización de Antenas de Parche en Tecnología Microstrip*”. *Revista del Departamento de Ingeniería Audiovisual y Comunicaciones DIAC*. [en línea], 2011, pp.98-99. [Consulta: 18 de enero de 2017]. ISSN 2254-0520. Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/iac/article/view/1762/1774>
- **MAHAFZA, Bassem R.** *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*. USA: Chapman & Hall/CRC, 2000, pp.1-4.
- **MONACHESI, E. ET AL.** ‘*Conceptos generales de Antenas*. Quito Ecuador, Mexico, 2011
- **NERON, Jean Sebastien, & DELISLE, Gilles-Y.** “*Microstrip EHF Butler Matrix Design and Realization*”. *Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI Journal)* [en línea], 2005, vol. 7, Issue 1, pp. 778-796. Consulta: 05 de febrero de 2017]. ISSN 1225-6463. Disponible en: http://kpubs.org/article/articleMain.kpubs?articleANo=HJTODO_2005_v27n6_788
- **PASTERNAK** ‘*Bias Tees Technical Data Sheet*’, Washington-USA, 2017 in, p. 3. (Consulta: 27 Octubre 2018). Disponible en: <https://www.pasternack.com/0.1-mhz-12.4-ghz-sma-bias-tee-750-ma-24-volts-dc-pe1606-p.aspx>.
- **PÉREZ, C.** *ANTENA*. Santander. 2013. Consulta: 26 Octubre 2018. Disponible en: http://personales.unican.es/perezvr/pdf/CH10ST_Web.pdf .
- **RAYMING PCB & ASSEMBLY** *Rogers 5880 PCB Manufacturer*. New York – EEUU, 2015. Consulta: 30 Octubre 2018. Disponible en: <https://www.raypcb.com/rogers-5880-pcb>.

- **ROGERS CORPORATION** *RT/duroid*® 5870 /5880 *High Frequency Laminates*. Sylicon Valey – EEUU, 2018. Consulta: 30 Octubre 2018 Disponible en: <https://www.rogerscorp.com/documents/606/acs/RT-duroid-5870-5880-Data-Sheet.pdf>
- **SECO PRIETO, Ángel**. *Diseño de acopladores direccionales de microondas para matrices de Butler (Proyecto fin de carrera)*. [en línea] Universidad Autónoma de Madrid, Escuela Politécnica Superior. Madrid – España. 2009. Pp. 2-10; 75-76. [Consulta: 02 de febrero de 2018]. Disponible en: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/9984>
- **SHAIKH, F. I. & BANSIDHAR AKHADE, Sanjay**. “*Smart Antenna System Using 4x4 Butler Matrix switched beam network for 2.4 GHz ISM band*”. *IJAEM* [en línea], 2015, Volumen 4, Issue 3, pp.278-280. [Consulta: 03 de febrero de 2018]. ISSN 2319 – 4847. Disponible en: <http://www.ijaiem.org/pabstract.php?vol=Volume4Issue3&pid=IJAEM-2015-03-31-92>
- **SKOLNIK, Merrill I**. *Introduction to Radar Systems*. 3ra ed. Singapore: Tata McGraw-Hill, 2001, pp. 1-13.
- **SINGH, S. ET AL**. *Design consideration of Microstrip Patch Antenna*. 2016. Consulta: 4 Noviembre 2018. Disponible en: www.ijecse.org.
- **SOMARITH, S., HYUNSEONG, K. AND SUNGJOON, L**. ‘Frequency reconfigurable and miniaturized substrate integrated waveguide interdigital capacitor (SIW-IDC) antenna’, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Tokyo- Japon, 2015. Consulta: 1 October 2018, pp. 1039–1045.
- **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**. *Historia de las antenas*. [en línea]. [consulta: 11 enero 2018]. Disponible en: http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Historia_antenas.pdf
- **VACA PARRA, Sonia Angélica, & VENEGAS LOPEZ, Betty Paola**. *Diseño y construcción de una antena tipo parche en la banda de 5.4 GHz. (Tesis Pregrado)*. Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Eléctrica y Electrónica [en línea].

Sangolquí – Ecuador. 2011. pp. 14 [Consulta: 11 de enero de 2018]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2973>

- **VIELMA, M.** *Introducción a las Antenas Contenido*. Mexico 2005. (Consulta: 1 Octubre 2018). Disponible en: http://www.catlog.net/_Descargas/03-Tecnic/Antenas/Teoria Antenas.pdf.
- **VILLAR ETXEONDO, Víctor Javier.** *Diseño antena microstrip de ranura y antena de parche con geometría fractal* (Tesis pregrado). Universidad Pública de Navarra, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones [en línea]. Pamplona-España. 2012. p. 6. [Consulta: 12 de enero de 2018]. Disponible en: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/4806/577726.pdf?sequence=1>
- **YU, X.** *Diseño de antenas de tipo parche para un transceptor WiMAX basado en el chip MAX2838*. Madrid, 2014. pp. 2-4 (Consulta: 4 Junio 2018). Disponible en: http://rfcas.eps.uam.es/web/sites/default/files/trabajos_academicos/Diseño de antenas de tipo parche para un transceptor WiMAX basado en el chip MAX2838.pdf.

ANEXOS

ANEXO A: Medición de la antena transmisora



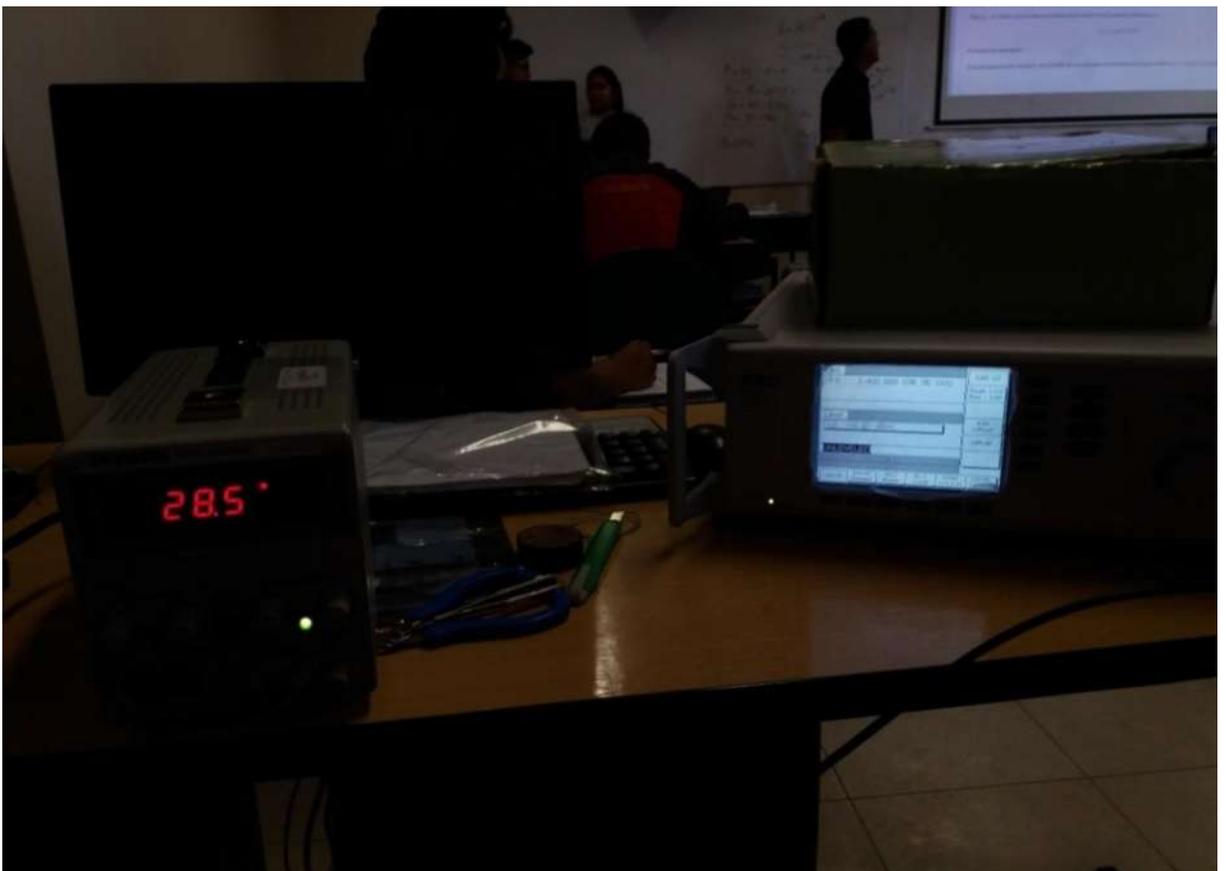
ANEXO B: Lectura de la antena receptora



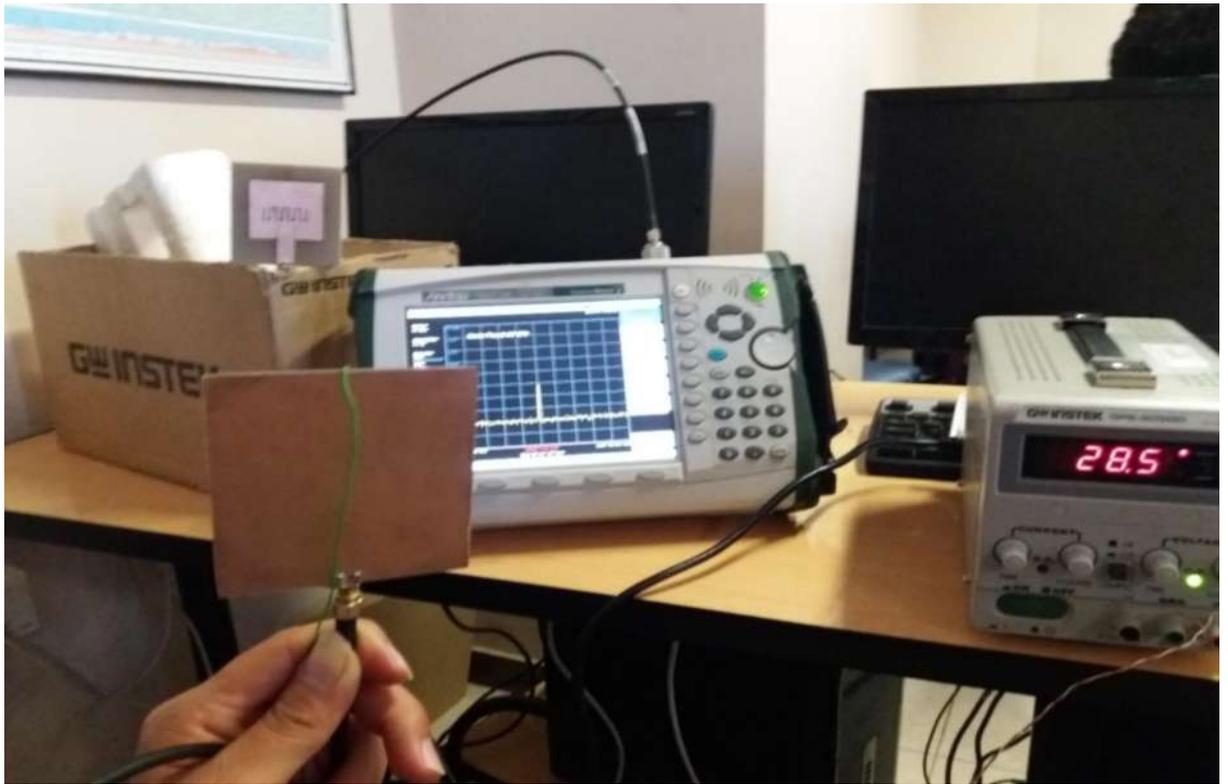
ANEXO C: Rango de cobertura de las antenas



ANEXO D: Cambio de voltaje para la variación de la fase



ANEXO E :Análisis del desplazamiento de fase en la antena transmisora



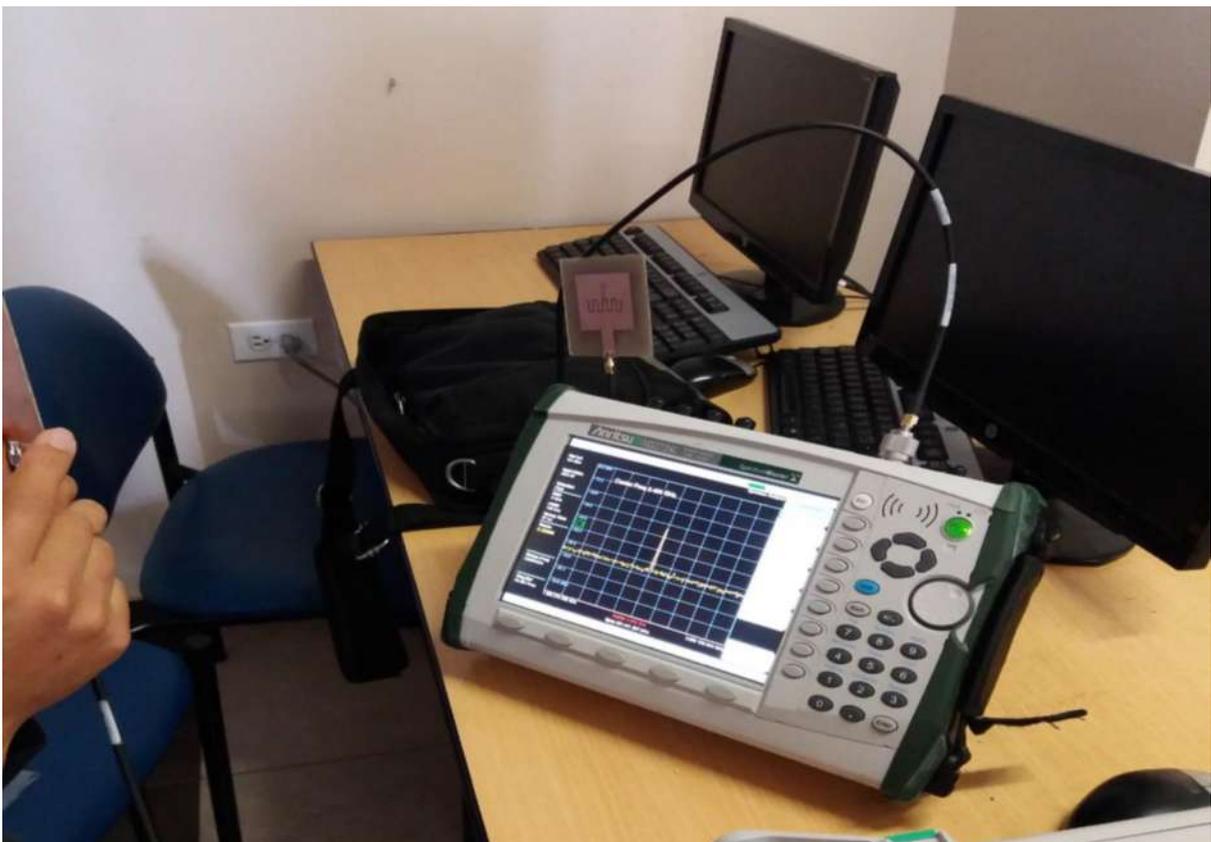
ANEXO F :Antena transmisora con alimentación de la fuente



ANEXO G: Posicionamiento de la antena receptora para la lectura de la antena transmisora



ANEXO H: Frecuencia central en el analizador de espectro



ANEXO I: VARACTOR

	Información general del producto	
	Número de pieza de Digi-Key	863-1733-1-ND
	Cantidad disponible	1,244 Disponibile para envío inmediato
	Fabricante	Skyworks Solutions Inc.
	Número de pieza del fabricante	SMV1430-040LF
	Descripción	DIODE VARACTOR
	Descripción ampliada	Varactor Single 30V Surface Mount SOD-882
	Estado Libre de plomo / Estado RoHS	Sin plomo / Cumple con RoHS
	Nivel de sensibilidad a la humedad (MSL)	1 (ilimitado)
	Plazo estándar del fabricante	16 semanas

Precio y compra		
Cantidad	<input type="text" value="1"/>	
	863-1733-1-ND ▼	
	<input type="text" value="Referencia del cliente"/>	
Agregar al carrito		
Todos los precios están en USD.		
Escala de precios	Precio unitario	Precio total
1	0.63000	0.63
10	0.55500	5.55
100	0.42580	42.58
500	0.33660	168.30
1,000	0.26928	269.28

Enviar una [solicitud de cotización](#) para cantidades superiores a las que se muestran en pantalla.

Paquete alternativo | Esta pieza también está disponible en el siguiente embalaje:

Cinta y rollo (TR) [863-1733-2-ND](#)
 Cantidad mínima: 3,000
 Cantidad disponible: 0
 Precio unitario: 0.23693

Digi-Reel® [863-1733-6-ND](#)
 Cantidad mínima: 1
 Cantidad disponible: 1,244 - Inmediata
 Precio unitario: Carrete de Digi-Key (Digi-Reel)®

Documentos y medios	
Hojas de datos	SMV1405-SMV1430 Series

Atributos del producto		Seleccionar todos <input type="checkbox"/>
Categorías	Productos semiconductores discretos Diodo - Capacitancia variable (Varicaps, Varactors)	<input checked="" type="checkbox"/>
Fabricante	Skyworks Solutions Inc.	<input type="checkbox"/>
Serie	-	<input type="checkbox"/>
Empaquetado ?	Cinta cortada (CT) ?	<input type="checkbox"/>
Estado de la pieza	Activo	<input type="checkbox"/>
Capacitancia según Vr, F	0.7 pF a 4 V, 50 MHz	<input type="checkbox"/>
Relación de capacitancia	3.8	<input type="checkbox"/>
Condición de relación de capacitancia	C0/C30	<input type="checkbox"/>
Voltaje inverso de pico (máx.)	30 V	<input type="checkbox"/>
Tipo diodo	Simple	<input type="checkbox"/>
Q según Vr, F	1680 a 4 V, 50 MHz	<input type="checkbox"/>
Temperatura de operación	-55°C ~ 125°C (TJ)	<input type="checkbox"/>
Tipo de montaje	Montaje en superficie	<input type="checkbox"/>
Paquete / Caja (carcasa)	SOD-882	<input type="checkbox"/>
Paquete del dispositivo del	SOD-882	<input type="checkbox"/>

ANEXO J: RESISTENCIA DE 20K

	Información general del producto		Precio y compra	
	Número de pieza de Digi-Key	311-20.0KCRDKR-ND	Cantidad	<input type="text" value="1"/>
Cantidad disponible	1,534,906 Disponible para envío inmediato	311-20.0KCRDKR-ND	<input type="text" value="Referencia del cliente"/>	<input type="button" value="Agregar al carrito"/>
Fabricante	Yageo	Todos los precios están en USD.		
Número de pieza del fabricante	RC0805FR-0720KL	Escaleta de precios	Precio unitario	Precio total
Descripción	RES SMD 20K OHM 1% 1/8W 0805	1	0.10000	0.10
Descripción ampliada	Resistencia en microprocesador 0.125 W, 1/8 W ±1% 20 k Ohm Resistente a la humedad Película gruesa 0805 (2012 métrico)	10	0.02100	0.21
Estado Libre de plomo / Estado RoHS	Sin plomo / Cumple con RoHS	100	0.00840	0.84
Nivel de sensibilidad a la humedad (MSL)	1 (ilimitado)	1,000	0.00379	3.79
Plazo estándar del fabricante	22 semanas	2,500	0.00329	8.22
Documentos y medios		Enviar una solicitud de cotización para cantidades superiores a las que se muestran en pantalla.		
Hojas de datos	Thick Film Chip Resistor Intro Chip Resistor Marking RC Series L Datasheet	Calcular el precio Digi-Reel®		
Módulos de capacitación sobre el producto	Chip Resistor	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Otro PCN	RC/AC 0803/0805/1206 22/Jan/2013	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Modelos EDA / CAD	Descargar de Ultra Librarian	<input type="button" value="Calcular el precio"/>		
		Un tarifa por carrete de \$7.00 se aplicará a cada carrete que se pida. Digi-Reels son un		

ANEXO K: Data sheep de la resistencia de 20k

Atributos del producto		Seleccionar todos
Categorías	Resistores Resistencia en microprocesador - Montaje de superficie	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>
Fabricante	Yageo	<input type="checkbox"/>
Serie	RC	<input type="checkbox"/>
Empaquetado ?	Digi-Reel® ?	<input type="checkbox"/>
Estado de la pieza	Activo	<input type="checkbox"/>
Resistencia (Ohms)	20 k	<input type="checkbox"/>
Tolerancia	±1%	<input type="checkbox"/>
Potencia (W)	0.125 W, 1/8 W	<input type="checkbox"/>
Composición	Película gruesa	<input type="checkbox"/>
Características	Resistente a la humedad	<input type="checkbox"/>
Coficiente de temperatura	±100 ppm/°C	<input type="checkbox"/>
Temperatura de operación	-55°C ~ 155°C	<input type="checkbox"/>
Paquete / Caja (carcasa)	0805 (2012 métrico)	<input type="checkbox"/>
Paquete del dispositivo del proveedor	0805	<input type="checkbox"/>
Tamaño / Medidas	0.079" L x 0.049" A (2.00 mm x 1.25 mm)	<input type="checkbox"/>
Altura - Asiento (Máx.)	0.024" (0.60 mm)	<input type="checkbox"/>
No. de terminaciones	2	<input type="checkbox"/>
Índice de fallas	-	<input type="checkbox"/>

ANEXO L: Inductor



Información general del producto	
Número de pieza de Digi-Key	445-1479-1-ND
Cantidad disponible	61,538 Disponble para envío inmediato
Fabricante	TDK Corporation
Número de pieza del fabricante	MLK1005SR10JT000
Descripción	FIXED IND 100NH 100MA 2.2 OHM
Descripción ampliada	100nH Unshielded Multilayer Inductor 100mA 2.2 Ohm Max 0402 (1005 Metric)
Estado Libre de plomo / Estado RoHS	Sin plomo / Cumple con RoHS
Nivel de sensibilidad a la humedad (MSL)	1 (ilimitado)
Plazo estándar del fabricante	10 semanas

Precio y compra		
Cantidad	<input type="text" value="1"/>	
	445-1479-1-ND	
	<input type="text" value="Referencia del cliente"/>	
Agregar al carrito		
Todos los precios están en USD.		
Escala de precios	Precio unitario	Precio total
1	0.10000	0.10
10	0.05000	0.50
25	0.04480	1.12
50	0.03800	1.90
100	0.03360	3.36
250	0.03080	7.70
500	0.02800	14.00
1,000	0.02352	23.52
5,000	0.01904	95.20

Enviar una [solicitud de cotización](#) para cantidades superiores a las que se muestran en pantalla.

Documentos y medios	
Hojas de datos	MLK1005 Series, Commercial
Módulos de capacitación sobre el producto	SMD Inductors High Frequency Inductor Family
Producto destacado	MLK Series Multilayer Ceramic High-Frequency Inductor
Número de pieza de PCN	Multilayer Inductor Part Number Change 2014
Modelos EDA / CAD	Descargar de Ultra Librarian

ANEXO M: Data sheet del inductor

Atributos del producto		Seleccionar todos <input type="checkbox"/>
Categorías	Inductores, bobinas, bobinas de choque Fijo	<input type="checkbox"/>
Fabricante	TDK Corporation	<input type="checkbox"/>
Serie	MLK	<input type="checkbox"/>
Empaquetado <input type="checkbox"/>	Cinta cortada (CT) <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estado de la pieza	Activo	<input type="checkbox"/>
Tipo	Multicapa	<input type="checkbox"/>
Material - Núcleo	Antimagnético	<input type="checkbox"/>
Inductancia	100 nH	<input type="checkbox"/>
Tolerancia	±5%	<input type="checkbox"/>
Corriente nominal	100 mA	<input type="checkbox"/>
Corriente - Saturación	-	<input type="checkbox"/>
Blindaje	No blindado	<input type="checkbox"/>
Resistencia de CC (DCR)	2.2 Ohm máx.	<input type="checkbox"/>
Q según frecuencia	6 a 100 MHz	<input type="checkbox"/>
Frequency - Self Resonant	1.1 GHz	<input type="checkbox"/>
Normas	-	<input type="checkbox"/>
Temperatura de operación	-55°C ~ 125°C	<input type="checkbox"/>
Frecuencia - Prueba	100MHz	<input type="checkbox"/>
Tipo de montaje	Montaje en superficie	<input type="checkbox"/>
Paquete / Caja (carcasa)	0402 (1005 métrico)	<input type="checkbox"/>
Paquete del dispositivo del proveedor	0402 (1005 métrico)	<input type="checkbox"/>
Tamaño / Medidas	0.039" L x 0.020" A (1.00 mm x 0.50 mm)	<input type="checkbox"/>
Altura - Asiento (Máx.)	0.024" (0.60 mm)	<input type="checkbox"/>