



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

IMPLEMENTACIÓN DE UN SET DE ATENUADORES Y FILTROS DE
ALTA FRECUENCIAS UTILIZANDO TECNOLOGIA MMIC Y
MICROSTRIP PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES Y
MICROONDAS EN LA FIE-ESPOCH.

TRABAJO DE TITULACIÓN: PROPUESTA TECNOLÓGICA

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTORA: MARÍA GABRIELA ORTEGA MUÑOZ

TUTOR: ING. HUGO OSWALDO MORENO AVILES P.H.D.

Riobamba-Ecuador

2018

@2018, María Gabriela Ortega Muñoz.

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 de la ORTEGA Gabriela, 2018.

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: IMPLEMENTACIÓN DE UN SET DE ATENUADORES Y FILTROS DE ALTAS FRECUENCIAS UTILIZANDO TECNOLOGIA MMIC Y MICROSTRIP PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES Y MICROONDAS EN LA FIE-ESPOCH., de responsabilidad de María Gabriela Ortega Muñoz, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

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

Yo, María Gabriela Ortega Muñoz declaro ser la ORTEGA Gabriela, 2018 del presente trabajo de titulación: IMPLEMENTACIÓN DE UN SET DE ATENUADORES Y FILTROS DE ALTAS FRECUENCIAS UTILIZANDO TECNOLOGIA MMIC Y MICROSTRIP PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES Y MICROONDAS EN LA FIE-ESPOCH., que fue elaborado en su totalidad por mi persona, bajo la dirección del Ingeniero Hugo Moreno Avilés, siendo 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.

MARÍA GABRIELA ORTEGA MUÑOZ

DEDICATORIA

Este trabajo de Titulación se lo dedico a Dios quien me guio en este arduo camino dándome la fuerza necesaria para superar los obstáculos y dificultades que se me presentaron. De manera muy especial A mi madre Luz Muñoz y mi Padre Pablo Ortega que ha sido un ejemplo de lucha en todo momento quien con su amor, paciencia y cariño incondicional me han dado su apoyo para seguir adelante en mis estudios. A mis hermanos Lorena y Pablo, mis tías Beatriz, Carmen y mi prima Mayra por sus consejos, enseñándome que con amor, dedicación, humildad y perseverancia se puede alcanzar las metas que me proponga. A mis profesores y amigos que estuvieron a lo largo de esta etapa brindándome sus experiencias y conocimientos.

Gabriela

AGRADECIMIENTO

A Dios por no permitirme jamás desmayar y por haber puesto pruebas en mi camino que me ayudaron a crecer como persona, a mi padre Pablo y a mi madre Luz, a mis hermanos Lorena, Pablo y a mi sobrino por todo el cariño y apoyo brindado. A mi amigo, compañero y enamorado José Luis por su paciencia y por estar conmigo en los buenos y malos momentos a lo largo de este camino. A mis tías Beatriz, Carmen y a mi prima Mayra que, con su apoyo incondicional, he podido llegar a esta meta De manera especial, a mi tutor el Ing. Hugo Moreno por su tiempo, confianza y apoyo incondicional para la realización de este trabajo.

Gabriela

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	2
CAPITULO I.....	7
1. MARCO TEÓRICO.....	7
1.1. Microondas y Radiofrecuencia (RF).....	7
1.1.1. <i>Historia de la Ingeniería en Microondas</i>	7
1.1.2. <i>Radiofrecuencia (RF)</i>	9
1.2. Tecnología MMIC.....	10
1.2.1. <i>Introducción</i>	10
1.2.2. <i>Tecnologías usadas para los MMIC</i>	11
1.2.3. <i>Ventajas de la tecnología MMIC</i>	12
1.2.3.1. <i>Principales ventajas de MMIC frente a HMIC</i>	13
1.3. Atenuadores	14
1.3.1. <i>Atenuadores Variables</i>	14
1.3.2. <i>Atenuadores Fijos</i>	15
1.3.3. <i>Atenuadores en Líneas Coaxiales</i>	16
1.3.4. <i>Atenuadores Resistivos en Guías de Onda</i>	17
1.3.5. <i>Atenuadores con Tecnología MMIC</i>	18
1.3.5.1. <i>Atenuador Fijo LAT -10+</i>	18
1.3.5.2. <i>Atenuador Fijo PAT -10+</i>	20
1.3.5.3. <i>Atenuador Yat -10+</i>	22

1.4.	Tecnología Microstrip	24
1.4.1.	Descripción	26
1.4.1.1.	<i>Superficie Microstrip</i>	26
1.4.1.2.	<i>Microstrip Encrustado.....</i>	27
1.4.1.3.	<i>Cubierta Microstrip.....</i>	27
1.4.2.	Impedancia Característica de las líneas Microstrip	27
1.4.3.	Curvas.....	29
1.5.	Filtros.....	30
1.5.1.	Clasificación de los Filtros	31
1.5.1.1.	<i>Por el tipo de tecnología o componentes.....</i>	31
1.5.1.2.	<i>Por su respuesta en frecuencia.....</i>	31
1.5.2.	Filtros de Alta frecuencia.....	33
1.5.2.1.	<i>Filtro Pasa Banda</i>	34
1.5.2.2.	<i>Factor de Calidad.....</i>	35
1.5.2.3.	<i>Generalizaciones para el diseño de un Filtro Pasa Banda</i>	36
1.6.	Materiales de Construcción de Filtros de alta Frecuencia.....	36
1.6.1.	Dieléctrico Rogers.....	36
1.6.1.1.	<i>Roger - RO4003C™</i>	37
1.6.2.	Conectores SMA (SubMiniature version A).....	39
1.6.2.1.	<i>Conector SMA Hembra</i>	40
1.7.	Herramienta de Simulación.....	41
1.7.1.	Ansoft Designer ®	41
1.7.1.1.	<i>Introducción.....</i>	41
1.7.1.2.	<i>Términos usados en Ansoft Designer</i>	42
CAPÍTULO II		43
2.	MARCO METODOLÓGICO	43
2.1.	Introducción.....	43
2.2.	Etapas de Diseño	43
2.2.1.	<i>Parte I - Diseño de Filtros con especificaciones frecuenciales.....</i>	44

2.2.1.1.	<i>Filtro de 1 a 2 GHz</i>	44
2.2.1.2.	<i>Filtro de 2 a 4 GHz</i>	51
2.2.1.3.	<i>Filtro de 4 a 7 GHz</i>	55
2.2.1.4.	<i>Filtro de 7 a 9 GHz</i>	58
2.2.1.5.	<i>Filtro de 8,5 a 9,4 GHz</i>	62
2.3.	Etapa II - Diseño de las pistas de los Atenuadores	65
2.3.1.	<i>Atenuador Lat -10+</i>	66
2.3.2.	<i>Atenuador Pat -10+</i>	67
2.3.3.	<i>Atenuador Yat -10+</i>	68
CAPÍTULO III		69
3.	ANALISIS Y RESULTADOS	69
3.1.	Introducción	69
3.2.	Resultados de los filtros a altas frecuencias	70
3.2.1.	<i>Resultado del Filtro de 1 a 2GHz</i>	70
3.2.2.	<i>Resultado del Filtro de 2 a 4 GHz</i>	71
3.2.3.	<i>Resultado del Filtro de 4 a 7 GHz</i>	72
3.2.4.	<i>Resultado del Filtro de 7 a 9 GHz</i>	73
3.2.5.	<i>Resultado del Filtro de 8,5 a 9,4 GHz</i>	74
3.3.	Resultados de los Atenuadores	75
3.3.1.	<i>Resultado del Atenuador Lat -10+</i>	75
3.3.2.	<i>Resultado del Atenuador Pat -10+</i>	76
3.3.3.	<i>Resultado del Atenuador Yat -10+</i>	78
CONCLUSIONES		79
RECOMENDACIONES		81
BIBLIOGRAFIA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Designación de Frecuencias	9
Tabla 2-1: Comparativas de las tecnología MMIC	12
Tabla 3-1: Especificaciones eléctricas ejecución.....	19
Tabla 4-1: Especificaciones eléctricas ejecución.....	21
Tabla 5-1: Especificaciones eléctricas ejecución.....	23
Tabla 6-1: Materiales de grado comercial.....	39
Tabla 7-1: Conectores SMA	40
Tabla 1-2: Filtro de 1 a 2 GHz	44
Tabla 2-2: Especificaciones del dieléctrico.....	44
Tabla 3-2: Filtro de 2 a 4 GHz	51
Tabla 4-2: Filtro de 4 a 7 GHz	55
Tabla 5-2: Filtro de 4 a 7 GHz	59
Tabla 6-2: Filtro de 4 a 7 GHz	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Espectro Electromagnético.....	8
Figura 2-1: Atenuadores Variables	14
Figura 3-1: Atenuadores Fijos	15
Figura 4-1: Atenuador tipo Pi	15
Figura 5-1: Circuito Atenuador tipo Pi.....	16
Figura 6-1: Atenuador en línea coaxial: a) lámina resistiva, b) disco resistivo, c) atenuador T	17
Figura 7-1: Atenuadores resistivos en guías de ondas	18
Figura 8-1: Esquema del Atenuador LAT -10 +.....	19
Figura 9-1: Atenuación	20
Figura 10-1: VSWR.....	20
Figura 11-1: Esquema del Atenuador PAT -10 +	21
Figura 12-1: Atenuación PAT -10 +	22
Figura 13-1: Atenuación PAT -10 +	22
Figura 14-1: Esquema del Atenuador YAT -10 +	23
Figura 15-1: Atenuación YAT -10 +	24
Figura 16-1: Atenuación YAT -10 +	24
Figura 17-1: Línea de transmisión Microstrip	25
Figura 18-1: Microstrip designado 2B.....	26
Figura 19-1: Microstrip designado como 1B.....	26
Figura 20-1: Cubierta Microstrip 2B	27
Figura 21-1: Cubierta Microstrip 1B	27
Figura 22-1: Línea Microstrip.....	28
Figura 23-1: Microstrip Curva de 90°.....	29
Figura 24-1: Diagrama de Bloque de un Filtro	31
Figura 25-1: Filtro Pasa Bajo.....	32
Figura 26-1: Filtro Pasa Bajas	32
Figura 27-1: Filtro Pasa Banda	33
Figura 28-1: Filtro Elimina Banda.....	33
Figura 29-1: Filtro Pasa Banda	34
Figura 30-1: Ancho de Banda para Calculo de Q.....	35
Figura 31-1: Roger - RO4003C™	37
Figura 32-1: Pérdida de datos de inserción.....	38
Figura 33-1: Datos medidos de pérdida de inserción de la Microstrip	38

Figura 34-1: Conector SMA Hembra.....	40
Figura 35-1: Ventanas de Ansoft Designer.....	41
Figura 1-2: Comienzo de Ansoft Designer	45
Figura 2-2: Parámetros de diseño	46
Figura 3-2: Especificaciones del Filtro.....	47
Figura 4-2: Especificaciones del material.....	47
Figura 5-2: Resultado ideal primer Filtro	48
Figura 6-2: Exportar el Circuito.....	48
Figura 7-2: Filtro esquemático.....	48
Figura 8-2: Pista del Filtro en Ansoft	49
Figura 9-2: Export File	49
Figura 10-2: Resultado final del Filtro en AutoCAD.	50
Figura 11-2: Implementación del Filtro de 1 a 2 GHz.....	50
Figura 12-2: Especificaciones del Filtro de 2 a 4 GHz.....	52
Figura 13-2: Especificaciones del material (segundo diseño)	52
Figura 14-2: Resultado ideal (segundo diseño)	53
Figura 15-2: Filtro esquemático (segundo diseño)	53
Figura 16-2: Pista del Filtro en Ansoft (segundo diseño).....	54
Figura 17-2: Resultado final del Filtro en AutoCAD (segundo diseño).....	54
Figura 18-2: Implementación del Filtro de 2 a 4 GHz.....	54
Figura 19-2: Especificaciones del Filtro de 4 a 7 GHz.....	55
Figura 20-2: Especificaciones del material (tercer diseño).....	56
Figura 21-2: Resultado ideal (tercer diseño).....	56
Figura 22-2: Filtro esquemático (tercer diseño).....	57
Figura 23-2: Pista del Filtro en Ansoft (tercer diseño)	57
Figura 24-2: Resultado final del Filtro en AutoCAD (tercer diseño)	58
Figura 25-2: Implementación del Filtro de 4 a 7 GHz.....	58
Figura 26-2: Especificaciones del Filtro de 7 a 9 GHz.....	59
Figura 27-2: Especificaciones del material (cuarto diseño).....	60
Figura 28-2: Resultado ideal (cuarto diseño).....	60
Figura 29-2: Resultado ideal (cuarto diseño).....	61
Figura 30-2: Resultado final del Filtro en AutoCAD (cuarto diseño)	61
Figura 31-2: Implementación del Filtro de 7 a 9 GHz.....	61
Figura 32-2: Especificaciones del Filtro de 8,5 a 9,4 GHz.....	62
Figura 33-2: Especificaciones del material (quinto diseño)	63
Figura 34-2: Resultado ideal (quinto diseño).....	63
Figura 35-2: Resultado ideal (quinto diseño).....	64

Figura 36-2: Resultado final del Filtro en AutoCAD (tercer diseño)	64
Figura 37-2: Implementación del Filtro de 8,5 a 9,4 GHz	64
Figura 38-2: Variables de las pistas de los Atenuadores.	65
Figura 39-2: Pista Atenuador Lat -10+	66
Figura 40-2: Implementación del Atenuador Lat -10+	66
Figura 41-2: Pista Atenuador Pat -10+	67
Figura 42-2: Implementación del Atenuador Pat -10+	67
Figura 43-2: Pista Atenuador Yat -10+	68
Figura 44-2: Implementación Atenuador Yat -10+	68
Figura 1-3: Esquema de la fase de pruebas.....	69
Figura 2-3: Tx – Filtro Pasa banda 1 a 2 GHz - Rx	70
Figura 3-3: Resultados del Filtro Pasa banda de 1 a 2 GHz	71
Figura 4-3: Tx – Filtro Pasa banda 2 a 4 GHz - Rx	71
Figura 5-3: Resultados del Filtro Pasa banda de 2 a 4 GHz	72
Figura 6-3: Tx – Filtro Pasa banda 4 a 7 GHz - Rx	72
Figura 7-3: Resultados del Filtro Pasa banda de 4 a 7 GHz	73
Figura 8-3: Tx – Filtro Pasa banda 7 a 9 GHz - Rx	73
Figura 9-3: Resultados del Filtro Pasa banda de 7 a 9 GHz	74
Figura 10-3: Tx – Filtro Pasa banda 8,5 a 9,4 GHz - Rx	74
Figura 15-3: Resultados del Filtro Pasa banda de 8,5 a 9,4 GHz	75
Figura 12-3: Tx – Atenuador Lat -10+ y Rx.....	76
Figura 13-3: Respuesta obtenida del Atenuador Lat -10+	76
Figura 14-3: Tx – Atenuador Pat -10+ y Rx	77
Figura 15-3: Respuesta obtenida del Atenuador Pat -10+	77
Figura 16-3: Tx – Atenuador Yat -10+ y Rx	78
Figura 17-3: Respuesta obtenida del Atenuador Pat -10+	78

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 4-1	28
Ecuación 5-1	28
Ecuación 6-1	30
Ecuación 1-1	30
Ecuación 2-1	35
Ecuación 3-1	36
Ecuación 7-1	38

Anexo A: Datasheet del Atenuador LAT -10+

Anexo B: Datasheet del Atenuador PAT -10+

Anexo C: Datasheet del Atenuador YAT -10+

Anexo D: Pruebas Reales en los equipos de medición

RESUMEN

El trabajo de Titulación “IMPLEMENTACIÓN DE UN SET DE ATENUADORES Y FILTROS DE ALTAS FRECUENCIAS UTILIZANDO TECNOLOGIA MMIC Y MICROSTRIP PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES Y MICROONDAS EN LA FIE-ESPOCH.”, es desarrollado con el objetivo de ser un aporte en el área de estudio para docentes y estudiantes de la materia de Alta Frecuencia de la Facultad de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes. Este set está compuesto por cinco Filtros Pasabanda usando tecnología Microstrip que operan a frecuencias de 1 a 2 GHz, 2 a 4 GHz, 4 a 7 GHz, 7 a 9 GHz, y de 8.5 a 9.4 GHz, respectivamente excluyendo señales no situadas en estos rangos. Los filtros fueron diseñados en base de elementos conocidos y se simula en el software Ansoft Designer debido a que esta tecnología es muy adecuada cuando se requiere un filtro de pequeñas dimensiones a altas frecuencias y con las herramientas que ofrece AutoCAD se completó la implementación. Con el objetivo de evitar daños tanto en los circuitos integrados como en los equipos de medición de los laboratorios este set también estará conformado por la implementación de tres atenuadores con tecnología de Circuitos Integrados Monolíticos de Microondas (MMIC), es decir Atenuadores Fijos Lat , Pat y Yat de -10+. El substrato con el cual se implementó los filtros y las pistas de los Atenuadores es Roger - RO4003C™ obteniendo así óptimos resultados con menores pérdidas posibles y constantes dieléctrica homogéneas. A la S/E de cada Filtro y Atenuador se suelda conectores SMA hembra, con una impedancia característica de 50Ω , operando un rango de frecuencias de 0 a 12.4 GHz, es decir está dentro del rango establecido. Realizando todas las pruebas de laboratorio se determina el cumplimiento de las normas y especificaciones técnicas, es recomendable en la implementación utilizar una CNC para mejorar la impresión de las pistas en el material establecido.

Palabras Claves: <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <TELECOMUNICACIONES>, <MICROSTRIP>, < CIRCUITOS INTEGRADOS MONOLÍTICOS DE MICROONDAS (MMIC)>, <ALTA FRECUENCIA>, <ATENUADORES DE SEÑAL>, < CONTROL NUMERICO POR COMPUTADORA (CNC)>

SUMMARY

The present research work entitled: "IMPLEMENTATION OF A SET OF ATTENUATORS AND HIGH FREQUENCY FILTERS USING MMIC AND MICROSTRIP TECHNOLOGY FOR THE LABORATORY OF COMUNICATIONS AND MICROWAVE IN THE FACULTY OF COMPUTING AND ELECTRONICS (FIE)-ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO (ESPOCH).", it was developed with the aim of being a contribution in the study area for the High Frequency subject's professors and students of the Engineering in Electronics, Telecommunications and Networks Career. This set is compounded by five Band-pass filters using the Microstrip Technology that operated through frequencies of 1 to 2 GHz, 2 to 4 GHz, 4 to 7 GHz, 7 to 9 GHz and 8.5 to 9.4 GHz, respectively excluding signals not located in these ranges. The filters were designed in base of known elements and simulates in Ansoft Designer Software, because this technology is very suitable when a small-size filter at high frequencies is required and the AutoCAD tools, it was completed the implementation. With the objective to avoid damage as much as integrated circuits and equipment measuring of the laboratories, this set also will be acquiesced by the implementation of three attenuators with the technology of Monolithic Microwave Integrated Circuits (MMIC), that it to say the Fixed Attenuator Lat, Pat and Yat of -10+. The substratum which was implemented the filters and the attenuator tracks is Roger -R04003C™ obtaining optimal results with minimal losses and homogeneous dielectric constants. To the S/E of each Filter and Attenuator the female connectors SMA are weld, with a characteristic impedance of 50 Ω , operating a frequency range from 0 to 12.4 GHz, that is to say that is inside the establish range. Realizing all the laboratory tests that determined the fulfillment with the rules and technical specifications, it was recommended in the implementation use a computer numerical control (CNC) to improve the tracks print in the establish material.

Clue Words: <TECHNOLOGY AND SCIENCES OF INGENEERING>, <TELECOMMUNICATIONS>, <MICROSTRIP>, <MONOLITHIC MICROWAVE INTEGRATED CIRCUITS (MMIC)>, <HIGH FREQUENCY>, <SIGNAL ATTENUATORS>, <COMPUTER NUMERICAL CONTROL (CNC)>.

INTRODUCCIÓN

Los Filtros son muy esenciales en muchas áreas de la Ingeniería, es decir en áreas de Comunicaciones, Microondas y Radiofrecuencia, los sistemas de comunicaciones en esta banda han experimentado un gran desarrollo en los últimos años para dar soporte a aplicaciones muy diversas tales como: televisión vía satélite, comunicaciones celulares, sistemas radar de uso civil y militar, sistemas médicos, etc.

Esencialmente, los Filtros necesitan tener bajas pérdidas por inserción y alta selectividad y convencionalmente los Filtros de guía de onda han podido satisfacer estos requerimientos, sin embargo, su gran tamaño hace difícil su integración con circuitos integrados de microonda monolíticos.

El Filtro Pasa banda es un circuito diseñado para pasar señales sólo en cierta banda de frecuencias en tanto que rechaza todas las señales fuera de esta banda. Este tipo de Filtro tiene una ganancia máxima, a una frecuencia denominada frecuencia de resonancia. Si la frecuencia varía respecto a la resonancia, el voltaje de salida disminuye. La banda de frecuencias entre f_1 y f_2 y es el ancho de banda. Mantener la estructura del Filtro con un tamaño mínimo es muy importantes, lo que implica particularmente que el sustrato de implementación sea limitado y con menores pérdidas posibles.

Existen una variedad de métodos que trabajan en altas frecuencias, una de ellas hasta hoy día es la utilización de Microstrip y MMIC de tal manera que las utilidades de estas tecnologías en los dispositivos de comunicaciones llegan a solventar las necesidades de espacio y presupuesto, mejorando las características de fidelidad en el sistema como menor pérdidas, e interferencias.

Por los antecedentes expuestos anteriormente, la presente investigación centra su objeto de estudio en el diseño e implementación de un set de Atenuadores (MMIC) y Filtros con tecnología Microstrip destinado al uso de docentes y estudiantes de la ESPOCH.

El Capítulo I describe el enfoque teórico y la definición de los términos básicos necesarios para el desarrollo de la idea principal del funcionamiento del set de Atenuadores y Filtros. El Capítulo II detalla el Marco Metodológico que se utilizó en la investigación, así como los pasos que se siguieron para el desarrollo del proyecto. El Capítulo III muestra los resultados obtenidos al implementar los cinco Filtros diseñados. Posteriormente se expone las conclusiones y recomendaciones y en la parte final de la investigación se presenta la Bibliografía y Anexos.

ANTECEDENTES

En los últimos años y conforme la evolución de las tecnologías, los mecanismos utilizados para la comunicación han evolucionado en las últimas décadas. Tomando en cuenta que todos sistemas de comunicaciones utilizan Filtros y Atenuadores.

El Atenuador es uno de los componentes básicos de un sistema de microondas, en términos genéricos se puede definir como un elemento de circuito que produce una reducción en la amplitud de la onda que se propaga en la línea de transmisión. (Scribd, 2013)

Al trabajar en RF o microondas, los componentes utilizados en bajas frecuencias presentan diversos tipos de problemas. Por lo tanto, para obtener buenos resultados en el diseño de circuitos de alta frecuencia, es necesario utilizar componentes especialmente diseñados para operar en esa frecuencia. (Reyes, 2005, p. 19)

Los circuitos de microondas en estructuras Microstrip son fáciles de fabricar y permiten una integración de elementos pasivos y activos. Muchos tipos de circuitos de microondas y subsistemas son hechos en base a ellos. Sin embargo, un problema que presentan las inevitables discontinuidades en codos, cambios de ancho, juntas, etc. son las degradaciones de su comportamiento. Estas discontinuidades introducen reactancias parásitas que pueden provocar errores en fase y amplitud, desadaptación entre la entrada y salida, y posibles fallas en el acoplamiento. Un método para eliminar estos efectos es construir un circuito equivalente para la discontinuidad, incluirlo en el diseño del circuito y compensar sus efectos ajustando otros parámetros, como impedancias características o sintonizadores. (Salinas Vejar, 2007, p. 11)

Hoy en día existe aplicaciones que son esenciales en nuestra vida cotidiana, en todas ellas hay un elemento fundamental, es decir todo sistema o aplicación que trabaje con microondas necesitan, de “los Filtros”. Tomando en consideración que los Filtros de microondas son un elemento importante dentro de todas las aplicaciones que comparten recursos en el espectro electromagnético. El espectro electromagnético es limitado y se debe poder compartir entre la cantidad de aplicaciones que actualmente usan el espectro de radiofrecuencias.

La solución del actual del proyecto se basa en separar o rechazar diferentes frecuencias para seleccionar una señal obteniendo un Filtro pasa banda con un ancho de banda concreto, alrededor de una frecuencia, porque en la actualidad las técnicas y prácticas multimodales que existen son limitadas.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es necesario la implementación de un set de Atenuadores y Filtros utilizando tecnologías MICROSTRIP y MMIC de Altas Frecuencias en el laboratorio de Comunicaciones y Microondas?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos años el uso de la tecnología ha sido fundamental en cada una de las carreras tecnológicas por lo que se necesita implementar Filtros y Atenuadores que trabajen u operen a altas frecuencias ya que son mecanismos muy útiles para el aprendizaje dentro de nuestra facultad y para implementarlos se requirió realizar un análisis específico del tema y unas series de preguntas, como:

¿Es necesario analizar el comportamiento de una señal a alta frecuencia?

¿Cuáles son los requerimientos para la implementación del sistema electrónico?

¿Qué elementos electrónicos, MMIC y Tecnologías cumplen con los requerimientos del sistema electrónico?

¿Se puede brindar una herramienta didáctica para el laboratorio de comunicaciones y microondas de la FIE- ESPOCH?

¿Cómo mejorar el uso del laboratorio de comunicaciones y microondas con la utilización del set de Atenuadores y Filtros de Altas Frecuencias?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En la actualidad, se observa la tendencia de la industria de las telecomunicaciones a la utilización de las frecuencias de orden de las microondas, fundamentalmente por los anchos de banda que permite esta tecnología, además que en caso de las bajas frecuencias los anchos de banda de comunicación se encuentran saturados. (Fiallos & Vaca, 2015, p. 16)

El complejo comportamiento de las ondas en los circuitos microondas hace virtualmente imposible el desarrollo de procedimientos generales y completos para la síntesis de Filtros. En virtud de estas complicaciones añadidas, un importante número de técnicas han sido desarrolladas para diseñar Filtros de microondas. Por estas razones, se han dedicado muchos esfuerzos en el diseño de Filtros de microondas basados en la aplicación de técnicas y los requerimientos que necesite el sistema de comunicaciones.

En los sistemas de microondas, en algunos casos, los Atenuadores requieren un control automático de ganancia para la recepción y transmisión de señales. Puesto que atenúan la energía electromagnética, también se utilizan en radiofrecuencia, en donde las funciones de procesado de señal ocurren en el nivel intermedio de frecuencia. En este nivel es necesario que la señal no exceda cierto umbral que marca el equipo. Si no se utilizasen Atenuadores, la distorsión que se produciría, dificultaría la correcta recepción de la información. (Ruiz, 2015, p. 27)

De acuerdo a las referencias antes mencionadas el presente trabajo tecnológico permite que implementar un set de Atenuadores y Filtros de altas frecuencias, proyecto por el cual es de bajo costo y se implementa sin ninguna dificultad en el laboratorio de Comunicaciones y Microondas en la FIE-ESPOCH, considerando las tecnologías Microstrip y MMIC.

Los Filtros implementados serán tipo pasa banda ya que son dispositivos esenciales en muchas áreas de la ingeniería de radiofrecuencia/microondas. Los sistemas de comunicaciones en esta banda han experimentado un gran desarrollo en los últimos años para dar soporte a aplicaciones muy diversas: televisión vía satélite, comunicaciones celulares, sistemas radar de uso civil y militar, sistemas médicos. El auge de estos sistemas se ha traducido en especificaciones y diseños más exigentes para los dispositivos hardware que lo componen, siendo los Filtros uno de los elementos clave. (Zapata, 2008, p. 4)

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

En el laboratorio de Comunicaciones y Microondas de la Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, dispone de medidores de señales como Analizador de espectros los cuales nos ayudan en la comprobación de un set de Atenuadores y Filtros de altas frecuencias utilizando tecnología MMIC y Microstrip para el laboratorio de FIE-ESPOCH.

La aclimatación del laboratorio es uno de los recursos fundamentales para realizar pruebas, investigaciones, del comportamiento de las señales en Alta Frecuencia y de esta forma poder dar mayores herramientas, necesarias de aprendizaje.

Rogers.

Se utilizará como material de impresión a Rogers ya que la diferencia más notoria entre los materiales, es su conductividad, calidad, Rendimiento optimizado de costes y RF / microondas, compatibilidad con la fabricación de FR-4 incluyendo construcciones multicapa de PCB.

El material posee las propiedades necesarias para los diseñadores de circuitos de microondas de RF y redes de adaptación y líneas de transmisión de impedancia controlada, ofrecen una gama de constantes dieléctricas dependiendo a su necesidad. Los circuitos de alta frecuencia requieren materiales de sustrato que tienen un control estricto de la constante dieléctrica, así como de pequeñas pérdidas. Los materiales que cumplen estos requisitos han sido tradicionalmente un precio mucho más alto que las tablas de epoxy / de vidrio convencionales. La aparición del mercado de alta frecuencia comercial ha provocado una fuerte necesidad de equilibrar el rendimiento, la fabricación y el costo. RO4003C Rogers TM Material de la alta frecuencia de puente, proporcionando un control estricto sobre la constante dieléctrica y baja pérdida

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar un set de Atenuadores y Filtro de Altas Frecuencias Utilizando Tecnología Microstrip y MMIC para el Laboratorio de Comunicaciones y Microondas de la FIE-ESPOCH.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar los Atenuadores con tecnología MMIC y Filtros con tecnología Microstrip para frecuencias con el rango 1Ghz – 10 GHz.
- Simular los Filtros para analizar su comportamiento.
- Implementar un set de Atenuadores y Filtro de Altas Frecuencias Utilizando Tecnología Microstrip y MMIC para el Laboratorio de Comunicaciones y Microondas
- Comprobar el funcionamiento del set de Atenuadores y Filtros de altas frecuencias utilizando la tecnología Microstrip y MMIC para el laboratorio de comunicaciones y microondas.
- Realizar pruebas y verificar el comportamiento de los componentes diseñados e implementados.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Microondas y Radiofrecuencia (RF)

1.1.1. *Historia de la Ingeniería en Microondas*

La ingeniería de microondas a menudo se considera una disciplina bastante madura porque los conceptos fundamentales fueron desarrollados hace más de 50 años, y probablemente porque el radar, la primera aplicación importante de la tecnología de microondas, se desarrolló intensamente durante la Segunda Guerra Mundial. Sin embargo, los últimos años han traído avances sustanciales y continuos en los dispositivos de alta frecuencia de estado sólido, circuitos integrados de microondas (MMIC) y sistemas micro electro mecánicos (MEMS) realizados con técnicas de diseño asistido por computadora (CAD). (Merletti, 2016, pp. 22-23)

Las capacidades necesarias en el campo de los MMIC cubren desde el desarrollo de procesos constructivos/productivos (Foundry) al diseño y el test de componentes MMIC multifunción. Para ser eficientes las capacidades de desarrollo de MMIC deben incluir: Técnicas de modelado de componentes, técnicas de diseño y técnicas de test y mediciones.

Si inicialmente la tecnología MMIC se localizaba en etapas de conversión de la señal o modulación-demodulación (osciladores, mezcladores, amplificadores de potencia y de bajo ruido), hoy cada vez es mayor la tendencia a incorporar funciones de procesado de la señal en banda base y funciones de control en un contexto mixto analógico-digital.

Las habilidades requeridas para el desarrollo de esta tecnología cubren un amplio abanico: desde la fabricación de semiconductores hasta el diseño de circuitos de microondas, pasando por el diseño de circuitos electrónicos analógicos y digitales. (Pascual, 2006, pp. 233-234)

Dentro de las diversas líneas de “flujo de conocimiento” que poseen los estudios de telecomunicación, podríamos considerar que en la asignatura de Diseño de Circuitos MMIC van a converger otras tres que denominaríamos: “circuitos electrónicos”, “electrónica de alta frecuencia” y “microelectrónica.”

Hoy en día gracias a la ingeniería de microondas existe aplicaciones cada vez más crecientes, tomando un rol fundamental en nuestro diario vivir. Es decir, forman parte de las comunicaciones inalámbricas, redes, seguridad y en el ámbito de telecomunicaciones concentrando su estudio en la televisión, radio, comunicaciones satelitales, redes inalámbricas, telefonía celular y la radioastronomía.

Las microondas son la porción del espectro electromagnético que cubre el rango de frecuencias entre 0.3 GHz y 30 GHz, que corresponde a la longitud de onda en vacío ($\lambda = c/f$) entre 100 cm. y 1 cm [1], que son señales con longitudes de onda del orden de centímetros y por eso se denominan como ondas centimétricas, señales con longitudes de onda del orden de milímetros se refieren a menudo como ondas milimétricas son las que varían desde los 30GHz hasta los 300 GHz, estas señales por su comportamiento similar a las microonda aún pueden considerarse dentro de la banda de las microondas. (San Román Castillo, 2014, pp. 10-12)

En la Figura 1-1 se aprecia el espectro electromagnético y la ubicación de la banda de las ondas de microondas.

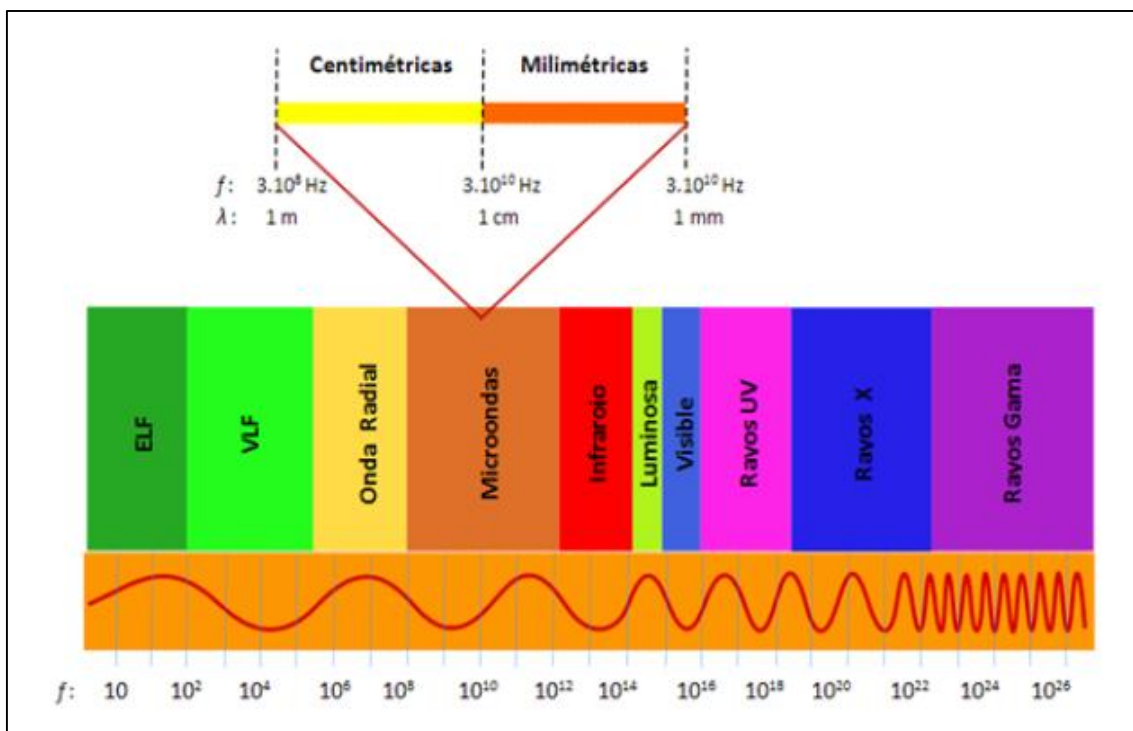


Figura1-1: Espectro Electromagnético

Fuente: (San Román Castillo, 2014, p. 11)

De igual manera en la tabla 1-1 se puede apreciar tanto las designaciones del IEEE y de las bandas militares y para una mejor comprensión el espectro de radiofrecuencia se ha subdividido en múltiples sub-bandas de frecuencias.

Tabla 1-1: Designación de Frecuencias

FRECUENCIAS (GHz)	DESIGNACIÓN IEEE	DESIGNACIÓN MILITAR
0.10 – 0.25	VHF	A
0.25 – 0.50	VHF - UHF	B
0.50 – 1.00	UHF	C
1.00 – 2.00	L	D
2.00 – 3.00	S	E
3.00 – 4.00		F
4.00 – 6.00	C	G
6.00 – 8.00		H
8.00 – 10.00	X	I
10.00 – 12.40		J
12.40 – 18.00	Ku	
18.00 – 20.00	K	K
20.00 – 26.50		
26.50 - 40.00	Ko	
40.00 – 60.00	ONDAS MILIMÉTRICAS	L
60.00 – 100.00		M
100.00 – 140.00		N
140.00 – 300.00		
300.00 - ∞	ONDAS SUBMILIMÉTRICAS	

Realizador por: ORTEGA Gabriela, 2018

Fuente: (San Román Castillo, 2014, p. 12)

1.1.2. Radiofrecuencia (RF)

El término Radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción del espectro electromagnético en el que se pueden producir ondas electromagnéticas, una onda electromagnética propaga simultáneamente campos eléctricos y magnéticos producidos por una carga eléctrica en movimiento.

El flujo saliente de energía de una fuente en forma de ondas electromagnéticas se le denomina radiación electromagnética. La Radiofrecuencia se localiza en el espectro de la radiación

electromagnética menos energética, se define como aquella en que las ondas electromagnéticas tienen una frecuencia entre 3 kHz y 300 GHz.

Las ondas electromagnéticas son capaces de viajar a través del vacío, a diferencia de las ondas mecánicas que necesitan un medio material para poder hacerlo. Esta radiación electromagnética puede entenderse como el conjunto de ondas eléctricas y magnéticas que conjuntamente se desplazan por el espacio generado por el movimiento de cargas eléctricas que puede tener lugar en un objeto metálico conductor, como una antena.

Las ondas electromagnéticas, convenientemente tratadas y moduladas (normalmente, variando de forma controlada la amplitud, fase y/o frecuencia de la onda original), pueden emplearse para la transmisión de información, dando lugar a una forma de telecomunicación. (San Román Castillo, 2014, p. 13)

1.2. Tecnología MMIC

1.2.1. Introducción

Los circuitos integrados MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit), que han aparecido en las últimas décadas, constituyen una tecnología que está ejerciendo una profunda influencia en el diseño de sistemas de microondas. Un MMIC es un circuito de microondas en el que los componentes activos y pasivos se fabrican sobre el mismo sustrato conductor, esto es, no hace falta conectarlos al circuito, sino que van integrados en el mismo. Ésta es la diferencia principal respecto a los circuitos HMIC's (Hybrid-MIC), donde los componentes activos de estos circuitos no se integraban en el mismo sustrato, sino que aparecían como elementos discretos sobre éste. (Bibing, 2017, p. 13)

En MMIC, el sustrato debe ser activo y capaz de acomodar las líneas de transmisión y los componentes pasivos necesarios, además de cumplir una serie de requisitos exigibles tales como buen comportamiento en RF, facilidad de proceso, tamaño y peso reducidos, bajo coste, posibilidad de implementar los dispositivos sobre él de manera adecuada, etc. (Bibing, 2017, p. 13)

Los circuitos MMI o MMIC son un tipo de circuitos integrados que operan en frecuencias de microondas, es decir, entre 300 MHz y 300 GHz. La técnica de fabricación de los circuitos MMIC se basa en la utilización de líneas de transmisión planares, y se realiza con compuestos de

semiconductores compuestos, tales como el arseniuro de galio (GaAs), nitrato de galio (GaN) y el germanio de silicio (SiGe). (Linares Mora, 2010)

Los MMIC son dimensionalmente pequeños (desde 1 mm² a 10 mm²) y pueden ser producidos a gran escala, lo que ha facilitado su proliferación en dispositivos de alta frecuencia.

Los dispositivos activos en tecnología MMIC son, básicamente, transistores que permitan realizar amplificadores o mezcladores con una ganancia y un ancho de banda adecuado, las entradas y salidas de los dispositivos MMIC se adaptan, generalmente, con una impedancia característica de 50 ohmios. Esto facilita el uso de dichos dispositivos, así como su uso en forma de cascada, ya que no requieren red de adaptación externa. Adicionalmente, la mayoría de los equipamientos de pruebas de microondas se diseñan para operar en unas condiciones de 50 ohmios. (Linares Mora, 2010)

1.2.2. Tecnologías usadas para los MMIC

Las tecnologías más usadas para los circuitos integrados de MMIC son:

- a) **GaAs MESFET:** Opera los hasta 20 GHz, con buena Figura de ruido y potencia de salida.
- b) **AlGaAs/GaAs HEMT:** Opera hasta 100 GHz, con crecimiento epitaxial. Los MESFETs son remplazados por HEMTs, más rápidos y con un consumo menor.
- c) **Bipolar en sílice:** se está convirtiendo en la amenaza de la tecnología GaAs
- d) **Sílice-Germanio:** estructura vertical con problemas de calentamiento (aplicaciones pulsadas, teléfonos móviles).
- e) **AlGaAs/GaAs y sustrato AlGaAs/Ingaes/GaAs HBT.**
- f) **Sustratos InAlAs/InGaAs HEMT, HBT o InP.** (Bibing, 2017, p. 15)

En la tabla 2-1 se puede observar la diferencia de las tecnologías antes mencionadas, considerando sus ventajas y los inconvenientes de cada una de ellas, las cuales serán evaluadas de la siguiente manera: ++ MUY BUENO, + BUENO, 0 MODERADO.

Tabla 2-1: Comparativas de las tecnología MMIC

PARÁMETROS	Tecnología basada en GaAs			Tecnología basada en Si	
	MESFET	HEM T	HBT	Si BJT	SiGe HBT
Low Noise					
LF < 100 MHz	O	O	+	++	++
RF 2 GHz	++	++	++	+	+
RF 10 GHz	+	++	+		O
Gain	+	++	++	++	++
Power < 0.5 W	++	++	++	+	+
> 2.0 W	++	++	++		
Eficiencia	+	++	+	O	O
Low Voltaje	+	++	+	+	+
Integración RF func.	++	++	++	O	O
RF/digital	O	O	O	++	++
Power Supply	+	+	++	++	++

Realizado por: ORTEGA Gabriela, 2018

Fuente: (Bibing, 2017, p. 16)

1.2.3. *Ventajas de la tecnología MMIC*

Si inicialmente la tecnología MMIC se localizaba en etapas de conversión de la señal o modulación-demodulación (osciladores, mezcladores, amplificadores de potencia y de bajo ruido), hoy cada vez es mayor la tendencia a incorporar funciones de procesado de la señal en banda base y funciones de control en un contexto mixto analógico-digital. Las habilidades requeridas para el desarrollo de esta tecnología cubren un amplio abanico: desde la fabricación de semiconductores hasta el diseño de circuitos de microondas, pasando por el diseño de circuitos electrónicos analógicos y digitales.

Las principales ventajas de los MMIC's son un menor coste de producción una vez realizado el diseño, menores tamaños y pesos, así como número de conexiones, o excelentes prestaciones en circuitos con tolerancias estrictas.

La evolución y desarrollo de la tecnología MMIC ha sido considerable. Algunos de los factores que han contribuido a este auge son:

- Los procesos tecnológicos de fabricación de los circuitos MMIC, son fundamentalmente para la constitución de la idea de diseño en un chip.
- El desarrollo de paquetes CAD/CAM (Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing), de diseño y fabricación asistidas por computador, que han hecho al diseñador que su tarea le resulte mucho más fácil, trabajando con entornos de diseño que permiten realizar todo tipo de simulaciones. (Pascual, 2006, p. 234)

1.2.3.1. Principales ventajas de MMIC frente a HMIC

Los más directos competidores de la tecnología MMIC son los híbridos HMIC, ya que ésta es una tecnología consolidada y detrás de ella hay muchas inversiones creadas. (Pascual, 2006, p. 235)

A continuación, se menciona las principales ventajas de la tecnología MMIC frente a la tecnología HMIC.

- Menor tamaño. El circuito diseñado ocupa un área muy pequeña en comparación con el encapsulado.
- Buena reproducibilidad. Una vez obtenido el circuito prototipo con un funcionamiento adecuado, podremos obtener a partir de él todos los circuitos que precisemos con idénticas características. En cambio, en los HMIC, la reproducibilidad es más pobre, debido al soldado y a los cables de enganche.
- Manejo más sencillo. Permite la posibilidad de montar módulos independientes susceptibles de ser unidos posteriormente para formar el chip definitivo.
- Mayor ancho de banda y mayores frecuencias de trabajo (efectos parásitos menores).
- Buena fiabilidad. En los HMIC no es tan buena debido a los elementos parásitos.
- Menor coste potencial en grandes producciones, en las que el precio por oblea procesada disminuye muy por debajo del coste por procesar una sola, pudiendo en estos casos ser competitiva la tecnología MMIC frente a HMIC. (Pascual, 2006, p. 235)

1.3. Atenuadores

Los Atenuadores son componentes que reducen la potencia de la señal, en una cantidad previamente fijada, absorbiendo o reflejando parte de su energía y disipándola en forma de calor. El Atenuador de guía de onda nos permite tener control sobre la cantidad de señal que llegará al circuito.

Entre las propiedades del Atenuador debe estar la adaptación de las puertas de entrada y salida. De igual modo, un Atenuador ideal no debe introducir cambios o distorsión de fase en el sistema en el cual se inserta. (López Espi, 2016).

1.3.1. Atenuadores Variables

El Atenuador variable en guía de onda de nuestro sistema proporciona un medio simple de control del nivel de potencia de la guía de onda, o el aislamiento de la fuente y la carga. Como se observa en la Figura 2-1 consta de una sola sección con ranuras, en el que se inserta una línea resistiva.

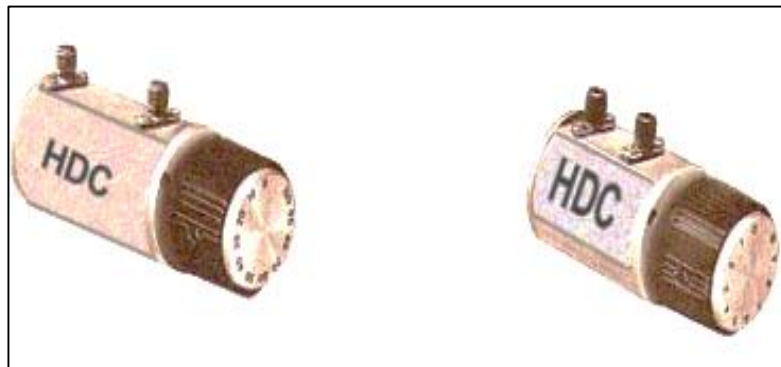


Figura 3-1: Atenuadores Variables

Fuente : (López Espi, 2016, p. 8)

El grado de penetración de la línea determina la atenuación, que varía de 0 a 20dB. El SWR es menor que 1.2, y la precisión de línea es de 1,5 dB.

Las Atenuadoras variables al ser dispositivos pasivos, parten de una simple red de divisor de tensión, formado por resistencias ajustables, potenciómetros, las cuales se usan para las frecuencias más altas. (Santillán Jaramillo, 2011, p. 59)

1.3.2. Atenuadores Fijos

El Atenuador fijo del sistema proporciona atenuación fija de 20dB. Contiene un cable delgado insertado en medio de un tramo recto de una guía de onda estándar, ver Figura 3-1. Los Atenuadores fijos utilizan circuitos para bajar la tensión, disipar energía y mejorar la adaptación de impedancias. (Santillán Jaramillo, 2011, pp. 60-63)



Figura 4-1: Atenuadores Fijos

Fuente: (López Espi, 2016, p. 8)

Los Atenuadores fijos se emplean para reducir la potencia de microondas en un valor determinado, también se pueden emplear para protección de componentes muy sensibles para desacoplar partes de un circuito.

Este tipo de Atenuadores utilizan circuitos básicos para bajar la tensión, disipar energía y mejorar la adaptación de impedancias.

El circuito básico que utilizan los Atenuadores están conformados por resistencias la una en serie y la otra en paralelo, en la Figura 4-1 se observa el circuito de un Atenuador tipo Pi (π).

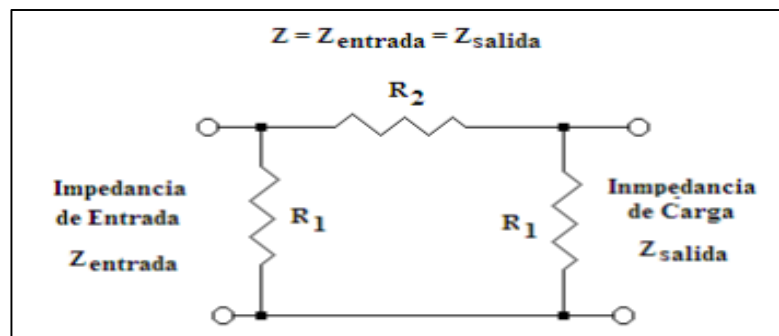


Figura 5-1: Atenuador tipo Pi

Fuente: (Santillán Jaramillo, 2011, p. 61)

Hay que tomar en consideración que un Atenuador es un circuito que no depende de la frecuencia con la que se trabaja, y como se mencionó anteriormente está formado por elementos resistivos. En la Figura 5-1 se aprecia la placa del circuito Atenuador Pi y es importante recomendar que para la implementación hacer el circuito lo más compacto posible y así evitar pérdidas



Figura 6-1: Circuito Atenuador tipo Pi

Fuente: (Alvarado, 2015)

1.3.3. Atenuadores en Líneas Coaxiales

Estos Atenuadores se utilizan en la absorción de energía de la línea de transmisión, expansión del rango de potencia y control de nivel de potencia, las configuraciones T o Pi son las más utilizadas en las frecuencias bajas y altas, para este tipo de frecuencias se utilizan resistencias de película delgada, es decir son diseñadas para frecuencias de microondas y se utilizan en lugar de las resistencias de carbono.

Estas resistencias emplean una película de aleación de nicromo sobre sustrato de cerámica de alta calidad para asegurar que sea firmemente adherida con coeficientes de baja temperatura, este tipo de construcción se hace de las resistencias extremadamente estables a altas frecuencias (Scribd, 2013).

El efecto skin de esta resistencia es utilizado para las aplicaciones de microondas. Las configuraciones T y Pi se obtienen mediante la colocación de resistencias en serie en el conductor central y en paralelo, conectando con el conductor central externo.

Las resistencias en estas configuraciones tienen menos de 1W de capacidad, lo que limita el uso de aplicaciones a alta frecuencia, a menos que un disipador de calor elaborado sea suministrado. (Scribd, 2013)

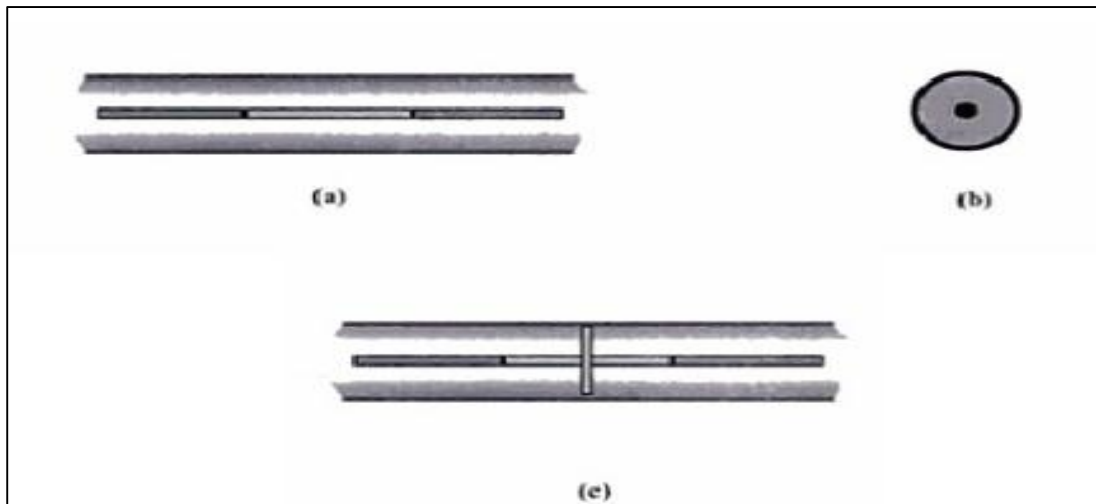


Figura 7-1: Atenuador en línea coaxial: a) lámina resistiva, b) disco resistivo, c) atenuador T

Fuente: (Scribd, 2013)

Como se observa en la Figura 6-1 (a) se puede utilizar una barra resistiva o un conducto interno o un diámetro, o a la vez se puede encubrir el con una lámina netamente resistiva. En la Figura 1-6(b) se utiliza un disco que es resistivo el cual cubre toda la sección de la línea., y en combinación de estos dos diseños forman el Atenuador en T, Figura 6-1 (c), los cuales alcanzan elevadas atenuaciones en tamaños muy pequeños.

1.3.4. *Atenuadores Resistivos en Guías de Onda*

Uno de las Atenuadoras variables para guía de onda rectangular más sencillos que existe consiste en una sección de guía en la que se inserta por el centro de la cara ancha una lámina resistiva. Esta lámina es estrecha en ambos extremos para mantener un VSWR de bajos insumos y bajo rendimiento en la banda de guía de onda. Se obtiene la atenuación máxima por longitud cuando la lámina es paralela al campo (E) y en el centro. (Scribd, 2013)

La conductividad y las dimensiones de la tarjeta se ajustan, por prueba y error, para obtener la atenuación deseada, que es una función de la frecuencia. La atenuación incrementa a medida que lo hace la frecuencia. En aplicaciones de potencia, materiales absorbentes de tipo de cerámica se utilizan en lugar de una lámina resistiva.

Generalmente la lámina resistiva adopta formas de cuña o son escalonadas para minimizar reflexiones, y está construida a partir del material dieléctrico, el vidrio es muy utilizado como

sustrato en este tipo de diseños ya que gracias a ellos se pueden crear laminas resistivas de gran uniformidad, pero existe un inconveniente ya que este conductor es muy frágil. (Scribd, 2013)

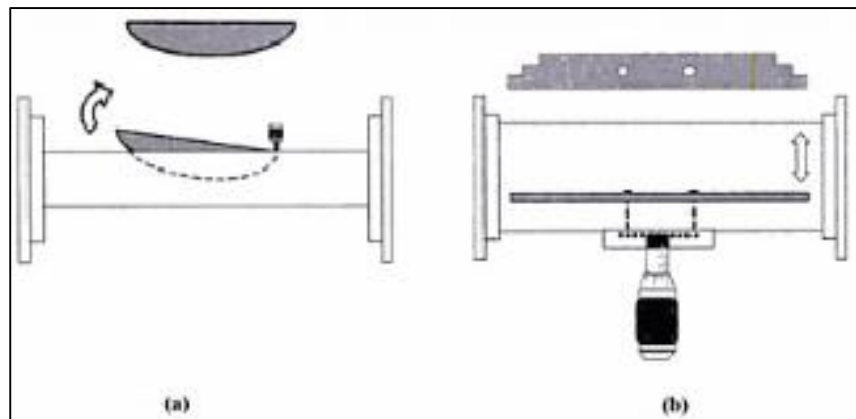


Figura 8-1: Atenuadores resistivos en guías de ondas

Fuente: (Scribd, 2013)

Como se observa en la Figura 7-1 (a) la lámina está girando sobre un pivote, de tal manera que se pueda establecer el valor de la atenuación, introduciendo la lámina en la guía de onda. La Figura 7-1 (b) indica que la atenuación introducida es mayor siempre y cuando este cercana al centro ya que ahí el campo es máximo en la guía.

La penetración de la lámina en la parte interna de la guía provocara que esta se disipe una mayor potencia, provocada por el efecto joule, es de esta forma que se produce la atenuación adecuada.

1.3.5. Atenuadores con Tecnología MMIC

1.3.5.1. Atenuador Fijo LAT -10+

Este tipo de Atenuadores trabajan a 50 ohmios, su Ancho de Banda es de 1500W, tiene excelente VSWR a través de todo este ancho de banda, su frecuencia de operación es de 0 a 2,5 GHz y sus aplicaciones principales son:

- Aplicaciones celulares
- Aplicaciones para PCS
- Aplicaciones para ISM
- Aplicaciones para UHF / VHF

La temperatura de funcionamiento con el que trabaja este tipo de Atenuadores es de -55°C a 85°C , la temperatura de almacenamiento varía entre -55°C a 100°C . Como se muestra en la Figura 1-8, de acuerdo a la asignación de clavijas la entrada es el pin 4, la salida es el pin 2, y el suelo pin 1 y 3.

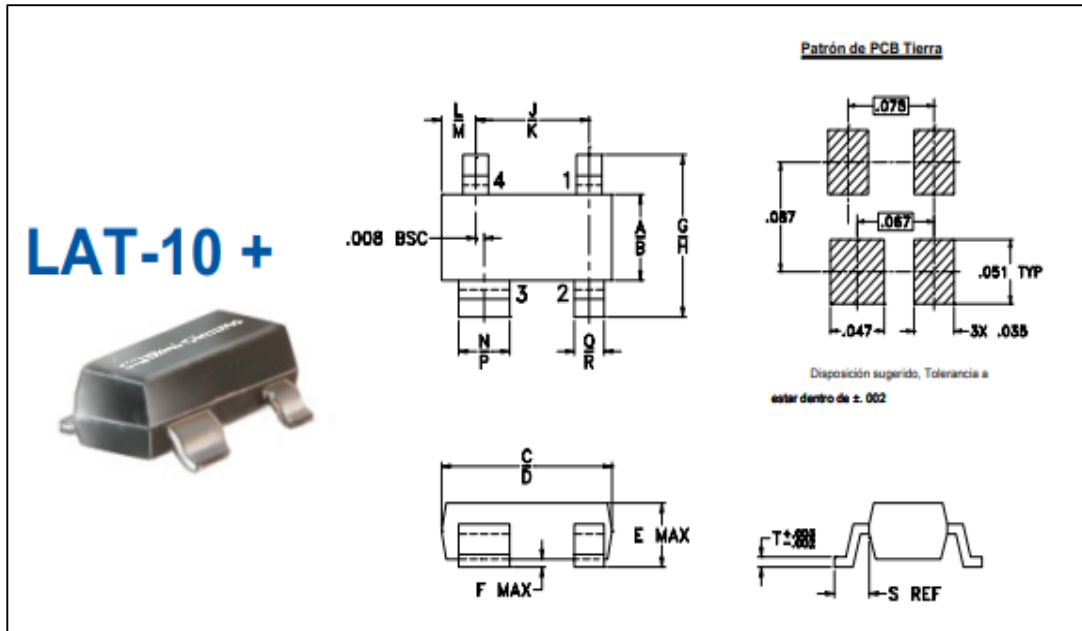


Figura 9-1: Esquema del Atenuador LAT -10 +

Fuente: LAT-10_dashboard.en.es

A continuación, en la tabla 3-1 se observa las especificaciones eléctricas en ejecución en relación a la Frecuencia, Atenuación y VSWR.

Tabla 3-1: Especificaciones eléctricas ejecución.

FRECUENCIA (MHz)	ATENUACIÓN (DB)	VSWR (:1)
1.00	10.15	1.13
10.00	10.16	1.13
50.00	10.18	1.13
100.00	10.21	1.13
500.00	10.26	1.13
1000.00	10.31	1.14
1600.00	10.37	1.17
2000.00	10.45	1.19
2250.00	19.54	1.20
2500.00	10.63	1.22

Realizado por: ORTEGA Gabriela, 20

Fuente: LAT-10_dashboard.en.es

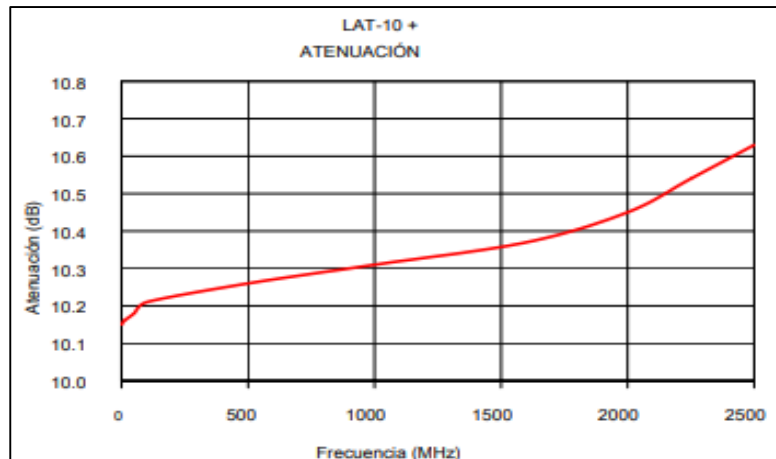


Figura 10-1: Atenuación

Fuente: LAT-10_dashboard.en.es

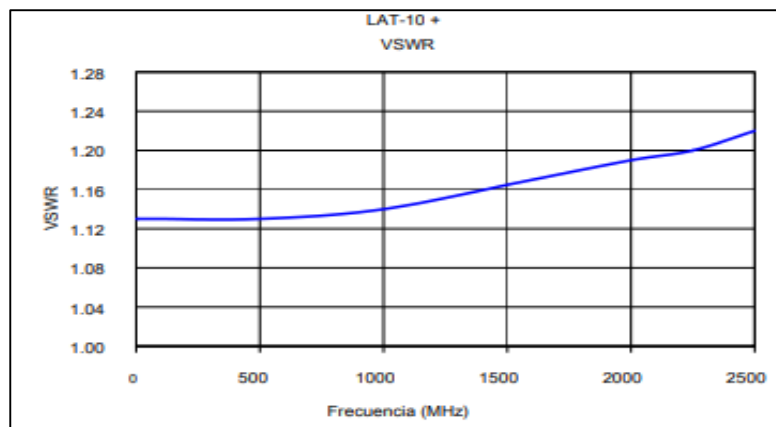


Figura 11-1: VSWR

Fuente: LAT-10_dashboard.en.es

1.3.5.2. Atenuador Fijo PAT -10+

De igual manera este tipo de Atenuadores trabajan a 50 ohmios, su Ancho de Banda es de 7000W, tiene excelente VSWR, la banda de operación es de 0 a 7 GHz, lavable acuosa y sus aplicaciones principales son:

- Nivelación de la energía
- Mejora la adaptación de la impedancia.
- Aplicaciones para ISM
- Aplicaciones para UHF / VHF

La temperatura de funcionamiento con el que trabaja este tipo de Atenuadores es de -55°C a 100 °C, la temperatura de almacenamiento varía entre -55 °C a 100 °C, el daño permanente puede

ocurrir si ésta excede cualquiera de estos límites.

Como se muestra en la Figura 11-1, de acuerdo a la asignación de clavijas la entrada es el pin 1, la salida es el pin 3, y el suelo pin 2 y 4.

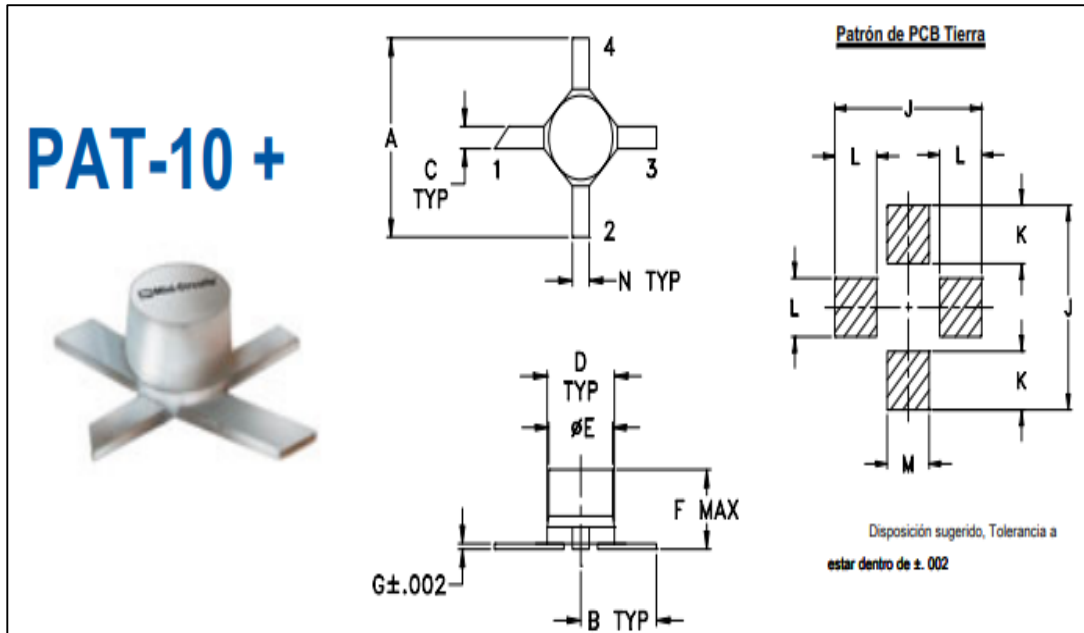


Figura 12-1: Esquema del Atenuador PAT -10 +

Fuente: PAT-10_dashboard.en.es

A continuación, en la tabla 4-1 se observa las especificaciones eléctricas en ejecución en relación a la Frecuencia, Atenuación y VSWR de un Atenuador PAT -10 +.

Tabla 4-4: Especificaciones eléctricas ejecución

FRECUENCIA (MHz)	ATENUACIÓN (DB)	VSWR (:1)
100.00	10.16	1.10
399.70	10.20	1.10
699.40	10.22	1.10
1000.00	10.23	1.11
1500.00	10.25	1.13
2000.80	10.29	1.15
2500.00	10.32	1.16
4000.30	10.59	1.16
5500.60	19.62	1.17
7000.00	11.18	1.26

Realizado por: ORTEGA Gabriela, 2018

Fuente: PAT-10_dashboard.en.es

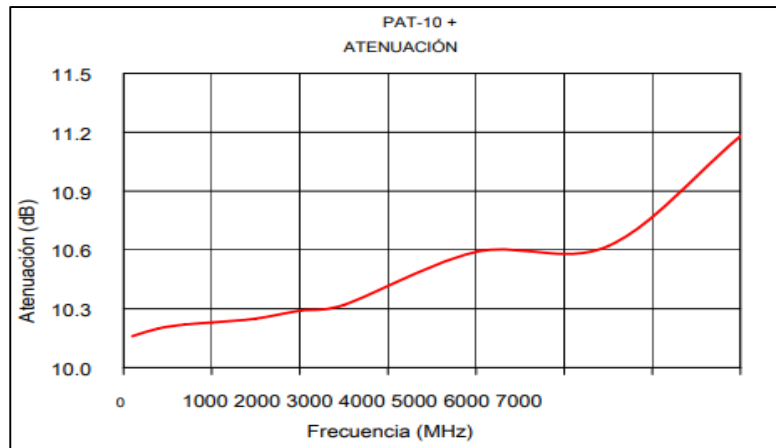


Figura 13-1: Atenuación PAT -10 +

Fuente: PAT-10_dashboard.en.es

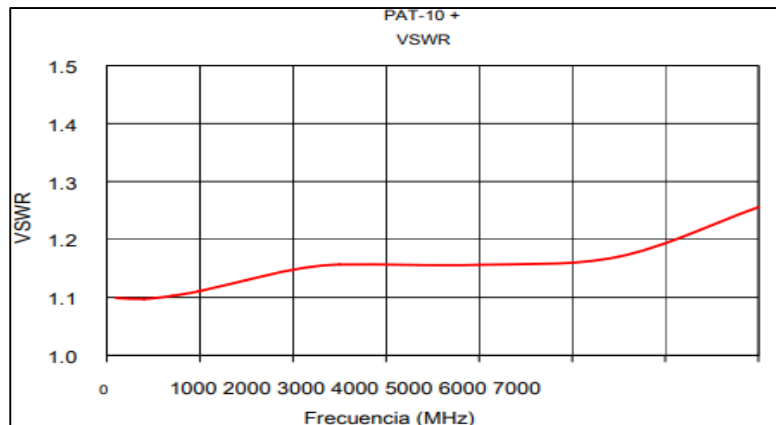


Figura 14-1: Atenuación PAT -10 +

Fuente: PAT-10_dashboard.en.es

1.3.5.3. Atenuador Yat -10+

Los Atenuadores fijos YAT -10 + son fabricados utilizando procesamiento y tecnología MMIC altamente repetitiva incluyendo resistencias de película delgada sobre sustratos de GaAs. Este tipo de Atenuadores están disponibles con valores de atenuación nominales de 0 a 10 dB (en pasos de 1 dB), y 12, 15, 20, y 30 dB. Empaquetado en minúscula 2 mm x 2 mm MCLP TM paquete encaja en espacios pequeños. La banda de operación es 0 a 18 GHz, es compatible con una amplia gama de aplicaciones, incluyendo inalámbrica celular, comunicaciones por microondas, satélite, defensa y aeroespacial, médica y de banda ancha aplicaciones ópticas.

Su tamaño es pequeño y fácil de usar (2 mm x 2 mm), es decir ocupa menos espacio en la placa de una o configuración de la almohadilla de “T” “pi”, y asegura un rendimiento repetible sobre

rangos de frecuencia de ancho, maneja un paquete pequeño tamaño de alta potencia hasta 2 W.
(Mini-Circuits, 2018)

Sus aplicaciones principales son:

- Aplicaciones celulares
- Aplicaciones PCS
- Aplicaciones con Radar

Como se muestra en la Figura 14-1, de acuerdo a la asignación de clavijas la entrada es el pin 2, la salida es el pin 5, y el suelo pin 1,3,4 y 6. En la tabla 5-1 se observa el rendimiento típico a 25 °C en relación a la Frecuencia, Atenuación y VSWR de un Atenuador YAT -10 +.

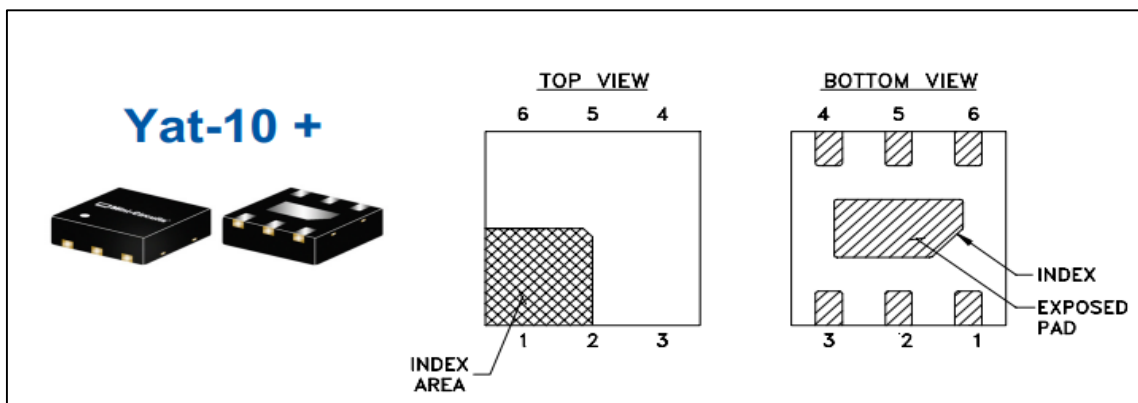


Figura 15-1: Esquema del Atenuador YAT -10 +

Fuente: Mini- Circuit

Tabla 5-1: Especificaciones eléctricas ejecución

FRECUENCIA (GHz)	ATENUACIÓN (DB)	VSWR (:1)
0.001	9.96	1.03
1.0	10.02	1.05
2.0	10.05	1.05
5.0	10.09	1.17
6.0	10.19	1.31
8.0	10.40	1.48
10.0	10.47	1.38
12.0	10.49	1.35
15.0	10.54	1.31
16.0	10.62	1.36
18.0	11.04	1.74

Realizado por: ORTEGA Gabriela, 2018

Fuente: Mini Circuits.

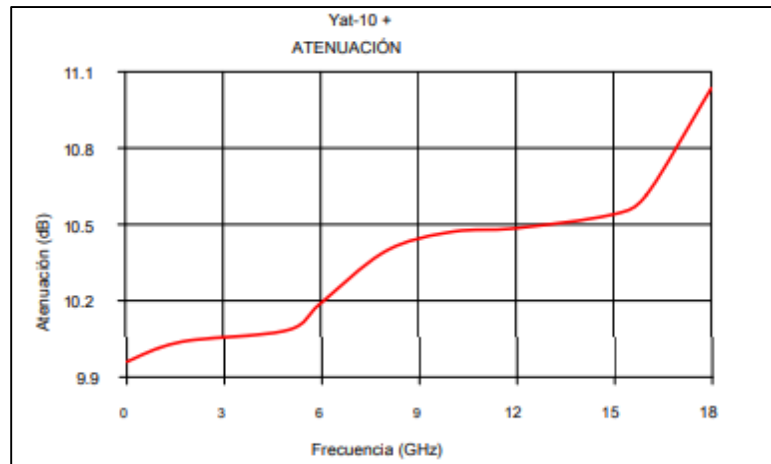


Figura 16-1: Atenuación YAT -10 +

Fuente: Mini- Circuits

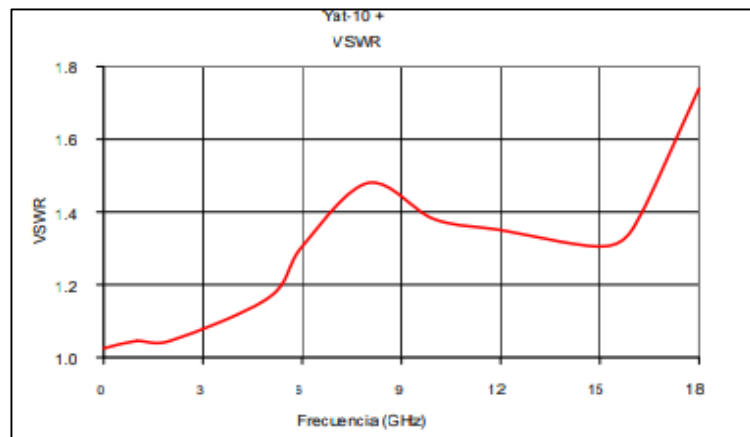


Figura 17-1: Atenuación YAT -10 +

Fuente: Mini- Circuits

1.4. Tecnología Microstrip

La tecnología Microstrip permite realizar dispositivos cada vez más pequeños, de poco peso, de fácil adaptación con otros circuitos y de bajo costo.

Microstrip es una estructura algo más simple, con un único plano de tierra, un trazado conductor y una capa dieléctrica que separa el conductor de señal y el plano de tierra. Los conductores de banda están bien aislados por el material dieléctrico circundante. Como resultado, no irradian y se describen como no dispersivos.

Debido a esto, las líneas de transmisión en circuitos de línea de cinta pueden estar espaciadas de cerca y densamente empaquetadas, prestándose a la miniaturización a frecuencias de microondas. Sin embargo, con las capas adicionales, son más difíciles de ensamblar y fabricar que los circuitos de Microstrip con sus conductores de capa superior.

Los diseños de circuito de Microstrip se pueden beneficiar de un material de PCB con una combinación de baja constante dieléctrica y baja pérdida, como RT / duroid® 5880 de Rogers Corporation. Está basado en un dieléctrico (PTFE) para una pérdida mínima, pero reforzado con microfibras de vidrio para una estabilidad mecánica mejorada.

La constante dieléctrica es baja y está estrechamente controlada, 2.20 ± 0.02 a 10 GHz, para mantener la impedancia de los rastros conductivos fabricados en circuitos de Microstrip. (MicrowaveJournal, 2010)

Como se mencionó anteriormente la Microstrip es una forma muy simple pero útil de crear una línea de transmisión con una PCB. Hay algunas ventajas al usar una línea de transmisión Microstrip sobre otras alternativas.

La aproximación de modelado se puede usar para diseñar la traza de Microstrip. Al comprender la línea de transmisión de Microstrip, los diseñadores pueden construir adecuadamente estas estructuras para satisfacer sus necesidades. (EEWeb, 2017)

Como se observa en la Figura 17-1 se puede decir que una línea de transmisión Microstrip consiste en una traza de cobre que es separada de un plano de tierra, por un componente aislante.

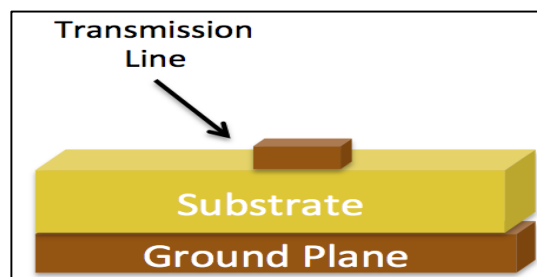


Figura 18-1: Línea de transmisión Microstrip

Fuente: Bitweenie, 2013

Para abaratar costes, los Microstrip pueden ser construidos sobre un sustrato ordinario FR4 (estándar PCB). Las desventajas de Microstrip en comparación con la guía de onda son la potencia

suele ser menor capacidad y pérdidas más altas. También, a diferencia de la guía de onda, Microstrip no es incluido y por lo tanto es susceptible a la radiación la diafonía y accidental. (Global Sources, 2018)

1.4.1. Descripción

Una Microstrip está construida con un conductor plano suspendido sobre un plano de tierra. El conductor y el plano de tierra están separados por un dieléctrico. La línea de transmisión de microbanda su fase también tiene espacio libre (aire) como el dieléctrico sobre el conductor.

Esta estructura puede construirse en materiales que no sean circuitos impresos, pero siempre consistirá en un conductor separado de un plano de tierra por algún material dieléctrico. (EEWeb, 2017)

1.4.1.1. Superficie Microstrip

En la Figura 19-1 se muestra la superficie o Microstrip expuesta, la línea de señal está expuesta (al aire) y hace referencia a un plano de potencia o de tierra. Se clasifican de acuerdo con la disposición del dieléctrico con respecto a la traza (por debajo o por encima de la traza).

El siguiente diagrama muestra la estructura de Microstrip de superficie usando una única capa dieléctrica debajo del rastro de señal (designado 1B). (Polar, 2017).

La Figura 18-1 muestra la estructura de Microstrip de superficie utilizando dos capas dieléctricas debajo del trazado (designado como 2B).

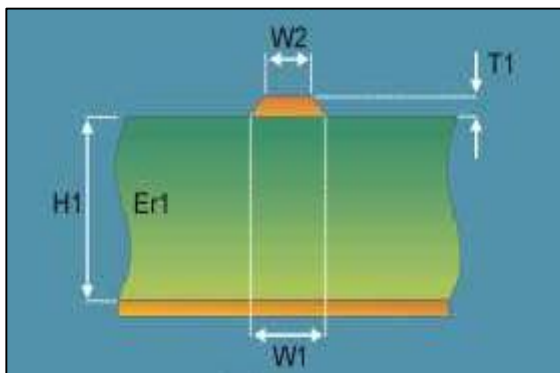


Figura 20-1: Microstrip designado como 1B

Fuente: (Polar, 2017)

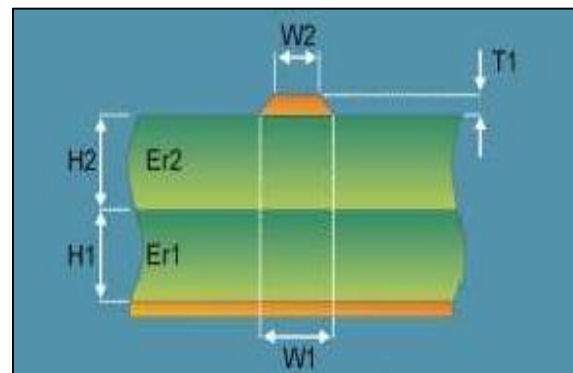


Figura 19-1: Microstrip designado 2B

Fuente: (Polar, 2017)

1.4.1.2. Microstrip Encrustado

La Microstrip incrustada o enterrada es similar a la versión de superficie, sin embargo, la línea de señal está incrustada entre dos dieléctricos y se encuentra a una distancia conocida del plano de referencia. Microstrip incrustada con dos capas dieléctricas, una debajo y una encima del rastro en esta estructura, los dos dieléctricos están dispuestos uno debajo y otro encima del trazado, incrustar la línea de señal puede reducir la impedancia hasta en un 20% en comparación con una construcción de Microstrip de superficie equivalente. (Polar, 2017)

1.4.1.3. Cubierta Microstrip

La Microstrip recubierta es similar a la versión de superficie, sin embargo, la línea de señal está cubierta por una máscara de soldadura. Este recubrimiento puede reducir la impedancia en unos pocos ohmios, tomando en cuenta el tipo y grosor de la máscara de soldadura.

Como se observa en la Figura 20-1 y 21-1 se observa la cubierta Microstrip con un solo dieléctrico debajo del rastro.

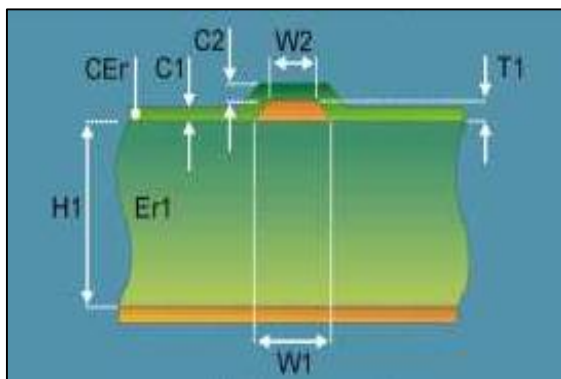


Figura 22-1: Cubierta Microstrip 1B

Fuente: (Polar, 2017)

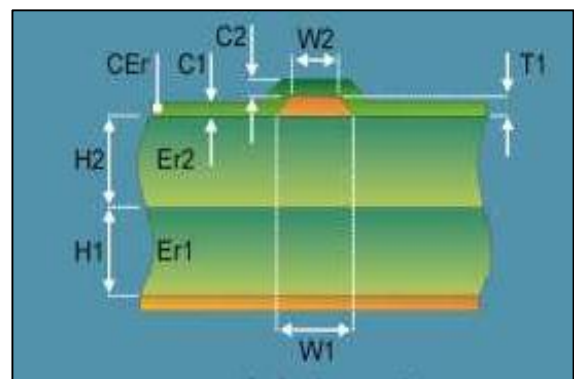


Figura 21-1: Cubierta Microstrip 2B

Fuente: (Polar, 2017)

1.4.2. Impedancia Característica de las líneas Microstrip

Las líneas de Microstrip se utilizan ampliamente para interconectar la lógica de alta velocidad circuitos en computadoras digitales porque pueden ser fabricados por técnicas automatizadas y proporcionan la señal uniforme. En la Figura 22-1 se puede ver que la impedancia característica de una línea de Microstrip está en función de la anchura de la línea de banda, el espesor de la

línea, la distancia entre la línea, el plano de tierra, y el dieléctrico homogéneo constante del material de la placa.

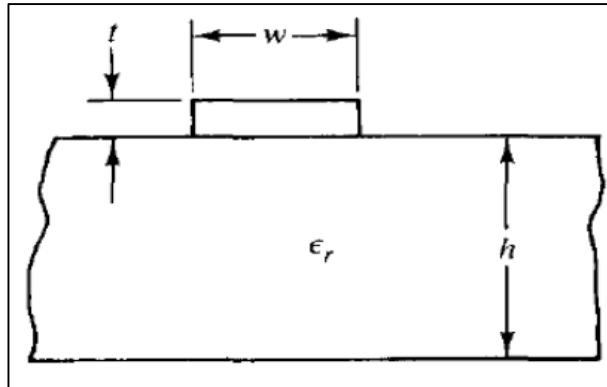


Figura 23-1: Línea Microstrip

Fuente: (Siwakar, 2016)

A continuación, se muestra la formula aproximada de forma cerrada para el cuasi-estático de la impedancia característica de una Microstrip la cual fue desarrollada por Wheeler.

$$Z_{microstrip} = \frac{Z_0}{2\pi\sqrt{1 + \epsilon_r}} \ln\left(1 + \frac{4h}{\omega_{eff}} + \sqrt{\left(\frac{14 + \frac{8}{\epsilon_r}}{11} \frac{4h}{\omega_{eff}}\right)^2 + \pi^2 \frac{1 + \frac{1}{\epsilon_r}}{2}}\right)$$

Ecuación 1-1

ω_{eff} = Anchura eficaz, es decir el ancho real de la banda.

$$\omega_{eff} = \omega + t \frac{1 + \frac{1}{\epsilon_r}}{2\pi} \ln \left(\frac{4e}{\sqrt{\left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{1}{\pi} \frac{1}{\omega} + \frac{11}{10}\right)^2}} \right)$$

Ecuación 2-1

Donde:

Z_0 = Impedancia del espacio libre

ϵ_r = Permitividad relativa del sustrato

ω = Ancho de la tira

h = Espesor de sustrato

t = Grosor de la tira de la metalización

En la mayoría de los casos, el error de impedancia es menor del 1% e inferior al 2%

1.4.3. Curvas

Con el fin de construir un circuito completo en Microstrip, a menudo es necesario para el camino de una tira para activar a través de un ángulo grande. Una curva brusca 90° en un Microstrip causará una porción significativa de la señal en la franja de reflejarse hacia su fuente, con sólo una parte de la señal transmitida en la curva. (Copro, 2017)

Uno de los medios de efectuar una curva de baja reflexión, es la trayectoria de la banda en un arco de radio por lo menos 3 veces la anchura de banda de la curva. Sin embargo, una técnica mucho más común y que consume un área más pequeña del sustrato, es utilizar una curva inglete. (Copro, 2017)

Para una primera aproximación, una brusca curva sin inglete se comporta como un puesto entre el plano de tierra y la curva en la franja de la capacitancia en derivación. Inglete la curva reduce el área de metalización y elimina así la capacidad de excesiva. La Mitra de porcentaje es la fracción de la diagonal entre las esquinas internas y externas de la curva sin inglete cortado, Ver Figura 1-23. La Mitra óptima para una amplia gama de geometrías Microstrip se ha determinado experimentalmente por Douville y James. (Copro, 2017)

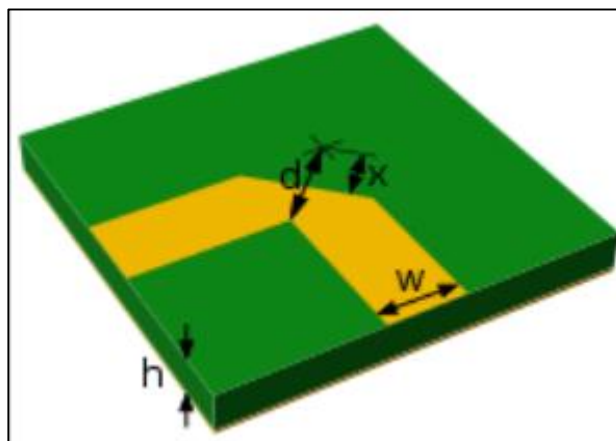


Figura 24-1: Microstrip Curva de 90°

Fuente: (Copro, 2017)

El porcentaje óptimo es dada por:

$$M = 100 \frac{x}{d} \% = \left(52 + 65e^{-\frac{27w}{20h}} \right)$$

Ecuación 3-1

Donde: $\frac{w}{h} \geq 0.25$ y la permitividad relativa de sustrato es $\epsilon_r \leq 25$

1.5. Filtros

La ingeniería de microondas contempla la transmisión de señales a través de algún medio. En las aplicaciones mencionadas anteriormente este sería el aire. Para evitar interferencias entre la enorme cantidad de señales que conviven en él simultáneamente se ha normado el uso de éste.

Se han asignado intervalos de frecuencias y anchos de bandas para cada aplicación y se debe contar con una licencia de operación, salvo intervalos de uso público. Cada dispositivo debe contar con un Filtro que permita aislar el espectro deseado del resto de las señales. (Salinas Vejar, 2007, p. 31)

Un Filtro es un sistema que permite el paso de señales eléctricas a un rango de frecuencias determinadas e impide el paso del resto, se utiliza para acondicionamiento de señal de entrada, digitalización de señales y condicionamiento de señal producida. (Cabrera Peña, 2016)

Los Filtros son circuitos caracterizados por una entrada y una salida de forma que en la salida solo aparecen parte de las componentes de frecuencia de la señal de entrada.

Se pueden caracterizar por su función de transferencia, Figura 1-24; $H(\omega)$, cumpliendo que la función de transferencia tomará el valor 1 para una frecuencia ω_i si se desea que la señal pase a esa frecuencia, mientras que tomará el valor 0 si no debe pasar, diciéndose que se rechaza la señal. (Escudero, 2014, p. 18)

$$y(w) = H(w)X(w)$$

Ecuación 4-1

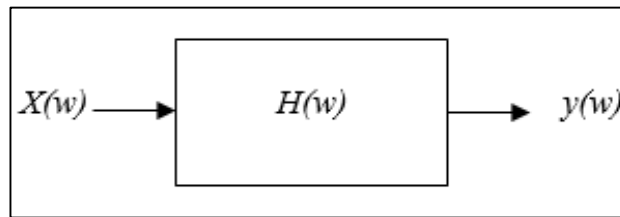


Figura 25-1: Diagramas de Bloque de un Filtro

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

1.5.1. Clasificación de los Filtros

1.5.1.1. Por el tipo de tecnología o componentes

Filtros Pasivos: Son aquellos Filtros que usan solamente componentes de tipo pasivo, es decir R C y L.

Filtros Activos: Un Filtro activo es un convertidor basado en semiconductores y su principal objetivo es eliminar los armónicos de tensión y corriente; compensan el factor de potencia, las corrientes de secuencia, cero en sistemas balanceados, desbalances de tensión en varias aplicaciones y ayuda a proveer energía a cargas críticas durante intervalos corto de tiempo. (Orozco Pilco, 2016, p. 2)

Filtros de Capacidades Conmutadas: Utilizan condensadores en conmutación en lugar de resistencias. Los valores resistivos que se obtienen dependen de la capacidad y de la frecuencia de conmutación. Por tanto, variando la frecuencia cambiando el valor de las resistencias y la respuesta en frecuencia del Filtro. (Escudero, 2014)

Filtros Digitales: Son componentes básicos de todo sistema de procesamiento de señales, son sistemas discretos encargados de atenuar algunos componentes de frecuencia operan sobre una señal de entrada digital y efectúa un proceso de filtrado modificando el contenido espectral de una señal. (Orozco Pilco, 2016, p. 2)

1.5.1.2. Por su respuesta en frecuencia

Filtros Pasa Bajo: Como se observa en la Figura 1-25 el Filtro pasa bajo se caracteriza por dejar pasar frecuencias bajas en su banda de paso y rechazar frecuencias altas en la banda de rechazo.

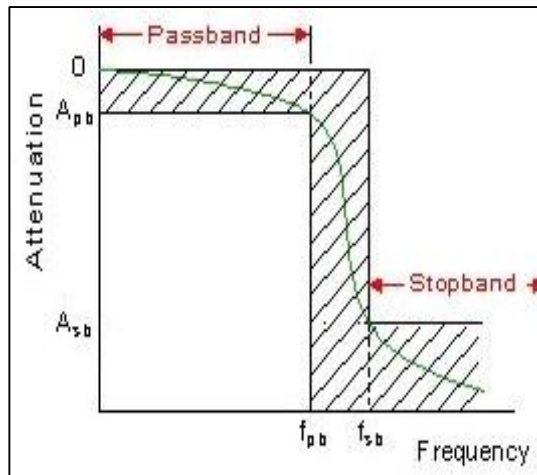


Figura 26-1: Filtro Pasa Bajo

Fuente: (Galeon, 2017)

Filtro Pasa Alto: Este Filtro permite el paso de señales arriba de su frecuencia de corte, es decir deja pasar frecuencias altas en relación a un valor establecido en su banda de paso y rechaza frecuencias bajas. Ver Figura: 26-1.

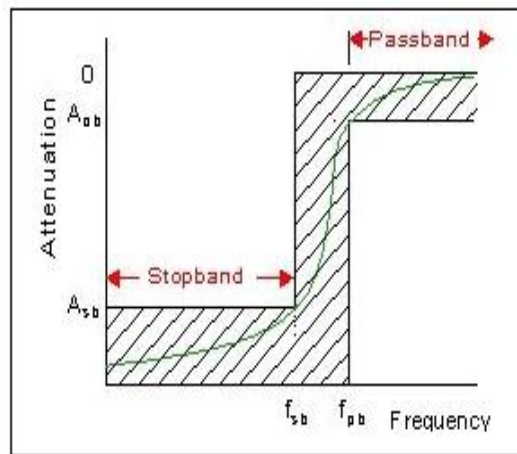


Figura 27-1: Filtro Pasa Bajas

Fuente: (Galeon, 2017)

Filtros Pasa Banda: En la Figura 27-1 se observa como estos Filtros permiten el paso de componentes frecuenciales contenidos en un determinado rango de frecuencias, comprendido entre una frecuencia de corte inferior y otra superior. (Galeon, 2017)

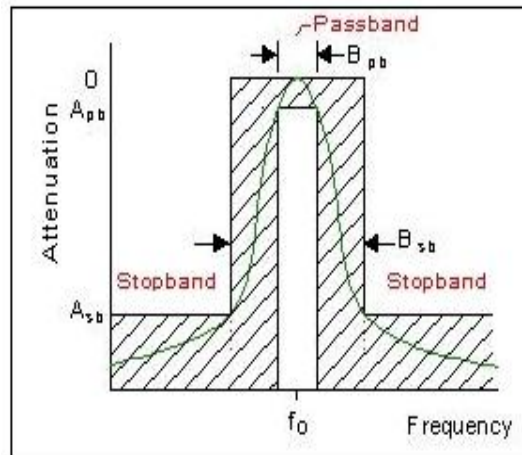


Figura 28-1: Filtro Pasa Banda

Fuente: (Galeon, 2017)

Filtros Elimina Banda. Son aquellos que dificultan el paso de componentes frecuenciales contenidos en un determinado rango de frecuencias, tal como se observa en la Figura 28-1 comprendido entre una frecuencia de corte inferior y otra superior.

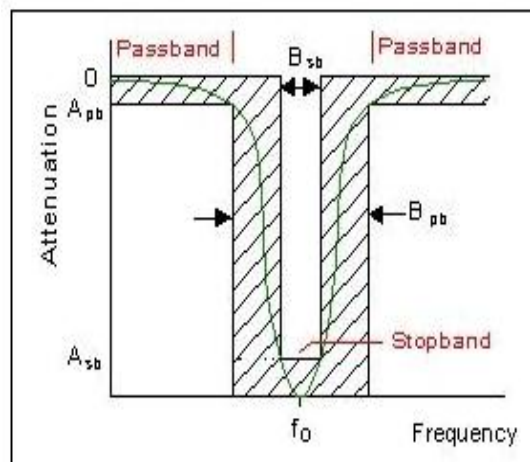


Figura 29-1: Filtro Elimina Banda

Fuente: (Galeon, 2017)

1.5.2. Filtros de Alta frecuencia

Un Filtro de alta frecuencia es un dispositivo normalmente de dos puertos, cuya misión principal es seleccionar/rechazar una determinada banda frecuencial deseada/no deseada. Para ello, existen diferentes tipos de Filtro en función de las bandas frecuenciales que se desea eliminar. Así,

clasificar en términos de su función cuatro categorías, los Filtros paso bajos, paso bandas, paso altas y para bandas.

A continuación, se explica el caso de un Filtro pasa banda puesto que el enfoque de este trabajo se diseñará este tipo de Filtros.

1.5.2.1. Filtro Pasa Banda

Un Filtro paso banda tiene como función dejar pasar el contenido frecuencial que se encuentra dentro de una ventana centrada en la frecuencia central. Éste margen vendrá determinado por dos frecuencias de corte especificadas.

En la Figura 29-1 se muestra un Filtro Chebyshev paso banda de orden 3 y rizado 0.5 dB simulado mediante Matlab®, al tener el Filtro desplazado del origen, teniendo una situación dual y simétrica en cuanto a las zonas de supresión., existe dos frecuencias de corte, es decir, w_{c1} y w_{c2} que tendrán un valor de -1 y 1, el ancho de banda está definido por el espaciado que forman estas frecuencias es decir espaciado inferior y superior. (Sindreu Viader, 2017, pp. 15-17)

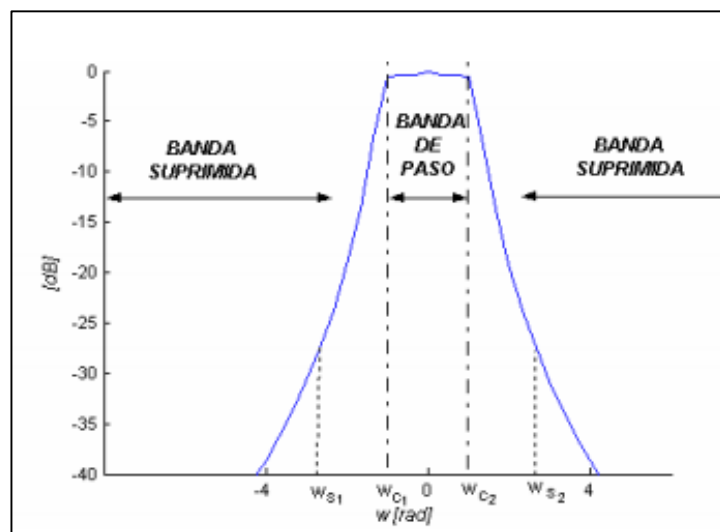


Figura 30-1: Filtro Pasa Banda

Fuente: (Sindreu Viader, 2017, p. 18)

Este ancho de banda será el margen frecuencial para el cuál se obtiene una atenuación entre 0 dB y -3 dB. Es decir, el ancho de banda determina qué frecuencias útiles se debe mantener, las cuáles idealmente no se verían atenuadas. También se aprecia la existencia de otras dos frecuencias, w_{s1} y w_{s2} . Estas frecuencias son especificaciones de entrada que definen la frecuencia de banda

suprimida inferior y superior respectivamente. Junto a estas frecuencias de banda suprimida se especifica la atenuación mínima deseada en ese punto, que en el caso particular de la Figura 29-1 son 20 dB.

1.5.2.2. Factor de Calidad

Es conveniente estudiar la eficacia del Filtro, es decir, como de ideal es su respuesta. Para ello existe el factor de calidad Q , que se define como la proporción establecida entre la energía máxima acumulada en el circuito y la disipada durante un ciclo. Se calcula como la relación entre la frecuencia de resonancia (o central) y el ancho de banda.

$$Q = \frac{f_o}{B_w} = \frac{f_o}{f_2 - f_1} = \frac{f_o}{\Delta f}$$

Ecuación 5-1

Como se observa en la Figura 30-1 a través de este parámetro de calidad se puede saber lo selectivo que es un Filtro. En principio, un Filtro con menor ancho de banda, será mejor que otro con más ancho. Las frecuencias de corte utilizadas para determinar el ancho de banda (f_1 y f_2) se obtienen cuando la amplitud de la respuesta del Filtro cae en 3 dB de su máximo. (Rodríguez García, 2012, p. 23)

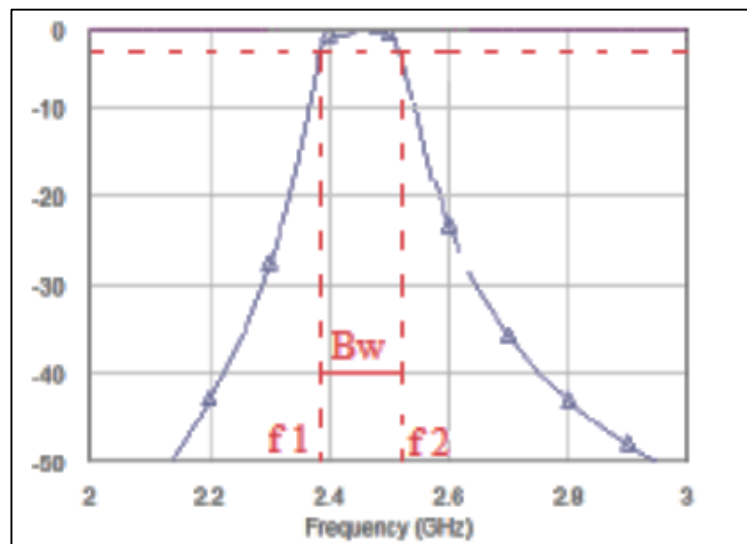


Figura 31-1: Ancho de Banda para Cálculo de Q

Fuente: (Rodríguez García, 2012, p. 23)

1.5.2.3. Generalizaciones para el diseño de un Filtro Pasa Banda

Para el diseño de un Filtro Pasa Banda se debe aplicar una transformación frecuencia, es decir:

$$\Omega = \frac{1}{\Delta} \cdot \left(\frac{w}{w_0} - \frac{w_0}{w} \right)$$

Ecuación 6-1

Donde Δ es el ancho de banda relativo del Filtro, w_0 la frecuencia central, w la pulsación correspondiente a la respuesta paso banda y Ω la pulsación correspondiente a la respuesta paso bajo.

1.6. Materiales de Construcción de Filtros de alta Frecuencia.

En las frecuencias de microondas se aplican altos requisitos a los materiales para la construcción de dispositivos finales. Se encuentran disponibles varios substratos dieléctricos para tecnologías de Microstrip, pero los precios de estos materiales son directamente proporcionales a sus buenas características dieléctricas. Aplicación de bajo costo los materiales pueden causar serias imprecisiones si el diseño del dispositivo supone una mejor calidad de los materiales. (Vestnický, 2013, p. 90)

1.6.1. Dieléctrico Rogers

Corporación Rogers utiliza la banda X sujeta al método de ensayo resonador de línea de cinta para la constante dieléctrica de un material de alta frecuencia. Este método tiene un alto grado de repetitividad, así como un excelente rendimiento para el control de calidad interno para garantizar la fabricación de productos laminados de alta frecuencia consistentes, considerando que tiene algunos problemas potenciales con anisotropía y módulo de compresión del material bajo prueba, conocer este método ayudará al diseñador de entender el comportamiento eléctrico de estos materiales con diferentes diseños de circuitos y aplicaciones. (Rogers Corporation, 2017)

La banda X sujeta prueba de línea de cinta dará resultados de Dk y Df para un material bajo prueba. Estos resultados pueden o no correlacionarse bien con el mismo material utilizado en una

aplicación de microcinta, como un ejemplo, donde el entorno electromagnético de la aplicación circuito es muy diferente de la prueba de línea de cinta. (Rogers Corporation, 2017)

1.6.1.1. Roger - RO4003C™

El dieléctrico Rogers se caracteriza por determinadas constantes dieléctricas, factor de disipación bajo, estabilidad frente a la temperatura, propiedades mecánicas y térmicas específicas, aplicación en microondas, aplicación en Radio Frecuencia.

En la Figura 31-1 se observa un circuito del material RO4003C el cual proporciona un control estricto sobre la constante dieléctrica y las bajas pérdidas al tiempo que utiliza el mismo método de procesamiento que el epoxy / vidrio estándar, pero a una fracción del costo de los laminados de microondas convencionales. A diferencia de los materiales de microondas basados en PTFE (Polytetrafluoroethylene), no se requieren tratamientos especiales de orificios pasantes o procedimientos de manipulación. Los circuitos de alta frecuencia requieren materiales de sustrato que tienen un control estricto de la constante dieléctrica, así como de pequeñas pérdidas.

Los materiales que cumplen estos requisitos han sido tradicionalmente un precio mucho más alto que las tablas de epoxy / de vidrio convencionales. La aparición del mercado de alta frecuencia comercial ha provocado una fuerte necesidad de equilibrar el rendimiento, la fabricación y el costo. RO4003C Rogers™ Material de la alta frecuencia de puente, proporcionando un control estricto sobre la constante dieléctrica y baja pérdida, materiales RO4003C son de vidrio tejida patentada reforzada de hidrocarburos / cerámica con el rendimiento eléctrico de PTFE (Polytetrafluoroethylene) de vidrio / tejido y la fabricación de epoxy /vidrio. (Rogers Corporation, 2017)



Figura 32-1: Roger - RO4003C™

Fuente: Rogers Corporation, 2017

Una evaluación de la pérdida de inserción, ver Figura 32-1, para una línea de transmisión de microcinta 50Ω se llevó a cabo en varios materiales.

Los materiales de rango seleccionado son estándar, los más sofisticados laminados basados en PTFE (GX y RO3003™). El objetivo de la evaluación fue cuantificar las pérdidas del circuito en los distintos tipos de materiales. (Rogers Corporation, 2017)

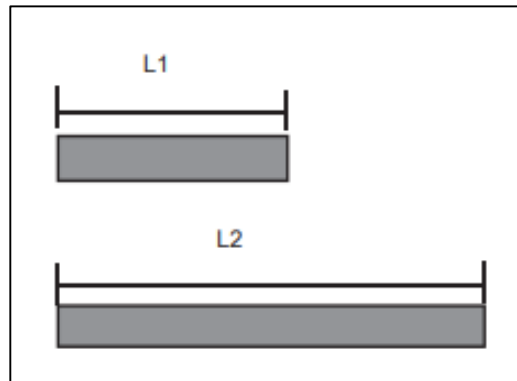


Figura 33-1: Pérdida de datos de inserción

Fuente: (Rogers Corporation, 2017)

$$\text{Pérdida ins} = \frac{S_{21}(L2) - S_{21}(L1)}{L2 - L1}$$

Ecuación 7-1

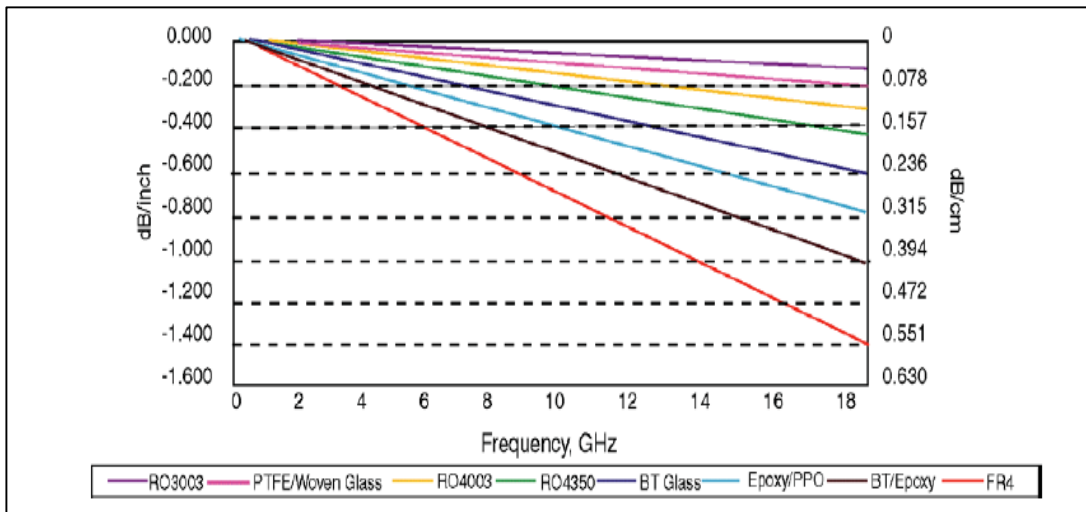


Figura 34-1: Datos medidos de pérdida de inserción de la Microstrip

Fuente: (Rogers Corporation, 2017)

Como se observa en la Figura 33-1 gracias a la pérdida de inserción se podrá comprender de mejor manera las limitaciones de las frecuencias de cada material, los materiales seleccionados y anunciados ϵ_r se muestran en la tabla 6-1.

Al observar en la tabla se observa que el material RO4003C proporciona una pérdida de 3.38 comparada con la pérdida del material RO3003 que es 3.0, y el material GX. Además, el material BT va de gran aumento de 3.7 a 4.0.

El material Epoxy/PPO, es 4,5 veces más severo que el laminado RO4003C, lo cual deben tenerse en cuenta con el fin de reducir el tiempo de ciclo del diseño. (Rogers Corporation, 2017)

Tabla 6-1: Materiales de grado comercial

MATERIAL	ADVERTISED ϵ_r
RO3003 TM	3.0
GX (PTFE)	2.2 – 2.6
R04003C	3.38
BT	3.7 – 3.9
Epoxy/PPO	3.95
BT/Epoxy	4.0
Difunctional Epoxy	4.5

Realizado por: ORTEGA Gabriela, 2018

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

1.6.2. Conectores SMA (*SubMiniature version A*)

Son conectores sub-miniatura que proporcionan una gran eficacia eléctrica de 0 a 12.4 GHz. El diseño de conectores SMA (*SubMiniature version A*) ha sido utilizado para acomodar muchas aplicaciones de interconexión en la gama de microondas con un rango de frecuencias de operación de 0 a 12.4 GHz, tiene una impedancia de 50 Ohm. Las especificaciones eléctricas y el material de diseño se lo pueden observar en la tabla 7-1.

Sus aplicaciones más comunes son: satélites, microondas, instrumentos de precisión, audio y video, proporcionando una interface mínima de atenuación y un bajo VSWR (ROE). (Conexcon, 2016, p. 35)

Tabla 7-1: Conectores SMA

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS		MATERIALES	
IMPEDANCIA NOMINAL	Variable	METÁLICO	Latón con diferentes acabados (dorado, plateado, niquelado, estañado y cromado en negro)
FRECUENCIA DE APLICACIÓN	0 a 12.4 GHz	AISLANTE	Teflón, Delrin, ABS, PBT y Polipropileno
VOLTAJE DE TRABAJO	500 VRMS nivel del mar		
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	5000MOhmios		
RIGIDEZ DIELECTRICA	1500 VRMS nivel del mar		

Realizado por: ORTEGA Gabriela, 2018

Fuente: (Conexcon, 2016, p. 36)

1.6.2.1. Conector SMA Hembra

Como se observa en la Figura 34-1 es un conector de RF tipo SMA Hembra que se utiliza para el borde de impreso del material, es ideal para impresos de 1.6mm de espesor.

Sus características principales de este tipo de conectores son:

- Impedancia de 50 Ohmios
- Diámetro de Jack de 6.1 mm / 0,24 “
- Ancho de enchufe de 6.4 mm / 0,25 “
- Longitud total del conector de 13.5 mm / 0,53 “
- Peso aproximado de 2g

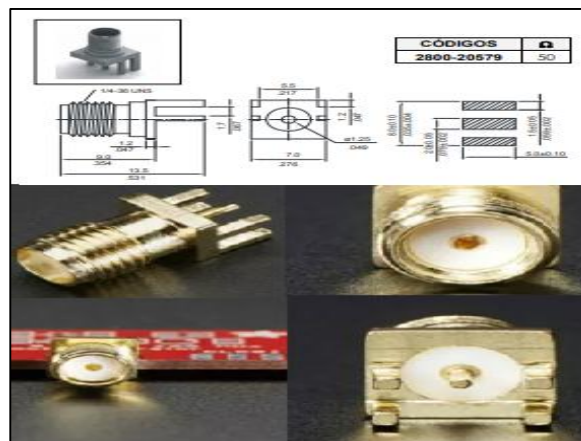


Figura 35-1: Conector SMA Hembra

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

1.7. Herramienta de Simulación

1.7.1. Ansoft Designer®

1.7.1.1. Introducción

Ansoft Designer® SV es una herramienta fácil de usar para aplicar teorías y técnicas básicas de circuitos mientras desarrollan sus habilidades de ingeniería de alta frecuencia, el entorno de gestión de diseño distribuido comercialmente y simulador de circuitos para desarrollo de radiofrecuencia (RF) y hardware de microondas, expone al mismo entorno de diseño ampliamente utilizado en la industria del diseño electrónico de alto rendimiento. (Theengineer, 2007)

Contiene un completo simulador de circuito lineal de alta frecuencia, entrada de diseño esquemático y de diseño, solucionador electromagnético plano, utilidades de diseño y post-procesamiento, todo integrado en un entorno común. Los usuarios pueden crear y simular diseños de circuitos jerárquicos para aplicaciones de RF y microondas, como Filtros, amplificadores de pequeña señal, redes de acoplamiento, divisores de potencia, acopladores y más. (Theengineer, 2007)

En la Figura 35-1 se observa las ventanas de Ansoft Designer

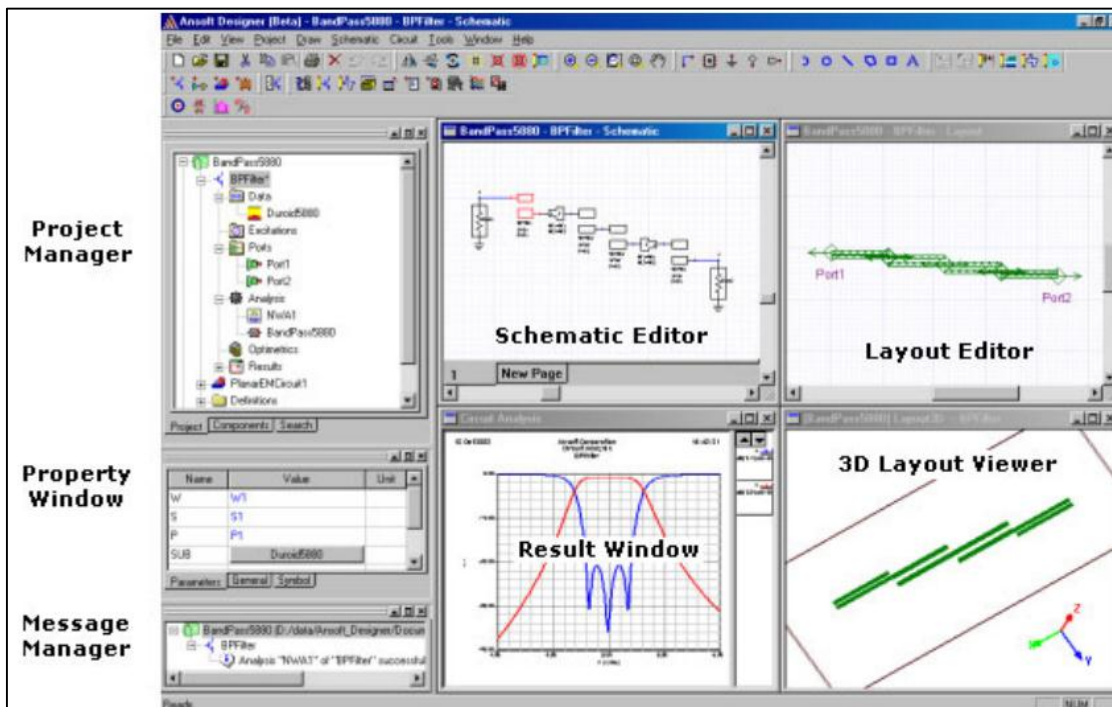


Figura 36-1: Ventanas de Ansoft Designer

Fuente: (Ansoft Corporation, 2003, pp. 1-4)

1.7.1.2. Términos usados en Ansoft Designer

Proyecto: Es un diseño u organizado, la extensión del archivo es el *. ADSN, es importante conocer que se pueden abrir múltiples proyectos a la vez.

Diseño: Son bloques de construcción de los proyectos, y pueden ser circuitos, sistemas o modelos 3D plana EM. Diseños consisten en esquemas o modelos geométricos, modelo de datos, análisis de la información de configuración de salida, gráficos y tablas, y otras piezas de información que entran en la descripción de simulación de circuitos eléctricos. (Ansoft Corporation, 2003)

Componente: Son los objetos colocados sobre esquemas y diseños que representan elementos y subcircuitos eléctricas de bajo nivel. Representación gráfica de un componente en un esquema es un símbolo, mientras que en un diseño que es una huella. Componentes tienen pines para conexiones, mapas de bits en el árbol del proyecto, y las propiedades de la simulación. Un componente puede estar asociado con más de una simulación si se puede analizar en más de un simulador.

Biblioteca: Se organizan en bibliotecas. Las bibliotecas son entonces configuradas por el usuario (manual) o mediante la carga de archivos de tecnología (automáticamente) haciéndolos disponibles para su uso en el diseño de edificios. librerías del sistema están provistos de Ansoft Designer. bibliotecas de usuario y bibliotecas personales se utilizan para añadir soporte de fundición, modelos definidos por el usuario, y cualquier conjunto personalizado de componentes o modelos de simulación.

Archivo tecnología: Inicializa un diseño con un conjunto de datos para evitar la entrada repetida de los datos de uso común. Estos datos pueden consistir en capas y stackup información para el diseño, las bibliotecas configurados de componentes, y definición (s) sustrato para análisis de circuitos. Los usuarios pueden personalizar y fundiciones archivos de tecnología para sus propios modelos de procesos de fabricación y simulación.

Capas y stackup: Se utilizan en el editor de diseño a organizado y operan en conjuntos de geometría, la señal de metalizado, y dieléctricas son capas físicas comunes, mientras que el símbolo y error, son capas no físicas. El stackup contiene propiedades adicionales de las capas físicas, tales como material, espesor, y la elevación. La información geométrica de estas capas se utiliza para generar máscaras para la fabricación. (Ansoft Corporation, 2003, pp. 1-3)

Solución: Es el resultado de un análisis, o los resultados disponibles para el trazado.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Introducción

En el presente capítulo se detalla el diseño y la implantación del set de Atenuadores y Filtros para altas frecuencias utilizando la tecnología MMIC y Microstrip, este set estará conformado por cinco Filtros paso banda que trabajan a frecuencias de 1 a 10 GHz, tomando en cuenta que los Filtros son muy fundamentales en áreas de ingeniería ya sea de radiofrecuencia o microondas, usados para seleccionar y rechazar señales a distintas frecuencias, este set se lo realizo con el objetivo de proteger los equipos de trabajo del laboratorio de comunicaciones y microondas, de igual manera que los docentes y estudiantes de la FIE puedan utilizarlos a futuro en sus prácticas o áreas de estudio. Una de las particularidades más importantes para el diseño de Filtros a altas frecuencias es seleccionar adecuadamente el tipo de material, por tal motivo los Filtros serán construidos en Roger – RO4003C™, que es de fácil adquisición permitiendo así llegar al rango de frecuencias establecidas anteriormente.

Debido a la implementación de los Filtros con tecnología Microstrip se utilizará el método de estudio Descriptivo – Experimental porque está sujeto a pruebas a frecuencias con rangos de 1 a 2 GHz, 2 a 4 GHz, 4 a 7 GHz, 7 a 9 GHz, y de 8.5 a 9.4 GHz, observando así la respuesta frecuencial que producen los cinco Filtros diseñados.

2.2. Etapa de Diseño

Para la etapa de diseño se ha visto conveniente dividirlo en dos etapas, es decir la primera está conformada por el diseño de los Filtros a altas frecuencias y la segunda el diseño de las pistas de los Atenuadores que estarán implementados con tecnología Microstrip y MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits). Para la parte del diseño, simulación de los Filtros y pistas de los Atenuadores, se utilizará la herramienta Ansoft Designer, ya que permitirá seleccionar de manera más adecuada los parámetros específicos de diseño dando una perspectiva más clara y precisa del

resultado final. El simulador será capaz de obtener la respuesta de cualquier tipo de estructura de Filtro paso banda para el caso de Filtros tipo Chebyshev y a la vez mostrar las etapas necesarias para su implementación. Cabe mencionar que para el diseño de los cinco Filtros se debe seguir el mismo orden de procedimiento, por tal motivo solo varía las especificaciones y sus parámetros de diseño.

2.2.1. Parte I - Diseño de Filtros con especificaciones frecuenciales

2.2.1.1. Filtro de 1 a 2 GHz

En la tabla 1-2 se puede observar las especificaciones frecuenciales del primer Filtro a diseñar.

Tabla 1-2: Filtro de 1 a 2 GHz

ESPECIFICACIONES DEL FILTRO DE 1 A 2 GHz	
Tipo de Filtro	Pasa Banda
Tipo de Respuesta	Chebyshev
Frecuencia Central	1.5 GHz
Orden	5
Ancho de Banda	1GHz
Impedancia de E/S	50 Ω

Realizado por: ORTEGA Gabriela, 2018

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

En la tabla 2-2 se especifica las características del material RO4003CTM con el cual se implementará el Filtro, como se mencionó en el capítulo anterior este material permitirá implementar de manera ideal cada uno de los Filtros, puesto que ofrecen una buena resistencia mecánica, aislamiento, y es exclusivamente diseñado para trabajar a altas frecuencias, por ello se anticipa que los resultados son altamente eficientes.

Tabla 2-2: Especificaciones del dieléctrico

ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL RO4003CTM	
Dimensiones	220x150 mm
Constante dieléctrica y DF (Factor de Disipación)	re: 3.38 ; 0,0227(10GHz)
Espesor del dieléctrico	h: 1.524 mm
Tangente de pérdidas	0.002

Realizado por: ORTEGA Gabriela, 2018

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Una vez conocidas las especificaciones del Filtro y las características del sustrato, los pasos a seguir para la obtención del Filtro son los siguientes:

1. Como se observa en la Figura 1-2 una vez instalado el software de simulación Ansoft Designer se puede inicializar el programa haciendo clic en comienzo y seleccionando el diseñador de Ansoft. La nueva simulación se agrega automáticamente al árbol del proyecto.

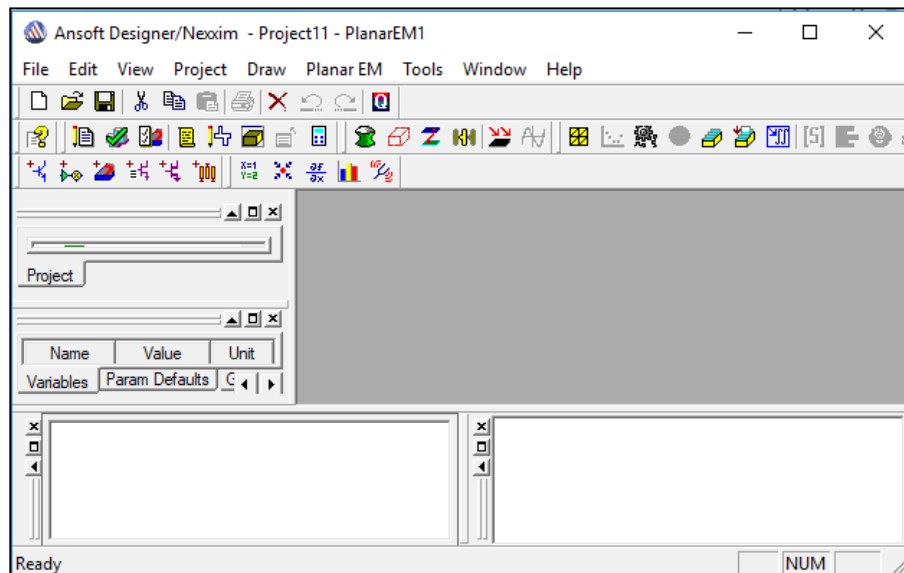



Figura 1-2: Comienzo de Ansoft Designer

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

2. Una vez inicializado el programa para crear un nuevo proyecto de diseño es necesario ubicarse en la barra de menú, seleccionar Project, y el icono  Insert Filter Design el cual permite configurar los siguientes parámetros:

- **Tipo de Filtro:** en esa ventana se debe seleccionar el tipo de Filtro que se desea diseñar es decir un Filtro paso bajo, paso alto, pasa banda o rechaza banda.
- **Topología:** Acoplamiento Filo a Filo - Edge Coupled
- **Aproximación:** Aproximación de términos comerciales filtro Chebyshev
- **Prototipo:** en esta ventana se selecciona el tipo de tecnología de diseño por ejemplo Microstrip, Ideal, Triplano, Rectangular bar y Slabline.
- **Tecnología:** Viene por defecto.

Posteriormente se desglosará una ventana como se muestra en la Figura 2-2. Seleccionando así las siguientes especificaciones: Pasabanda – Edge Coupled - Chebyshev – Microstrip - Default y luego hacer clic en siguiente.

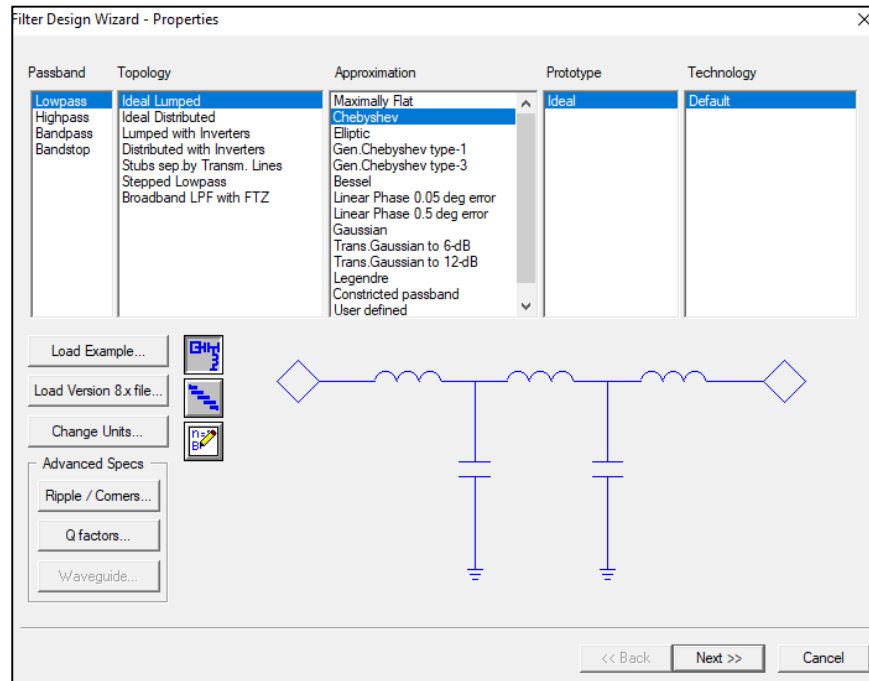



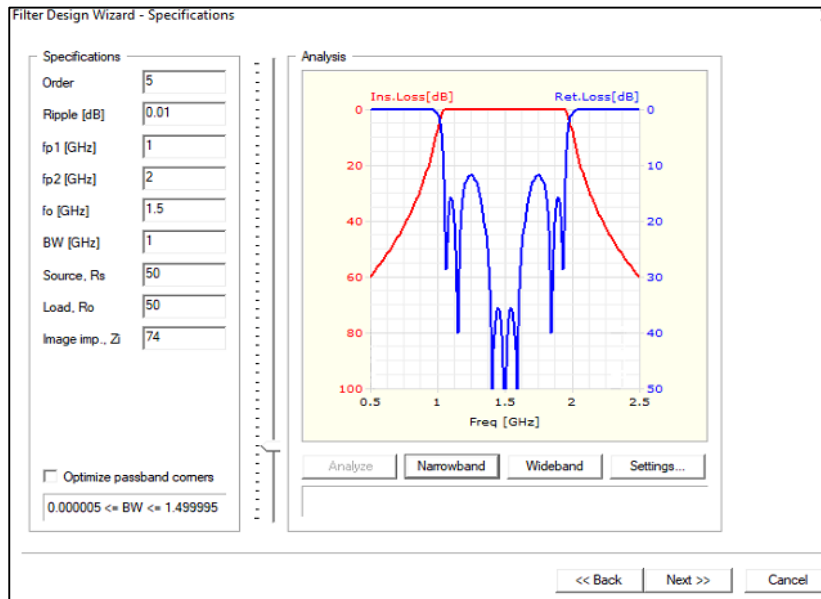
Figura 2-2: Parámetros de diseño

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

3. Para el diseño óptimo de un Filtro se recomienda seleccionar el icono  por acoplamiento de inductancia electromagnética y elementos de Microstrip. Posteriormente se procede a ingresar las especificaciones del Filtro como se observa en la Figura 3-2 es decir: Orden 5, f_p (1) de 1 GHz, f_p (2) de 2 GHz, frecuencia central (f_0) de 1.5 GHz, el ancho de banda de 1GHz y una impedancia de 50 Ω .

De igual manera se procesa los parámetros y se crea un gráfico rectangular, trazando el tipo de visualización ideal del Filtro. Es importante indicar que se seleccionó un Filtro de orden 5 puesto que se logró obtener una atenuación de -0.472 dB a la frecuencia deseada, resultados que se analizaran más detalladamente en el capitulo 3.

4. Una vez definido los parámetros del Filtro presionar siguiente, se muestra una ventana similar a la Figura 2-4, en el cual se procede a ingresar las características del material de acuerdo a las especificaciones mencionadas anteriormente en tabla 2-2.



Figurab 3-2: Especificaciones del Filtro

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

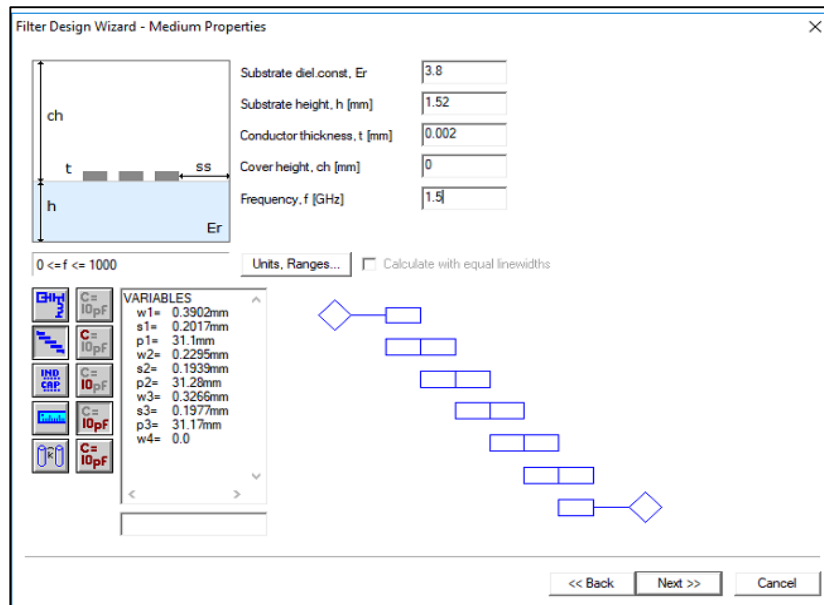


Figura 4-2: Especificaciones del material

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

5. La respuesta ideal al primer diseño obtenido en el software Ansoft se muestra en la figura 5-2, los resultados son eficientes, las pérdidas de retorno son inferiores a 20 dB, y se muestra claramente un filtro de orden 5.

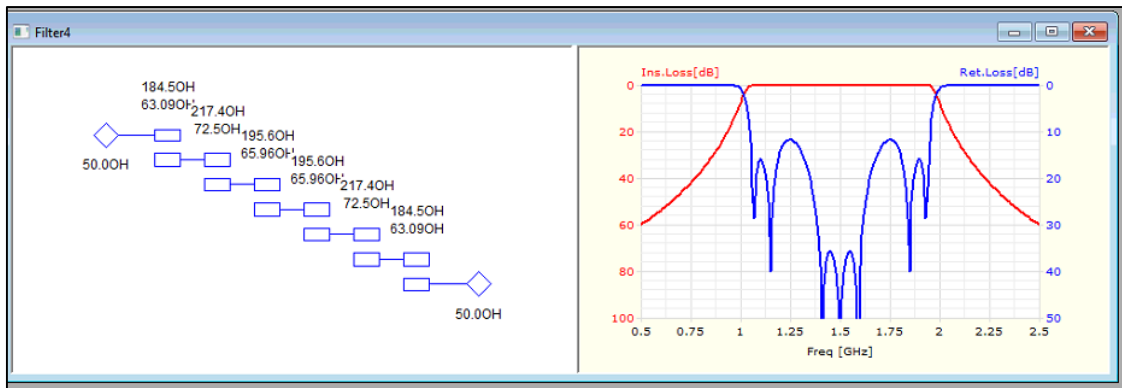



Figura 5-2: Resultado ideal primer Filtro

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Una vez realizado el diseño del Filtro a frecuencias de 1 a 2 GHz, un paso adicional antes de la implementación es exportar el diseño desde Ansoft hacia AutoCAD y posteriormente implantarlo en el material Roger. Para exportar el diseño a AutoCAD se debe seleccionar el icono  obteniendo así el Filtro esquemático, como se observa en las Figuras 6-2 y 7-2.

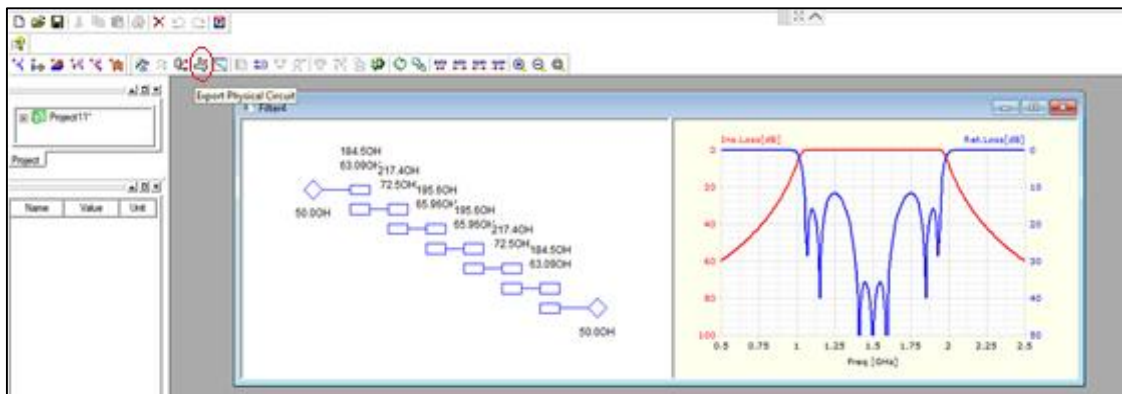


Figura 6-2: Exportar el Circuito

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

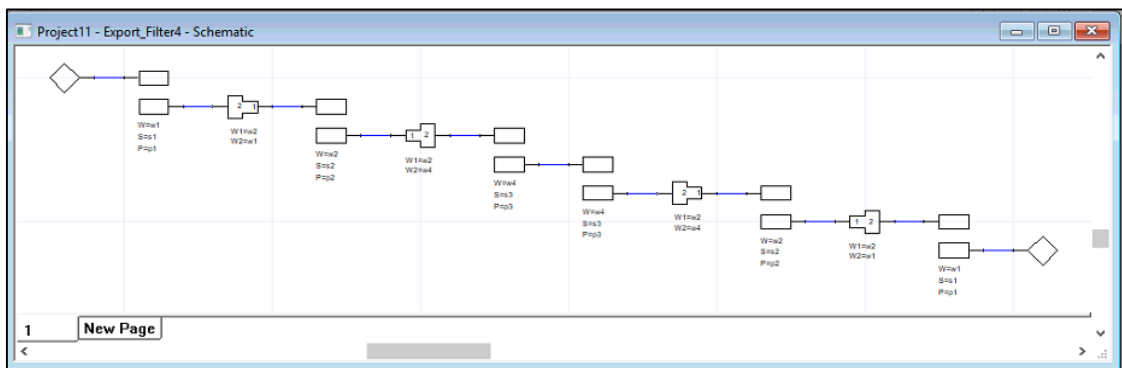



Figura 7-2: Filtro esquemático

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

A continuación se hace clic el icono  Edit Layout, observando como resultado la pista del Filtro a implementarse, ver Figura 8-2.

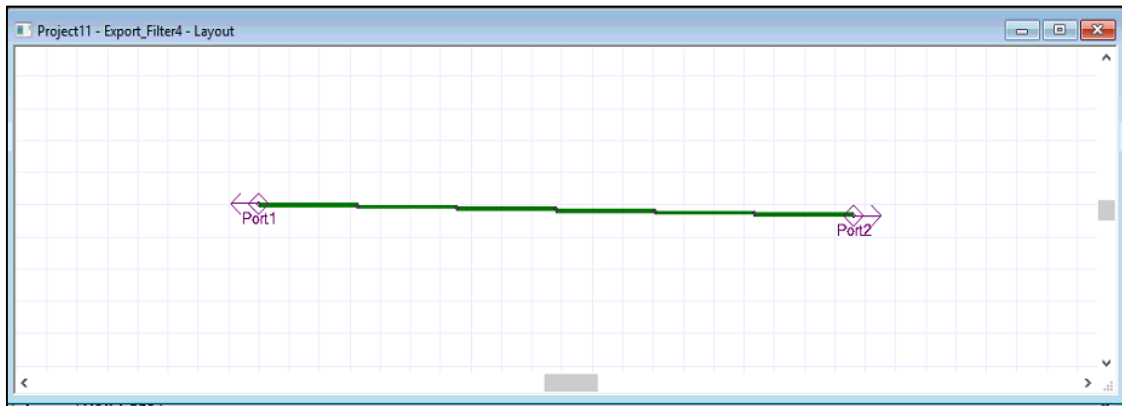


Figura 8-2: Pista del Filtro en Ansoft

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Por último, se debe dirigir a la barra de menú y seleccionar Layout – Export File, como se muestra en la Figura 9-2, la cual permitirá guardar, elegir la capa de diseño y exportar la pista diseñada directamente a AutoCAD, como se observa en la Figura 10-2.

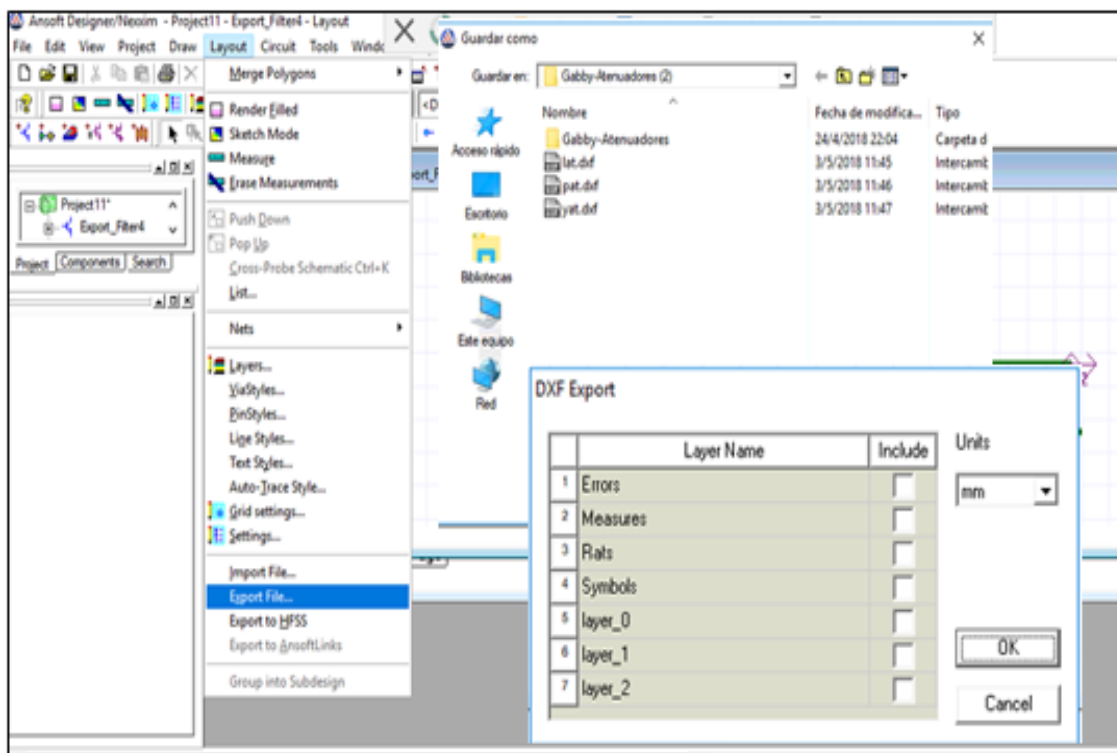


Figura 9-2: Export File

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

El diseño simulado en el software Ansoft Designer y exportado a AutoCAD, permitirá generar un archivo con extensión .pdf con las dimensiones ideales del Filtro.



Figura 10-2: Resultado final del Filtro en AutoCAD.

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Como se mencionó anteriormente este Filtro es el que será impreso y ajustado en el Roger - **RO4003CTM** (doble cara) de acuerdo al proceso de foto transferencia, y obtener así el prototipo usando el químico cloruro férrico.

Otro de los materiales que se utilizarán son los conectores SMA hembra para PBC que operan a una impedancia de 50Ω , que deben ser soldados en los puertos E/S en las placas de los Filtros implementados tal como se muestra en la Figura 11-2. Obteniendo así el resultado final del Filtro que opera de 1 a 2 GHz



Figura 11-2: Implementación del Filtro de 1 a 2 GHz.

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

2.2.1.2. Filtro de 2 a 4 GHz

En la tabla 3-2 se puede observar las especificaciones frecuenciales del segundo Filtro a diseñar.

Tabla 3-2: Filtro de 2 a 4 GHz

ESPECIFICACIONES DEL FILTRO DE 2 A 4 GHz	
Tipo de Filtro	Pasa Banda
Tipo de Respuesta	Chebyshev
Frecuencia Central	3 GHz
Orden	5
Ancho de Banda	2GHz
Impedancia de E/S	50 Ω

Realizado por: ORTEGA Gabriela, 2018

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Como se indicó anteriormente todos los prototipos de los Filtros estarán contruidos en el material RO4003C™ de tal manera que sus características serán las mismas que se mencionó la tabla 2-2.

Como los pasos de diseño en el Software no varían se omiten mencionarlos para los Filtros posteriores, es decir solo se indicará el procedimiento en donde se modifican los parámetros de diseño, es decir:

Se debe ingresar las especificaciones del Filtro, como: Orden 5, fp (1) de 2 GHz, fp (2) de 4 GHz, frecuencia central (fo) de 3 GHz, el ancho de banda de 2GHz y una impedancia de 50 Ω .

Como se observa en Figura 2-12 se procesa los parámetros y se crea un gráfico rectangular, trazando el tipo de visualización ideal del Filtro.

Es importante indicar que se seleccionó un Filtro de orden 5 puesto que se logró obtener una atenuación de -0.705 dB a la frecuencia deseada, resultados que también se analizaran más detalladamente en el capitulo 3.

Una vez definido los parámetros presionar siguiente, se muestra una ventana similar a la Figura 13-2, en el cual se procede a ingresar las características del material dieléctrico.

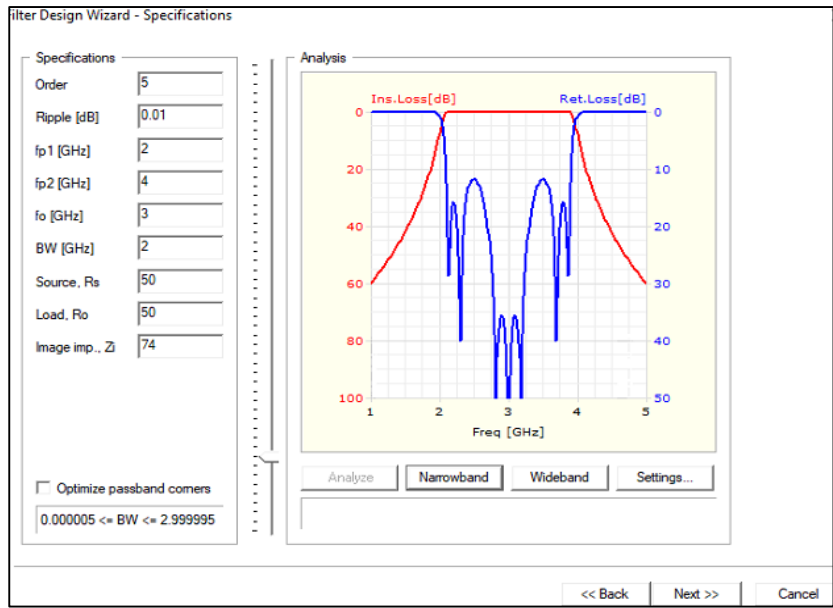


Figura 12-2: Especificaciones del Filtro de 2 a 4 GHz.

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

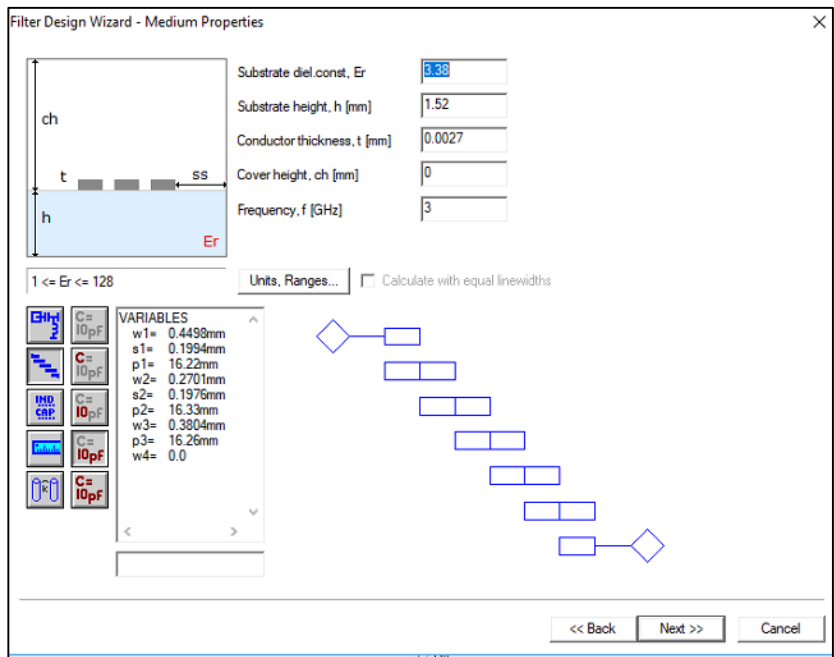


Figura 13-2: Especificaciones del material (segundo diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

La respuesta ideal del segundo diseño obtenido en el software Ansoft se muestra en la Figura 14-2, los resultados son eficientes, las pérdidas de retorno son inferiores a 20 dB, y se muestra claramente un filtro de orden 5.

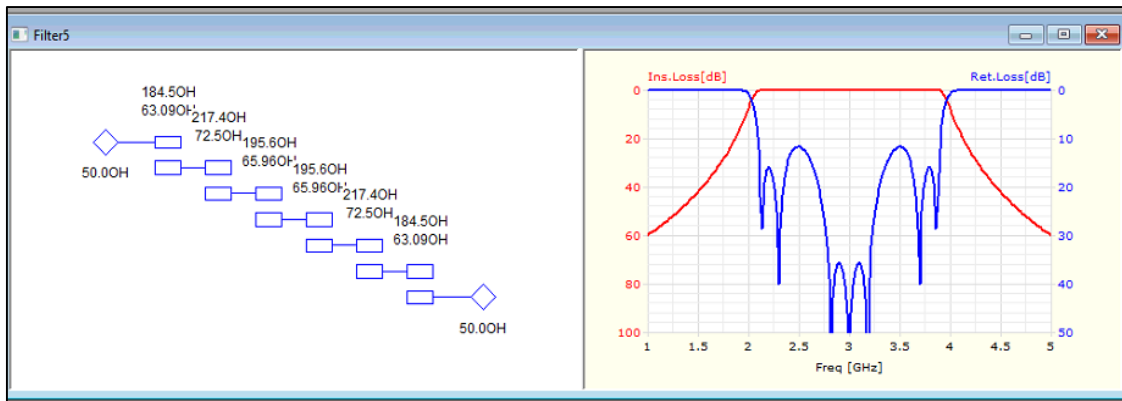



Figura 14-2: Resultado ideal (segundo diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Una vez realizado el diseño del Filtro a frecuencias de 2 a 4 GHz, como se indicó anteriormente un paso adicional antes de la implementación es exportar el diseño desde Ansoft hacia AutoCAD, es decir se debe seleccionar el icono  obteniendo así el Filtro esquemático, como se observa en las Figuras 15-2.

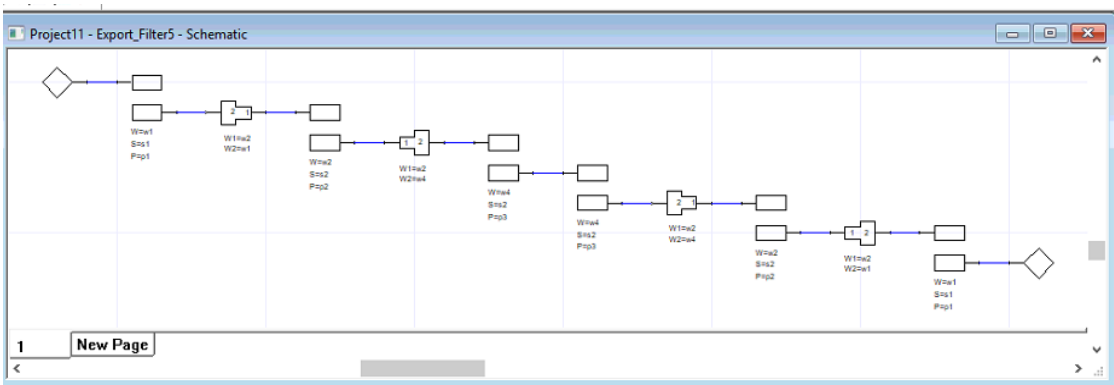



Figura 15-2: Filtro esquemático (segundo diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Para observar el resultado la pista del Filtro a implementarse en Ansoft, Clic el icono  Edit Layout. Ver Figura 16-2.

Finalmente se guarda, se elige la capa de diseño y se exporta la pista diseñada directamente a AutoCAD, generando un archivo con extensión pdf, el resultado se observa en la Figura 17-2



Figura 16-2: Pista del Filtro en Ansoft (segundo diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

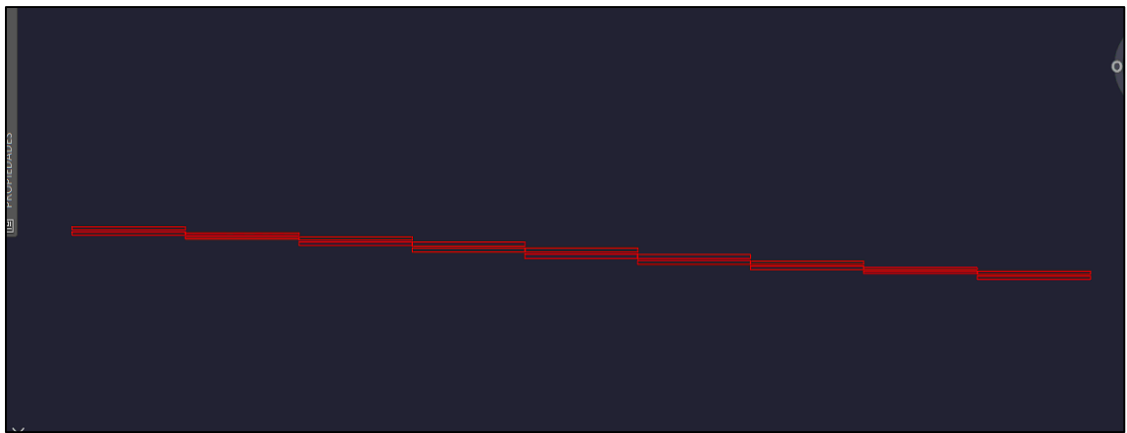


Figura 17-2: Resultado final del Filtro en AutoCAD (segundo diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018



Figura 18-2: Implementación del Filtro de 2 a 4 GHz.

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

De igual manera este segundo diseño será impreso y ajustado en el Roger - **RO4003C™** para posteriormente soldarlos en los puertos E/S con los son los conectores SMA hembra para PBC, obteniendo así el resultado final del Filtro que opera de 2 a 4GHz. Ver Figura 18-18.

2.2.1.3. Filtro de 4 a 7 GHz

En la tabla 4-2 se puede observar las especificaciones frecuenciales del tercer Filtro a diseñar.

Tabla 4-2: Filtro de 4 a 7 GHz

ESPECIFICACIONES DEL FILTRO DE 4 A 7 GHz	
Tipo de Filtro	Pasa Banda
Tipo de Respuesta	Chebyshev
Frecuencia Central	5.5 GHz
Orden	9
Ancho de Banda	3 GHz
Impedancia de E/S	50 Ω

Realizado por: ORTEGA Gabriela, 2018

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

En el programa de simulación se debe ingresar las especificaciones del Filtro, así como: Orden 9, fp (1) de 4 GHz, fp (2) de 7 GHz, frecuencia central (fo) de 5.5GHz, el ancho de banda de 3 GHz y una impedancia de 50 Ω . Ver Figura 19-2.

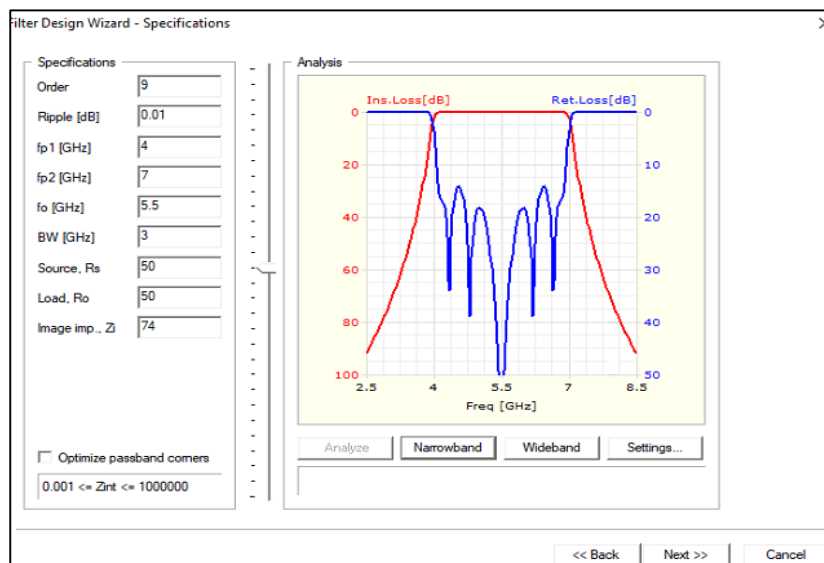


Figura 19-2: Especificaciones del Filtro de 4 a 7 GHz.

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Se seleccionó un Filtro de orden 9 logrando obtener una atenuación de -1.106 dB a la frecuencia deseada, resultados que también se analizaran más detalladamente en el capitulo 3. Como se observa en la Figura 20-2 en el software se debe ingresar las características del material de acuerdo a la tabla 9-1.

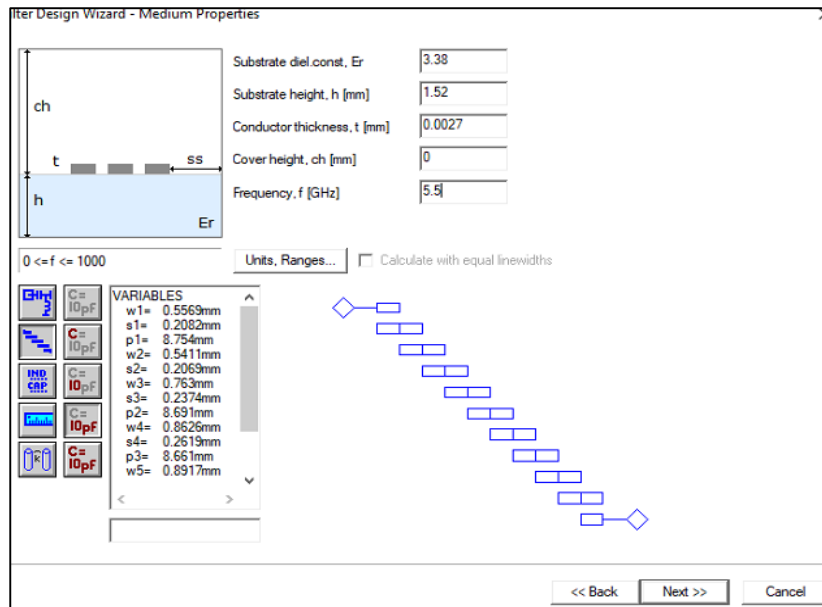


Figura 20-2: Especificaciones del material (tercer diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

La respuesta ideal del tercer diseño obtenido en el software Ansoft se muestra en la Figura 21-2, los resultados son eficientes, y se muestra claramente un Filtro de orden 9.

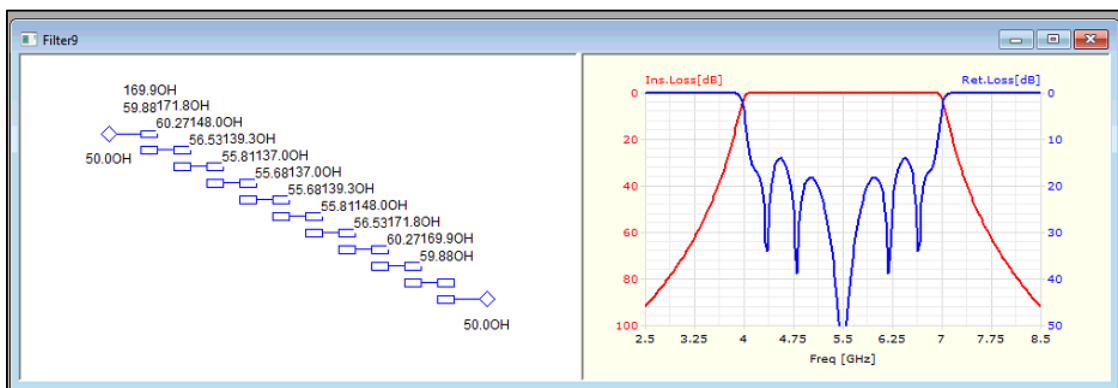



Figura 21-2: Resultado ideal (tercer diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Una vez realizado el diseño del Filtro a frecuencias de 4 a 7 GHz, posteriormente se debe seleccionar el icono  para obtener el Filtro esquemático, como se observa en las Figuras 22-2.

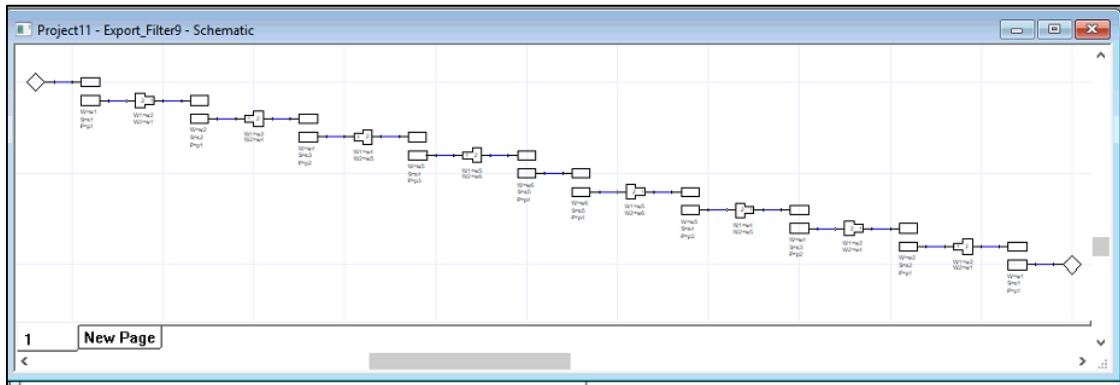



Figura 22-2: Filtro esquemático (tercer diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

El icono  Edit Layout Para permitirá observar el resultado la pista del Filtro a implementarse en el simulador. Ver Figura 23-2.

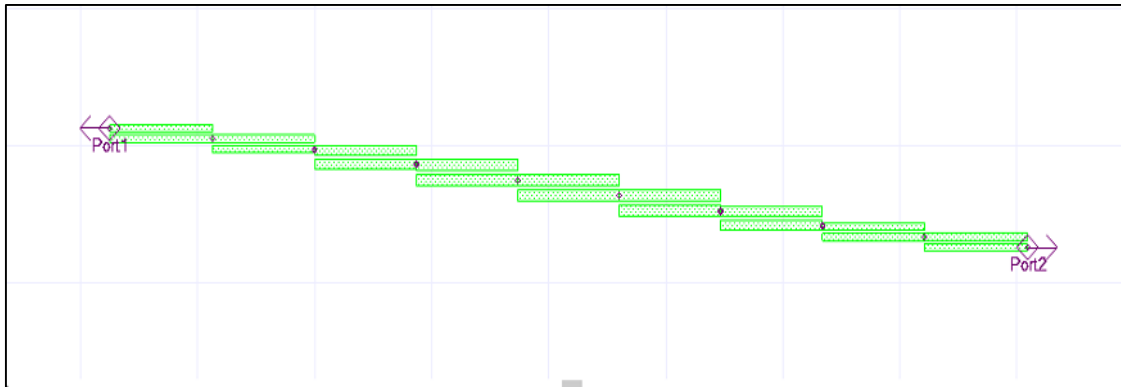


Figura 23-2: Pista del Filtro en Ansoft (tercer diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Al igual que los filtros anteriores finalmente se guarda, se elige la capa de diseño y se exporta la pista diseñada directamente a AutoCAD, generando un archivo con extensión pdf, el resultado se observa en la Figura 24-2.

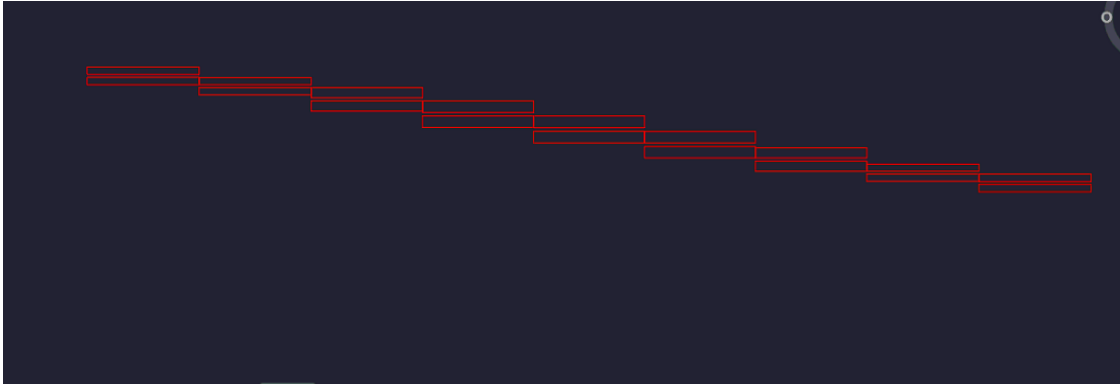


Figura 24-2: Resultado final del Filtro en AutoCAD (tercer diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Como se observa en la Figura 25-2 este tercer diseño será impreso y ajustado en el Roger - **RO4003CTM** para posteriormente soldarlos en los puertos E/S con los son los conectores SMA hembra para PBC, obteniendo así el resultado final del Filtro que opera de 4 a 7GHz.

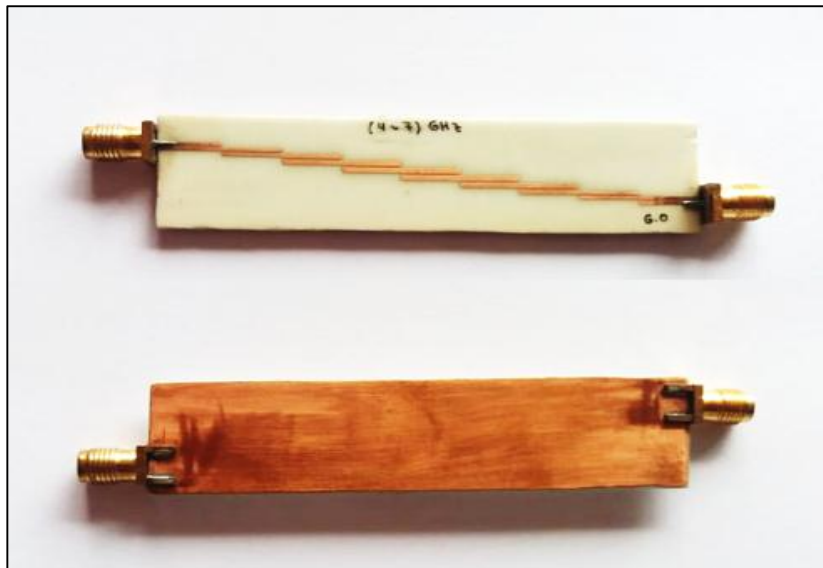


Figura 25-2: Implementación del Filtro de 4 a 7 GHz.

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

2.2.1.4. Filtro de 7 a 9 GHz

Siguiendo el mismo procedimiento de diseño en el programa de simulación se debe ingresar las especificaciones del Filtro, es decir: Orden 9, fp (1) de 7 GHz, fp (2) de 9 GHz, frecuencia central (fo) de 8 GHz, el ancho de banda de 2GHz y una impedancia de 50 Ω . Ver Figura 26-2.

En la tabla 5-2 se puede observar las especificaciones frecuenciales del cuarto Filtro a diseñar.

Tabla 5-2: Filtro de 4 a 7 GHz

ESPECIFICACIONES DEL FILTRO DE 7 A 9 GHz	
Tipo de Filtro	Pasa Banda
Tipo de Respuesta	Chebyshev
Frecuencia Central	8 GHz
Orden	9
Ancho de Banda	2 GHz
Impedancia de E/S	50 Ω

Realizado por: ORTEGA Gabriela, 2018

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

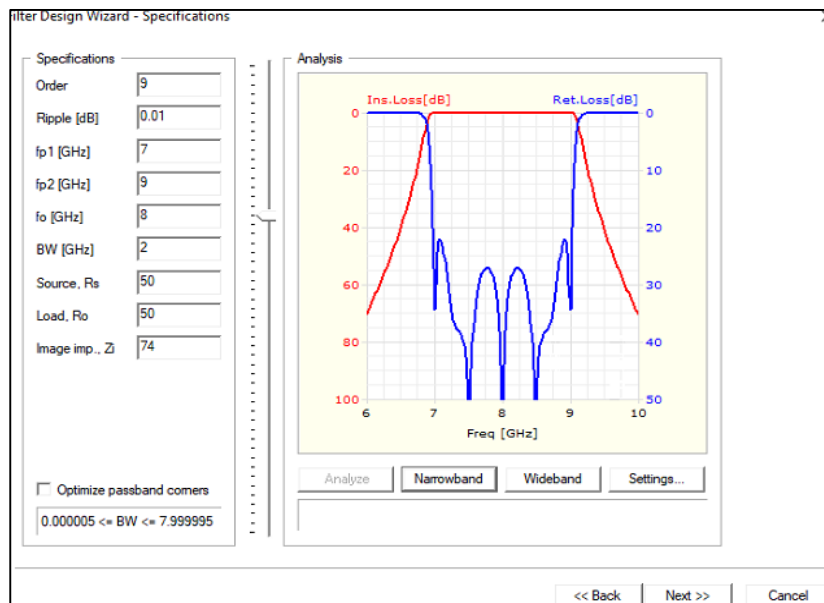


Figura 26-2: Especificaciones del Filtro de 7 a 9 GHz.

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Se seleccionó un Filtro de orden 9 logrando obtener una atenuación de -4.564 a la frecuencia deseada, resultados que también se analizarán más detalladamente en el capítulo 3. Como se observa en la Figura 27-2 en el software Ansoft se debe ingresar las características y especificaciones del material de acuerdo a la tabla 2-2.

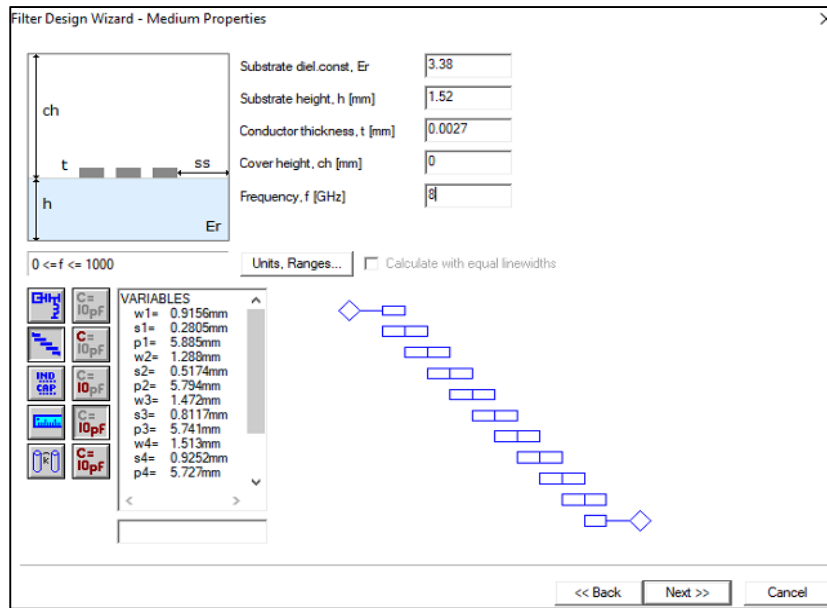



Figura 27-2: Especificaciones del material (cuarto diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

La respuesta ideal del cuarto diseño se muestra en la Figura 28-2, posteriormente en la barra de herramientas se debe seleccionar el icono  para obtener el Filtro esquemático, como se observa en la Figura 29-2.

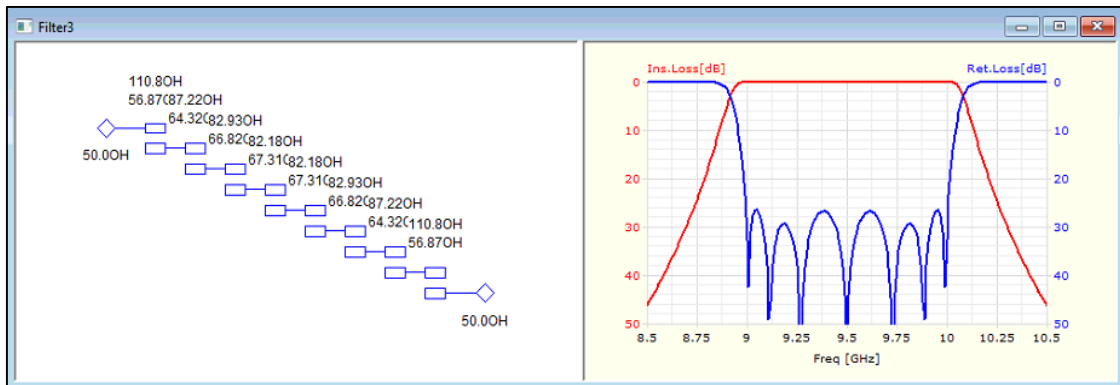


Figura 28-2: Resultado ideal (cuarto diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Como se observa en la Figura 30-2 este cuarto diseño exportado de AutoCAD es impreso y ajustado en el Roger - **RO4003C**TM para posteriormente soldarlos en los puertos E/S con los son los conectores SMA hembra para PBC, obteniendo así el resultado final prototipo del Filtro que opera de 7 a 9 GHz. Ver Figura 31-2.

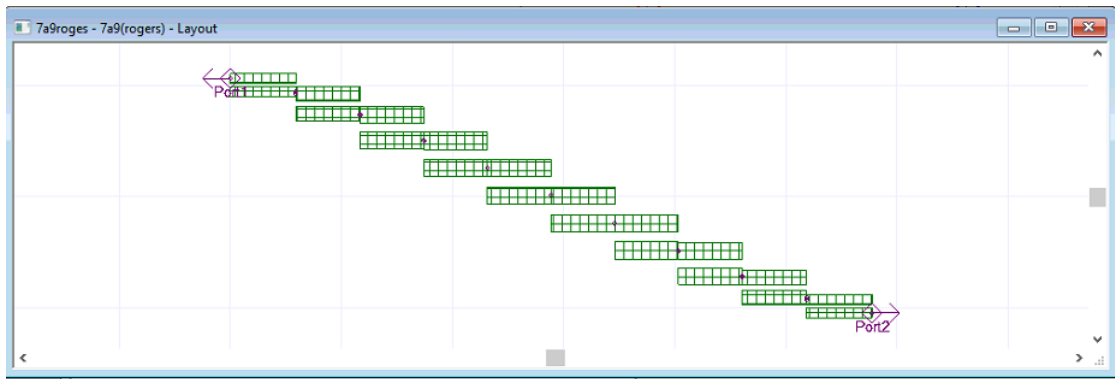


Figura 29-2: Resultado ideal (cuarto diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

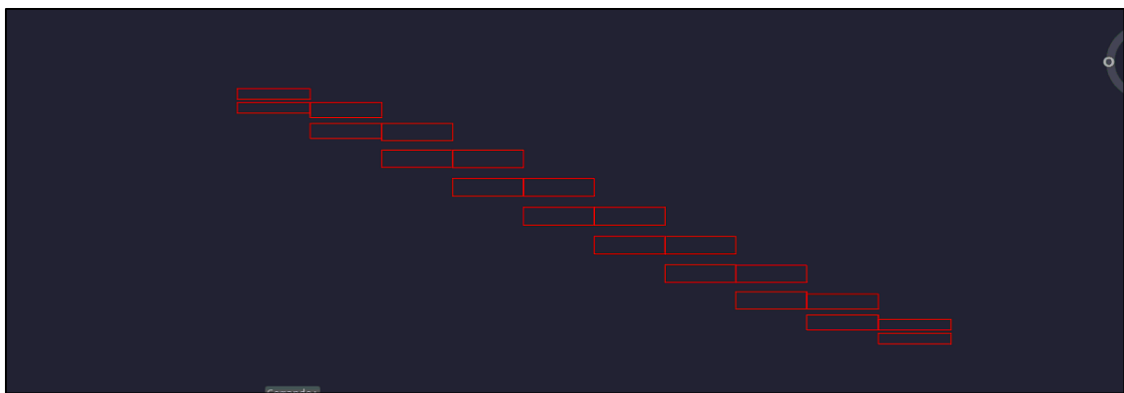


Figura 30-2: Resultado final del Filtro en AutoCAD (cuarto diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

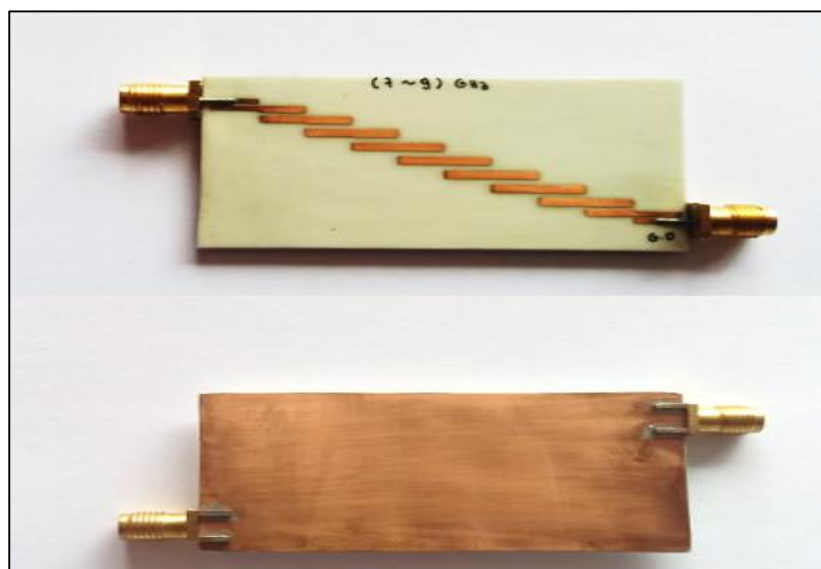


Figura 31-2: Implementación del Filtro de 7 a 9 GHz.

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

2.2.1.5. Filtro de 8,5 a 9,4 GHz

En la tabla 6-2 se puede observar las especificaciones frecuenciales del quinto Filtro a diseñar,

Tabla 6-2: Filtro de 4 a 7 GHz

ESPECIFICACIONES DEL FILTRO DE 8,5 A 9,4 GHz	
Tipo de Filtro	Pasa Banda
Tipo de Respuesta	Chebyshev
Frecuencia Central	9,10 GHz
Orden	9
Ancho de Banda	0,6 GHz
Impedancia de E/S	50 Ω

Realizado por: ORTEGA Gabriela, 2018

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

De igual manera siguiendo el mismo procedimiento de diseño en el programa de simulación se debe ingresar las especificaciones del Filtro, es decir: Orden 9, fp (1) de 8,5 GHz, fp (2) de 9,4 GHz, frecuencia central (fo) de 9,10 GHz, el ancho de banda de 0,6 GHz y una impedancia de 50 Ω . Ver Figura 32-2.

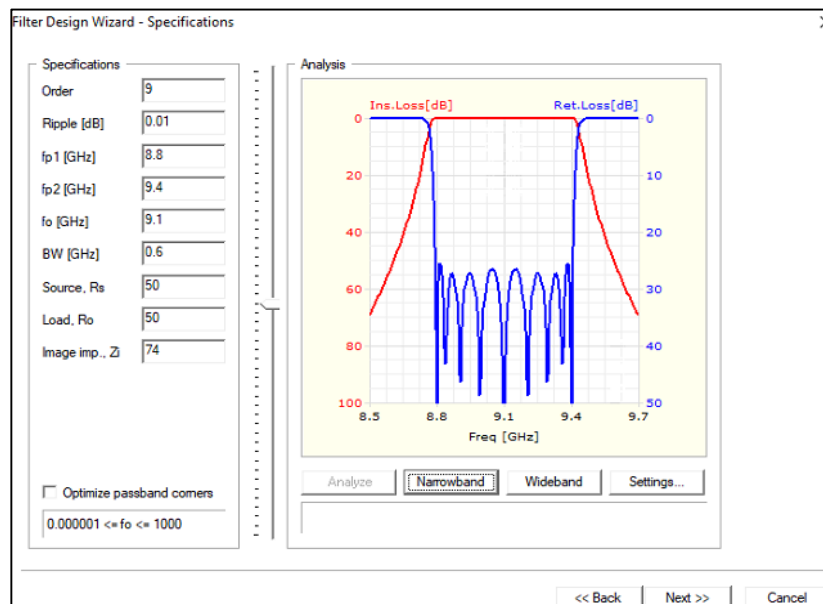


Figura 32-2: Especificaciones del Filtro de 8,5 a 9,4 GHz.

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Se seleccionó un Filtro de orden 9 logrando obtener una atenuación de -12.27 a la frecuencia deseada.

Como se observa en la Figura 33-2 en el software Ansoft igualmente se debe ingresar las características y especificaciones del material Roger de acuerdo a la tabla 2-2.

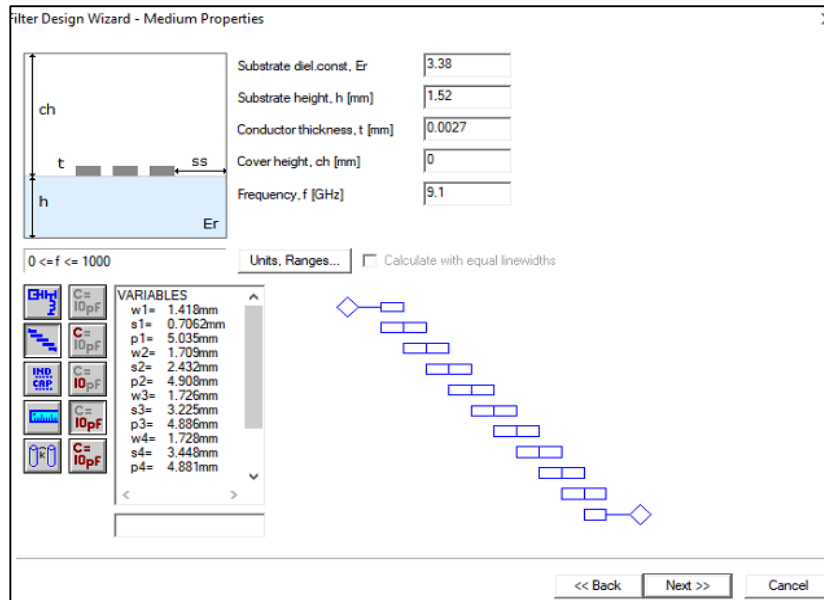



Figura 33-2: Especificaciones del material (quinto diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

La respuesta ideal del quinto diseño se observa en la Figura 34-2, de igual manera como en los diseños anteriores en la barra de herramientas se debe seleccionar el icono  para obtener el Filtro esquemático, como se observa en la Figura 35-2.

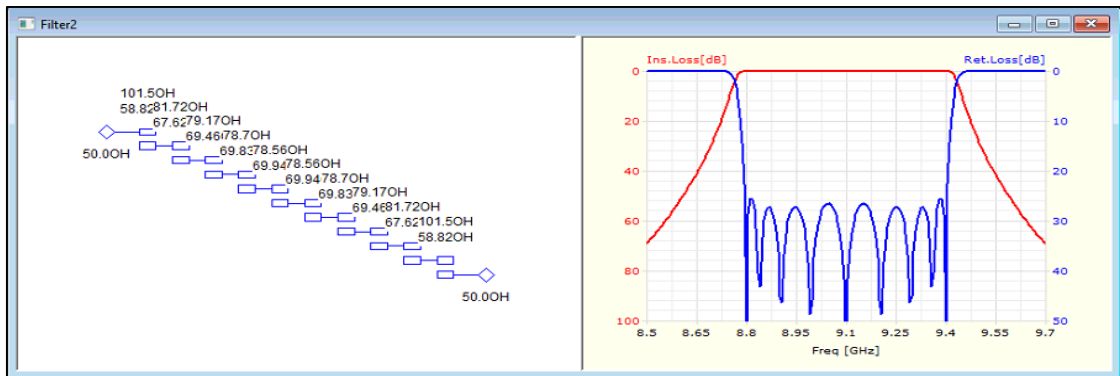


Figura 34-2: Resultado ideal (quinto diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

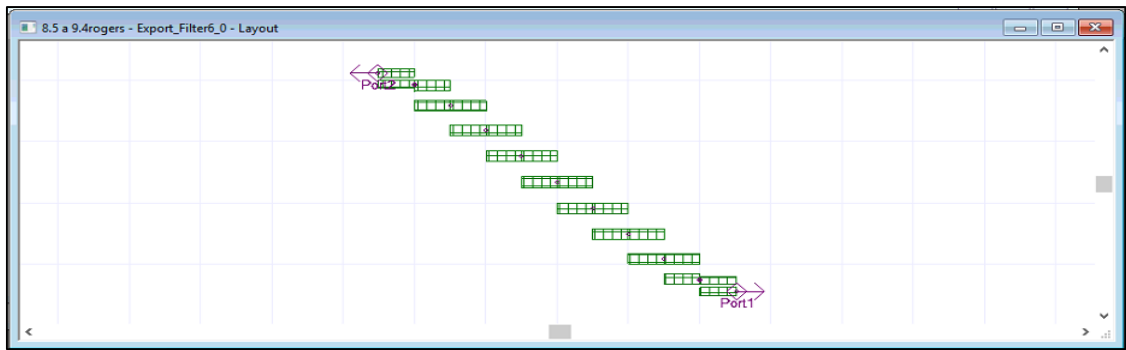


Figura 35-2: Resultado ideal (quinto diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Posteriormente se guarda, se elige la capa de diseño y se exporta la pista diseñada directamente a AutoCAD, generando un archivo con extensión pdf, el resultado se observa en la Figura 36-2.

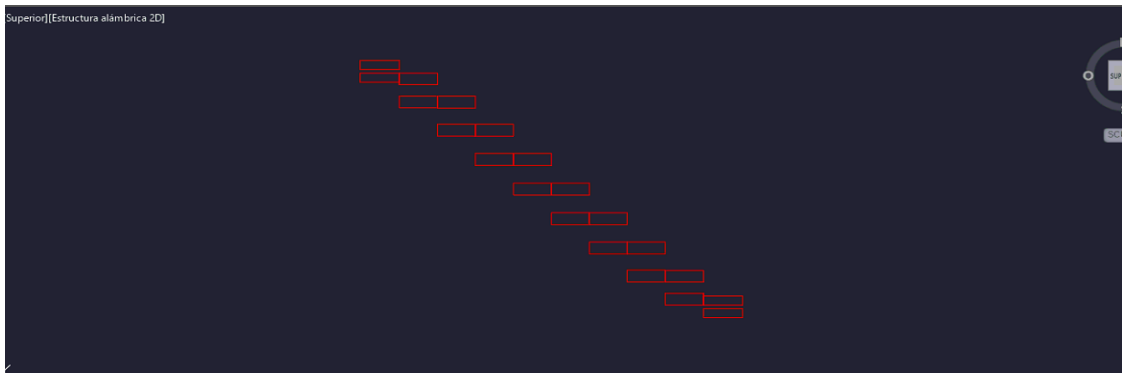


Figura 36-2: Resultado final del Filtro en AutoCAD (tercer diseño)

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018



Figura 37-2: Implementación del Filtro de 8,5 a 9,4 GHz.

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

De igual manera como en los Filtros anteriores este quinto y último diseño es impreso y ajustado en el material **RO4003C™** para obtener así el prototipo usando el químico cloruro férrico y a la vez soldarlos en los puertos E/S con los son los conectores SMA hembra para PBC, obteniendo así el resultado final prototipo del Filtro que opera de 8,5 a 9,4 GHz. Ver Figura 37-2.

2.3. Etapa II - Diseño de las pistas de los Atenuadores

Como se mencionó en el Capítulo anterior la función primordial de los Atenuadores es proteger los equipos de mediación debido a las elevadas potencias que ingresan, causando futuros daños. De acuerdo a esta función se hizo un estudio a fondo de los integrados MMIC que permiten cumplir con estos requerimientos, es decir para este trabajo se utiliza los Atenuadores Lat -10+, Pat -10+ y Yat -10+.

Para la elaboración de sus pistas de igual manera se utilizó el software Ansoft Designer a través de la herramienta Draw Rectangle, permitiendo ingresar variables que se ajuste a cada una de ellas, con diseño en Microstrip. Las pistas se realizaron en base a cada uno de los datasheets de los Atenuadores, realizando unas pequeñas modificaciones, es decir, aumentando variables en la parte negativa ayudando así a una mejor manipulación y en la E/S se alargó la línea de transmisión a 50 ohmios para facilitar la implementación. Cabe mencionar que el procedimiento para el diseño de las pistas son los mismos para los tres Atenuadores, y gracias a este software de simulación solo se realizaron cambios de variables.

A continuación, la Figura 38-2 muestra cada una de las variables que fueron modificadas, para el diseño de las pistas de los Atenuadores.

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only	Hidden
\$a	1.1938	mm	1.1938mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
\$d	1.2954	mm	1.2954mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
\$c	0.6604	mm	0.6604mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
\$b	0.889	mm	0.889mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
\$e	0.9144	mm	0.9144mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
\$f	1.016	mm	1.016mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
\$h	3.575	mm	3.575mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
\$i	3	mm	3mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
\$g	10	mm	10mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
\$j	6	mm	6mm		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 38-2: Variables de las pistas de los Atenuadores.

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

2.3.1. Atenuador Lat -10+

A continuación, en la Figura 39-2 la pista final que se obtuvo como resultado en el software de simulación.

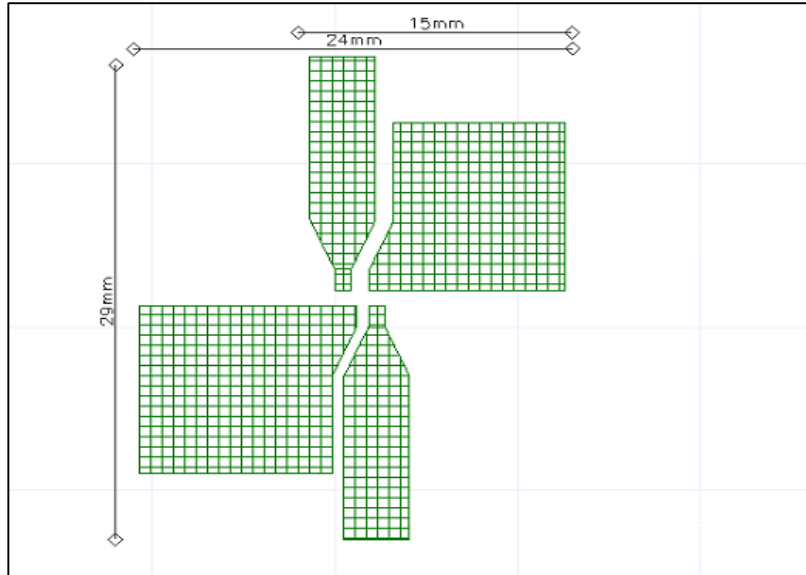


Figura 39-2: Pista Atenuador Lat -10+

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Gracias a este programa de simulación se obtienen las mediadas ideales para posteriormente exportarlas a AutoCAD, imprimirlas, ajustarlas al material **RO4003C™**, soldarlas con los integrados MMIC y los conectores SMA obteniendo, así como resultado la implementación final mostrada en la Figura 40-2.

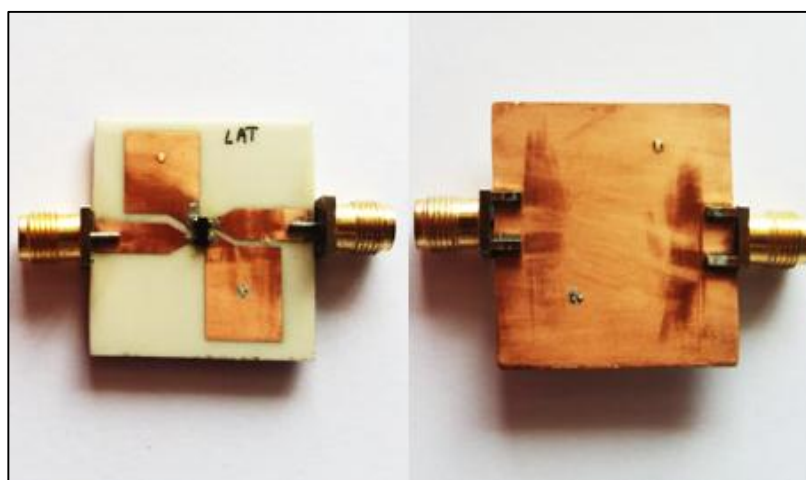


Figura 40-2: Implementación del Atenuador Lat -10+

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

2.3.2. Atenuador Pat -10+

En la Figura 41-2 se observa la pista final que se obtuvo como resultado en el software de simulación, modificando cada una de las variables que se mencionó anteriormente.

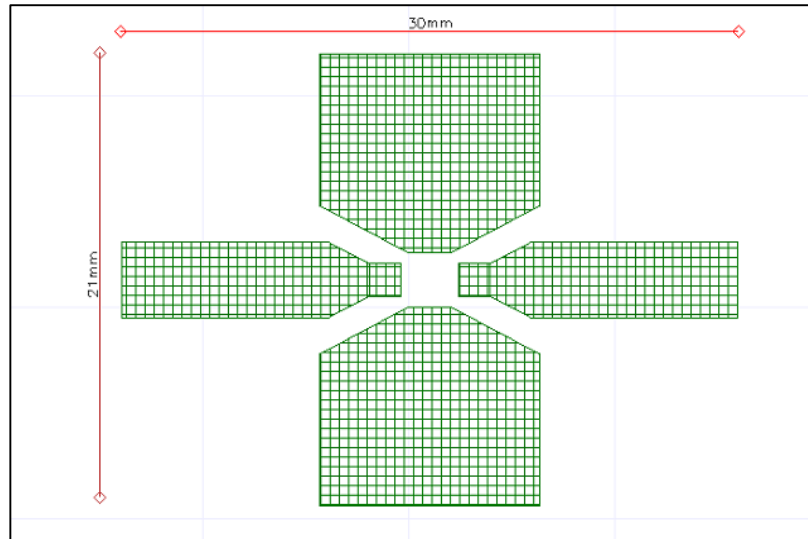


Figura41-2: Pista Atenuador Pat -10+

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

De igual forma que en atenuador Lat -10+ con el programa de simulación se obtienen las mediadas ideales para posteriormente exportarlas a AutoCAD, imprimirlas, ajustarlas al material **RO4003C™**, soldarlas con los integrados MMIC y los conectores SMA obteniendo, así como resultado la implementación final mostrada en la Figura 42-2.

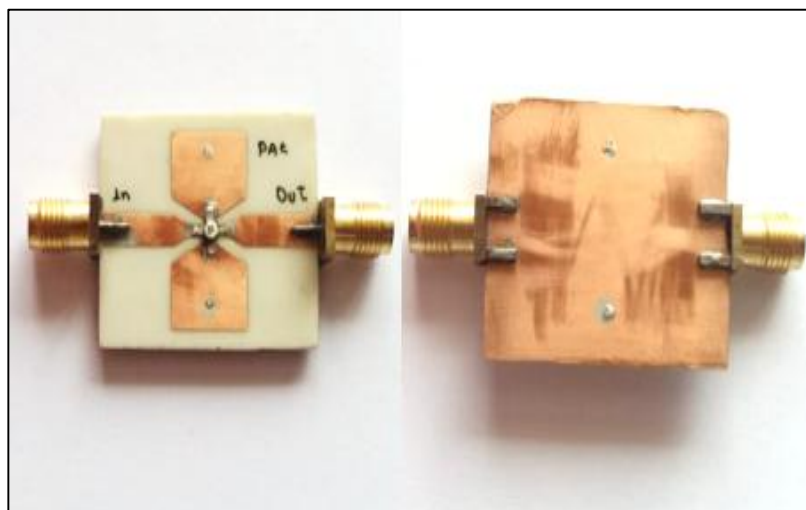


Figura 42-2: Implementación del Atenuador Pat -10+

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

2.3.3. Atenuador Yat -10+

En la Figura 43-2 se observa la pista final que se obtuvo como resultado en el software de simulación, modificando cada una de las variables que se mencionó anteriormente.

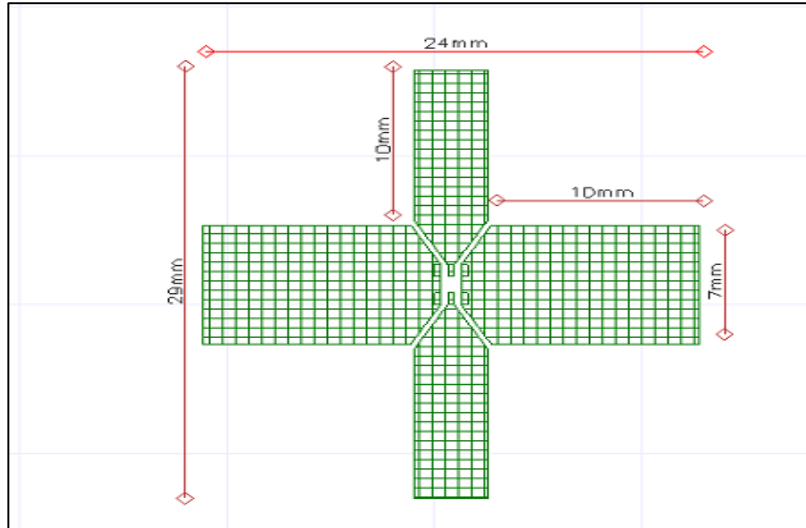


Figura 43-2: Pista Atenuador Yat -10+

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Con el programa de simulación se obtienen las mediditas ideales para posteriormente exportarlas a AutoCAD, imprimirlas, ajustarlas al material **RO4003C™**, soldarlas con los integrados MMIC y los conectores SMA obteniendo, así como resultado la implementación final mostrada en la Figura 44-2.

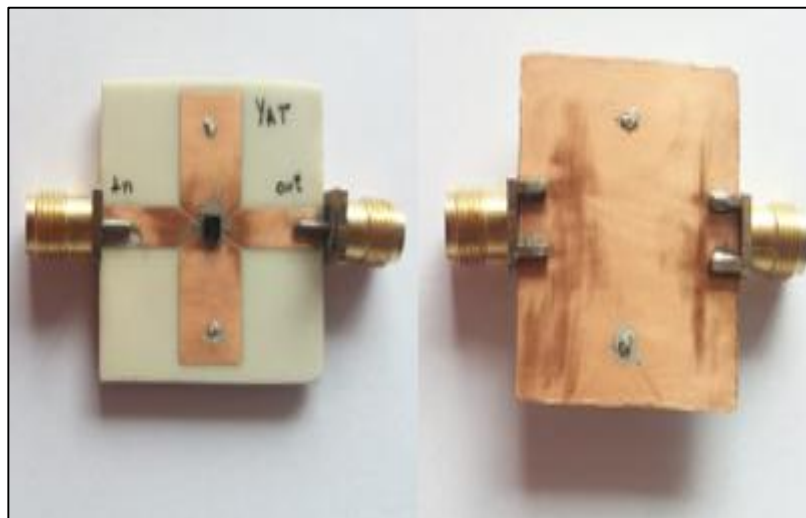


Figura 44-2: Implementación Atenuador Yat -10+

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

CAPÍTULO III

3. ANALISIS Y RESULTADOS

3.1. Introducción

En el presente capítulo se detalla los resultados del set constituidos por cinco Filtros pasa banda que operan a frecuencias desde 1 a 10 GHz y tres Atenuadores con tecnología MMIC. Se realiza un análisis comparativo entre graficas de filtros ideales del simulador Ansoft a través del software de Matlab que crea la señal mediante un conjunto de datos obtenidos de las pruebas a diferentes frecuencias, con mediciones reales, proceso en el cual se utiliza como Transmisor el Generador de Señales Anritsu MG3692C que opera de 0- 20 GHz y como Receptor el Analizador de Espectros Anritsu MS2724C que opera de 9KHz-20GHz.

Con respecto a los Atenuadores PAT+10-, LAT+10- , YAT+10-, de igual manera se realiza las pruebas respectivas con los equipos de Tx y Rx, obteniendo como resultado el análisis de las variaciones de respuesta en frecuencia, para los filtros y atenuadores, estas pruebas se realizaron en la Facultad de Informática y Electrónica.

Mediante el esquema que se muestra en la figura 1-3 se observa las fases de pruebas de calibración que se realiza para obtener el nivel de referencia que se está recibiendo en el analizador, y la esquematización de las mediciones con los diferentes componentes.



Figura 1-3: Esquema de la fase de pruebas

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

3.2. Resultados de los filtros a altas frecuencias

A continuación, se observa los resultados obtenidos del software de simulación Ansoft Designer en caso ideal y la respuesta en frecuencia, ganancia obtenida del Analizador de Espectros con saltos de 0.1 GHz. Para comparar ambos casos se utilizó las herramientas que ofrece Matlab.

Cabe mencionar que para realizar sus mediciones respectivas es necesario manipular elementos auxiliares como los cables SMA machos ya que estos no forman parte de diseño.

3.2.1. Resultado del Filtro de 1 a 2GHz

En la Figura 2-3 se puede observar el filtro implementado, está conectado al generador de señales como transmisor, al filtro de rango de 1 a 2 GHz y conectado al generador de señales como receptor, utilizando los cables SMA que permite hacer las conexiones necesarias, realizar las pruebas pertinentes y obtener una tabla de resultados en relación a la frecuencia y ganancia.



Figura 2-3: Tx – Filtro Pasa banda 1 a 2 GHz - Rx

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

En la figura 3-3 se observa se observa la representación gráfica del filtro simulado y las mediciones del filtro implementado, la gráfica A) muestra la simulación ideal del filtro diseñado con un rango de trabajo de 1-2 GHz, ancho de banda de 1GHz, se interpreta la gráfica B) como los resultados de las mediciones del filtro de 1 – 2 GHz en cual tiene una ligera variación con respecto a la gráfica A) ya que su rango de operación disminuyo a 1.1-1.9 GHz, ancho de banda

de 0.8 GHz, considerando pérdidas externas y de implementación se obtuvo un filtro de buena calidad para altas frecuencias.

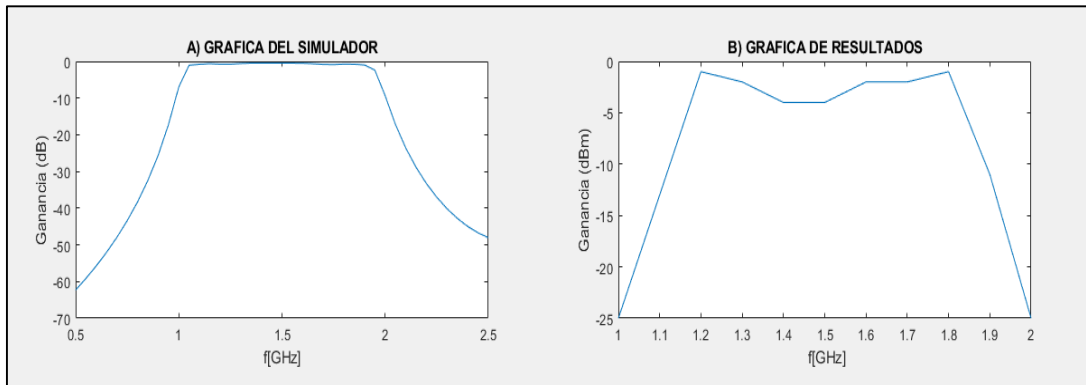


Figura 3-3: Resultados del Filtro Pasa banda de 1 a 2 GHz

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

3.2.2. Resultado del Filtro de 2 a 4 GHz

En la Figura 4-3 se puede observar el filtro implementado, está conectado al generador de señales como transmisor, al filtro de rango de 2 a 4 GHz y conectado al generador de señales como receptor, utilizando los cables SMA que permite hacer las conexiones necesarias, realizar las pruebas pertinentes y de igual forma obtener una tabla de resultados en relación a la frecuencia y ganancia.



Figura 4-3: Tx – Filtro Pasa banda 2 a 4 GHz - Rx

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

En la figura 5-3 se observa la representación gráfica del filtro simulado y las mediciones del filtro implementado, la gráfica A) muestra la simulación ideal del filtro diseñado con un rango de

trabajo de 2-4 GHz, ancho de banda de 2GHz, se interpreta la gráfica B) como los resultados de las mediciones del filtro de 2 – 4 GHz en cual tiene una ligera variación con respecto a la gráfica A) ya que su rango de operación disminuyo a 2.1-3.9 GHz, ancho de banda de 1.8 GHz, considerando perdidas externas y de implementación se obtuvo un filtro de buena calidad para altas frecuencias.

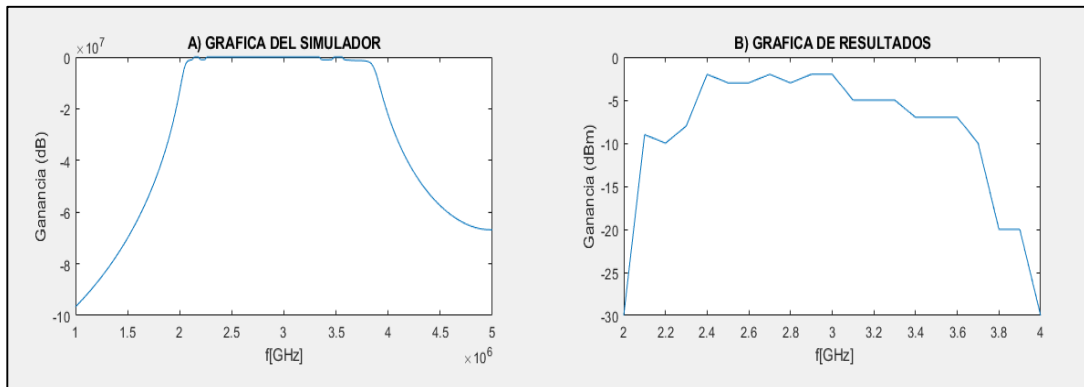


Figura 5-3: Resultados del Filtro Pasa banda de 2 a 4 GHz

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

3.2.3. Resultado del Filtro de 4 a 7 GHz

En la Figura 6-3 se puede observar el filtro implementado, está conectado al generador de señales como transmisor, al filtro de rango de 4 a 7 GHz y conectado al generador de señales como receptor, utilizando los cables SMA que permite hacer las conexiones necesarias, realizar las pruebas pertinentes y obtener una tabla de resultados en relación a la frecuencia y ganancia.



Figura 6-3: Tx – Filtro Pasa banda 4 a 7 GHz - Rx

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

En la figura 7-3 se observa la representación gráfica del filtro simulado y las mediciones del mismo implementado, la gráfica A) muestra la simulación ideal del filtro diseñado con un rango de operación de 4-7 GHz, ancho de banda de 3GHz, se interpreta la gráfica B) como los resultados de las mediciones del filtro de 4 – 7 GHz la cual presenta una diferencia con respecto a la gráfica A) ya que su rango de operación disminuyo a 3.6 - 6.6 GHz, ancho de banda es de 3 GHz, a diferencia de su frecuencias de operación se verifica que su ancho de banda no vario, considerando perdidas externas y de implementación se obtuvo un filtro de buena calidad para altas frecuencias.

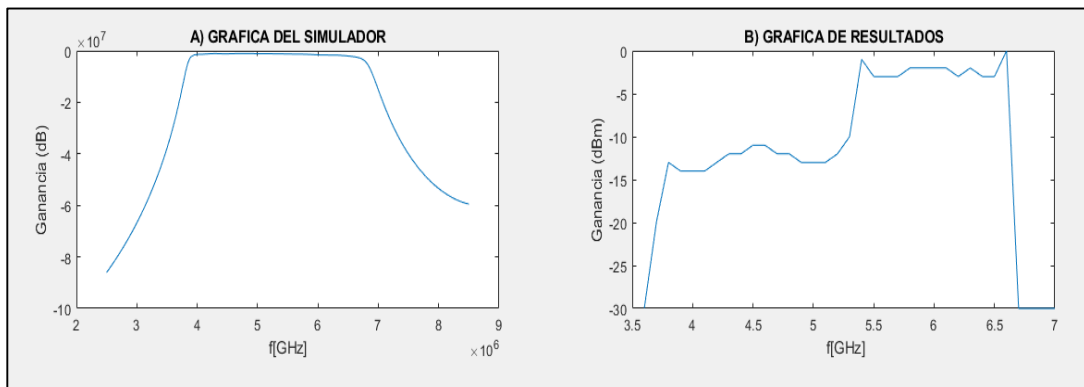


Figura 7-3: Resultados del Filtro Pasa banda de 4 a 7 GHz

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

3.2.4. Resultado del Filtro de 7 a 9 GHz

En la Figura 8-3 se puede observar el filtro implementado, está conectado al generador de señales como transmisor, al filtro de rango de 7 a 9 GHz y conectado al generador de señales como receptor, utilizando los cables SMA que permite hacer las conexiones necesarias, realizar las pruebas pertinentes y obtener una tabla de resultados en relación a la frecuencia y ganancia.



Figura 8-3: Tx – Filtro Pasa banda 7 a 9 GHz - Rx

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

En la figura 9-3 se observa la representación gráfica del filtro simulado y las mediciones del mismo implementado, la gráfica A) Muestra la simulación ideal del filtro diseñado con un rango de trabajo de 7-9 GHz, ancho de banda de 2GHz, se interpreta la gráfica B) como los resultados de las mediciones del filtro de 7 – 9 GHz la cual tiene diferencias la gráfica A) ya que su rango de operación disminuyo a 6.4 - 8.6 GHz, ancho de banda de 2.2 GHz, considerando perdidas externas y de implementación se obtuvo un filtro de buena calidad para altas frecuencias.

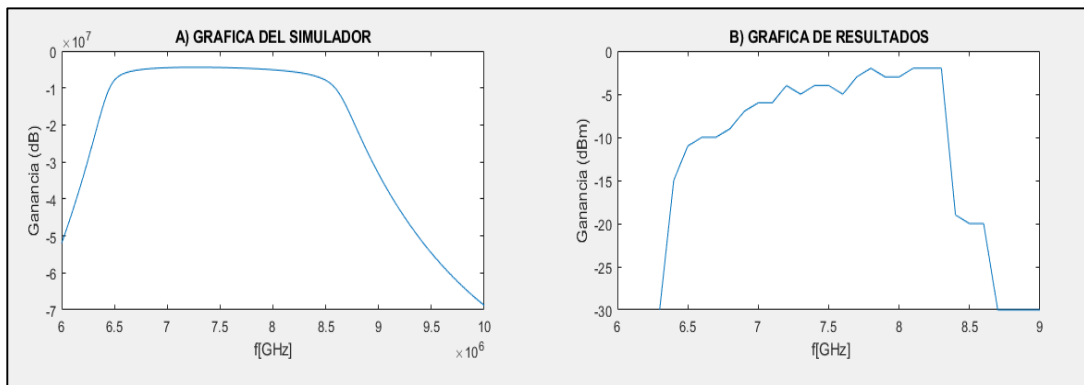


Figura 9-3: Resultados del Filtro Pasa banda de 7 a 9 GHz

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

3.2.5. Resultado del Filtro de 8,5 a 9,4 GHz

En la Figura 10-3 se puede observar el filtro implementado, está conectado al Tx y Rx, conectado y al filtro de rango de 8,5 a 9,4 GHz, utilizando los cables SMA que permite obtener una tabla de resultados en relación a la frecuencia y ganancia.



Figura 10-3: Tx – Filtro Pasa banda 8,5 a 9,4 GHz - Rx

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

En la figura 11-3 se observa la representación gráfica del filtro simulado y las mediciones del mismo implementado, la gráfica A) muestra la simulación ideal del filtro diseñado con un rango

de trabajo de 8.5 - 9.4 GHz, ancho de banda de 0.9 GHz, se interpreta la gráfica B) como los resultados de las mediciones del filtro de 8.5-9.4 GHz la cual tiene diferencias a la gráfica A) ya que su rango de operación disminuyó a 6.4 - 8.6 GHz, ancho de banda de 2.2 GHz, considerando que su ancho de banda superó al filtro ideal, además de pérdidas externas y de implementación se obtuvo un filtro de buena calidad para altas frecuencias.

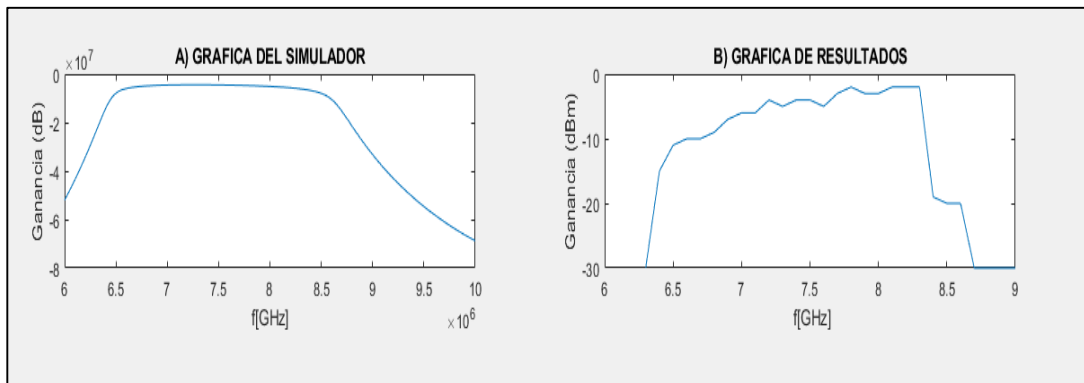


Figura 11-3: Resultados del Filtro Pasa banda de 8,5 a 9,4 GHz

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

3.3. Resultados de los Atenuadores

Como se mencionó anteriormente para realizar el análisis comparativo entre los atenuadores se utilizará las hojas Técnicas o Datasheet de cada elemento y las mediciones reales o respuesta en frecuencia obtenida del Analizador de Espectros.

3.3.1. Resultado del Atenuador Lat -10+

En la Figura 12-3 se puede observar la implementación final, que está conectado al generador de señales como transmisor, al Atenuador Lat -10+ y conectado al generador de señales como receptor, utilizando los cables SMA que permite hacer las conexiones necesarias, realizar las pruebas pertinentes y obtener una tabla de resultados en relación a la frecuencia y atenuación.

Con la ayuda de las herramientas de Matlab se muestra el resultado de las mediciones realizadas este tipo atenuador, se analizó en un rango de frecuencias de 1 a 10 GHz, obteniendo una atenuación de 10 dB, en la Figura 13-3 se observa el rango de 1 a 2.5GHz debido que la banda de

operación de este atenuador es de 0 a 2.5 GHz, de tal manera que la atenuación aumenta considerablemente en los demás puntos analizados.

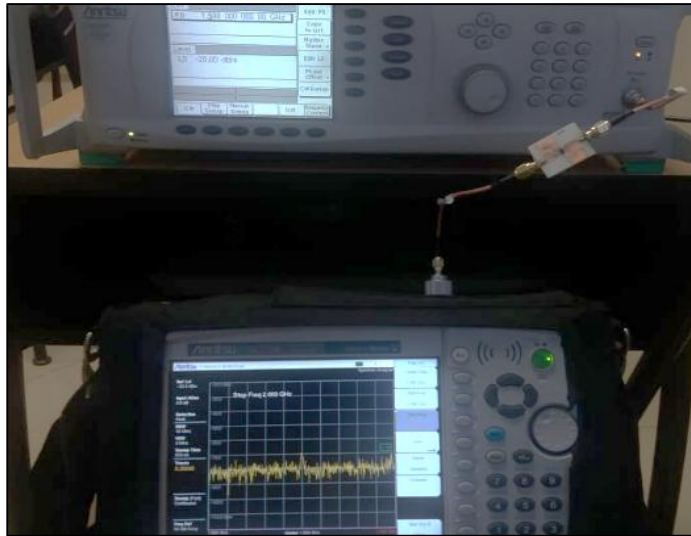


Figura 12-3: Tx – Atenuador Lat -10+ y Rx

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

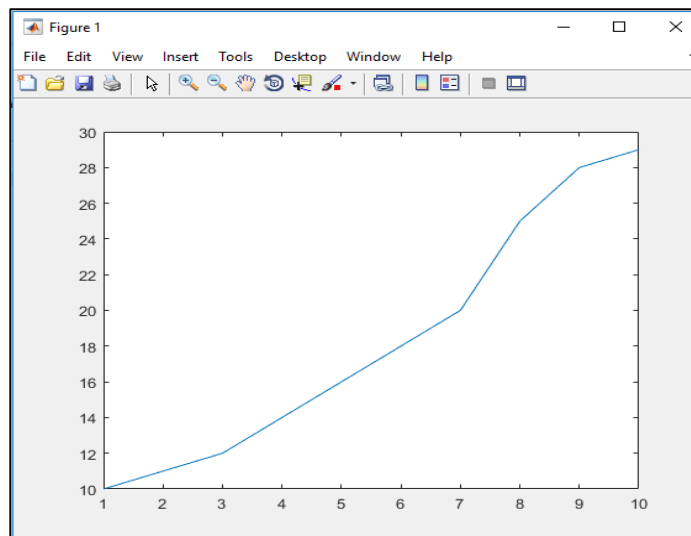


Figura 13-3: Respuesta obtenida del Atenuador Lat -10+

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

3.3.2. Resultado del Atenuador Pat -10+

En la Figura 14-3 se puede observar la implementación final, que está conectado al generador de señales como transmisor, al Atenuador Pat -10+ y conectado al generador de señales como

receptor, utilizando los cables SMA que permite hacer las conexiones necesarias, realizar las pruebas pertinentes y obtener una tabla de resultados en relación a la frecuencia y atenuación.

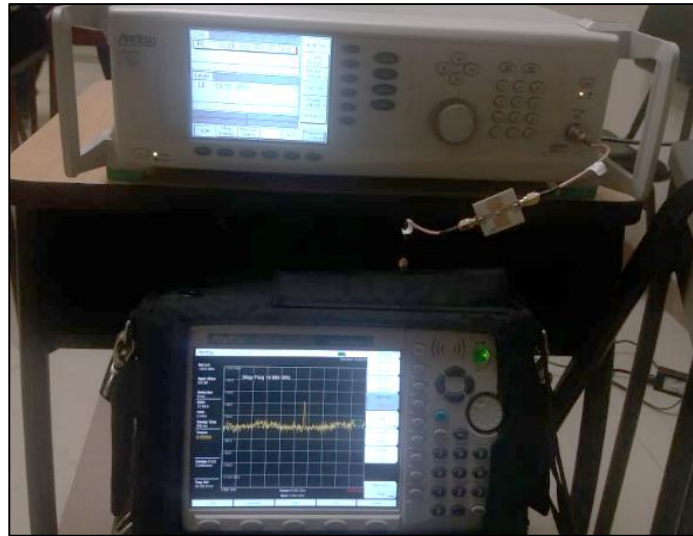


Figura 14-3: Tx – Atenuador Pat -10+ y Rx

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

De igual manera con la ayuda de las herramientas de Matlab se muestra el resultado de las mediciones realizadas a este tipo atenuador, se analizó en un rango de frecuencias de 1 a 10 GHz, obteniendo una atenuación de 10 dB, en la Figura 15-3 se observa el rango de 2 a 3 GHz debido que la banda de operación de este atenuador es de 0 a 7 GHz, de tal manera que la atenuación aumenta considerablemente en los demás puntos analizados.

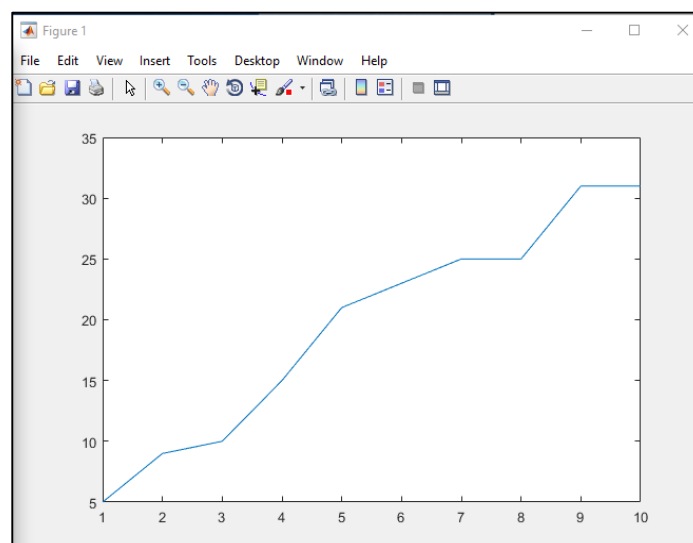


Figura 15-3: Respuesta obtenida del Atenuador Pat -10+

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

3.3.3. Resultado del Atenuador Yat -10+

En la Figura 16-3 se puede observar la implementación final, que está conectado al generador de señales como transmisor, al Atenuador Yat -10+ y conectado al generador de señales como receptor, utilizando los cables SMA que permite hacer las conexiones necesarias, realizar las pruebas pertinentes y obtener una tabla de resultados en relación a la frecuencia y atenuación.



Figura 16-3: Tx – Atenuador Yat -10+ y Rx

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

Con la ayuda de las herramientas de Matlab se muestra el resultado de las mediciones realizadas este tipo atenuador, se analizó en un rango de frecuencias de 1 a 10 GHz, obteniendo una atenuación de 10 dB, en la Figura 17-3 se observa el rango de 1 a 2 GHz debido que la banda de operación de este atenuador es de 0 a 18 GHz, de tal manera que la atenuación aumenta considerablemente en los demás puntos analizados.

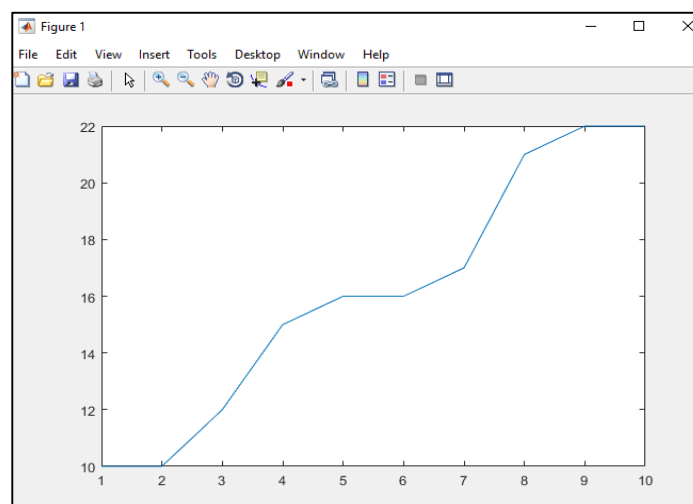


Figura 17-3: Respuesta obtenida del Atenuador Pat -10+

Fuente: ORTEGA Gabriela, 2018

CONCLUSIONES

Previa investigación se logró diseñar e implementar un set de atenuadores y filtros de alta frecuencia en el rango de 1Ghz – 10Ghz, utilizando la tecnología Microstrip y MMIC, el mismo que podrá ser utilizado en el laboratorio de comunicaciones y microondas de la FIE-ESPOCH.

El software Ansoft Designer fue de vital importancia en el diseño y simulación de los filtros y atenuadores al proporcionar las herramientas necesarias y brindar al usuario un entorno amigable el cual permitió optimizar tiempo en la realización del diseño.

El set diseñado e implementado CONSTA DE CINCO Filtros paso banda Chebyshev cuyo rango de frecuencias respectivas es 1 a 2 GHz , 2 a 4 GHz, 4 a 7 GHz, 7 a 9 GHz, y de 8.5 a 9.4 GHz, y tres atenuadores PAT+10-, LAT+10- y YAT+10, cada SET consta de 5 elementos teniendo un total de 25 filtros y 15 atenuadores los cuales permitirán proteger los equipos de trabajo del laboratorio de comunicaciones y microondas así como también proporcionara a los docentes y estudiantes de la FIE una valiosa herramienta de estudio inexistente hasta la presentación de este documento.

La principal dificultad de Los componentes MMIC es su implementación debido a que tienen una arquitectura muy milimétrica en el caso particular de los atenuadores al ser sus pistas muy milimétricas se modificó la parte negativa de estas, por ende, sus líneas de transmisión, las cuales se diseñaron a 50 ohmios para facilitar la ubicación del conector SMA.

Una de las particularidades más importantes para el diseño de Filtros y atenuadores a altas frecuencias es seleccionar adecuadamente el tipo de material, por tal motivo los Filtros serán construidos en Roger – RO4003CTM, de manera que se pueda llegar al rango de frecuencias establecidas anteriormente y obtener resultados con menores pérdidas posibles y constantes dieléctrica homogéneas.

En la fase de pruebas de las placas de los filtros se determinó que presentan una variación mínima en el ancho de banda del filtro simulado con respecto al implementado, obteniendo una variación de 0.2 GHz en el ancho de banda únicamente en los filtros de 1-2Ghz , 2-4Ghz y 7-9 GHz, lo cual no es un factor de riesgo en la utilización de los mismos, en el filtro de 4-7Ghz, no se tiene variación en el ancho de banda, sin embargo en el filtro con rango 8.5-9.4Ghz la variación presentada es de 1.3 GHz debido a que el material Roger – RO4003CTM trabaja hasta frecuencias de 8.6 GHz, con lo que se puede concluir que los filtros implementados tienen buena

calidad para altas frecuencias ya que el rango de operación se acerca de manera significativa al rango establecido para la simulación.

Los atenuadores PAT y YAT presentan un incremento en la variación de la atenuación de 0.02 a partir de los 3Ghz, lo cual es un factor favorable en la utilización de estos, al contrario del atenuador LAT el cual tiene una atenuación de 10 dB operando así dentro de los parámetros establecidos con lo cual garantiza su adecuado funcionamiento.

RECOMENDACIONES

En cuanto al diseño de los filtros es recomendable considerar el orden en el que se los generara para poder adquirir el material Rogers del tamaño adecuado para su implementación.

En el intervalo de frecuencia de 1 a 10 GHz se debe tomar en cuenta que la descripción del material puede tener pérdidas adicionales, por lo cual se debe procurar pérdidas mínimas que no alteren el funcionamiento de los dispositivos.

Al modificar las pistas de los atenuadores se debe considerar que esto variará el resultado final, debido a que se modificará tanto la entrada como la salida de la señal, sabiendo que esto añade perturbaciones a las pistas implementadas.

Para obtener resultados mucho más similares a los de la simulación se debe utilizar otro método para el traspaso del diseño al Rogers, como podría ser utilizando una maquina CNC.

Para futuras investigaciones es recomendable emplear diversas versiones de ROGGER, que procuren reducir el índice de variación en los resultados finales.

BIBLIOGRAFIA

- ❖ **Alvarado, Roger.** *Atenuador Pi*. [En línea]. Loja, 07 de diciembre del 2015. 25 Medidas de la página [Consulta: 2 de abril de 2018.]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/292516477/Atenuador-PI>.
- ❖ **Ansoft Corporation.** *Getting Started with Ansoft Designer* [En línea]. 8 de septiembre del 2003. 2 Medidas de la página. [Consulta: 12 de abril de 2018.]. Disponible en: <http://bbs.hwrf.com.cn/downrf/Ansoft%20Designer%E6%95%99%E7%A8%8B.pdf>.
- ❖ **Bibing.** *Simulación de circuitos no lineales de microondas mediante balance armónico*. [En línea]. 14 de octubre de 2017. [Consulta: 18 de abril de 2018.]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11196/fichero/Volumen+I%252FCapitulo2>.
- ❖ **Cabrera Peña, José.** *Filtros Activos*. [En línea]. mayo de 2016. [Consulta el: 18 de abril de 2018.]. Disponible en: http://www.academia.edu/13005499/Filtros_Activos_Teor%C3%ADa_Autor_Jos%C3%A9_Cabrera_Pe%C3%B1a.
- ❖ **Conexcon.** *Familia SMA*. [En línea]. abril de 2016. [Consulta el: 1 de junio de 2018.]. Disponible en: <https://www.cenval.es/conectores/conexcon%20PDF%20bis/02800>.
- ❖ **Copro.** *Microstrip*. [En línea]. julio de 2017. [Consulta el: 10 de abril de 2018.] Disponible en: <http://copro.com.ar/Microstrip.html>.
- ❖ **EEWeb.** *Microstrip*. [En línea]. 12 de diciembre de 2017. [Consulta el: 5 de abril de 2018.]. Disponible en: <https://www.eeweb.com/tools/microstrip-impedance>.
- ❖ **PASCUAL, Juan Pablo.** “El Diseño de Circuitos Integrados Monolíticos de Microondas (MMIC) en los Estudios del Ingeniero de Telecomunicación de la Universidad de Cantabria”. *IEEE Latin America Transactions*, Pascual, n° 4 (2006), (España) pp. 233-234
- ❖ **Escudero, José Luis.** *Filtros*. [En línea]. agosto de 2014. [Consulta el: 20 de abril de 2018.]. Disponible en: <http://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ANALOGICA/AmplifiOpen>.

- ❖ **FIALLOS, Marco, & VACA, Francisco.** Análisis de un filtro de cavidades acopladas y su implementación a una frecuencia de 2.4 GHz. [En línea] (tesis) Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador. 2015.p.16. [Consulta el: 2 de abril de 2018.]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/600/1/UNACH-EC-IET-2015-0002.pdf>

- ❖ **VESTENICKÝ.** “Frequency Dependence Examination of PCB Material FR4 Relative Permittivity”. *ScienceDirect*. n° 12 (2013), (United State of America) pp. 25-27.

- ❖ **Galeón.** *Filtros de Frecuencia*. [En línea]. 3 de febrero de 2017. [Consulta el: 21 de abril de 2018.]. Disponible en: <http://senales.galeon.com/aficiones1349723.html>.

- ❖ **Linares Mora, Jair Alonzo.** *Semiconductores Orgánicos* [blog]. [Consulta el: 2 de abril de 2018.]. Disponible en: <http://s-organicos-ees.blogspot.com/2010/05/mmic-monolithic-microwave-integrated.html>.

- ❖ **López Espi, Pablo Luis.** *Circuitos Pasivos de Microondas* [En línea]. mayo de 2016. [Consulta el: 2 de junio de 2018.] Disponible en http://agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/it/caf/apuntes/Tema2_2p.

- ❖ **MERLETTI, Gustavo Ariel.** “Circuitos para aplicaciones en Radio Frecuencia y Microondas”. [En línea]. (tesis) (doctoral). Universidad Nacional de San Martín, 2016. p.23. [Consulta el: 25 de mayo de 2018.]. Disponible en: <http://ri.unsam.edu.ar/greenstone/collect/coltesis/index/assoc/HASH0165.dir/TDOC%20ESCYT%202016%20MGA.pdf>

- ❖ **Mini-Circuits.** *Mini-Circuits/ Yat -10 +*. [En línea]. 2018. 12 Medidas de la página. [Consulta el: 19 de marzo de 2018.]. Disponible en: <https://www.minicircuits.com/WebStore/dashboard.html?model=YAT-10%2B>.

- ❖ **Polar.** *Líneas de transmisión de un solo fin*. [En línea]. octubre de 2017. [Consulta el: 16 de mayo de 2018.]. Disponible en: <http://www.polarinstruments.com/products/si/help/surfacemicrostrip.htm>.

- ❖ **REYES, Nicolás.** 2005. Principios de Electrónica para Altas Frecuencias. [En línea]. (tesis) Universidad de Chile, Chile 2005. p.19. [Consulta el: 10 de mayo de 2018.]. Disponible en: https://www.u-cursos.cl/uchile/2004/0/ADI007/1/material_docente/bajar?id_material=58982

- ❖ **RODRÍGUEZ GARCÍA, María.** Diseño de Filtros Pasa Banda en Microondas con Líneas Acopladas. [En línea]. (tesis) Universidad Carlos III, Madrid. 2012. pp. 22-23. [Consulta el: 9 de mayo de 2018.]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/30046715.pdf>

- ❖ **Rogers Corporation.** *General Information of Dielectric Constant for RT/duroid® 6010.2LM and RO3010™ High Frequency Circuit Materials.* [En línea]. octubre de 2017. [Consulta el: 14 de enero de 2018.] Disponible en: <http://www.rogerscorp.de/documents/2379/acs/General-Information-of-Dielectric-Constant-for-RT-duroid-6010-2LM-RO3010-High-Frequency-Circuit-Materials.pdf>.

- ❖ **RUIZ, Aldo.** *Diseño y simulación de atenuador pasivo de potencia a 30dB en AWR Design Environment.* (tesis) UTPL, Loja, 2015 pp. 27-29.

- ❖ **SALINAS VEJAR, Sebastián Andrés.** Estudio de una nueva transición para acoplamiento Microstrip. [En línea]. (tesis) (Maestría) Universidad de Chile, 2007. Santiago de Chile. 2007. pp. 31-32. [Consulta el: 14 de enero de 2018.] Disponible en: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/salinas_sv/html/index-frames.html

- ❖ **SANTILLÁN JARAMILLO, Andrea Paulina.** 2011. Diseño y Construcción de un medidor de potencia de RF en banda X del kit de Microondas DEGEM-SYSTEM, con interfaz a la PC. [En línea]. (tesis) ESPE. Ecuador, Sangolquí. 2011. pp. 59-60. [Consulta el: 14 de abril del 2018.] Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/2993>

- ❖ **SINDREU VIADER, Miguel Durán.** Diseño e Implementación de un filtro Pasa Banda de Banda Estrecha con Topología Interdigital a Frecuencias UHF y Microondas. [En línea]. (tesis). Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra. 2017. pp. 15-17. [Consulta el: 18 de abril del 2018.] Disponible en: <https://www.recercat.cat/bitstream/handle/2072/5340/PFCDuran.pdf?sequence=1>

- ❖ **ZAPATA, Cristina Monsalve.** Diseño de un Filtro en la Banda de Microondas - Milimétricas para Sistemas de Comunicaciones. [En línea]. (tesis). Universidad Autónoma de Madrid. España. 2008. pp. 4-6 [Consulta el: 18 de mayo del 2018.] Disponible en: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/9962>

ANEXOS

Anexo A: Datasheet del Atenuador LAT -10+

Miniature Surface Mount Fixed Attenuator

50Ω 0.5W 10dB DC to 2500 MHz

LAT-10+



CASE STYLE: MMM168

+RoHS Compliant

The +Suffix Identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications.

Available Tape and Reel at no extra cost

Reel Size: 7" 3000

Maximum Ratings

Operating Temperature -55°C to 85°C
Storage Temperature -55°C to 100°C
Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Pin Connections

INPUT	4
OUTPUT	2
GROUND	1,3

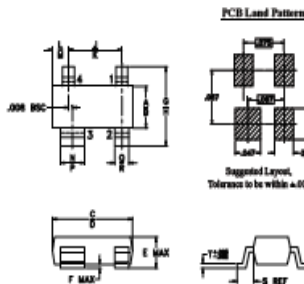
Features

- wideband, DC to 2500 MHz
- excellent VSWR, through entire band
- miniature size, SOT143 package
- aqueous washable

Applications

- cellular
- PCS
- ISM
- VHF/UHF

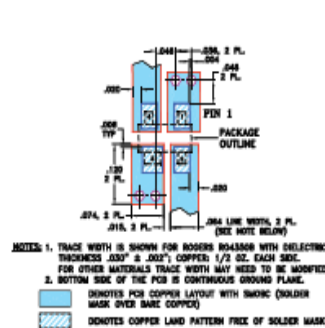
Outline Drawing



Outline Dimensions (inch/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
.045	.055	.105	.120	.047	.005	.083	.104	.070	.080
1.14	1.40	2.67	3.05	1.19	0.13	2.11	2.64	1.78	2.03
L	M	N	P	Q	R	S	T	Wt	
.016	.024	.030	.036	.015	.021	.023	.005	grams	
0.48	0.61	0.76	0.91	0.38	0.53	0.58	0.13	0.01	

Demo Board MCL PIN: TB-39
Suggested PCB Layout (PL-225)



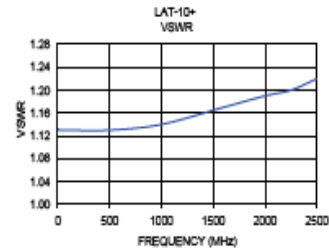
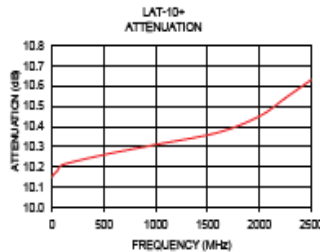
Electrical Specifications at 25°C

FREQ. RANGE (MHz)	ATTENUATION (dB)			VSWR (-1) Max.			MAX. INPUT POWER ¹ (W)	
	DC-0.5 GHz	DC-1 GHz	DC-2.5 GHz	DC-0.5 GHz	DC-1 GHz	DC-2.5 GHz		
DC-2500	10±0.5	0.3	0.5	0.8	1.3	1.4	1.5	0.5

1. RF power at 25°C case temperature: 1Watt. Derate linearly to 0.2 Watt at 85°C.
2. Flatness= variation over band divided by 2

Typical Performance Data

Frequency (MHz)	Attenuation (dB)	VSWR (-1)
1.00	10.15	1.13
10.00	10.16	1.13
50.00	10.16	1.13
100.00	10.21	1.13
500.00	10.26	1.13
1000.00	10.31	1.14
1800.00	10.37	1.17
2000.00	10.45	1.19
2250.00	10.54	1.20
2500.00	10.63	1.22



Mini-Circuits®
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED

For detailed performance specs & shipping info see web site

P.O. Box 350160, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4001 The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly at minicircuits.com

RF/MICROWAVE COMPONENTS

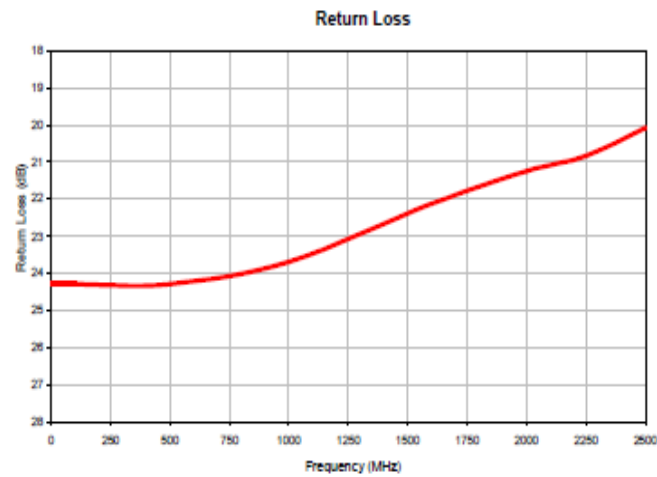
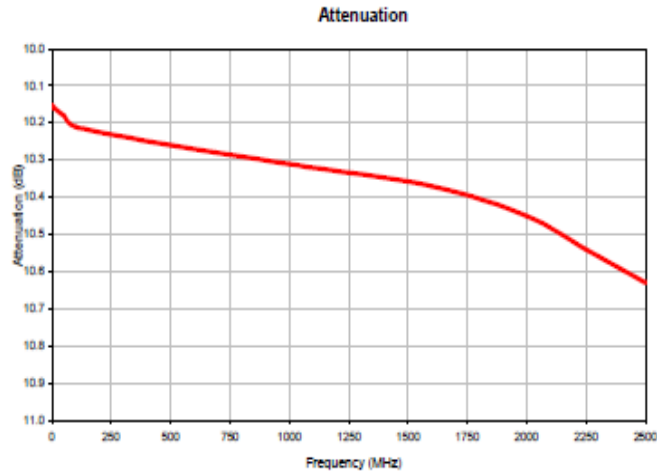
Notes: 1. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification sheet are intended to be excluded and do not form a part of this specification sheet. 2. Electrical specifications and performance data contained herein are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions. 3. The parts covered by this specification sheet are subject to Mini-Circuits' standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"); Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/MCStore/terms.jsp.

REX F
M11107
LAT-10+
160612

Fixed Attenuator

LAT-10+

Typical Performance Curves



REV. X1
LAT-10+
061108
Page 1 of 1



RF/MICROWAVE COMPONENTS • ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED • RoHS compliant
P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0008 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661



The Design Engineers Search Engine finds the model you need, instantly. For detailed performance specs & shopping online see

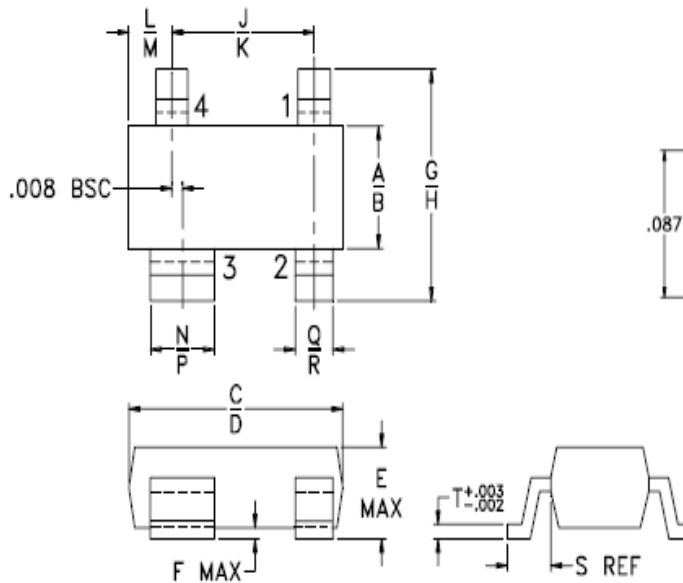


Case Style

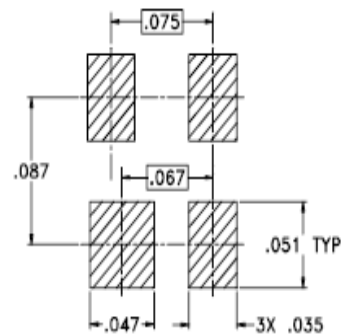
MMM

MMM168

Outline Dimensions



PCB Land Pattern



Suggested Layout,
Tolerance to be within $\pm .002$

CASE #	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
MMM168	.045 (1.14)	.055 (1.40)	.105 (2.67)	.120 (3.05)	.047 (1.19)	.005 (0.13)	.083 (2.11)	.104 (2.64)	.070 (1.78)	.080 (2.03)	.018 (0.46)	.024 (0.61)	.030 (0.76)	.036 (0.91)

CASE #	Q	R	S	T	WT. GRAM
MMM168	.015 (0.38)	.021 (0.53)	.023 (0.58)	.005 (0.13)	.01

Dimensions are in inches (mm). Tolerances: 2 Pl. $\pm .01$; 3 Pl. $\pm .005$

Notes:

- Case material: Plastic.
- Termination finish:
For RoHS Case Styles: Tin-Silver alloy plate over Nickel barrier.
For RoHS-5 Case Styles: Tin-Lead plate.

Mini-Circuits

INTERNET <http://www.minicircuits.com>

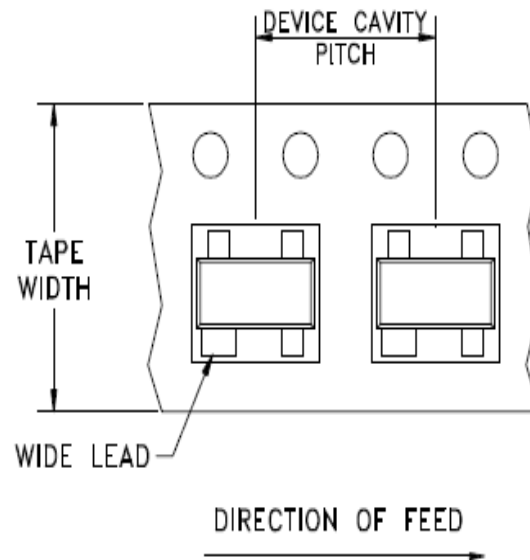
P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661

Distribution Centers NORTH AMERICA 800-654-7949 • 417-335-5935 • Fax 417-335-5945 • EUROPE 44-1252-832600 • Fax 44-1252-837010

Mini-Circuits ISO 9001 & ISO 14001 Certified

Tape & Reel Packaging TR-F8

DEVICE ORIENTATION IN T&R



Tape Width, mm	Device Cavity Pitch, mm	Reel Size, inches	Devices per Reel
8	4	7	3000

Mini-Circuits carrier tape materials provide protection from ESD (Electro-Static Discharge) during handling and transportation. Tapes are static dissipative and comply with industry standards EIA-481/EIA-541.

Go to: www.minicircuits.com/pages/pdfs/tape.pdf



INTERNET <http://www.minicircuits.com>

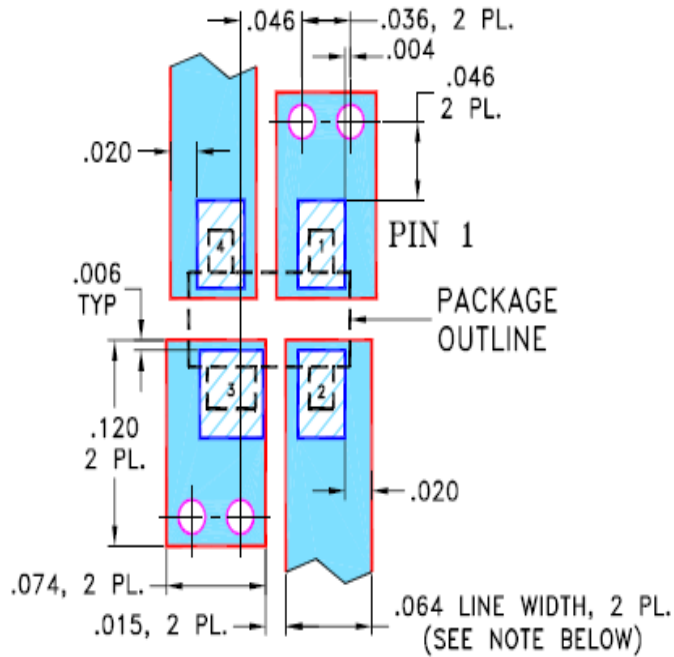
P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661

Distribution Centers NORTH AMERICA 800-654-7949 • 417-335-5835 • Fax 417-335-5845 • EUROPE 44-1252-832600 • Fax 44-1252-837010

Mini-Circuits ISO 9001 & ISO 14001 Certified

THIRD ANGLE PROJECTION		REVISIONS					
		REV	ECN No.	DESCRIPTION	DATE	DR	AUTH
		OR	M101091	NEW RELEASE	02/03/06	MMG	MM

**SUGGESTED MOUNTING CONFIGURATION FOR
MMM168 CASE STYLE, "jk" PIN CONNECTION**



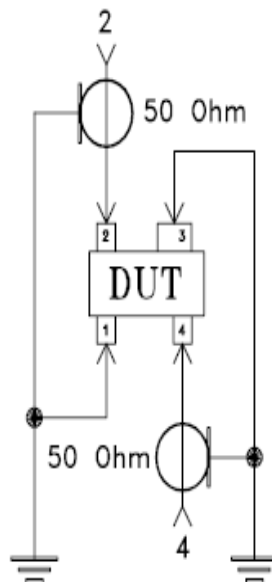
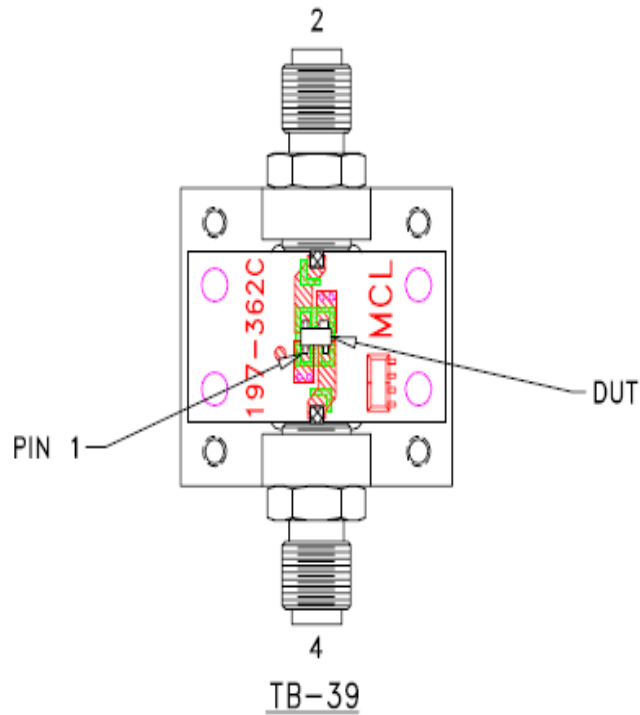
- NOTES:**
1. TRACE WIDTH IS SHOWN FOR ROGERS RO4350B WITH DIELECTRIC THICKNESS $.030" \pm .002"$; COPPER: 1/2 OZ. EACH SIDE. FOR OTHER MATERIALS TRACE WIDTH MAY NEED TO BE MODIFIED.
 2. BOTTOM SIDE OF THE PCB IS CONTINUOUS GROUND PLANE.

- DENOTES PCB COPPER LAYOUT WITH SMOBC (SOLDER MASK OVER BARE COPPER)
- DENOTES COPPER LAND PATTERN FREE OF SOLDER MASK

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED	INITIALS	DATE	Mini-Circuits® 13 Neptane Avenue Brooklyn NY 11235				
DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES ON: 2 PL. DECIMALS \pm 3 PL. DECIMALS $\pm .005$ ANGLES \pm FRACTIONS \pm	DRAWN	MMG					12/18/06
	CHECKED	AV					01/03/06
	APPROVED	MM					02/03/06
THIS DOCUMENT AND ITS CONTENTS ARE THE PROPERTY OF MINI-CIRCUITS. EXCEPT FOR USE EXPRESSLY GRANTED, IN WRITING, TO ITS VENDORS, VENDEE AND THE UNITED STATES GOVERNMENT, MINI-CIRCUITS RESERVES ALL PROPRIETARY DESIGN, USE, MANUFACTURING AND REPRODUCTION RIGHTS THERETO. THESE CONTENTS SHALL NOT BE USED, DUPLICATED OR DISCLOSED TO ANY OUTSIDE PARTY, IN WHOLE OR IN PART, WITHOUT WRITTEN PERMISSION OF MINI-CIRCUITS.			PL, jk, MMM168, LAT, TB-39		REV:	OR	
ASHEETA1.DWG REV:A DATE:01/12/95	SIZE	CODE IDENT	DRAWING NO:	REV:			
	A	15542	98-PL-225	OR			
	FILE:	98PL225	SCALE:	10:1	SHEET:	1 OF 1	

Evaluation Board and Circuit


For Pin Connections refer to Data Sheet of the DUT



Schematic Diagram

Notes:

1. SMA Female connectors.
2. PCB Material: Rogers R04350 or equivalent,
Dielectric Constant=3.5, Thickness=.030 inch.

 Mini-Circuits®

Anexo B: Datasheet del Atenuador PAT -10+

Miniature Ceramic Fixed Attenuator

50Ω 1W 10dB DC to 7000 MHz

PAT-10+



CASE STYLE: AF320

Maximum Ratings

Operating Temperature -55°C to 100°C
Storage Temperature -55°C to 100°C
Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Pin Connections

INPUT	1
OUTPUT	3
GROUND	2,4

Features

- wideband, DC to 7000 MHz
- excellent VSWR, through entire band
- miniature size
- aqueous washable

Applications

- power leveling
- impedance match improvement

-RoHS Compliant

The +Suffix denotes RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications.

Available Tape and Reel at no extra cost

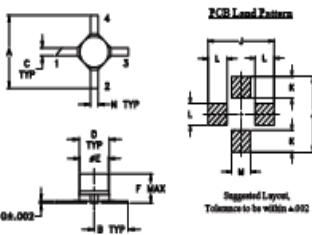
Reel Size	Device/Reel
7"	1000

Electrical Specifications at 25°C

FREQ. RANGE (MHz)	ATTENUATION (dB) Flatness, Max.	VSWR (-1) Max.			MAX. INPUT POWER (W)			
		DC-1 GHz	DC-2.5 GHz	DC-7 ₀ GHz				
DC-7000	10±0.4	0.4	0.6	1.7	1.3	1.4	1.5	1

1. PF power at 25°C case temperature: 1 Watt. Derate linearly to 0.1 Watt at 100°C.

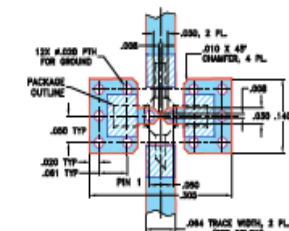
Outline Drawing



Outline Dimensions (inch/mm)

A	B	C	D	E	F	G
.200	.100	.020	.070	.068	.057	.006
5.08	2.54	0.51	1.78	1.73	1.45	0.13
H	J	K	L	M	N	wt
--	.230	.085	.080	.080	.040	grams
--	5.84	1.86	1.62	2.03	1.02	0.04

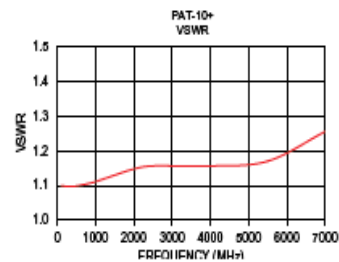
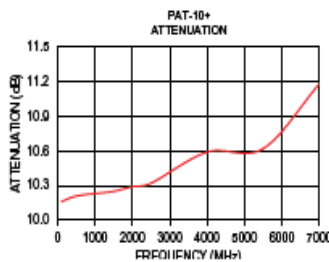
Demo Board MCL P/N: TB-319
Suggested PCB Layout (PL-208)



- NOTES:
1. TRACE WIDTH IS SHOWN FOR ROGERS RO4000B WITH DIELECTRIC THICKNESS .030" ± .002". COPPER: 1/2 OZ. EACH SIDE. FOR OTHER MATERIALS TRACE WIDTH MAY NEED TO BE ADJUSTED.
 2. BOTTOM SIDE OF THE PCB IS CONTINUOUS GROUND PLANE.
- DENOTES PCB COPPER LAYOUT WITH SMOBC (SOLDER MASK OVER BARE COPPER)
- DENOTES COPPER LAND PATTERN FREE OF SOLDER MASK

Typical Performance Data

Frequency (MHz)	Attenuation (dB)	VSWR (-1)
100.00	10.16	1.10
300.70	10.20	1.10
600.40	10.22	1.10
1000.00	10.23	1.11
1500.40	10.25	1.13
2000.80	10.29	1.15
2500.00	10.32	1.16
4000.30	10.59	1.16
5500.60	10.62	1.17
7000.00	11.18	1.28



Notes

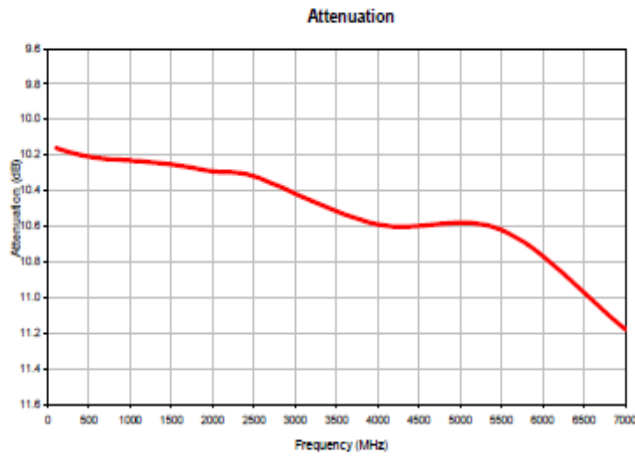
- A. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
- B. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions.
- C. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits' standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/MCStore/terms.jsp

Mini-Circuits

www.minicircuits.com P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

REX H
M151137
PAT-10+
190623

Typical Performance Curves



IF/RF MICROWAVE COMPONENTS • ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED RoHS compliant
P.O. Box 350105, Brooklyn, New York 11235-0008 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661



The Design Engineers Search Engine finds the model you need, instantly. For detailed performance specs & shopping online see



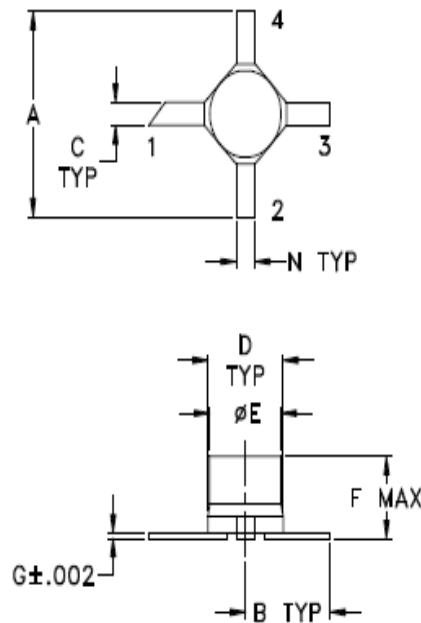
REV. X1
PAT-10+
061108
Page 1 of 1

Case Style

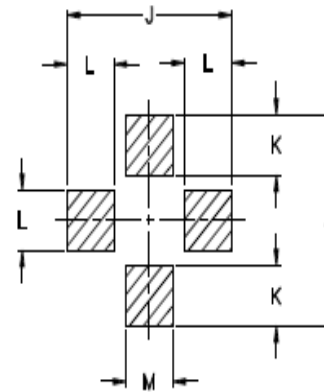
AF

AF320

Outline Dimensions



PCB Land Pattern



Suggested Layout,
Tolerance to be within $\pm .002$

CASE #	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	WT. GRAM
AF320	.200 (5.08)	.100 (2.54)	.020 (0.51)	.070 (1.78)	.068 (1.73)	.057 (1.45)	.005 (0.13)	-	.230 (5.84)	.065 (1.65)	.060 (1.52)	.080 (2.03)	.040 (1.02)	.04

Dimensions are in inches (mm). Tolerances: 2Pl. $\pm .03$; 3Pl. $\pm .015$

Notes:

- Case material: Ceramic.
- Termination material:
Nickel-Iron alloy 42.
- Termination finish:
For RoHS Case Styles: Tin-Silver alloy plate over Nickel barrier.
For RoHS-5 Case Styles: Tin-Lead plate.
- Termination (1):
May have diagonal cut. Input and output interchangeable for PAT models only.
- Special Tolerances: Termination width $\pm .005$ inch, termination thickness $\pm .002$ inch, cap diameter $\pm .005$ inch.

Mini-Circuits[®]

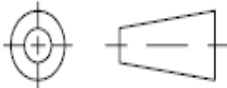
INTERNET <http://www.minicircuits.com>

P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4661

Distribution Centers NORTH AMERICA 800-654-7949 • 417-335-5935 • Fax 417-335-5945 • EUROPE 44-1252-832600 • Fax 44-1252-837010

Mini-Circuits ISO 9001 & ISO 14001 Certified

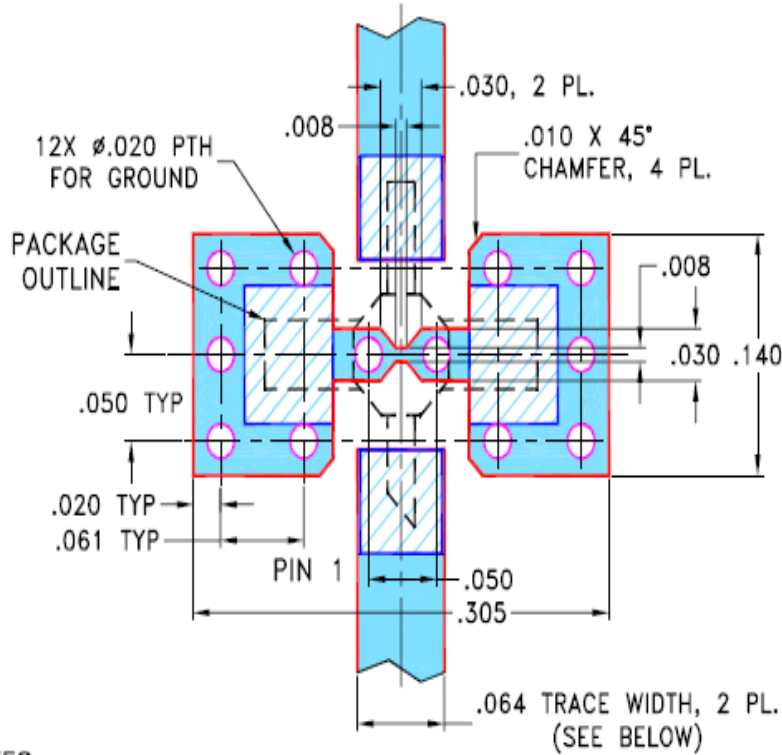
THIRD ANGLE PROJECTION



REVISIONS

REV	ECN No.	DESCRIPTION	DATE	DR	AUTH
OR	M100749	NEW RELEASE	08/19/05	MMG	MM
A	M102713	ADDED "...WITH SMOBC"	01/12/06	GT	IL

SUGGESTED MOUNTING CONFIGURATION FOR
AF320 CASE STYLES, "hl" PIN CONNECTION



NOTES:

- TRACE WIDTH IS SHOWN FOR ROGERS RO4350B WITH DIELECTRIC THICKNESS $.030" \pm .002"$; COPPER: 1/2 OZ. EACH SIDE. FOR OTHER MATERIALS TRACE WIDTH MAY NEED TO BE MODIFIED.
- BOTTOM SIDE OF THE PCB IS CONTINUOUS GROUND PLANE.

- DENOTES PCB COPPER LAYOUT WITH SMOBC (SOLDER MASK OVER BARE COPPER)
- DENOTES COPPER LAND PATTERN FREE OF SOLDER MASK

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED	INITIALS	DATE
DRAWN	MMG	08/12/05
CHECKED	AV	08/16/05
APPROVED	MM	08/18/05

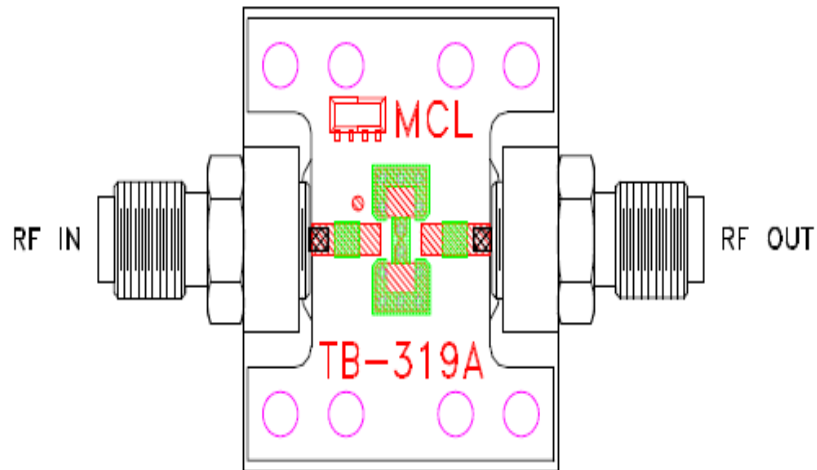
Mini-Circuits®
THIS DOCUMENT AND ITS CONTENTS ARE THE PROPERTY OF MINI-CIRCUITS. EXCEPT FOR USE EXPRESSLY GRANTED, IN WRITING, TO ITS VENDORS, VENDOR AND THE UNITED STATES GOVERNMENT, MINI-CIRCUITS RESERVES ALL PROPRIETARY DESIGN, USE, MANUFACTURING AND REPRODUCTION RIGHTS HERETO. THESE CONTENTS SHALL NOT BE USED, DUPLICATED OR DISCLOSED TO ANY OUTSIDE PARTY, IN WHOLE OR IN PART, WITHOUT WRITTEN PERMISSION OF MINI-CIRCUITS.
ASHEETA1.DWG REV:A DATE:01/12/95

Mini-Circuits® 13 Neptune Avenue
Brooklyn NY 11235

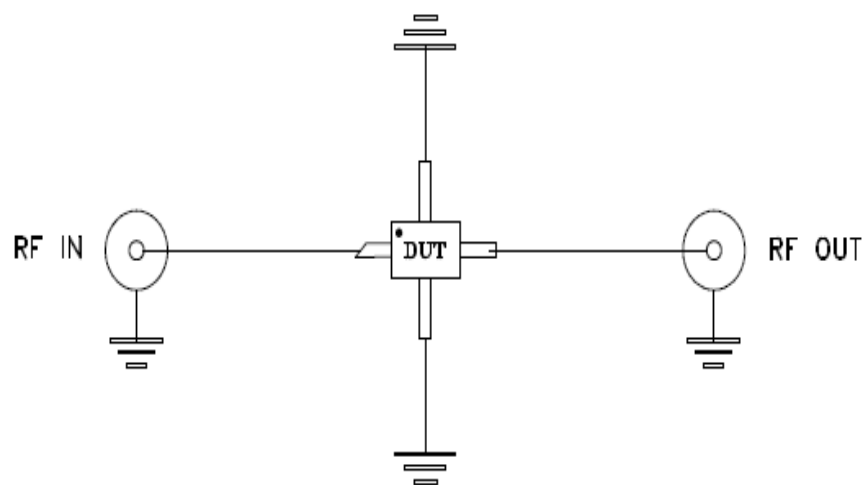
PL, hl, AF320, PAT, TB-319

SIZE	CODE IDENT	DRAWING NO:	REV:
A	15542	98-PL-208	A
FILE:	98PL208	SCALE: 10:1	SHEET: 1 OF 1

Evaluation Board and Circuit




TB-319



Schematic Diagram

Notes:

1. SMA Female connectors.
2. PCB Material: Rogers R04350 or equivalent,
Dielectric Constant=3.5, Thickness=.030 inch.

 **Mini-Circuits®**

Microwave Precision
Fixed Attenuator

YAT-10+

50Ω 2W 10dB DC to 18 GHz

Product Features

- miniature package MCLP™ 2 x 2 mm
- wide bandwidth, DC-18 GHz
- excellent attenuation accuracy & flatness



CASE STYLE: MC1630

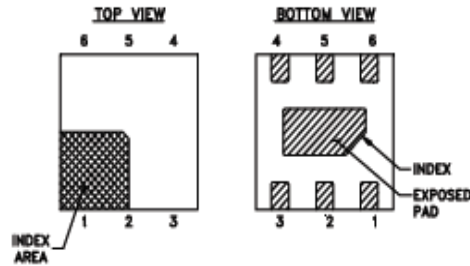
RoHS Compliant
 The +Suffix Identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications.

Typical Applications

- Cellular
- PCS
- communications
- radar
- defense

General Description

YAT-10+ is a 10-dB absorptive attenuator fabricated using highly repetitive MMIC process including thin film resistors on GaAs substrate. YAT-10+ attenuator die contains through-wafer Cu metallization vias to realize low thermal resistance and wideband operation. Packaged in tiny 2 mm x 2 mm MCLP™ package fits into tiny spaces.



Pad Description

Function	Pad Number	Description
RF IN	2	RF Input pad
RF-OUT	5	RF output pad
GND	1,3,4,6 Bottom Exposed pad	Connected to ground externally

Notes

- A. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
 B. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuit's applicable established test performance criteria and measurement instructions.
 C. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/MCLStore/terms.jsp



Electrical Specifications¹ at 25°C, 50Ω (CPW)

Parameter	Condition (GHz)	Min.	Typ.	Max.	Unit
Frequency Range		DC	—	18	GHz
Attenuation	0.01	—	10	—	
	DC - 5	9.6	10.05	10.5	dB
	5 - 15	9.6	10.41	11.0	
VSWR	DC - 5	—	1.15	1.25	
	5 - 15	—	1.48	1.70	:1
	15 - 18	—	1.67	1.90	
Input Power ²	DC - 18	—	—	2.0	W

1. Tested on Mini-Circuits test board TB-621-10+ using coplanar wave guide (CPW) input and output traces (see suggested PCB layout on page 4 of this data sheet)
 2. RF Power at 25°C case temperature: 2.0 Watt. Derate linearly to 1.0 W at 85°C.

Absolute Maximum Ratings

Operating Case Temperature ³	-40°C to 85°C
Storage Temperature	-65°C to 150°C
RF Input Power	2W

3. Case is defined as ground lead.
 Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

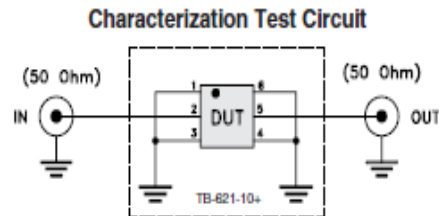
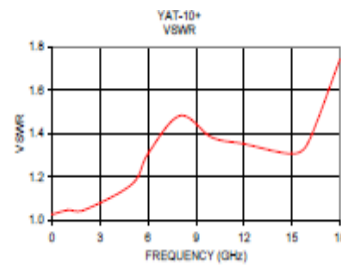
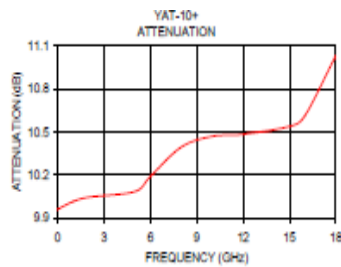


Fig 1. Block diagram of Test Circuit used for characterization, Test board TB-621-10+
 Conditions: Attenuation, VSWR: Pin=-10 dBm

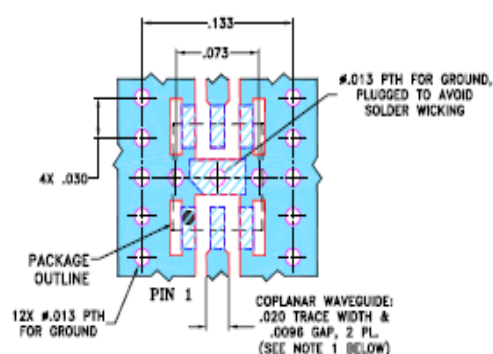
Typical Performance Data at 25°C

Frequency (GHz)	Attenuation (dB)	VSWR (:1)
0.001	9.96	1.03
1.0	10.02	1.05
2.0	10.05	1.05
5.0	10.00	1.17
6.0	10.10	1.31
8.0	10.40	1.48
10.0	10.47	1.58
12.0	10.49	1.55
15.0	10.54	1.51
16.0	10.62	1.56
18.0	11.04	1.74



Notes
 A. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
 B. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuit's applicable established test performance criteria and measurement instructions.
 C. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuit's website at www.minicircuits.com/MCLStore/terms.jsp

Suggested PCB Layout (PL-349)



- NOTES: 1. COPLANAR WAVEGUIDE IS SHOWN FOR ROGERS R04350B WITH DIELECTRIC THICKNESS $.010" \pm .001"$; COPPER: 1/2 OZ. EACH SIDE. FOR OTHER MATERIALS TRACE WIDTH MAY NEED TO BE MODIFIED.
2. BOTTOM SIDE OF THE PCB IS CONTINUOUS GROUND PLANE.

■ DENOTES PCB COPPER LAYOUT WITH SMOBC (SOLDER MASK OVER BARE COPPER)
■ DENOTES COPPER LAND PATTERN FREE OF SOLDER MASK

Product Marking



Additional Detailed Technical Information

additional information is available on our dash board. To access this information [click here](#)

Performance Data	Data Table
	Swept Graphs
Case Style	MC1630 Plastic package, Terminal finish: Matte Tin Plate
Tape & Reel	F108
Standard quantities available on reel	7" reels with 20, 50, 100, 200, 500, 1K, 2K, 3K devices.
Suggested Layout for PCB Design	PL-349
Evaluation Board	TB-621-10+
Environmental Ratings	ENV08T1

ESD Rating

Human Body Model (HBM): 250V, Class 1A (JESD22-A114)

Machine Model (MM): 200V, Class B (JESD22-A115)

MSL Rating

Moisture Sensitivity: MSL1 in accordance with IPC/JEDEC J-STD-020D

Notes

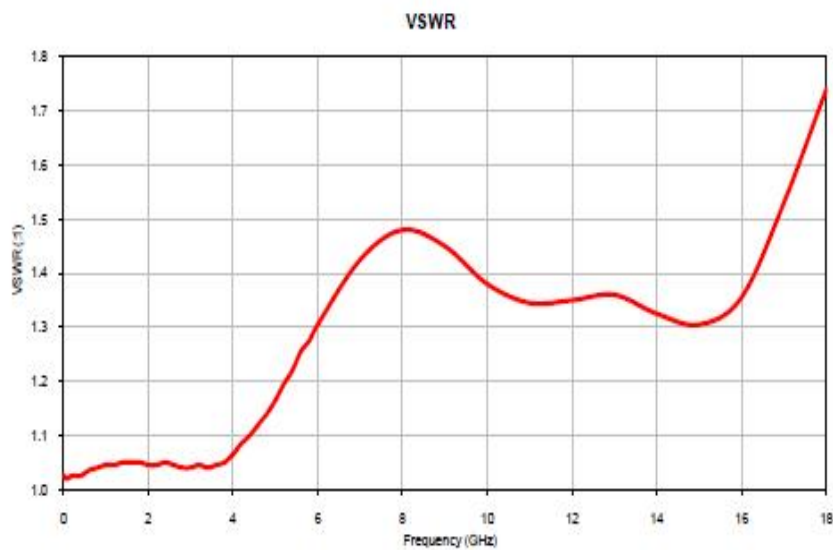
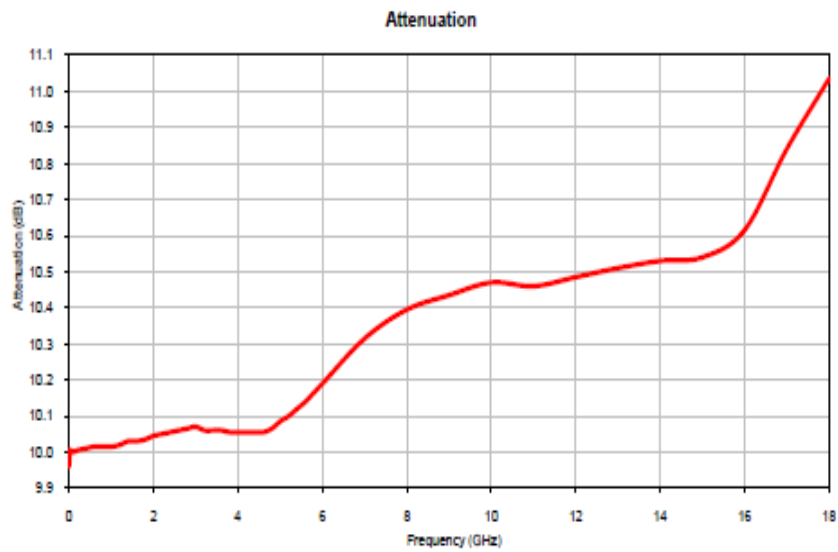
- A. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
B. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuit's applicable established test performance criteria and measurement instructions.
C. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuit's standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"); Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuit's website at www.minicircuits.com/MCISlowTerms.jsp



Fixed Attenuator

YAT-10+

Typical Performance Curves



Mini-Circuits®
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED

minicircuits.com

P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 • Fax (718) 332-4861 For detailed performance specs & shopping online see Mini-Circuits web site



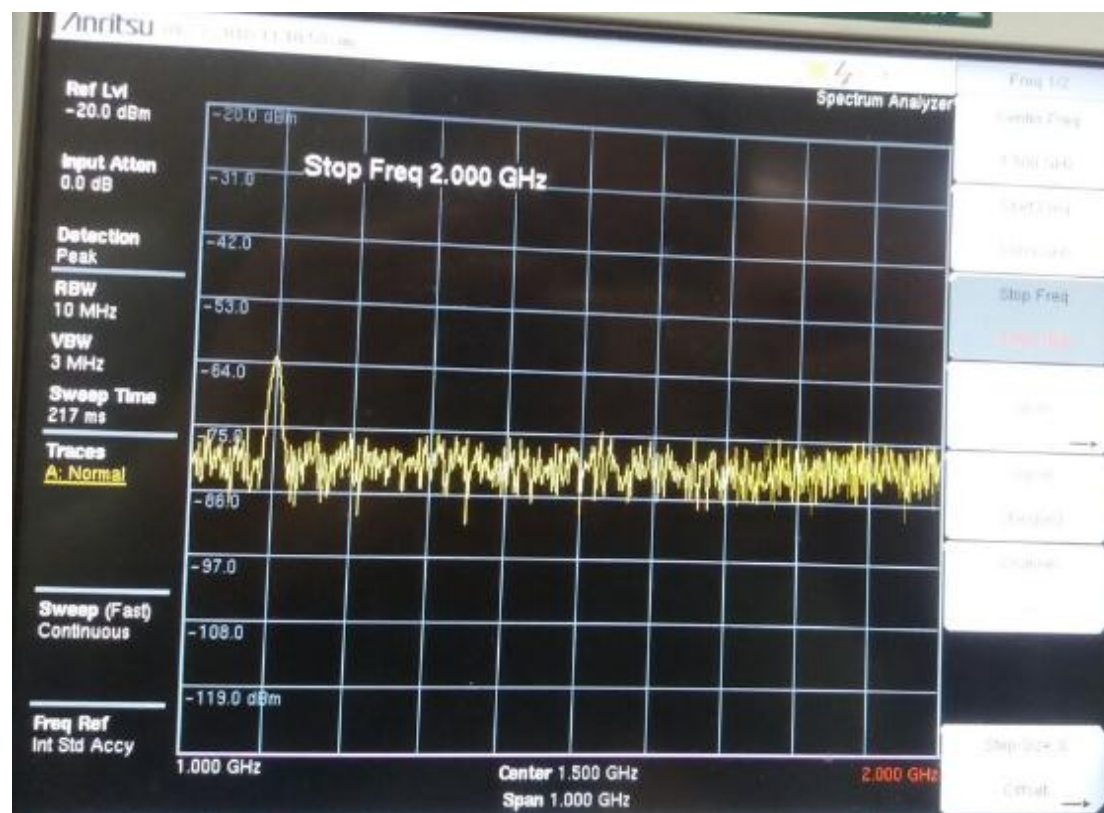
The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly From MINI-CIRCUITS At: www.minicircuits.com

IF/RF MICROWAVE COMPONENTS

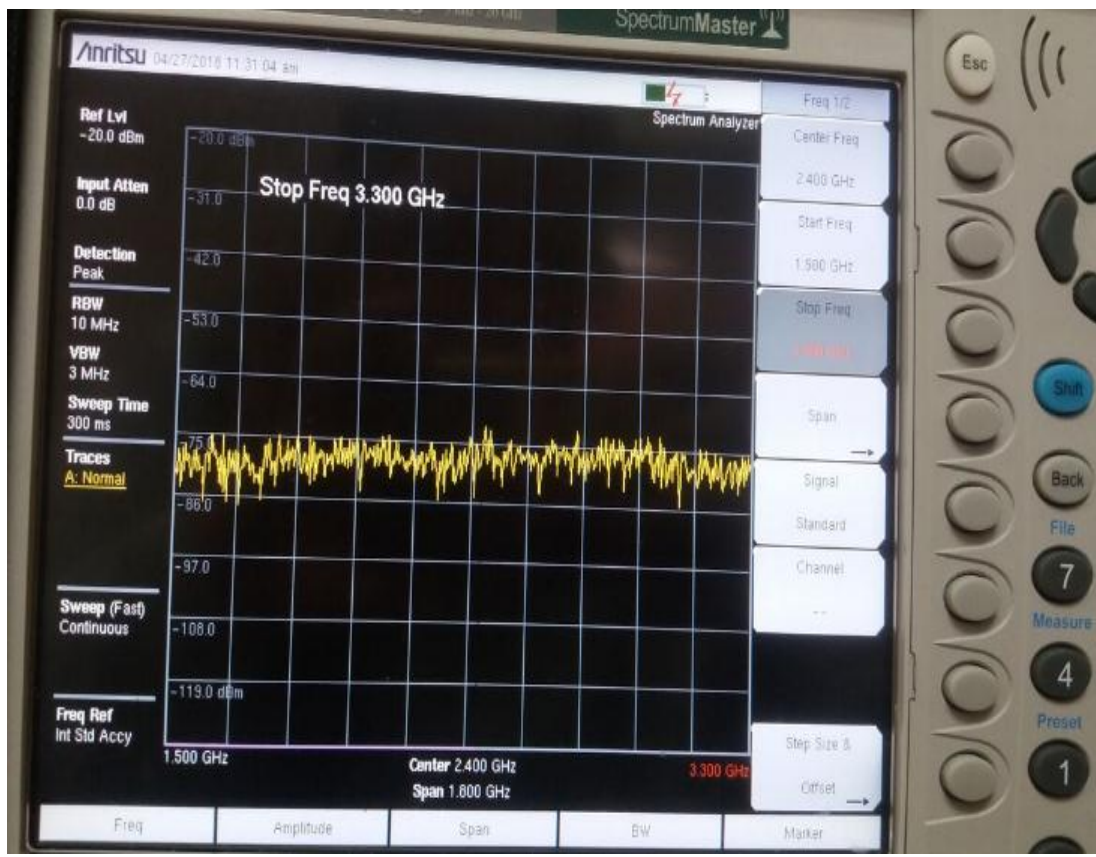
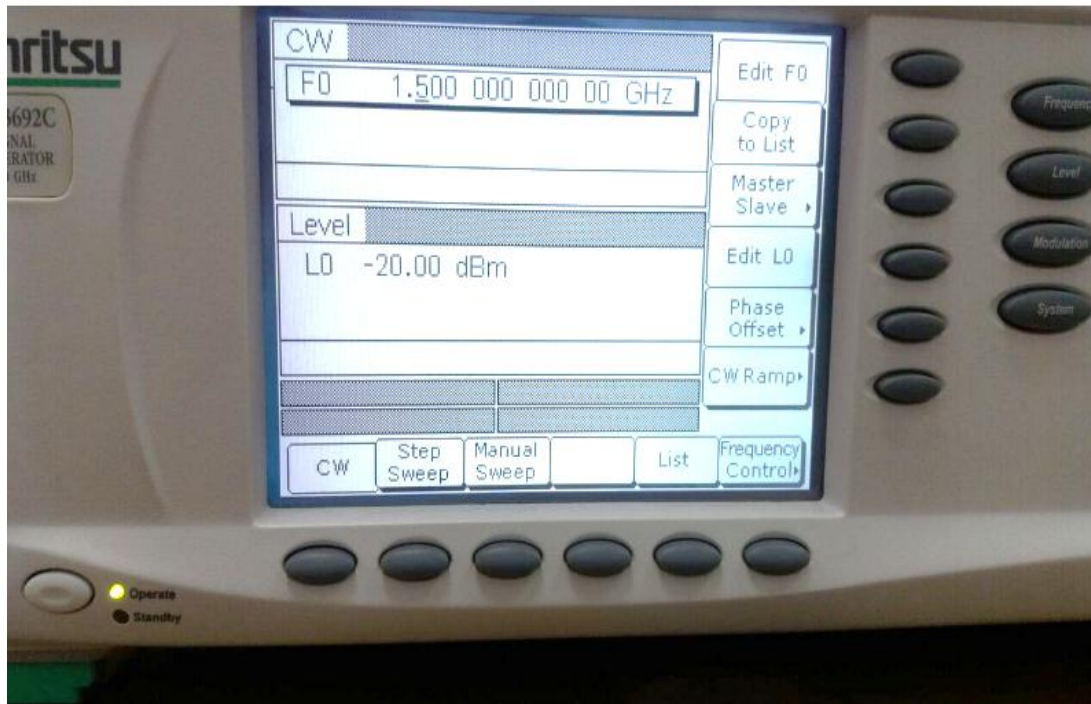
REV. OR
YAT-10+
2/26/2013
Page 1 of 1

Anexo D: Pruebas Reales en los equipos de medición

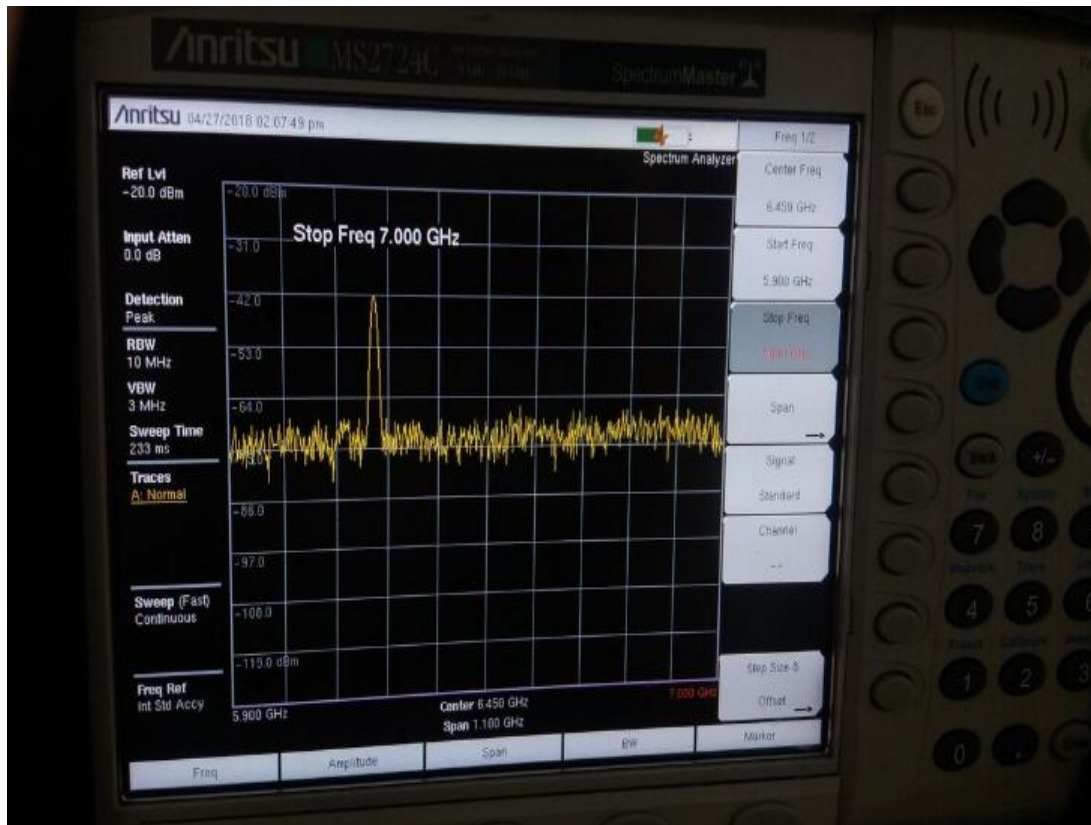
FILTRO DE 1 – 2 GHz



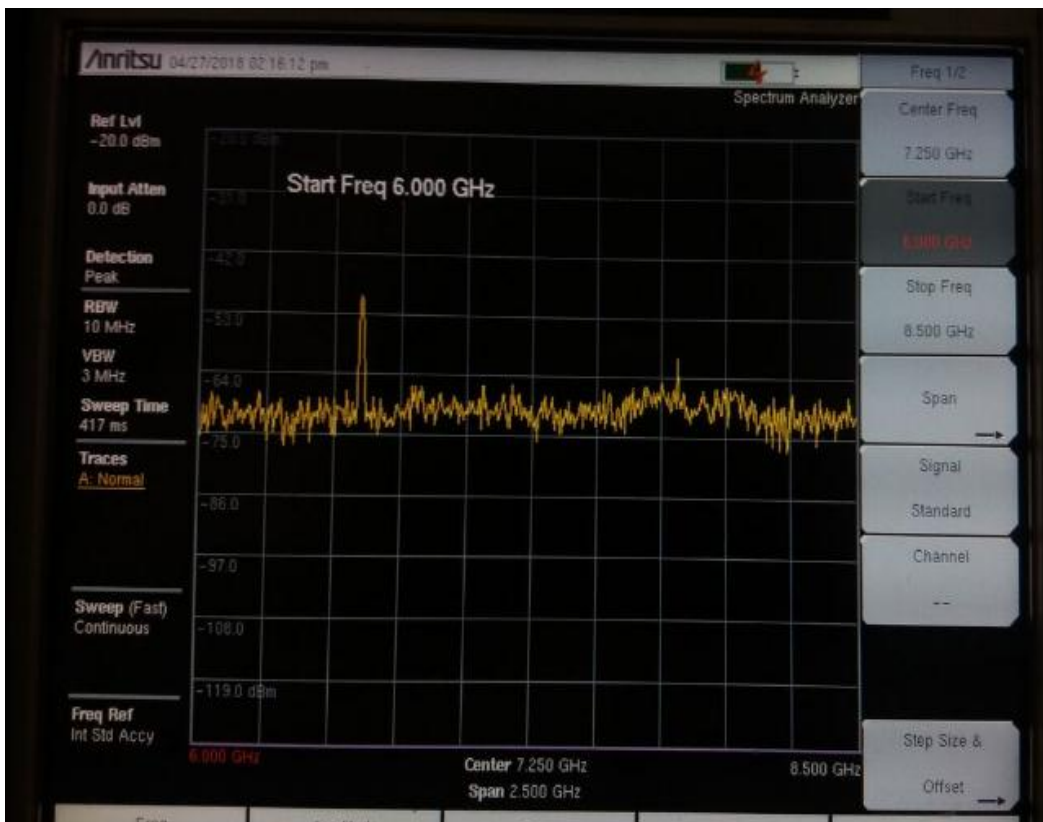
FILTRO DE 2 – 4 GHZ



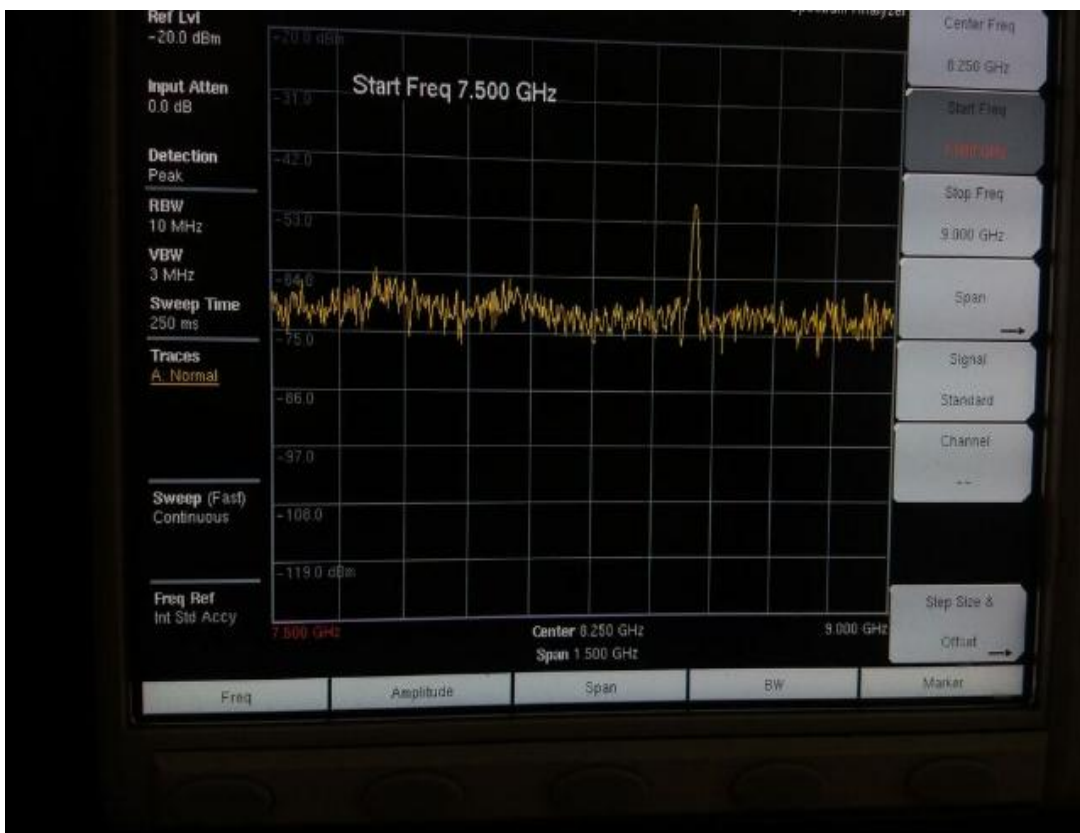
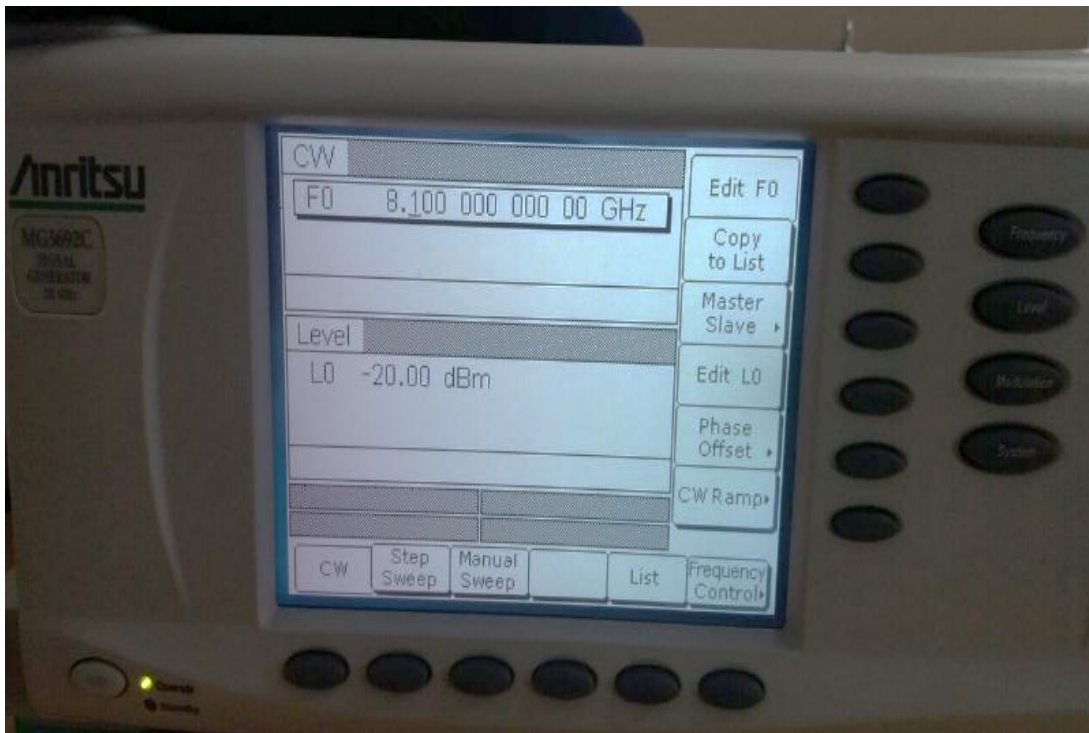
FILTRO DE 4 – 7 GHz



FILTRO DE 7-9 GHz



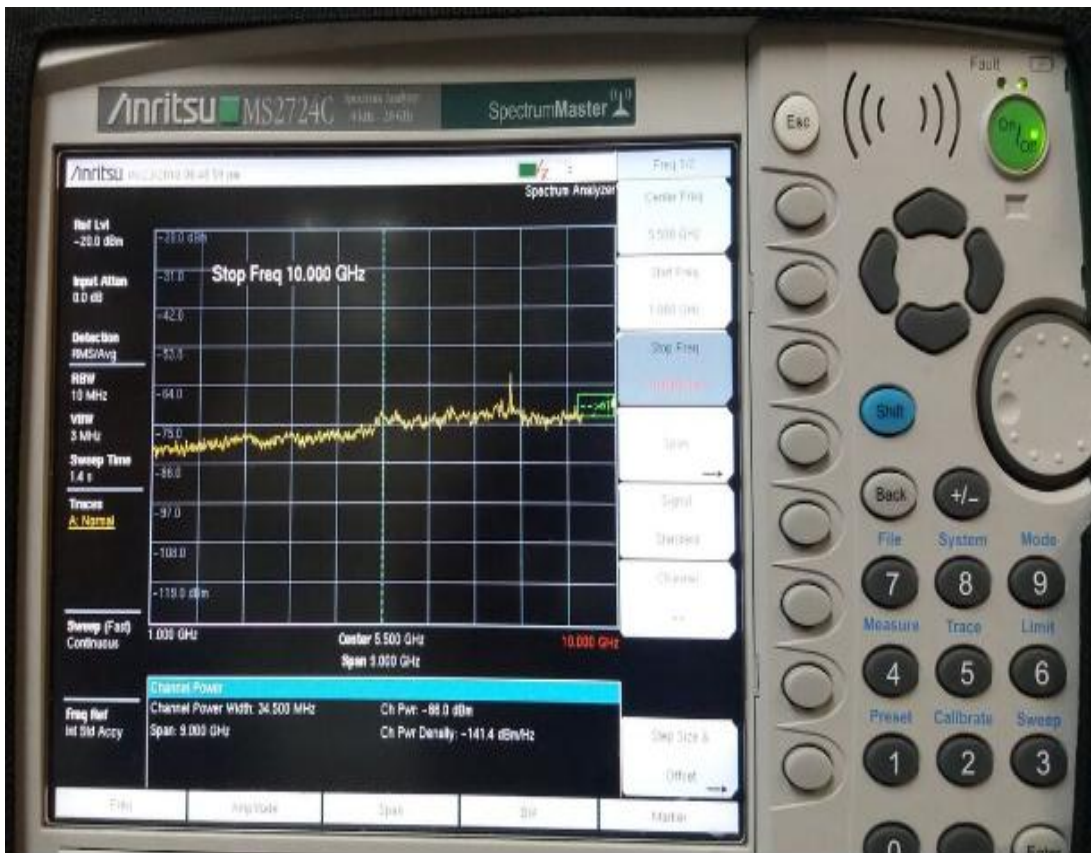
FILTRO DE 8,5 – 9,4 GHz



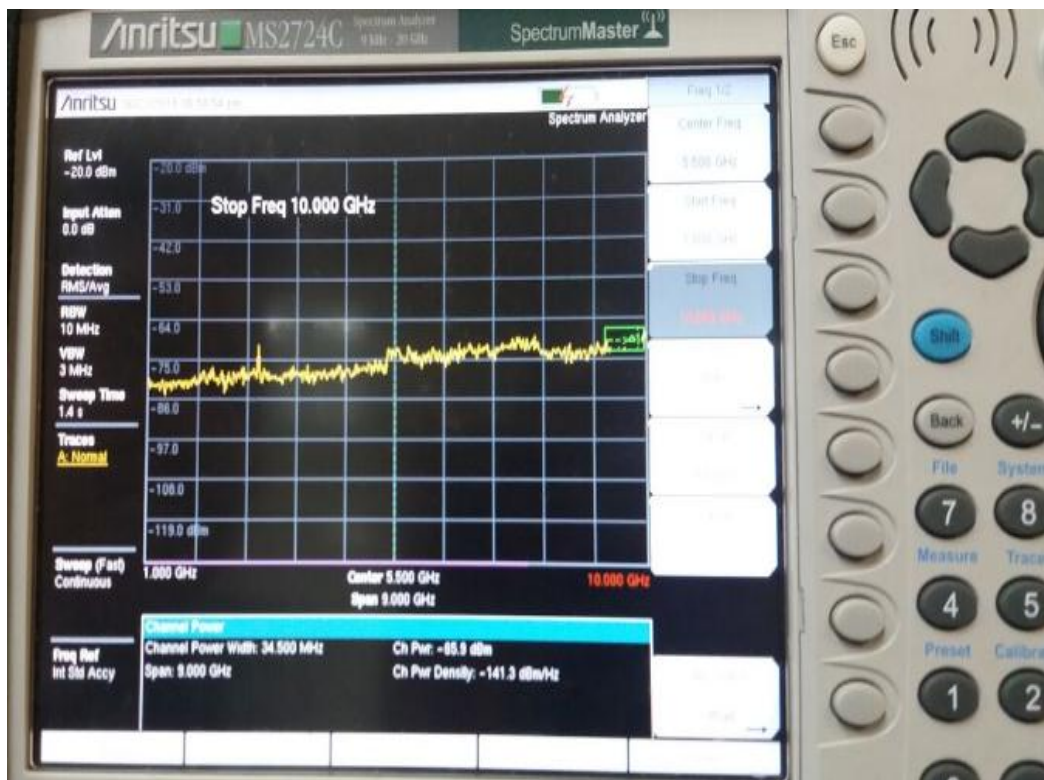
ATENUADOR LAT -10+



ATENUADOR PAT -10+

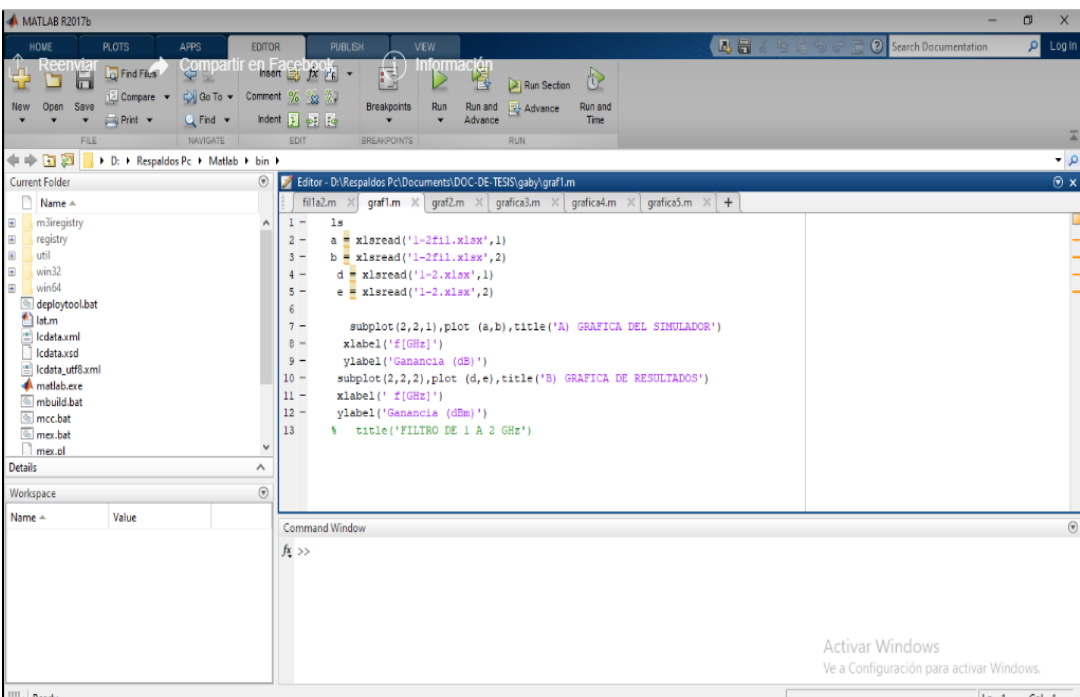


ATENUADOR YAT -10+



ANEXO F: Captura de pantalla de la programación en Matlab

FILTRO DE 1-2GHz

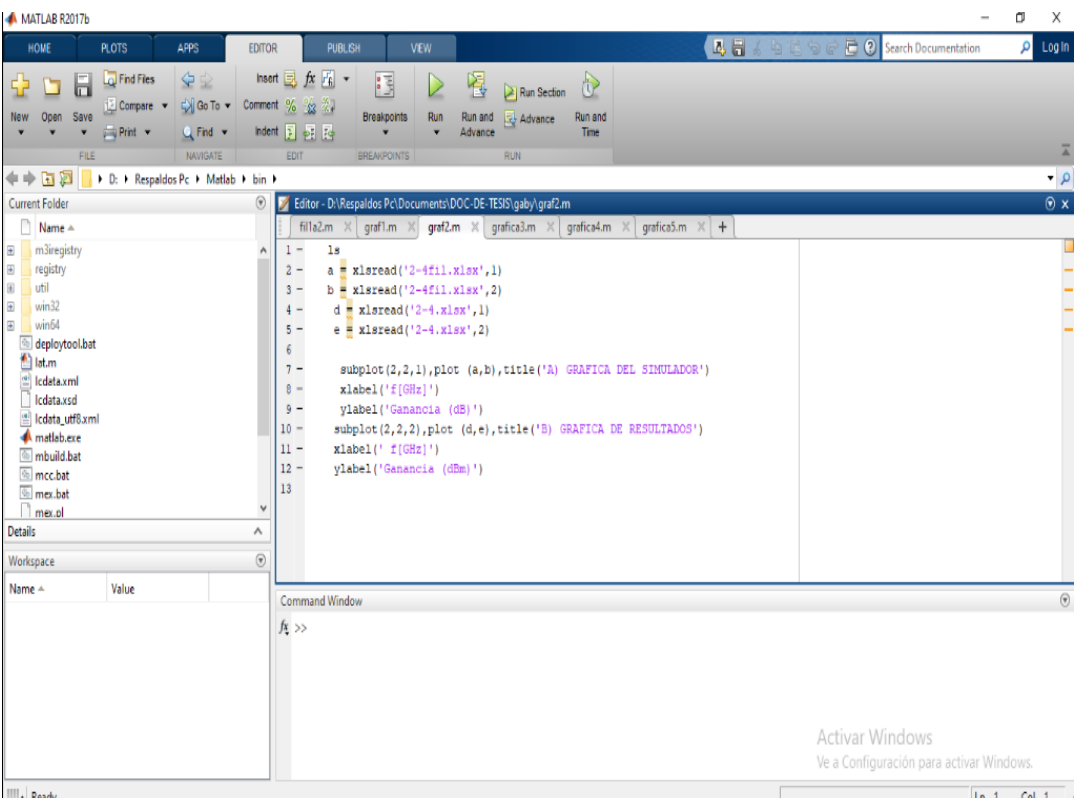


The screenshot shows the MATLAB R2017b environment. The editor window displays the following code for a 1-2 GHz filter simulation:

```
1 - ls
2 - a = xlsread('1-2fil.xlsx',1)
3 - b = xlsread('1-2fil.xlsx',2)
4 - d = xlsread('1-2.xlsx',1)
5 - e = xlsread('1-2.xlsx',2)
6
7 - subplot(2,2,1),plot(a,b),title('A) GRAFICA DEL SIMULADOR')
8 - xlabel('f[GHz]')
9 - ylabel('Ganancia (dB)')
10 - subplot(2,2,2),plot(d,e),title('B) GRAFICA DE RESULTADOS')
11 - xlabel(' f[GHz]')
12 - ylabel('Ganancia (dBm)')
13 % title('FILTRO DE 1 A 2 GHz')
```

The Command Window shows the prompt `f>>`. The status bar at the bottom indicates 'Ln 1 Col 1'.

FILTRO DE 2-4 GHz



The screenshot shows the MATLAB R2017b environment. The editor window displays the following code for a 2-4 GHz filter simulation:

```
1 - ls
2 - a = xlsread('2-4fil.xlsx',1)
3 - b = xlsread('2-4fil.xlsx',2)
4 - d = xlsread('2-4.xlsx',1)
5 - e = xlsread('2-4.xlsx',2)
6
7 - subplot(2,2,1),plot(a,b),title('A) GRAFICA DEL SIMULADOR')
8 - xlabel('f[GHz]')
9 - ylabel('Ganancia (dB)')
10 - subplot(2,2,2),plot(d,e),title('B) GRAFICA DE RESULTADOS')
11 - xlabel(' f[GHz]')
12 - ylabel('Ganancia (dBm)')
13
```

The Command Window shows the prompt `f>>`. The status bar at the bottom indicates 'Ln 1 Col 1'.

FILTRO DE 4-7 GHz

The image shows the MATLAB R2017b environment. The editor window displays a script named 'grafica3.m' with the following code:

```
1 - ls
2 - a = xlsread('4-7fil.xlsx',1)
3 - b = xlsread('4-7fil.xlsx',2)
4 - d = xlsread('4-7.xlsx',1)
5 - e = xlsread('4-7.xlsx',3)
6
7 - subplot(2,2,1),plot (a,b),title('A) GRAFICA DEL SIMULADOR')
8 - xlabel('f[GHz]')
9 - ylabel('Ganancia (dB)')
10 - subplot(2,2,2),plot (d,e),title('B) GRAFICA DE RESULTADOS')
11 - xlabel(' f[GHz]')
12 - ylabel('Ganancia (dBm)')
13
```

FILTRO DE 7-9 GHz

The image shows the MATLAB R2017b environment. The editor window displays a script named 'grafica4.m' with the following code:

```
1 - ls
2 - a = xlsread('7-9fil.xlsx',1)
3 - b = xlsread('7-9fil.xlsx',2)
4 - d = xlsread('7-9.xlsx',1)
5 - e = xlsread('7-9.xlsx',3)
6
7 - subplot(2,2,1),plot (a,b),title('A) GRAFICA DEL SIMULADOR')
8 - xlabel('f[GHz]')
9 - ylabel('Ganancia (dB)')
10 - subplot(2,2,2),plot (d,e),title('B) GRAFICA DE RESULTADOS')
11 - xlabel(' f[GHz]')
12 - ylabel('Ganancia (dBm)')
13
```

The Command Window shows the prompt `f >>`. At the bottom of the window, there is a message: "Activar Windows. Ve a Configuración para activar Windows."

FILTRO DE 8,5 – 9,4GHz

The image shows the MATLAB R2017b interface. The current folder is 'D:\Respaldos Pc\Matlab\bin'. The editor window displays the following code for 'grafica5.m':

```
1 - is
2 - a = xlsread('7-9fil.xlsx',1)
3 - b = xlsread('7-9fil.xlsx',2)
4 - d = xlsread('7-9.xlsx',1)
5 - e = xlsread('7-9.xlsx',3)
6
7 - subplot(3,2,1),plot(a,b),title('A) GRAFICA DEL SIMULADOR')
8 - xlabel('f[GHz]')
9 - ylabel('Ganancia (dB)')
10 - subplot(3,2,2),plot(d,e),title('B) GRAFICA DE RESULTADOS')
11 - xlabel(' f[GHz]')
12 - ylabel('Ganancia (dBm)')
13
```

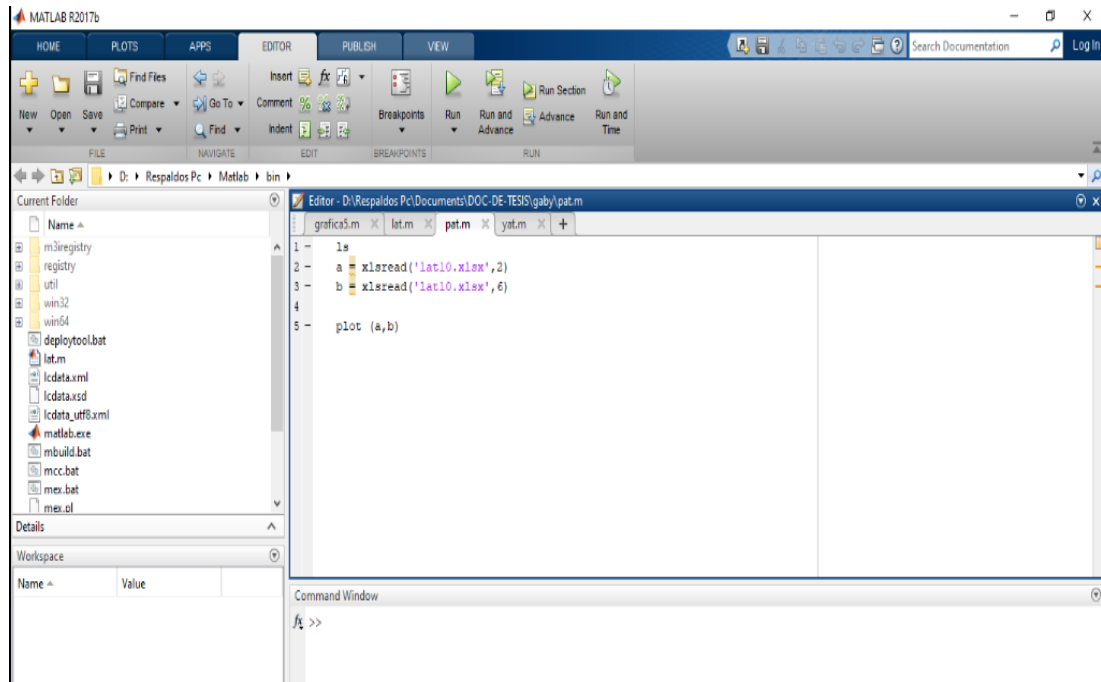
ATENUADOR LAT-10+

The image shows the MATLAB R2017b interface. The current folder is 'D:\Respaldos Pc\Matlab\bin'. The editor window displays the following code for 'lat.m':

```
1 - is
2 - a = xlsread('lat10.xlsx',2)
3 - b = xlsread('lat10.xlsx',3)
4
5 - plot(a,b)
```

The Command Window shows the prompt `f> >>`. There are also social media sharing buttons for 'Reenviar', 'Compartir en Facebook', and 'Información' overlaid on the interface.

ATENUADOR PAT-10+

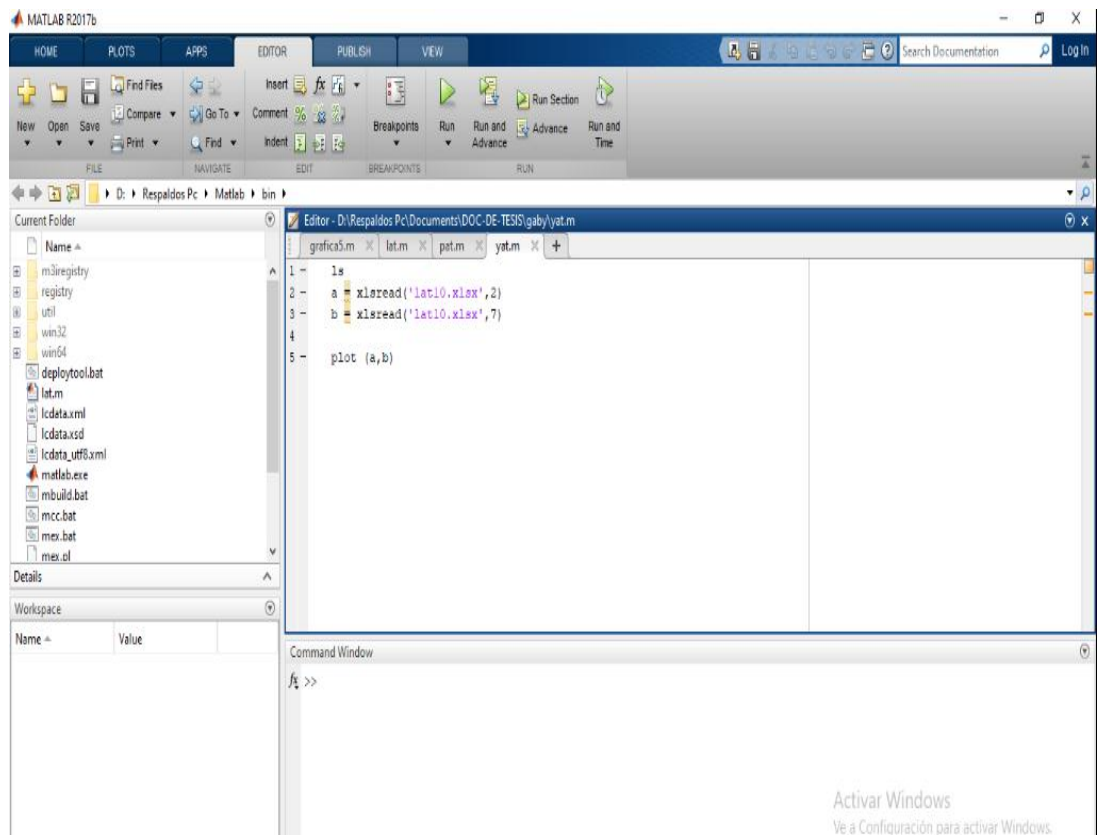


The screenshot shows the MATLAB R2017b environment. The current folder is 'D:\Respaldos Pc \ Matlab \ bin'. The editor window displays the following code in 'pat.m':

```
1 - %s
2 - a = xlsread('lat10.xlsx',2)
3 - b = xlsread('lat10.xlsx',6)
4
5 - plot (a,b)
```

The Command Window shows the prompt 'f >>'.

ATENUADOR YAT-10+



The screenshot shows the MATLAB R2017b environment. The current folder is 'D:\Respaldos Pc \ Matlab \ bin'. The editor window displays the following code in 'yat.m':

```
1 - %s
2 - a = xlsread('lat10.xlsx',2)
3 - b = xlsread('lat10.xlsx',7)
4
5 - plot (a,b)
```

The Command Window shows the prompt 'f >>'.

Activar Windows
Ve a Configuración para activar Windows.