



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

“DISEÑO E IMPLMETACION DE AMPLIFICADOR DE ALTA
FRECUENCIA EN LA BANDA K CON TECNOLOGÍA MMIC PARA EL
LABORATORIO DE COMUNICIONES DE LA ESPOCH”

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y
REDES

AUTOR: DARIO JOSÉ JORDÁN FIALLOS

Riobamba-Ecuador

2017

@2017, Dario José Jordán Fiallos

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 Autor.

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

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación con el tema “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE AMPLIFICADOR DE ALTA FRECUENCIA EN LA BANDA K CON TECNOLOGIA MMIC PARA EL LABORATORIO DE COMUNICACIONES DE LA ESPOCH”, de responsabilidad del señor Dario José Jordán Fiallos, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Washington Luna		
DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	_____	_____
Ing. Franklin Moreno		
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	_____	_____
Dr. Hugo Moreno A. Ph.D.		
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____
Ing. Jorge Yuquilema.		
MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____

Yo, Dario José Jordán Fiallos, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Dario

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios por brindarme la vida, la salud, y la sabiduría con el cual he logrado alcanzar una de mis metas, guiándome en momentos difíciles y poder superar obstáculos los cuales fueron un aprendizaje más dentro de mi vida.

A mis padres José y Mery por brindarme el apoyo total e incondicional siempre con sus palabras de un aliento, de seguir adelante en mi vida estudiantil y en mi vida personal, formándome así en una persona con ética y principios, gracias a ellos por su esfuerzo por estar siempre en los momentos más duros ofreciéndome un hombro para así no renunciar y seguir siempre hacia adelante.

A mis hermano Fabián por ser un ejemplo de trabajo y dedicación siempre guiándome de la manera más correcta y fortaleciendo la hermandad dentro de la familia. A mi hermana Melanie por su apoyo incondicional en momentos arduos encontrando en ella el amor de una hermana que más se asemeja a una madre.

A mis abuelitos Adolfo (que en paz descanse), Hilda, Consuelo y Lisauro (que en paz descanse) los cuales fueron el pilar principal dentro de mi familia con su sabiduría y su apoyo.

Dario

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitir estudiar en su prestigiosa instalación. A mis maestros los cuales me formaron académicamente dentro de mi vida estudiantil, impartiendo respeto y dedicación de la manera muy especial a mi director de trabajo de titulación Ing. Hugo Moreno por permitir su tutoría de una manera entusiasta del presente trabajo de titulación brindando siempre los conocimientos necesarios y la comprensión de temas desconocidos guiándome de tal manera que el trabajo se desarrolle sin ningún problema. A todas las personas que he conocido a lo largo de mi vida estudiantil, a mis compañeros de clase por apoyarnos mutuamente y seguir adelante.

A toda mi familia por permanecer siempre conmigo apoyándome directa e indirectamente. A Jessica Saavedra por estar conmigo en cada paso que he dado por ser un complemento más en el camino hacia mi meta, siempre apoyándome con su gran paciencia, ayudándome a superar los obstáculos día a día.

Dario

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I

1.	MARCO TEORICO.....	8
1.1	Tecnología de microondas.....	8
1.1.1	<i>Orígenes de la tecnología microondas.</i>	8
1.1.2	<i>Definición bandas de frecuencias</i>	10
1.1.3	<i>Aplicaciones de la tecnología de microondas</i>	11
1.2	Tecnología MMIC.....	12
1.2.1	<i>Origen</i>	12
1.2.2	<i>Definición</i>	13
1.2.3	<i>Aplicaciones de los circuitos planar de microondas</i>	14
1.2.3.1	<i>Aplicaciones Civiles</i>	14
1.2.3.1.1	<i>Comunicación Satelital</i>	14
1.2.3.1.2	<i>Tecnología de radares</i>	16
1.2.3.2	<i>Aplicaciones Militares</i>	17
1.2.3.2.1	<i>Radar de fase</i>	17
1.2.4	<i>Tecnología</i>	19

1.2.4.1	<i>Materiales</i>	19
1.2.4.2	<i>Componentes</i>	19
1.2.4.2.1	<i>Elementos Pasivos</i>	20
1.2.4.2.1.1	<i>Microstripline</i>	21
1.2.4.2.1.1.1	<i>Resistores</i>	22
1.2.4.2.1.1.2	<i>Capacitores</i>	24
1.2.4.2.1.1.2.1	<i>Capacitores Interdigitales</i>	25
1.2.4.2.1.1.2.2	<i>Capacitores Metal Aislante Metal (MIM)</i>	26
1.2.4.2.1.1.3	<i>Inductores</i>	27
1.2.5	<i>Fabricación</i>	31
1.2.6	<i>Principales ventajas y desventajas</i>	33
1.3	Atenuador	34
1.3.1	<i>Definición</i>	34
1.3.2	<i>Atenuadores en Líneas Coaxiales</i>	35
1.3.3	<i>Atenuadores Resistivos en Guías de Onda</i>	37
1.3.4	<i>Atenuador de Corte</i>	39
1.3.5	<i>Atenuador de lámina giratoria</i>	40
1.4	Combinador / divisor	41
1.4.1	<i>Introducción</i>	41
1.4.2	<i>Definición</i>	42
1.4.3	<i>Clasificación</i>	42
1.4.3.1	<i>Combinador de potencia a nivel circular</i>	43
1.4.3.1.1	<i>Combinador binario</i>	44
1.4.3.1.2	<i>Combinador de Cadena</i>	45
1.4.3.1.3	<i>Combinador resonante</i>	46
1.4.3.1.4	<i>Combinador no resonante</i>	47

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLOGICO	48
----	---------------------------------	----

2.1	Introducción	48
2.2	Diseño del amplificador de alta frecuencia.....	48
2.3	Requerimientos del sistema.....	49
2.3.1	<i>Descripción de los elementos internos que conforman sistema</i>	50
2.3.1.1	<i>Fuente de alimentación.....</i>	50
2.3.1.1.1	<i>Transformador de 120 a 12 AC.....</i>	50
2.3.1.1.2	<i>Rectificador de onda completa de onda completa.....</i>	51
2.3.1.1.3	<i>Condensadores.....</i>	51
2.3.1.1.4	<i>Integrado regulador.....</i>	52
2.3.1.2	<i>Atenuador microstrip.....</i>	55
2.3.1.3	<i>Cable SMA-SMA.....</i>	57
2.3.1.4	<i>Módulos de amplificación.....</i>	58
2.3.1.4.1	<i>Integrado MMIC PHA-1+</i>	58
2.3.1.4.1.1	<i>Características del módulo de amplificación.....</i>	60
2.3.1.4.2	<i>Integrado MMIC AVA-183A+</i>	60
2.3.1.4.2.1	<i>Características del módulo de amplificación.....</i>	62
2.3.1.4.3	<i>Integrado MMIC AVM-273HPK+</i>	62
2.3.1.4.3.1	<i>Características de módulo de amplificación.....</i>	64

CAPITULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS	66
3.1	Introducción	66
3.2	Diseño e implantación de fuente de alimentación	67
3.2.1	<i>Funcionamiento de fuente de alimentación</i>	69
3.3	Diseño e implementación de atenuadores microstrip	70
3.3.1	<i>Implementación de atenuador 0.05- 6 GHZ</i>	70
3.3.2	<i>Implementación de atenuador 5- 18 GHZ</i>	72
3.3.3	<i>Implementación de atenuador de 18- 26.5GHZ</i>	73
3.4	Elaboración de cables SMA-SMA	74
3.5	Implementación de los módulos de amplificación.....	76
3.5.1	<i>Módulo de amplificación de 0.05-6 GHZ.....</i>	76
3.5.2	<i>Módulo de amplificación de 5-18 GHZ.....</i>	77
3.5.3	<i>Módulo de amplificación 18-26.5 GHZ</i>	78

3.6	Toma de medidas de amplificadores	78
3.7	Toma de medidas de amplificadores y atenuadores	80
3.8	Instalación del sistema.....	83
3.9	Análisis económico del trabajo de titulación	84

CONCLUSIONES.....	90
--------------------------	-----------

RECOMENDACIONES.....	91
-----------------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Ventajas y Desventajas de MMICs	33
Tabla 2-1: Índices absolutos máximos	52
Tabla 2-2: Características eléctricas (MC7805/LM7805).....	53
Tabla 2-3: Características eléctricas (LM7812).....	54
Tabla 2-4: Características de los atenuadores	56
Tabla 2-5: Características del cable SMA-SMA.....	58
Tabla 2-6: Valores de componentes para módulo 1	60
Tabla 2-7: Lista de componentes para amplificador AVA-183A+	61
Tabla 2-8: Índices absolutos máximos	62
Tabla 2-9: Lista de componentes elaboración de módulo AVM-273HPK+	64
Tabla 2-10: Índices absolutos máximos	65
Tabla 3-1: Análisis económico	84

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Espectro de frecuencia electromagnético y longitudes de onda asociadas.	9
Figura 1-2: Definiciones de bandas de frecuencia, a) Designaciones IEEE, b) Designaciones militares de las bandas de frecuencia de los Estados Unidos.....	11
Figura 1-3: Diagrama de bloques de un sistema DBS.	15
Figura 1-4: Módulos de transmisión y recepción usando integrados MMIC	16
Figura 1-5: Diagrama de bloques de un receptor de radar de fase.....	18
Figura 1-6: Diagrama esquemático tridimensional de la construcción de un circuito MMIC.....	20
Figura 1-7: Línea de Transmisión Microstrip.....	21
Figura 1-8: Líneas eléctricas y de campo magnético.....	22
Figura 1-9: Esquemático de una resistencia microstrip	23
Figura 1-10: Capacitor Interdigital.	24
Figura 1-11: Capacitor Interdigital.	25
Figura 1-12: Equivalente Capacitor Interdigital.	26
Figura 1-13: Esquema Capacitor MIM.....	27
Figura 1-14: Inductor Loop.....	28
Figura 1-15: Equivalente Inductor espiral.	29
Figura 1-16: Inductor espiral usando tecnología Air-bridge.....	30
Figura 1-17: Atenuador en línea coaxial.....	35
Figura 1-18: Disco resistivo.....	35
Figura 1-19: Atenuador tipo T.....	36
Figura 1-20: Circuito Equivalente para una configuración tipo T.....	36
Figura 1-21: Atenuador Resistivo en Guía de Ondas.	38
Figura 1-22: Atenuador de Precisión Resistivo en Guía de Ondas.....	39
Figura 1-23: Estructura de un atenuador de corte con la distribución del campo eléctrico.	40
Figura 1-24: Atenuador de lámina giratoria.	41
Figura 1-25: Clasificación de combinadores-divisores de potencia.	42
Figura 1-26: Combinador-divisor a nivel de dispositivo en chip de transistor de potencia.....	43
Figura 1-27: Estructura de un combinador binario.	44
Figura 1-28: Evolución de la eficiencia al variar el número de etapas existentes.	45
Figura 1-29: Combinador-divisor en cadena.	46

Figura 1-30: Combinador-divisor resonante.....	46
Figura 1-31: Combinador-divisor resonante.....	47
Figura 2-1: Diagrama de bloques de sistema de amplificación	49
Figura 2-2: Rectificador de onda completa.....	51
Figura 2-3: Atenuador tipo T	55
Figura 2-4: Calculo de pistas de atenuador.....	57
Figura 2-5: Esquema de circuito MMIC PHA-1+, distribución de pines.....	59
Figura 2-6: Circuito esquemático recomendado para PHA-1+.....	59
Figura 2-7: Esquemático simplificado y distribución de pines.....	60
Figura 2-8: Diagrama esquemático para amplificador AVA-183A+	61
Figura 2-9: Esquema de integrado AVM-273HPK+, y módulo de alimentación VCM-1+	63
Figura 2-10: Diagrama esquemático de construcción de modulo para el integrado AVM-273HPK+	64
Figura 3-1: Diseño de la fuente de alimentación	67
Figura 3-2: Circuito impreso en bakelita de la fuente de alimentación.	68
Figura 3-3: Fuente de alimentación componentes internos	68
Figura 3-4: Fuente de alimentación operativa	69
Figura 3-5: Diseño final de atenuador tipo T de 0.05-6 GHZ.....	70
Figura 3-6: Atenuador 0.05-6 GHZ implementado	71
Figura 3-7: Rango de atenuación del atenuador de 0.05-6 GHZ	71
Figura 3-8: Diseño final de atenuador de 5-18 GHZ	72
Figura 3-9: Atenuador 5-18 GHZ implementado	72
Figura 3-10: Rango de trabajo de atenuador 5-18 GHZ	73
Figura 3-11: Diseño final de atenuador de 18-26.5 GHZ	74
Figura 3-12: Conector SMA macho.....	75
Figura 3-13: Corte cable coaxial RG-58.....	75
Figura 3-14: Cable SMA-SMA completado.....	76
Figura 3-15: Módulo de amplificación terminado de 0.05-6 GHZ.....	77
Figura 3-16: Módulo de amplificación de 5-18 GHZ terminado.....	78
Figura 3-17: Toma de medidas de módulo de 0.05-6 GHZ.	79
Figura 3-18: Grafica de módulo de amplificación de 0.05-6 GHZ.....	79
Figura 3-19: Grafica de módulo de amplificación de 5-18 GHZ.....	80
Figura 3-20: Conexión de los módulos de amplificación y atenuadores toma de medidas	81
Figura 3-21: Comportamiento del sistema de amplificación 0.05-6 GHZ	82

Figura 3-22: Comportamiento del sistema de amplificación 5-18 GHZ	82
Figura 3-23: Armado de elementos dentro de la caja plástica	83

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Datasheet de amplificador PHA-1+.
ANEXO B	Impreso de módulo de amplificación PHA-1+
ANEXO C	Datasheet de amplificador AVA-183A+.
ANEXO D	Impreso de módulo de amplificación AVA-183A+
ANEXO E	Datasheet de amplificador AVM-273HPK+.
ANEXO F	Impreso de módulo amplificación AVM-273HPK+
ANEXO G	Impreso de atenuador de 0.05-6 GHZ.
ANEXO H	Impreso de atenuador de 5-18 GHZ.
ANEXO I	Impreso de atenuador de 11-26.5 GHZ.
ANEXO J	Recepción de la señal amplificada.
ANEXO K	Transmisión de señal.
ANEXO L	Manual de usuario del sistema
ANEXO M	Datos obtenidos en las mediciones finales

RESUMEN

Se diseñó e implemento un amplificador de alta frecuencia en la banda K con tecnología de Circuitos Integrados Monolíticos de Microondas (MMIC) para el Laboratorio de Comunicaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se llevó a cabo el estudio de la disponibilidad de los componentes electrónicos con los que el dispositivo fue desarrollado. Se consideró una arquitectura de bloques de amplificadores, lo que permitió a partir del funcionamiento de todos los bloques en conjunto, llegar a cubrir un rango mayor de frecuencias. El dispositivo está formado por circuitos integrados, componentes pasivos y circuitos de protección con tecnología microstrip siendo estos principalmente atenuadores, los cuales se diseñaron acorde a las necesidades de cada amplificador con el fin de evitar daños tanto en los circuitos integrados como en los equipos de medición. A la salida de cada módulo de amplificación se implementaron combinadores microstrip que recogen las señales de cada una de las salidas lo que permitió obtener una salida única de todo el sistema. Para la unión de todos los módulos se planteó la utilización de cable coaxial de 50 ohmios formando un solo dispositivo dentro de una estructura previamente diseñada con las entradas respectivas según el rango de frecuencia que se requiera amplificar y una única salida. Se realizaron pruebas de funcionamiento y toma de medidas, se obtuvo que el sistema proporciona una amplificación de hasta 22 dBm en un amplio rango de frecuencias que va de 0.05 GHZ hasta 26.5 GHZ por lo que se concluye que el dispositivo proporciona un ancho de banda considerable, además el sistema permite amplificar ondas de alta frecuencia, haciendo posible un dispositivo de menor tamaño y con bajas perdidas de transmisión. Se recomienda leer el manual de usuario, en la cual se explica detalladamente la utilización del dispositivo y la configuración segura de los equipos de medición.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <AMPLIFICADORES DE SEÑAL>, <LINEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA>, <ATENUADORES DE SEÑAL>, <ALTA FRECUENCIA>.

ABSTRACT

A high frequency amplifier was designed and implemented in the K band with Microwave Monolithic Integrated Circuits (MMIC) technology for the Communication Laboratory of the Polytechnic School of Chimborazo. The study of the availability of the electronic components with which the device was developed was carried out. It was considered an architecture of blocks of amplifiers, which allowed from the operation of all the blocks as a whole, to cover a greater range of frequencies. The device consists of integrated circuits, passive components and protection circuits with microstrip technology, these being mainly attenuators, which were designed according to the needs of each amplifier in order to avoid damage to both integrated circuits and measuring equipment. . At the output of each amplification module, microstrip combiners were implemented that collect the signals from each of the outputs, which allowed obtaining a single output of the entire system. For the union of all the modules, the use of 50-ohm coaxial cable was proposed, forming a single device within a previously designed structure with the respective inputs according to the frequency range required to amplify and a single output. Performance tests were performed and measurements were taken, it was obtained that the system provides an amplification of up to 22 dBm in a wide range of frequencies ranging from 0.05 GHz to 26.5 GHz, so it is concluded that the device provides a considerable bandwidth In addition, the system allows the amplification of high frequency waves, making possible a device of smaller size and with low transmission losses. It is recommended to read the user manual, which explains in detail the use of the device and the safe configuration of the measuring equipment.

KEY WORDS: <ELECTRONIC ENGINEERING>, <HIGH FREQUENCY>, <RADIO FREQUENCY>, <AMPLIFICATION>, <COAXIAL CABLE>, <COMMUNICATION TECHNOLOGY>, <MONOLITHIC INTEGRATEDN MICROWAVE CIRCUITS>, <POWER LOSSES>, < MICROSTRIP>, <ATTENDANT DEVICE>, <RIOBAMBA (CANTON)>.

INTRODUCCIÓN

Durante el tiempo se han presentado numerosas aplicaciones en el ámbito de las telecomunicaciones, siendo estas un gran aporte principalmente para equipos militares y de radar, las cuales por seguridad utilizan frecuencias poco manipuladas o reservadas, lo que se emplean altos niveles de potencia para tener llegar a tener una buena tasa de transmisión.

Desde la utilización militar poco a poco se ha ido utilizando dicha tecnología para el beneficio de la humanidad aportada e involucrándose más en la rama de la ingeniería, lo que se volvió una necesidad para la transmisión de datos a grandes distancias, llegando a mejorar los sistemas de comunicaciones gracias a los avances tecnológicos en la electrónica de alta frecuencia, ofreciéndonos circuitos monolíticos integrados de microondas (MMIC), en una gran variedad de funciones los cuales son un complemento para en buen funcionamiento de un sistemas de transmisión como de recepción.

Aunque existen una variedad de tecnología que trabajan en altas frecuencias, una de ellas hasta hoy día empleado es la utilización de guía de ondas, lo que hace que un sistema de transmisión como de recepción sean voluminosos y de alto costo, de tal manera que la utilización de circuitos con tecnología MMIC en los dispositivos de comunicaciones llegan a solventar las necesidades de espacio y presupuesto, mejorando las característica de fidelidad en el sistema como menor pérdidas, e interferencias.

La tecnología MMIC es muy versátil ya que cuenta con un amplio catálogo de circuitos como mezcladores, diodos, multiplicadores y divisores de frecuencia, amplificadores osciladores entre otros. Todo en un extenso rango de frecuencias.

Lo que en el presente trabajo trata del diseño y de la implementación de un conjunto de módulos de amplificación, basados en la tecnología MMIC específicamente por medio de circuitos integrados, los cuales operaran conjuntamente para llegar alcanzar un rango de frecuencias mayor.

Inicialmente se reúne la información necesaria durante un periodo de tiempo, donde se establecieron parámetros que cumpliría el dispositivo, como el rango y disponibilidad de los circuitos integrados, la seguridad, el diseño final. Establecido el rango de frecuencia a trabajar, se

adquirió los integrados correspondientes, simultáneamente de otros dispositivos que trabajarían colectivamente para su buen funcionamiento.

El proyecto está destinado al uso de docentes y estudiantes de la ESPOCH, para el estudio del comportamiento de las señales amplificadas en altas frecuencias, por la que el dispositivo reúne las condiciones necesarias en ámbito de seguridad implementado circuitos, que fueron diseñados acorde a las necesidades cada módulo de amplificación para no llegar a sobrepasar potencias que podrían ser perjudiciales para los equipos de medición, y especialmente no llegar a inutilizar los integrados amplificadores.

ANTECEDENTES

La tecnología de microondas se viene desarrollando desde hace más de 50 años, dando su aparición con el radar, que es una de las primeras aplicaciones que lleva la tecnología de microondas siendo desarrollada en el ámbito militar desde la segunda guerra mundial, en los últimos años la tecnología ha ido evolucionando trayendo consigo dispositivos de estado sólido de alta frecuencia, nuevas técnicas de diseño, circuitos integrados de microondas, tecnología de comunicaciones inalámbricas, redes, detección, seguridad y aplicaciones sumamente amplias de RF. Sus orígenes de los fundamentos modernos en teoría electromagnética se remontan en el año de 1873 los cuales fueron formulados por James Clerk Maxwell, quien con su pensamiento de que la luz era una forma de energía electromagnética, planteo a partir de consideraciones matemáticas la propagación de ondas electromagnéticas, posteriormente Oliver Heaviside en los años 1885 a 1887 moldeó en su forma moderna la formulación que habría propuesto Maxwell. (Pozar, D, 2012, pp. 4)

Luego un físico alemán llamado Heinrich Hertz quien entendió la teoría publicado por Maxwell llegó a demostrar por medio de experimentos las leyes de reflexión de las “ondas de radio”. Llegando a indicar que existen medios los cuales facilitan la reflexión de estas ondas por medio de propiedades físicas que presentan dichos medios. Un investigador alemán Christian Hulsmeyer en 1903 logró detectar ondas de radio las cuales se reflejaban en los buques, lo que lo llevó a desarrollar un dispositivo que ayudaría a la navegación. (Sanfuentes, J, 2000, pp. 1-2)

Fue desde entonces que los sistemas de comunicación con tecnología de microondas fueron tomando relevancia principalmente como uso exclusivo de la industria de la defensa, hoy en día la tecnología moderna y dispositivos electrónicos tienen una gran demanda de voz, datos y capacidad de comunicación de video, los cuales se aplican en la telefonía móvil, redes de computadoras conectadas difusión de video, están siendo utilizados en diferentes ambientes tanto civiles como militares, lo que demanda una gran producción de productos de microondas y de RF, lo que redujo el costo de su implementación gracias al avance de diseños de circuitos MMIC. (GOLIO, M, 2001, p.1)

Como es bien conocido la tecnología de microondas se utilizan circuitos basados en guías de onda, lo que conlleva a procesos largos y sumamente costosos durante el proceso de fabricación, tomando menos valoración dentro de un mercado que buscaba la miniaturización de equipamiento. Ya en 1960 aparece la tecnología planar y la producción de materiales dieléctricos más baratos llegando a tener menos pérdidas dando lugar a la tecnología de circuitos integrados de microondas.

Durante los años 80 se comienza una gran carrera por desarrollar y mejorar los circuitos integrados de microondas MIC, para que estos llegasen a sustituir los sistemas implementados por tubos, guías de onda, cavidades y otros dispositivos utilizados dentro de las telecomunicaciones, todo esto bajo la mano de DARPA, teniendo como resultado una tecnología MMIC. (BHAT Y KOUL, 2013, pp. 1-6)

La razón por la que se están empleando circuitos con tecnología MMIC en los múltiples campos de comunicaciones se debe a múltiples razones, la principal de ellas es por su tamaño reducido y el bajo consumo energético que estas necesitan para su correcto funcionamiento, otra de las razones es que los componentes basados en la tecnología MMIC permiten operar a frecuencias muy altas sin tener efectos parásitos no deseados, que regularmente se encuentran en dispositivos tradicionales discretos a altas frecuencias.

En el último de los años se ha llegado a perfeccionar el diseño de fabricación de componentes MMIC llegando a tener una alta fiabilidad bajo condiciones recomendadas de trabajo, al igual que una operación estable en amplios anchos de banda, todo esto en unas reducidas dimensiones haciéndonos más fácil la manipulación y ensamblaje de nuevos sistemas de comunicaciones.

Indudablemente los intereses militares y de defensa han seguido iniciando y financiando el desarrollo del radar, los avances e innovaciones se han transferido en pocos años a los ámbitos civil y comercial del radar y las telecomunicaciones.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los sistemas de comunicaciones de microondas en la actualidad están compuestos por amplificadores, los cuales son capaces de operar sin ningún fallos, pero lo en su mayoría estos están siendo fabricados a base de guías de ondas los cuales conllevan a un gran problema de implementación, por sus altos costos, y largos procesos de elaboración, no llegando a cumplir con la mayoría de las necesidades presentándonos debilidades estructurales provocados por su diseño lo que conlleva a un gran problema en procesos muy delicados como la amplificación de las señales milimétrica y de microondas, donde se podría obtener interferencias y pérdidas, llegando a perder la fidelidad que un amplificador necesita.

En la actualidad los sistemas de comunicaciones están tomando una gran relevancia en la transmisión de datos a grandes distancias, siendo estas empleados por propósitos de defensa militar como también abriéndose paso en diversas aplicaciones civiles. Por tal motivo se investigó y se dio solución con un diseño de un amplificador de alta frecuencia a bajo costo por medio de componentes basados en la tecnología MMIC, llegando a obtener un dispositivo que cumpla con la necesidades como la fidelidad y una buena ganancia para su óptimo trabajo del mismo.

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

Gracias al avance tecnológico en los últimos años los dispositivos que operan a altas frecuencias se han convertido en elementos indispensables para el estudio y aprendizaje dentro de nuestra carrera en telecomunicaciones. Lo que lleva que este equipamiento llegue a ser costoso y voluminosos, por lo cual la institución no puede obtener dichos dispositivos.

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En la actualidad los sistemas de amplificación de alta frecuencias están siendo empleadas en diferentes campos por lo que hace una necesidad de estudio dentro de nuestra institución especialmente para la carrera de telecomunicaciones, siendo así un gran aporte a la comunidad politécnica, con el diseño y la implementación del equipo.

Por la que mediante el presente proyecto tecnológico se desarrolló un sistema modular de bajo costo para la implementación en el laboratorio de comunicaciones de la ESPOCH el cual permite amplificar señales milimétricas y de microondas dentro de un gran rango de frecuencias establecidos por el fabricante de los circuitos MMIC, a lo que su principal característica son de bajo consumo energético y de pequeñas dimensiones.

Los circuitos integrados monolíticos MMIC permiten crear amplificadores de alta potencia ya que viene a ser un transistor de potencia integrado sobre un sustrato semiconductor y cuenta con una impedancia característica de entrada como en salida de 50 ohms, dando una gran facilidad con el uso de la mayoría de equipos de microondas, de igual manera la tecnología MMIC opera en rangos de frecuencia de 300MHZ y 300GHZ permitiendo cubrir un amplio rango de frecuencias necesarias para el estudio.

El amplificador pretende operar desde frecuencias que van de 50MHZ hasta un la banda K el cual está establecido por la IEEE que es un segmento del espectro electromagnético que llega hasta los 27GHZ siendo muy recomendable trabajar con una buena fidelidad dentro de este rango de frecuencias.

El proyecto da una solución a bajo costo enfocado a las grandes prestaciones y fidelidades que tiene que cumplir un amplificador de alta frecuencia. La investigación pretende desarrollar un sistema que permita obtener una buena ganancia de una señal ingresada al sistema para luego poder ser manipulada con mayor facilidad, siempre teniendo en cuenta la seguridad de los equipamientos de medición por medio de circuitos de seguridad vasados en la tecnología microstrip.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

El presente trabajo tiene como finalidad la implementación de un sistema modular de amplificación de alta frecuencia basada en componentes MMIC, de fácil manipulación y de buena respuesta, sustituyendo así las guías de ondas u otros dispositivos de altos costos sin perder las prestaciones de dispositivos de alta gama.

El sistema de amplificación propuesto consta de módulos de amplificación con sus respectivos circuitos de protección diseñados e implementados con la tecnología microstrip el cual protegerá los equipos de medición y los circuitos integrados MMIC, los módulos serán unidos por medio de cable coaxial de 50 ohms .

Por lo que se hizo un previo estudio de la disponibilidad de los circuitos integrados en los rangos establecidos para cubrir las necesidades de estudio, de igual manera se dio a conocer las características, funcionamiento, configuración, diagramas de ensamblaje y la mayoría de características que fuesen necesarias para llegar a cumplir con el montaje del dispositivo.

La importancia de la implementación de este tipo de sistema es suministrar una herramienta que ayude al estudio y aprendizaje de docentes y estudiantes de nuestra facultad permitiendo tener un avance más en el campo de las telecomunicaciones observando el comportamiento de las señales amplificadas a diferentes frecuencias.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

Diseñar e implementar un amplificador de alta frecuencia en la banda de 50 MHZ a 26.5 GHZ con componentes MMIC.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar y seleccionar el tipo de componentes MMIC adecuados para el requerimiento del sistema.
- Estudiar y seleccionar los materiales y otros elementos que cumplan con los requerimientos de diseño del sistema.
- Diseñar e implementar los módulos de amplificación para cada una de la frecuencias para cubrir la banda K.
- Evaluar el funcionamiento del amplificador y el conjunto con los módulos implementados.
- Realizar un manual de usuario del equipo a implementar.

CAPITULO I

1. MARCO TEORICO

1.1 Tecnología de microondas

1.1.1 Orígenes de la tecnología microondas.

La ingeniería de microondas tiene un origen en el radar ya que fue las primeras aplicaciones que se dio en los años 50, la cual fue desarrollada desde la segunda guerra mundial, lo que con el pasar de los años se han ido diseñando dispositivos de estado sólido de alta frecuencias como los circuitos integrados de microondas, aplicaciones cada vez más amplias de RF, y tecnología de comunicaciones inalámbricas de seguridad. (POZAR, D, 2012, p.4)

En 1873 los fundamentos de teoría electromagnética fueron fundados por James Clerk Maxwell por medio de consideraciones matemáticas, lo que planteo la hipótesis de la propagación de ondas, y de que la luz era una forma de energía electromagnética, posteriormente la formulación de Maxwell fue modelada en su forma moderna por Oliver Heaviside durante 1885 a 1887, eliminando la complejidad de la teoría de Maxwell. (POZAR, D, 2012, p.4)

Un profesor alemán llamado Hertz quien entendió la teoría propuesta por Maxwell, durante el periodo de 1887 a 1891 lleva a cabo un conjunto de experimentos que valida la teoría de ondas electromagnéticas de Maxwell, la cual fue un avance a todas las aplicaciones prácticas de la teoría electromagnética, radar, televisión, redes inalámbricas y telefonía celular. (POZAR, D, 2012, p.4)

Durante el pasar de los años, la ingeniería en microondas ha sufrido cambios radicales, pasando del usos exclusivo en trabajos de defensa militar, en la industria comercial inalámbricas civiles, ya que con el crecimientos avanzado del mercado inalámbrico se ha estimulado a importantes cambios dentro del enfoque de los ingenieros de RF y microondas, cambiando el diseño de la fabricación pasando de piezas únicas, a la producción en grandes cantidades, reduciendo el costo sin alterar el rendimiento. (GOLIO, M, 2001, p.1)

Los dispositivos diseñados para el campo de microondas abarcan frecuencias del espectro electromagnético que va aproximadamente de 300 KHZ hasta más de 100 GHZ, RF es utilizada para referirse a sistemas y circuitos que trabajan en rangos aproximados de frecuencia de 300 KHZ a 1 GHZ. (GOLIO, M, 2001, p.1)

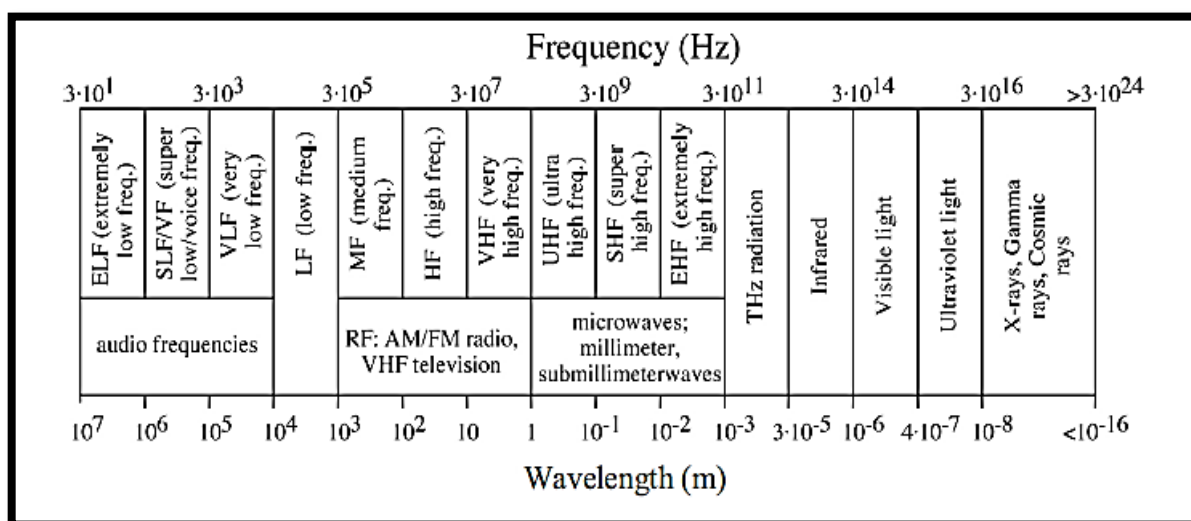


Figura 1-1: Espectro de frecuencia electromagnética y longitudes de onda asociadas.

Fuente: GOLIO, M, 2001

En la figura 1-1, se aprecia la división del espectro electromagnético la cual cubre frecuencias media (MF), altas frecuencias (HF) o de onda corta, frecuencias muy altas (VHF) mientras que las microondas se sitúan por encima del rango de frecuencia VHF y por debajo de las frecuencias de radiación, ópticas de infrarrojo que son de 0,3 THz y superiores. (GOLIO, M, 2001, p.1)

Durante el crecimiento tecnológico y la falta de fuentes de microondas y otros componentes, en 1900s crece la tecnología de radio esto en los rango de HF a VHF, no fue en 1940 que por medio de la segunda guerra mundial la tecnología tomo un interés sustancial, donde en el laboratorio de radiación en Estados Unidos, se estableció el instituto de tecnología de Massachusetts que desarrollaban el radar. (POZAR, D, 2012, p.4)

Mientras que grandes talentos como I. I. Rabi, J.S. Schwinger, H.A. Bethe, E.M. Purcell, C.G. Montgomery y R.H. Dicke, entre otros, en un periodo se reunieron en un periodo muy intenso para el desarrollo dentro del campo de las microondas, donde se trabajó con componente de guías de ondas, antenas de microondas, con un tratamiento experimental y teórico. Dando desarrollo a los sistemas de comunicaciones basados en la tecnología de microondas. Los sistemas de microondas prestaban grandes beneficios como grandes anchos de banda, y la propagación con una línea de vista, que han sido una ventaja para satélites artificiales aportando al desarrollo de componentes miniaturizados de microondas de bajo costo. (POZAR, D, 2012, p.6)

1.1.2 Definición bandas de frecuencias

La ingeniería de microondas y RF es de uso en propósitos militares, y últimamente en aplicaciones científicas como comerciales, por tal consecuencia la designación de bandas de frecuencias no son normalizados por corporaciones, organismos u otras entidades interesadas, en la figura 1-2 se muestra de una manera gráfica las asignaciones de las bandas de frecuencias aproximando limites tanto superior como inferior. (GOLIO, M, 2001, p.4)

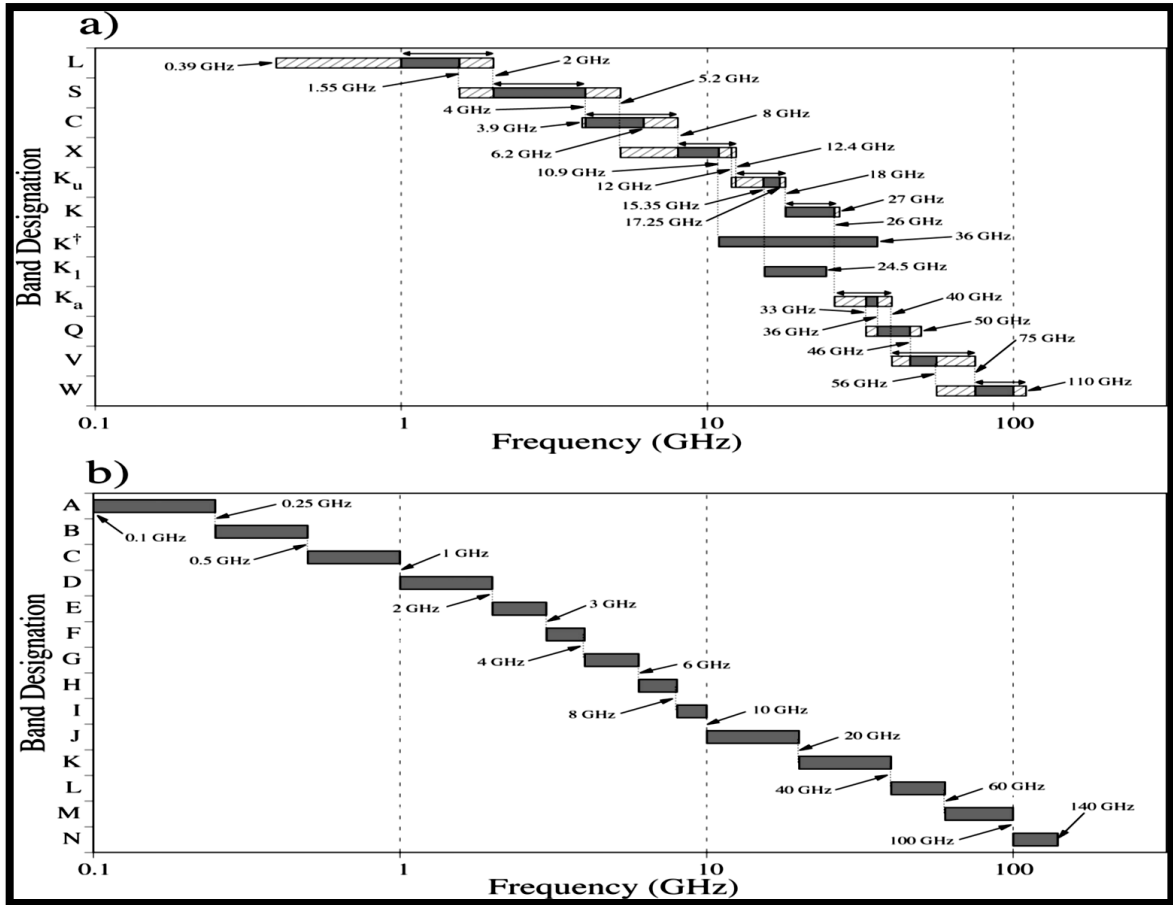


Figura 1-2: Definiciones de bandas de frecuencia, a) Designaciones IEEE, b) Designaciones militares de las bandas de frecuencia de los Estados Unidos.

Fuente: GOLIO, M, 2001

Las definiciones para la banda K tiene variaciones por diferentes grupo de autores, una de ellas la delimita la IEEE dando el rango de 18 GHz hasta 26,5 GHz aproximadamente, mientras que otras definiciones van desde el rango de 10,9 GHz a 36 GHz. De una misma manera para la banda L tiene dos rangos de frecuencia superpuestas lo que da dos grandes regiones de variación. (GOLIO, M, 2001, p.4)

1.1.3 Aplicaciones de la tecnología de microondas

Actualmente la ingeniería de microondas está sufriendo cambios importantes en el diseño de aplicaciones los cuales requieren un buen rendimiento como una buena fidelidad en sus

dispositivos, llegando a tener bajos costos de producción, dichas aplicaciones están enfocadas en la defensa militar, como en aplicaciones de índole civil como las comunicaciones inalámbricas.

Las principales usos de la tecnología de microondas de uso comercial, se da en las comunicaciones inalámbricas exclusivamente en el uso de la telefonía celular, ya que se manejan radio bases, las cuales se encuentran ubicados a grandes distancias, ya que cada BS están separadas a 32 KM aproximadamente la comunicación entre ellas por un medio guiado no sería una forma rentable de aprovechar los recursos. Para lo que se emplean sistemas de comunicaciones basados en microondas para la transición de datos entre las BS.

Otro de las aplicaciones de la tecnología es la comunicaciones a grandes distancias utilizadas por satélites, para lo que los componentes del sistema de comunicaciones debe presentar una alta fidelidad y un buen desempeño a un bajo costo y llegando a la miniaturización de los componentes y de bajo consumo energético. También ha llegado a ocupar un lugar en la astronomía por medio de grandes telescopios que utilizan ondas de radio para la exploración del universo, ya que estas ondas pueden viajar más lejos y sobrepasar el polvo estelar que impide la visión con un telescopio óptico.

Una de las ramas más aplicadas en el campo de los microondas se encuentra dentro de la medicina dando lugar a equipamiento médico moderno y tecnológico, como en la transición de datos o la Telemedicina.

Hoy en día gracias a los avances de diseño y miniaturización de ha podido llegar a contar con la tecnología en hogares, por medio del horno de microondas el cual por medio de la inyección de señales de alta frecuencia es capaz de calentar los alimentos. Como se sabe hoy en día la tecnología de microondas es indispensable sea de índole militar como civil.

1.2 Tecnología MMIC

1.2.1 Origen

Durante los años 60 la tecnología de microondas estaba en gran desarrollo permitiéndonos alcanzar frecuencias de unas decenas de HZ, para lo que se implementaban circuitos basados en guías de

ondas, y tubos lo que llevaba a problemas en la fabricación siendo estos costosos y de gran volumen acortando así sus aplicaciones dentro de un mercado que buscaba la miniaturización de los componentes.

Durante 1960 el desarrollo tecnológico da lugar a la tecnología planar de igual manera la aparición de materiales dieléctricos más desarrollados a bajos costos reduciendo pérdidas en su diseño a lo que dio un salto hacia la tecnología Circuitos Integrados de Microondas o sus siglas en inglés MIC.

Debido a la gran demanda y requerimientos de grandes capacidades en la banda de microondas se en 1975 Ray Pengelly y James Turner, presentan una publicación del estudio de amplificadores monolíticos FET de AsGa de banda ancha. Los que permiten dispositivos de altas prestaciones gracias al material empleado, siendo ellos los pioneros de la tecnología MMIC.

Entorno a la fabricación de circuitos integrados tradicionales, los que están diseñados a base de un semiconductor de Si a lo que no prestada las ventajas de trabajar con AsGa, ya que los primeros MMIC se fabricaron a base de este compuesto, dando prestaciones ya que es un materia capaz de trabajar a altas frecuencias, evitando la interferencia gracia a su alta resistividad, lo que permitió la combinación de dispositivos de radiofrecuencia, líneas de transmisión y elementos pasivos todo en un solo sustrato.

Ya en los años 80 se empieza a desarrollar los circuitos integrados de microondas para sustituir a las guías de ondas y tubos los cuales se empleaban para la fabricación de sistemas de telecomunicaciones y radar en el ámbito militar, para lo que la DARPA logro con éxito producir dispositivos basados en la tecnología MMIC de AsGa a base de transistores HEMT y HBT, diodos IMPATT, diodos varactores, reduciendo considerablemente los problemas que se encontraban en sistemas que empleaban guías de ondas y tubos, como la reducción del consumo energético, y principalmente la miniaturización de los sistemas y el bajo costo de fabricación dando lugar a la producción masiva de componente MMIC.

1.2.2 Definición

La tecnología MMIC o circuitos integrados monolíticos de microondas son componentes fabricados en un sustrato semiconductor, a base de AsGa lo cual es un material ideal para trabajar en altas

frecuencias, los rangos de frecuencias de trabajo de estos circuitos de microondas va desde 300 KHZ a 300 GHZ lo que estaría cubriendo un amplio rango de frecuencias.

1.2.3 Aplicaciones de los circuitos planar de microondas

Los circuitos de microondas que están basados en la tecnología planar, pueden ser aplicados en la mayoría de aplicaciones militares como civiles, tanto en las comunicaciones, radar, y otros sistemas que emplean frecuencias altas. (BAHL Y BHATIA, 2003, p.4)

Los usos de la tecnología son muchos principalmente por capacidad de manejo de potencias, lo que ha permitido un manejo de los circuitos MMIC, empleados principalmente en radares situados en el espacio permitiendo manejar anchos de banda considerables, otro de los usos de da en la guerra electrónica, en los sistemas de misiles guiados tanto de tipo radiómetro pasivo como de radar activo otro de los campos importantes en el uso de estos circuitos en sistemas de satélites donde debido a su consumo energético y de bajo peso son utilizados en sus diseños.(BAHL Y BHATIA, 2003, p.5)

1.2.3.1 Aplicaciones Civiles

Como se ha venido explicando la tecnología MMIC surge por las necesidades de defensa militar a lo que con el pasar del tiempo los dispositivos fueron tomando terreno dentro del campo civil, lo que permitió llegar a tener sistemas de comunicaciones fiables, de pequeñas dimensiones y principalmente de bajo consumo, lo que accedió ser implementados en diversos sistemas de comunicaciones.

1.2.3.1.1 Comunicación Satelital

Una de las principales aplicaciones en el ámbito de lo civil se da la Recepción de transmisiones de satélites de difusión directa (DBS), donde ya se encuentran en operación millones de receptores los que operan en frecuencias alrededor de los 12 GHZ con un ancho de banda de 0,5 GHZ, en la figura 1-3 muestra el diagrama de bloques de un sistema de recepción en la que consta de dispositivos de amplificación y filtro de RF, mezclador. Dentro de IF están los sistemas de amplificación y el

oscilador los cuales están siendo integrados en un único chip MMIC fabricados a base de AsGa, con unas medidas de construcción aproximadamente de 2,5 mm x 2,5 mm, con una frecuencia de trabajo de 12 GHz con una ganancia de 4 dB. (LADBROOKE, P, 1989, pp. 12-13)

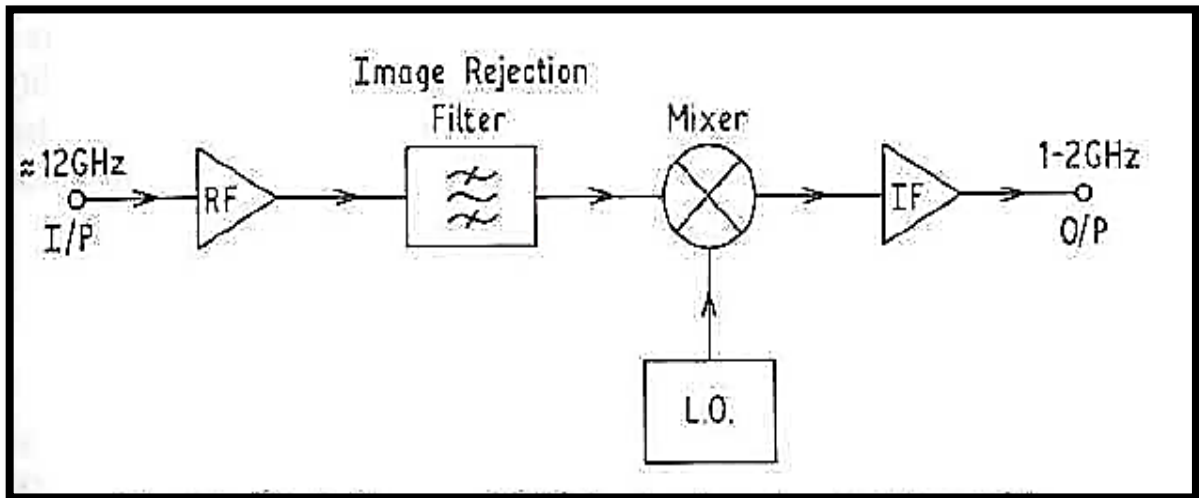


Figura 1-3: Diagrama de bloques de un sistema DBS.

Fuente: LADBROOKE, P, 1989

Dentro del diseño de los circuitos la organización Pacific Monolithics, fue quien tuvo mayor éxito al basarse en el rendimiento del sistema, Podell y Nelson quienes pertenecían a dicha organización fueron quienes diseñaron en un solo chip un receptor el cual operaba en un rango de frecuencias de 3.7 GHz a 4.2 GHz, con una ganancia mayor a 35 dB, desde la entrada RF hasta la salida IF, por medio de cinco circuitos diferente integrados en el chip, a lo que para los osciladores y amplificadores de RF integraron circuitos push-pull, minimizando así los capacitores de by-pass en el chip. Mientras que el mezclador era un tipo de doble diodo equilibrado, continuado de un amplificador de tres etapas. Su diseño fue relevante hasta la fecha de la tecnología MMIC. (LADBROOKE, P, 1989, p.13)

Otra de las aplicaciones en ámbito civil en la que se incluye con relevancia la tecnología MMIC es la telefonía móvil terrestre, ya que los dispositivos móviles operan en las bandas de 800 MHz y 900 MHz, lo que para su óptimo funcionamiento requieren transmisiones de alta fluidez, y que lleguen a entregar 1 W aproximadamente. (LADBROOKE, P, 1989, p.13)

1.2.3.1.2 Tecnología de radares

La integración de la tecnología se implementa dentro de radares marinos y de otras embarcaciones pequeñas ya que actualmente se ofrece un alto volumen en el crecimiento del mercado marítimo, para lo que existen radares que operan en un rango de 3 GHz y 10 GHz.

La tecnología de radares ha estado evolucionando con el pasar de los años siendo así que la mayoría de ellos están siendo diseñados y fabricados con circuitos planares de microondas, a lo que deben llegar a un óptimo rendimiento, tomando en cuenta el espacio físico disponible llegando a tener una gran relevancia gracias a la miniaturización de los componentes, sin perder la alta confiabilidad que estos sistemas deben presentar respecto a su ancho de banda. (BAHL Y BHATIA, 2003, p.5)

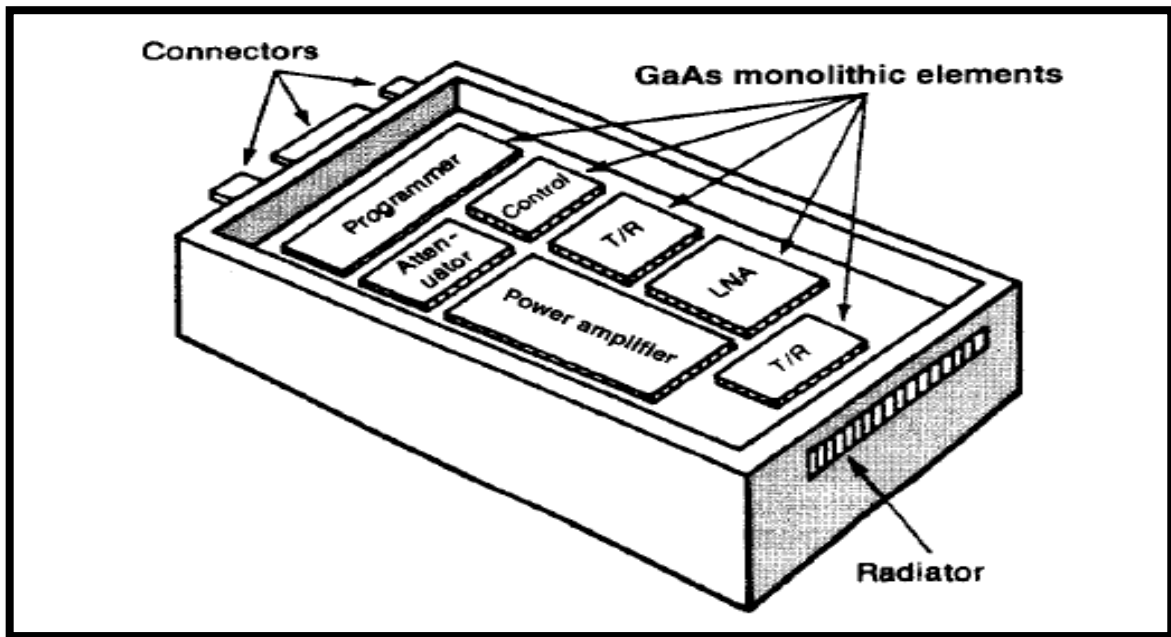


Figura 1-4: Módulos de transmisión y recepción usando integrados MMIC

Fuente: BAHL Y BHATIA, 2003

Como se puede apreciar en la figura 1-4 la mayoría de sistemas de radar presentan una configuración de redundancia, gracias a que los componentes basados en la tecnología MMIC permite construir dispositivos de un tamaño reducido, lo que permite tener un estado de confiabilidad alto gracias que se puede emplear elementos repetidos en un solo sistemas presentado así capacidades multifuncionales y de bajos fallos.

Una de las aplicaciones de los radares en la que últimamente se está tomando mucha importancia hoy en día es la implementación en automóviles, sea este para prevenir colisiones entre otros vehículos, como para el manejo asistido (vehículos autónomos), lo que es un mercado potencial y uno con mayor crecimiento en la actualidad.

Otra de las aplicaciones está dentro de la instrumentación, gracias a la miniaturización de los componentes pueden ser empleados en la fabricación de sintetizadores de frecuencia, analizadores de espectros, analizadores de red y osciloscopios de muestreo.

1.2.3.2 Aplicaciones Militares

1.2.3.2.1 Radar de fase

Existe radares de uso militar los cuales se les conoce como matrices en fase, ya que son radares con haces direccionales electrónicamente, un radar de cinco fases consta de 5000 elementos a lo que requiere 25000 circuito por sistema a lo que la tecnología MMIC es un gran paso a la construcción de dichos sistemas. (LADBROOKE, P, 1989, p.14)

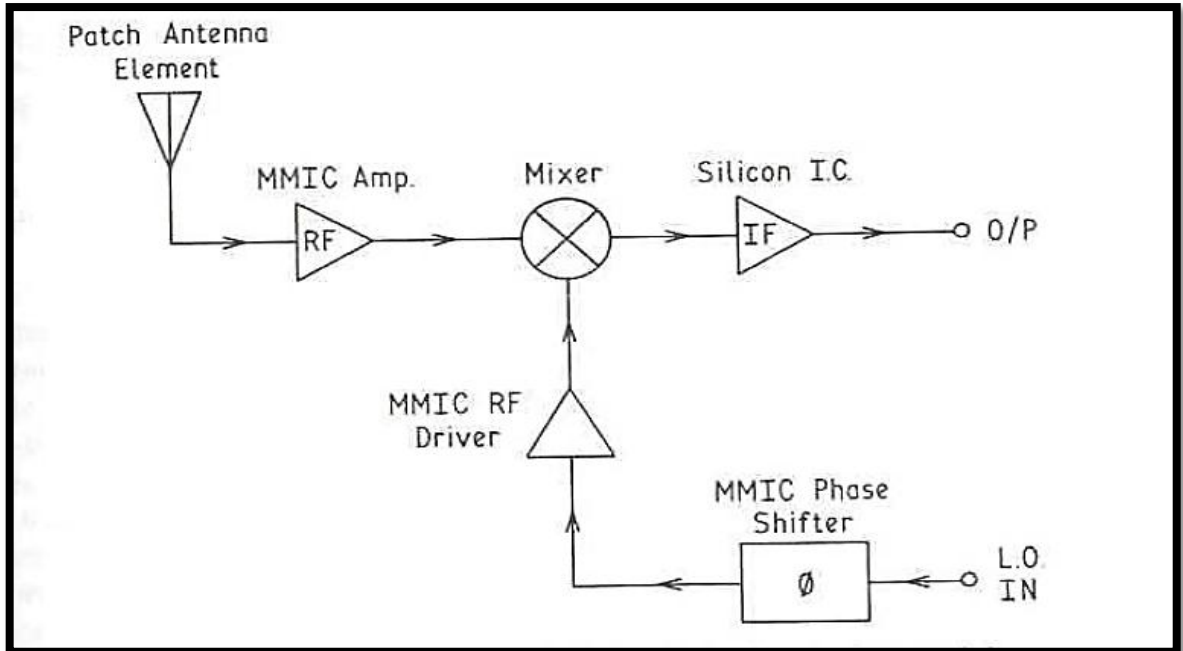


Figura 1-5: Diagrama de bloques de un receptor de radar de fase.

Fuente: LADBROOKE, P, 1989

En la figura 1-5 muestra el diagrama de bloques de un módulo receptor experimental, lo que cuenta con un desfaseador, en el diseño de los radares que se montan en embarcaciones y aviones requieren circuitos integrados que cubran anchos de banda de alrededor de una octava en un rango de frecuencia de 5 GHz a 18 GHz aproximadamente. (LADBROOKE, P, 1989, p.14)

Este tipo de receptores es empleado en la construcción de misiles anti radiación, a lo que requieren anchos de banda del 10 % aproximadamente en un rango de 3 GHz a 18 GHz, a lo que se emplean elementos que cuentan con la tecnología MMIC, cabe mencionar que este tipo de armamento no se aplica en grandes cantidades, ya que su crecimiento está en futuros desarrollos de armamento guiado en la probablemente incluirán pequeñas matrices escalonadas y receptores multicanal, donde es mayor la implementación de circuitos MMIC. (LADBROOKE, P, 1989, p.14)

1.2.4 Tecnología

1.2.4.1 Materiales

Para la implementación de circuitos de baja frecuencia mayormente se utiliza el silicio, sea este tanto para los componentes activos como pasivos, el circuito es desarrollado en un sustrato semiaislante compuesta de capas de tipo n y p, para el desarrollo de circuitos que trabajen en altas frecuencias este tipo de combinado no pueden ser empleados ya que la resistividad del silicio es relativamente baja para ser implementadas en las líneas de transmisión.

Para los circuitos que operan en altas frecuencias y circuitos digitales de alta velocidad se emplea otro tipo de material, en la que su resistividad sea mayor, uno de los materiales empleado es el zafiro ya que cuenta con una resistividad de 10^{11} a 10^{14} , el cual es el único material basado en el silicio a lo que se le dio el nombre de SOS que por sus siglas en ingles es Silicon on Sapphire.

Pero con el avance tecnológico se descubrió las propiedades del AsGa arseniuro de galio que actualmente está siendo empleado en la fabricación de la mayoría de componentes MMIC gracias a que es un semiconductor por excelencia para la elaboración de sistemas de microondas, una de la propiedades del materia es el efecto de transporte balístico de los electrones.

En conclusión gracias a las propiedades que presenta el AsGa, en comparación del silicio, es lo que a llevado a grandes empresas a diseñar componentes que operan en altas frecuencias a base de este tipo de semiconductor y utilizando como aislante un sustrato.

1.2.4.2 Componentes

En la fabricación de circuitos de microondas MMIC se emplean diferentes componentes tanto activos como pasivos, los cuales por medio del estudio de líneas de transmisión, se diseñan mediante circuitos equivalentes planares, dentro de los componentes pasivos están inductores, resistores, capacitores y los elementos activos están PIN y diodos Schottky.

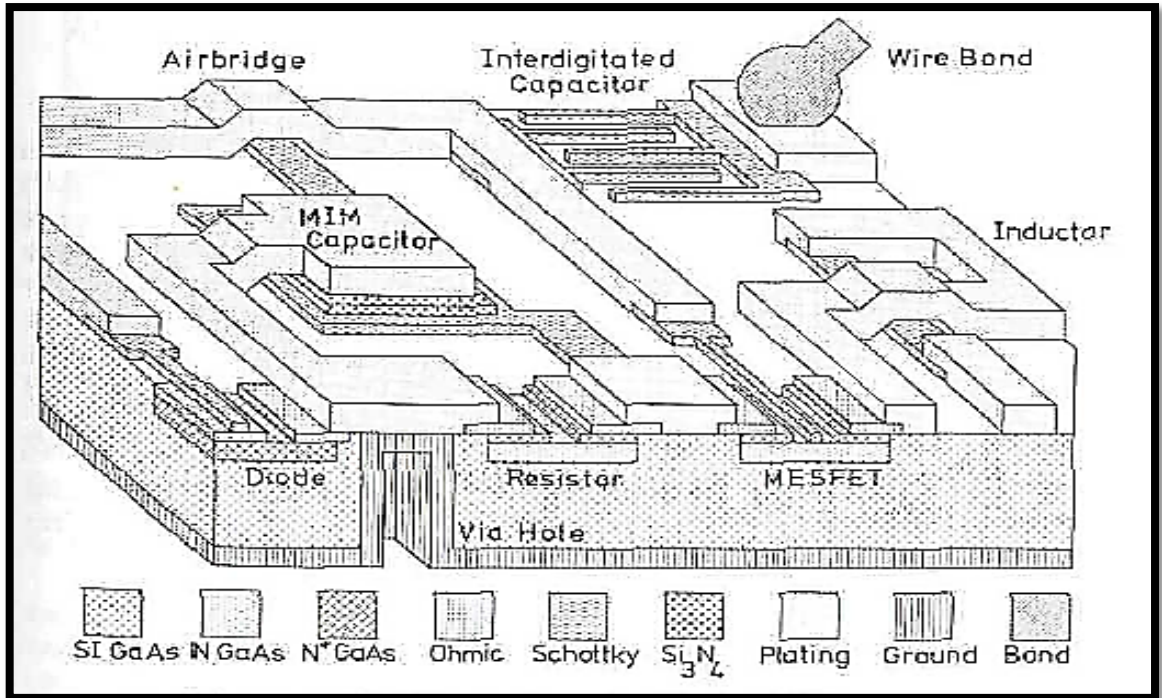


Figura 1-6: Diagrama esquemático tridimensional de la construcción de un circuito MMIC.

Fuente: LADBROOKE, P, 1989

En la figura 1-6, muestra el diagrama esquemático de un circuito MMIC la cual cuenta con diferentes elementos en su construcción, entre ellos esta los elementos pasivos que integran en el circuito como, capacitor, condensador interdigital, resistencia e inductor, otro de los elementos notables son los activos como, MESFET y Diodo Schottky, también se puede observar el material en el cual está construido que es principalmente el AsGa.

1.2.4.2.1 Elementos Pasivos

La mayoría de los elementos pasivos están diseñados a base de la tecnología de líneas de transmisión a lo que se le conoce como Microstripline.

1.2.4.2.1.1 Microstripline

La tecnología de diseño de circuitos en Microstripline consiste en una guía de onda pequeña diseñada en un plano metálico de ancho W , y una capa de un material dieléctrico la cual consta con una permitividad relativa según su espesor. (LADBROOKE, P, 1989, p.31)

La línea de transmisión basados en la tecnología microstrip se pueden ser elaborados a través de procesos fotolitográficos lo cual es fácilmente miniaturizado para integrar dentro de dispositivos que operan en el rango de las microondas sean estos pasivos y activos. (POZAR, D, 2012, p.147)

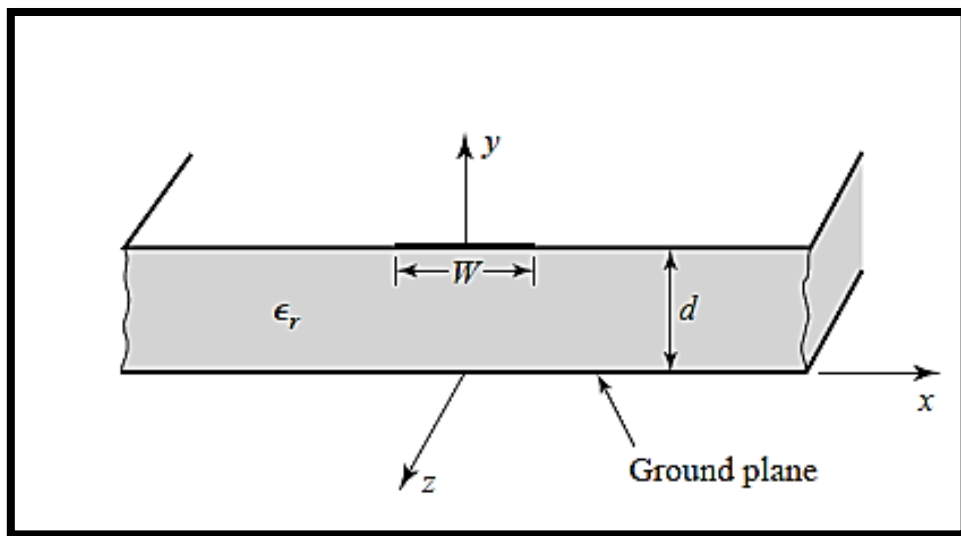


Figura 1-7: Línea de Transmisión Microstrip

Fuente: POZAR, D, 2012

En la figura 7-1 se muestra la configuración de una línea de transmisión en tecnología Microstrip, lo que consta de un conductor metálico W , lo que está impresa encima de un material dieléctrico que dependiendo su espesor d , consta de una permitividad característica. (POZAR, D, 2012, p.147)

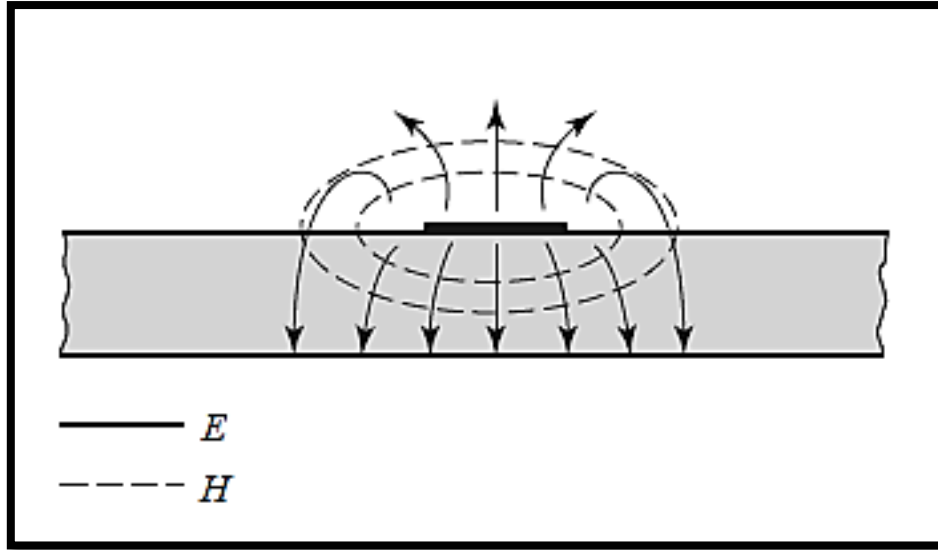


Figura 1-8: Líneas eléctricas y de campo magnético.

Fuente: POZAR, D, 2012

Mientras que en la figura 1-8 el comportamiento de las líneas eléctricas y de campo magnético. Como tenemos un sustrato dieléctrico el cual no llena la región por encima de la tira ($y > d$) lo que llega a complicar el análisis del comportamiento de la línea microstrip, caso contrario si no contáramos con el sustrato tendríamos, $\epsilon_r = 1$. Relativamente similar al aire (POZAR, D, 2012, p.147)

1.2.4.2.1.1.1 Resistores

Para la elaboración de la resistencia con la tecnología Microstrip se utilizan finas películas de conductor metálico como NiCr o TaN las cuales están sobre un sustrato semiconductor, también se pueden emplear capas de polysilicio sea el caso de RF de silicio, el valor de la resistencia se obtiene de la forma geométrica que presenta las capas. (ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001, p.38)

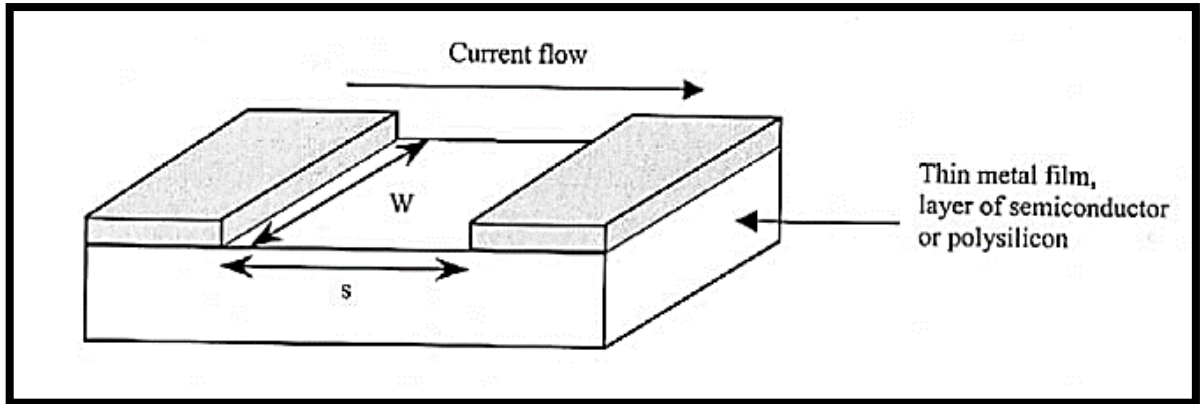


Figura 1-9: Esquemático de una resistencia microstrip

Fuente: ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001

Como se muestra en la figura 1-9, la configuración general de una resistencia aplicada con la tecnología microstrip en la que podemos diferenciar láminas de metal que actúan como conductor, todo sobre un sustrato semiconductor, las que por medio de la manipulación de las variables S y W , quienes son responsables de la resistividad del elemento.

Dicha resistencia viene dado por la ecuación 1-1 (Ver Figura 1-9): (ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001, p.38)

—

Ecuación 1-1

Donde:

R_{sh} Es la resistencia de la lámina metálica o de la región semiconductor.

S Es la separación entre los contactos óhmicos, que define la longitud de la resistencia paralela al flujo de corriente.

W Es el ancho de la lamina en dirección perpendicular a la corriente.

R_c Es la resistencia del contacto en cada extremo de la estructura.

Para las resistencias semiconductoras, solo existen una relación de tensión de corriente lineal para las resistencias de campo eléctrico menor a 1 kVcm^{-1} , lo que para evitar la no linealidad de las resistencias se debe elegir a tal modo que el campo eléctrico sea menor que 1 kVcm^{-1} , por lo que si se requiere crear resistencias que requieren 2V deben tener una separaciones al menos $20 \mu\text{m}$ de largo, mientras que la película fina de metal tienen una resistencia q va de 10 a 100 ohms. (ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001, p.38)

Se pueden crear resistencias de mayor valor usando capas en la arquitectura vertical del sustrato las cuales llega a tener una resistencia de 200 a 600 ohms, por lo que es suficiente para crear sistemas de comunicaciones de microondas. (ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001, p.38)

1.2.4.2.1.1.2 Capacitores

En la elaboración de capacitores Microstrip se puede diseñar dos tipos: interdigital y superposición o metal aislante metal conocido como MIMI, los capacitores interdigital son empleados cuando se requiere de capacitancia pequeños o de alta precisión en la figura 1-10 se muestra este tipo de capacitor. (LADBROOKE, P, 1989, p.41)

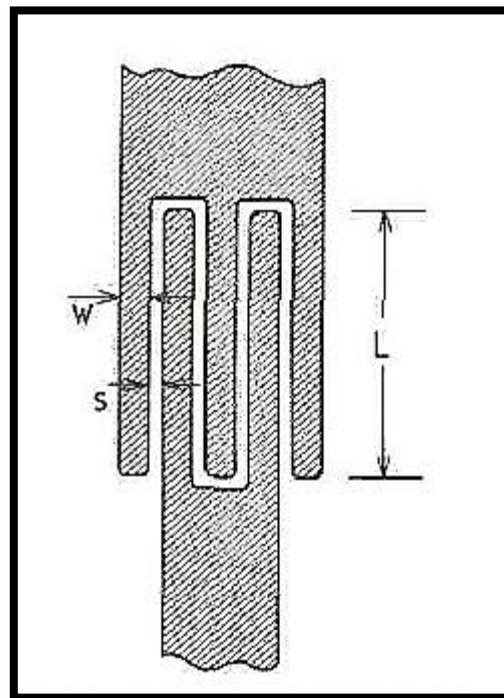


Figura 1-10: Capacitor Interdigital.

Fuente: LADBROOKE, P, 1989

1.2.4.2.1.1.2.1 Capacitores Interdigitales

Como se muestra en la figura 1-10 la distribución de un capacitor interdigital, compuesto de un cierto número de paralelas de ancho W conductivas de longitud L las cuales están interconectadas sin llegar a juntarse a una distancia S lo que forman una estructura total.

La capacitancia se puede expresar con la Ecuación 2-1: (ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001, p.40)

$$C(pF) = \frac{A_1 + A_2}{L} [(N - 3)A] \quad \text{Ecuación 1-2}$$

Donde:

A_1 y A_2 están en pF y tienen valores de $8.85 \times 10^{-12} w$ y $9.92 \times 10^{-12} w$ respectivamente, w viene dado en cm lo que esta aproximación es válida para el grosor del sustrato h , en relación con el espacio de la banda s ($h/s > 100$).

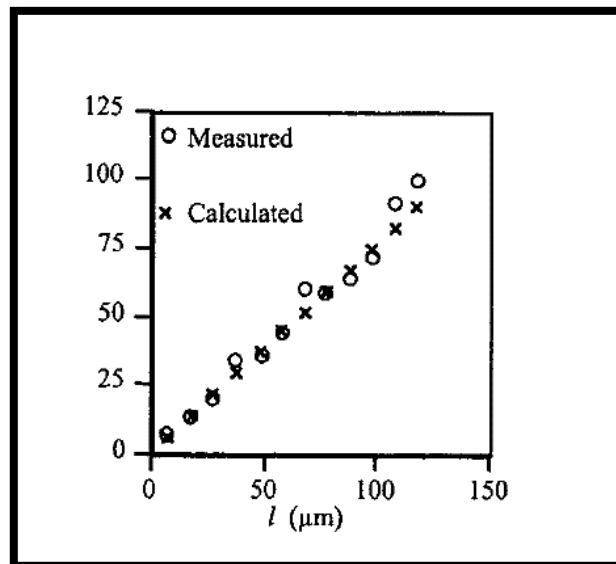


Figura 1-11: Capacitor Interdigital.

Fuente: ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001

En la figura 1-11 compara la capacidad medida y calculada para estructuras de condensadores interdigitales de varias longitudes L y de ancho de $2\mu\text{m}$ y separación entre láminas de $1\mu\text{m}$. En la figura 1-12 se puede ver el equivalente esquemático de un condensador interdigital

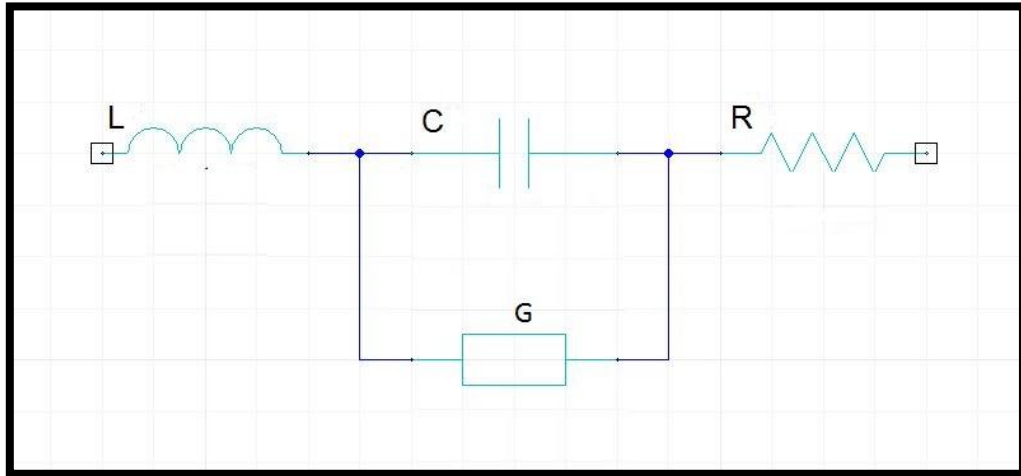


Figura 1-12: Equivalente Capacitor Interdigital.

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

A partir de la resistividad que tiene el metal que es usado para formar el condensador, se puede llegar a calcular la resistencia en serie, junto a los elementos que forman el condensador y la forma geométrica es decir sus laminas paralelas, su longitud y su anchura. Existe conductancia parasitaria a lo largo de los elementos anteriormente descritos para el condensador MIM, mientras que en el conjunto de láminas paralelas el flujo de corriente se puede considerar continuo. Suponiendo que la longitud L de los laminas interdigitadas, el ancho de línea w para geometrías típicas lo que daría lugar a inductancias parasitarias en el intervalo 20 a 50 pH. Las geometrías de fabricación y las tolerancias típicas dan como resultado estructuras interdigitadas que se utilizan para obtener valores de condensador en el intervalo de 10 a 100 pf, fuera de este rango las contribuciones parasitarias tienden a dominar el desempeño de la estructura. (ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001, p.40)

1.2.4.2.1.1.2.2 Capacitores Metal Aislante Metal (MIM)

Este tipo de condensadores están formados intercalando una capa de dieléctrico entre dos placas metálicas, para el dieléctrico se utiliza nitruro de silicio, poliimida, dióxido de silicio o la

combinación de uno de estos elementos como se muestra en la figura 1-13, este tipo de estructuras se usan para valores de capacitancia de 0.1 a 20 pF. (ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001, p.39)

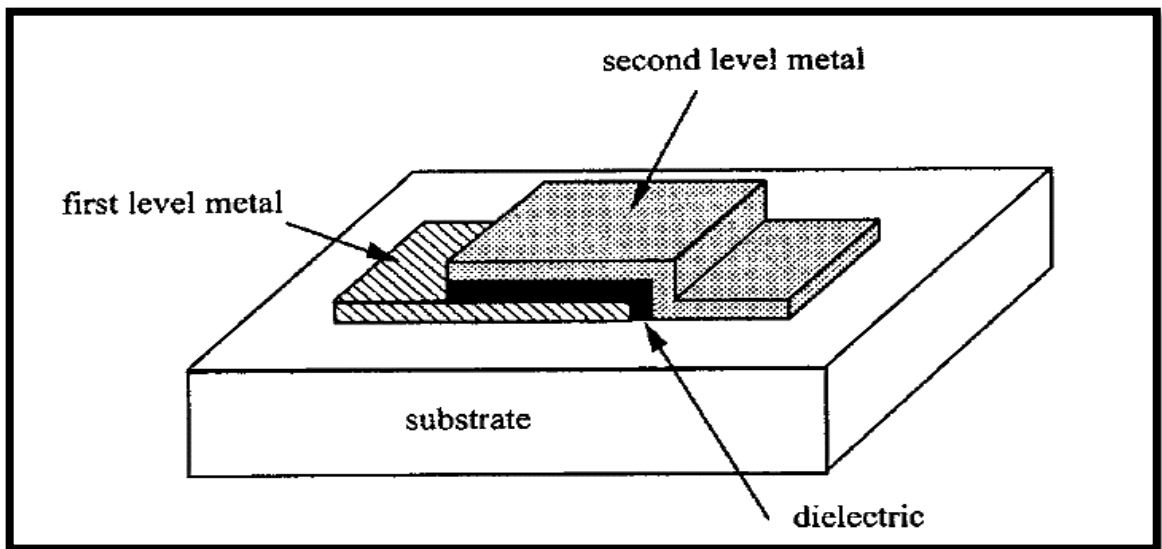


Figura 1-13: Esquema Capacitor MIM.

Fuente: ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001

La capacitancia viene dada por la ecuación 3 – 1: (ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001, p.39)

—

Ecuación 1–3

Donde:

ϵ_0 e la permisividad en el espacio.

En RF la inductancia parasitaria y la resistencia del condensador MIM pueden representarse en el modelo del circuito equivalente de la figura 1-12. (ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001, p.39)

1.2.4.2.1.1.3 Inductores

Dentro del campo de Microstrip de igual manera se diseñan inductores los cuales son un elemento esencial dentro de las telecomunicaciones, dentro de su diseño se encuentra el inductor espiral ya q

es conocido en aplicaciones en dispositivos móviles tales como el Bluetooth, otro de los diseños está el inductor Loop como en la figura 1-14

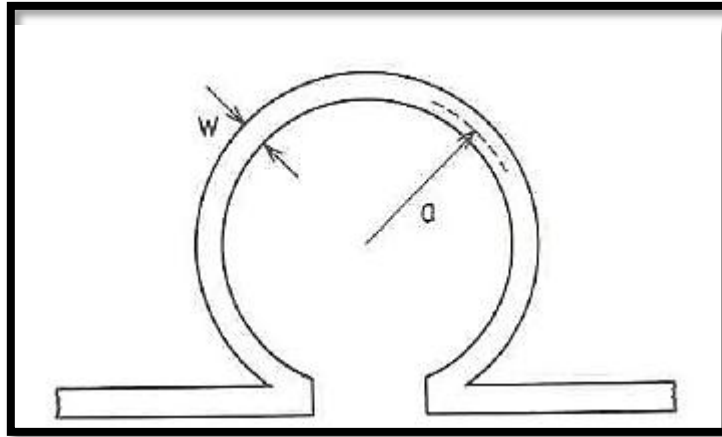


Figura 1-14: Inductor Loop

Fuente: LADBROOKE, P, 1989

Como se muestra en la figura 1-14, es el diseño esquemático de un inductor loop la cual su inductancia viene dado por la ecuación 1-4:

$$\mathcal{L} = 12.57 a \left[\ln \left(\frac{8\pi a}{w} \right) - 2 \right] \quad \text{Ecuación 1-4}$$

Donde:

- \mathcal{L} Es la inductancia en nH
- a es el radio en cm
- b es el ancho del conductor

Con el pasar de los años y el avance tecnológico se ha logrado diseñar inductores de alto rendimiento con la tecnología MMIC, uno de ellos es el inductor espiral ya que estos son utilizados para operar en frecuencias altas, como en aplicaciones de bluetooth, wifi entre otras.

El diseño de este tipo de inductor espiral MMIC utiliza como mínimo dos capas de conductor metálico al igual que un puente que está por encima o conocida como vía dieléctrica, el cual la principal función de este es establecer una conexión con el centro del inductor, la forma de los

inductores espirales pueden tomar diferentes formas tales como: circulares, octogonales y cuadradas. (ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001, p.41)

Dada su compleja estructura este tipo de inductores suele ser uno de los más utilizados, ya que posee grandes características y un buen funcionamiento, obteniendo valores de inductancias exactas, según sus aplicaciones y rangos de frecuencias que se desee operar, este tipo de inductor puede tomar diversas geometrías.

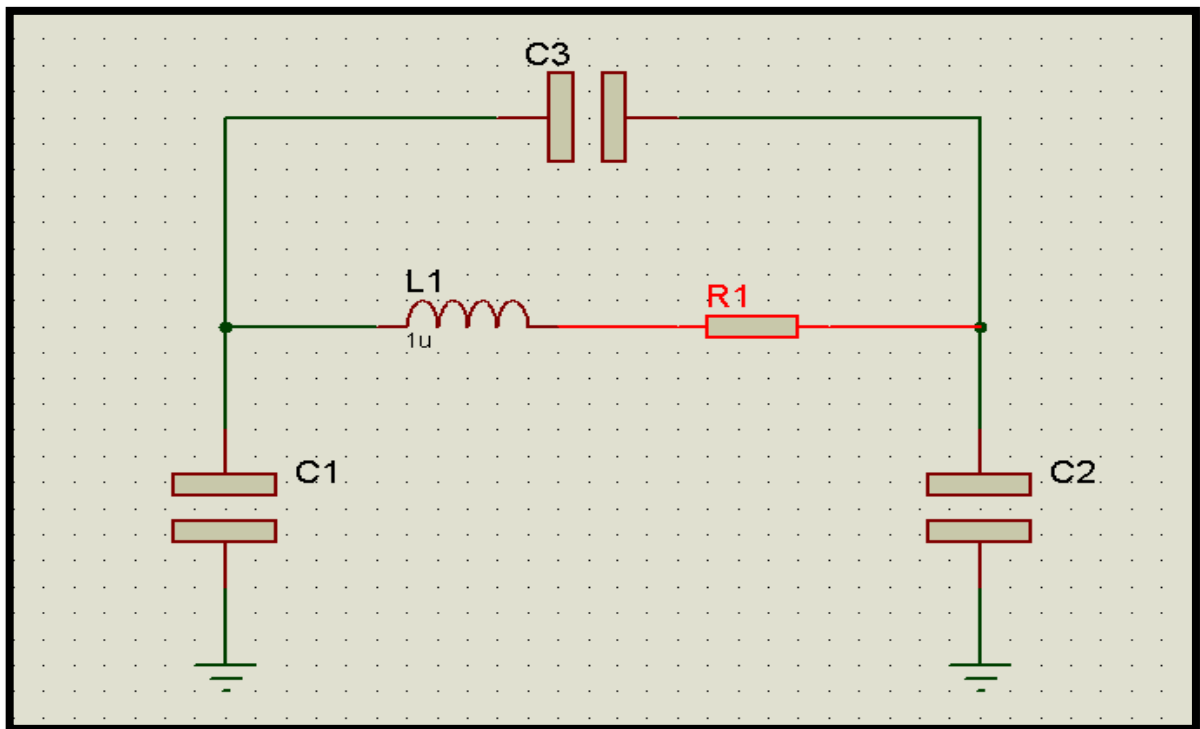


Figura 1-15: Equivalente Inductor espiral.

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

En la figura 1-15 se puede ver el equivalente de un inductor espiral a lo que a partir de esto se puede extraer tendencias generales sobre el impacto de la geometría en la inductancia, la resistencia y la capacitancia. (ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001, p.41)

La manera más fácil en la fabricación de este tipo de inductor, se lo realiza utilizando una primera capa de metal conductor sobre una superficie semiconductor, a lo que este tipo de configuración tiene una capacitancia inter-tum relativamente alta a través del sustrato, lo que provoca una

reconducción de factor Q y la frecuencia de auto resonancia del inductor. (ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001, p.42)

Para solucionar este tipo de condiciones, la fabricación de este tipo de inductor se lo realiza sobre una capa gruesa de dieléctrico que tengan una menor permitividad relativa a la que se encuentra en los semiconductores, los materiales que cumplen estas condiciones y pueden ser empleado en la fabricación son: nitruro de silicio, o poliimida, este tipo de materiales soluciona el problema de la alta capacitancia inter-tum llegando a ser reducida considerablemente.

El proceso del puente aéreo que incluye la tecnología MIC en el cual el inductor puede suspenderse en el aire figura 1-16, a lo que este método permite aumentar más el factor Q y reduciendo la capacitancia parasita.

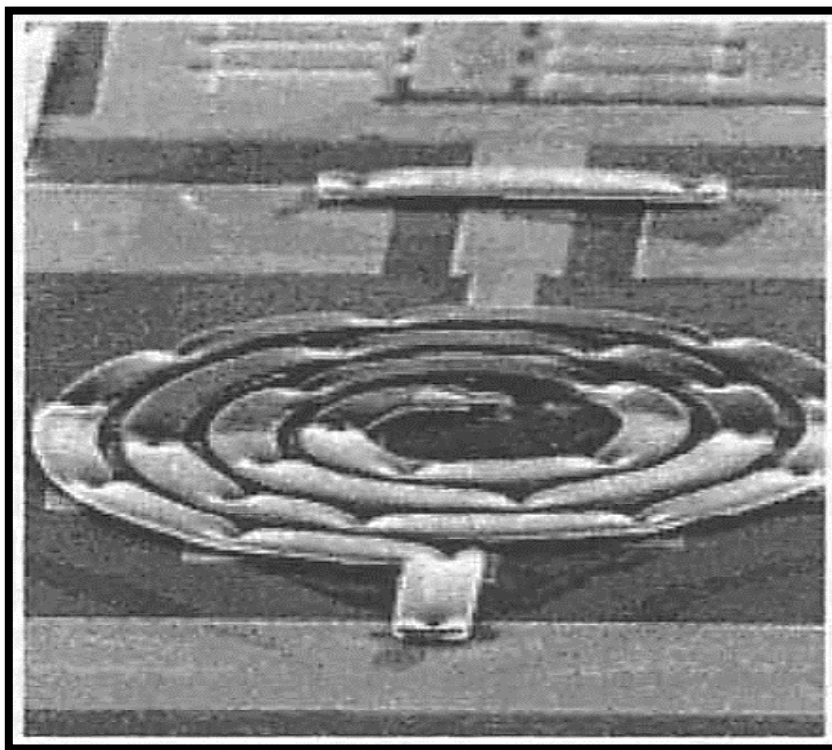


Figura 1-16: Inductor espiral usando tecnología Air-bridge.

Fuente: ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001

1.2.5 Fabricación

Antiguamente y hasta en la actualidad los circuitos de microondas de estado sólido estaba siendo diseñados a base de discretos en los que dentro de su diseño constaban con circuitos activos fabricados con material semiconductor entre ellos están los transistores y diodos, hoy en día se utilizan un combinado de entre los diseños nuevos y antiguos, solo con la diferencia de que los dispositivos discretos son elaborados sobre la base de material semiconductor como el silicio, los dispositivos MMIC están elaborados principalmente de AsGa.

La ventaja de fabricar los dispositivos MMIC con AsGa es que tienen mayor ancho de banda de operación, también se obtiene menor pérdidas eléctricas a igual manera que se reducen las capacitancias parasitas a lo que pueden colocar redes de acoplamiento junto a transistores, lo que da un gran salto al diseño, a la miniaturización de los dispositivos, y a la fidelidad que estos tienen que entregar.

La importancia de implementar este tipo de material AsGa es gracias a las grandes prestaciones que este muestra una de las más importantes es la alta movilidad de los electrones, lo que beneficia a la fabricación de dispositivos que operan en altas frecuencias. Mientras que los dispositivos que trabajan a bajas frecuencias tienen una movilidad de electrones menor.

El AsGa tiene diferentes beneficios, no solo es la movilidad de los electrones la que se toma en cuenta para la elaboración de los dispositivos de alta frecuencia, otro parámetro que se toma en cuenta es la gran capacidad e aislamiento que este material presenta ya que inhibe corrientes parasitas que están en los transistores dentro de un mismo encapsulado dando un mejor rendimiento en frecuencias de microondas.

Debido a que el material empleado para la fabricación de componentes de microondas tiene las prestaciones necesarias, este no ha sido utilizado a gran escala debido a problemas de disponibilidad del material de gran calidad, mientras que la rápida fabricación de obleas de silicio fueron tomando mayor relevancia volviéndose así un material económico, mientras que las obleas de AsGa son frágiles y difíciles de manipular, obteniendo así obleas de silicio de 200 mm, mientras que las de AsGa se producen de 75 mm de diámetro a un costo mayor que las de silicio.

Dentro de la tecnología CMOS se encuentra un subconjunto que se denomina SOI por sus siglas en inglés Silicon On Insulator, la cual en los últimos años este tipo de material es implementada para la fabricación de circuitos integrados que operan en altas frecuencias, dentro del conjunto de SOI está el SOS por sus siglas en inglés Silicon On Sapphire, que es un mejoramiento para poder mejorar el aislamiento electrónico de los componentes adyacentes en el sustrato.

Con el avance de la tecnología los materiales de silicio SOI se han llegado a desarrollar creando obleas por método de separación por implantación de oxígeno SIMOX llegando a tener una película de material aislante de un grosor menor a la de SOS, esas capas de aislamiento que se pueden crear este tipo de material no son confiables para la elaboración de circuitos de microondas debido a que el silicio si se encuentra bajo la capa de aislamiento llega a actuar como un conductor a altas frecuencias.

Por tal motivo se emplea el AsGa ya que sus electrones son excitados a velocidades altas, y llegan a cruzar el canal de transistores en un tiempo menor. Esta propiedad es la que les permite fabricar transistores de AsGa ya que estos llegan a tener velocidades de disparo superior a otros que están fabricados de Silicio, pudiendo ser empleados en dispositivos de altas frecuencias como radar, GPS, DBS, WLANs.

1.2.6 Principales ventajas y desventajas

Tabla 1-1: Ventajas y Desventajas de MMICs

MMICs	MICs
Barato en grandes cantidades; Especialmente económico para circuitos complejos.	Los circuitos simples pueden ser más baratos; El montaje automático es posible
Muy buena reproducibilidad.	Mala reproducibilidad debido a la colocación del dispositivo y alambres de enlace.
Pequeño y ligero	Sustratos multicapa compactos con integrado pasivo disponible.
confiable	Los híbridos son en su mayoría "pegados" juntos y por lo que la fiabilidad es menor.
Menor señal parasita ancho de banda y frecuencias altas.	El mejor transistor está siempre disponible para LNAs y PAs
Espacio premium, circuito lo más pequeño posible.	El sustrato es barato, lo que permite que en la tecnología microstrip se utilice abundantemente.
Elección muy limitada del componente	Una amplia selección de dispositivos y componentes está disponible.
Tiempo largo de vuelta (3 meses).	Puede ser muy rápido (1 semana), haciendo múltiples iteraciones posibles
Muy caro para arrancar.	Se requiere muy poco equipo de capital.

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Fuente: ROBERTSON Y LUCYSZYN, 2001

1.3 Atenuador

1.3.1 Definición

Uno de los componentes más utilizados dentro del campo de las microondas se encuentra el Atenuador. Este elemento es un circuito el cual se encarga de reducir la amplitud de una onda que se propaga por una línea de transmisión, donde se tiene un factor de reducción que es medido en dB. El cual se calcula por la división de la potencia de entrada y potencia de salida, o de la misma manera en términos de campos correspondiente mostrada en la Ecuación 1-5. (MIRANDA et al., 2002, p.133)

$$A = 10 \log_{10} \frac{P_{IN}}{P_{OUT}} = 20 \log_{10} \frac{E_{IN}}{E_{OUT}} \quad \text{Ecuación 1-5}$$

Una de la característica del atenuador el cual no se toma en cuenta dentro de las microondas es que es capaz de cambiar de fase. (MIRANDA et al., 2002, p.133)

En la actualidad existen diferentes dispositivos que tienen la capacidad de suministrar una atenuación fija o variable, dependiendo del tipo de líneas de transmisión empleadas, la estructura de un atenuador llega a variar para acomodarse a las necesidades del sistema, cuando se opera en frecuencias bajas la mayoría de atenuadores son fabricados a base de materiales dieléctricos recubiertos con películas resistivas, este tipo de atenuadores disipan el calor por medio de sus conductores por lo que pueden ser empleados para atenuar señales de alta potencia, gracias a que la disipación de calor es más eficiente que los dieléctricos. (MIRANDA et al., 2002, p.133)

Un atenuador generalmente es utilizado para regular la potencia de entrada de una señal que se transmite por una línea de transmisión de un sistema, también se lo emplea para evitar fluctuaciones en la salida de un generador cuando existe ondas reflejadas o bien para proteger equipos los cuales operan en potencias estándares. (MIRANDA et al., 2002, p.133)

1.3.2 *Atenuadores en Líneas Coaxiales*

La mayoría de atenuadores utilizados en líneas coaxiales están diseñados de tal manera que cuentan con una sección de línea elaborados con un tipo de material con pérdidas mostrada en la figura 1-17 en la que se puede ver el tipo de material insertado en el atenuador donde la potencia se obtiene cambiando el conductor que se encuentra internamente por una barra del mismo diámetro pero con una resistencia, materiales como el níquel, cromo son en su mayoría empleados en este tipo de aplicaciones. (MIRANDA et al., 2002, p.133)

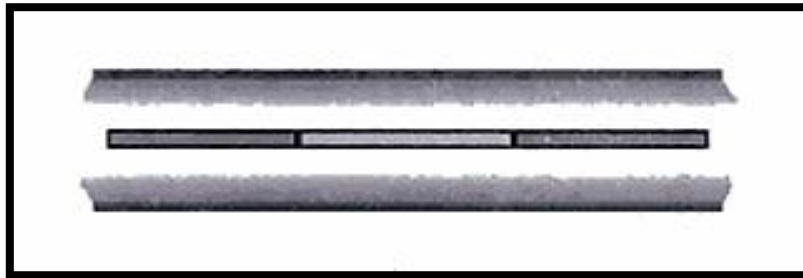


Figura 1-17: Atenuador en línea coaxial.

Fuente: MIRANDA et al., 2002

Otro de los diseños muy utilizados, es la que se emplea un disco resistivo que está insertado dentro de la línea coaxial cubriéndola por completo. La diferencia con el anterior tipo de configuración es que este tipo de atenuador tiene mayores pérdidas por cuestiones de reflexión, obteniendo limitación en el ancho de banda y siendo un tipo de configuración menos empleada. En la figura 1-18 se muestra la configuración del atenuador. (MIRANDA et al., 2002, p.133)

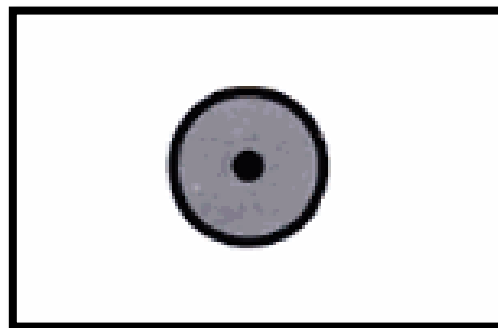


Figura 1-18: Disco resistivo.

Fuente: MIRANDA et al., 2002

Una de las mejores configuraciones de atenuador, es la mezcla de los dos tipos dispuestos en una configuración tipo T mostrada en la figura 1-19, presentando grandes ventajas en un tamaño reducido como alcanzar elevadas atenuaciones lo que hace que fuera muy utilizado para aplicaciones que operan en frecuencias de 1-26 GHz .

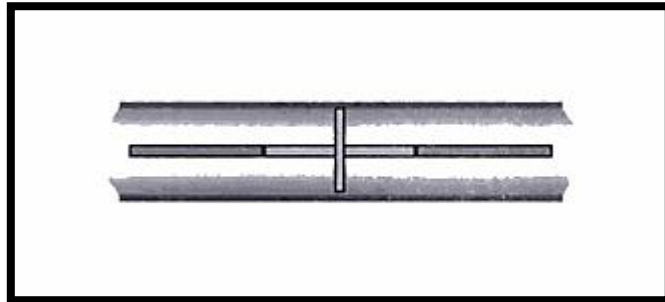


Figura 1-19: Atenuador tipo T.

Fuente: MIRANDA et al., 2002

Este tipo de configuración es una de más empleadas para lo que se puede modelar un circuito equivalente mostrada en la figura 1-20, para poder calcular los valores de las resistencias o la resistividad del material.

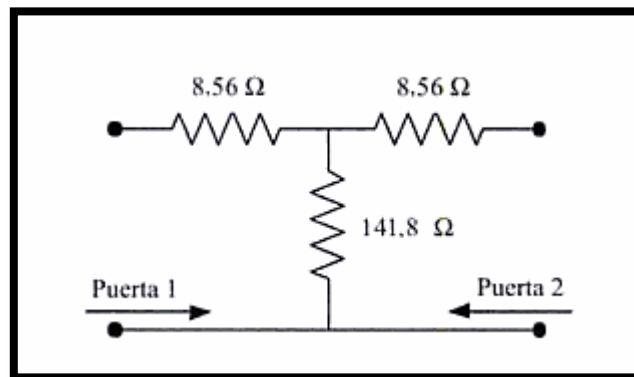


Figura 1-20: Circuito Equivalente para una configuración tipo T.

Fuente: MIRANDA et al., 2002

En la figura 1-20 se muestra la configuración de un atenuador tipo T basado en un circuito equivalente sencillo, lo que muestra los valores de las resistencias para una atenuación de dB acoplado a un sistema de 50 Ω, los valores de las resistencias de 8.56 Ω se calculan utilizando la Ecuación 1-6

$$R_1 = Z_0 \frac{10^{\frac{L}{20}} - 1}{10^{\frac{L}{20}} + 1} \quad \text{Ecuación 1-6}$$

Mientras que el valor de la resistencia de 141.8 Ω se calcula con la Ecuación 1-7

$$R_2 = 2Z_0 \frac{10^{\frac{L}{20}}}{10^{\frac{L}{20}} - 1} \quad \text{Ecuación 1-7}$$

Donde:

Z_0 es la impedancia característica del sistema

L es el factor de atenuación

1.3.3 *Atenuadores Resistivos en Guías de Onda*

Para las guías de ondas rectangulares una de los atenuadores más sencillos se consigue insertando por el centro del lado más ancho una lámina resistiva la cual debe estar paralela al plano E, tal como se muestra en la figura 1-21, para reducir al máximo las reflexiones las láminas resistivas deben optar por formas escalonadas y construidas a partir de un material dieléctrico de 1 mm aproximadamente recubierta por una mezcla de grafito y adherente. (MIRANDA et al., 2002, p.134)

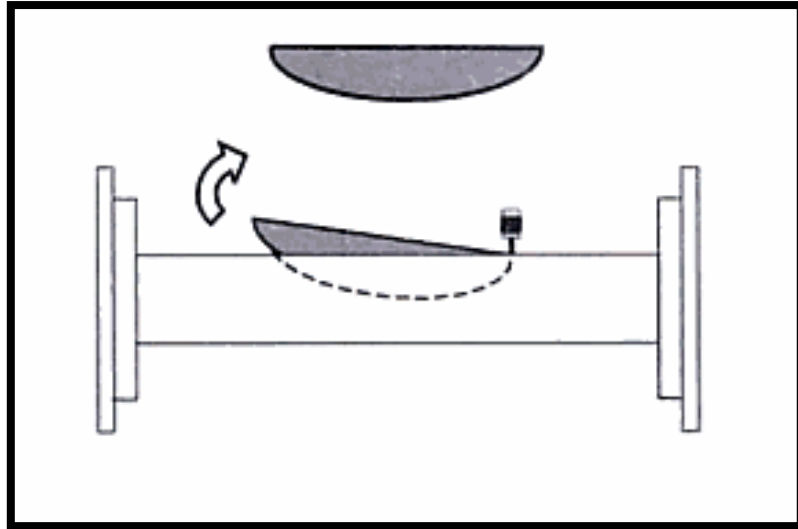


Figura 1-21: Atenuador Resistivo en Guía de Ondas.

Fuente: MIRANDA et al., 2002

Dependiendo de la resistividad de la lamina el este compuesto de grafito y adherente se calientan a temperaturas próximas a 100° C, lo que se volatiza el adherente dejando una capa uniforme de grafito sobre el dieléctrico, la atenuación de potencia se consigue por medio del efecto Joule, el cual depende de la cantidad de lámina que se inserte dentro de la guía de onda, se tiene que tener en cuenta que la temperatura tienen que ser independiente al acoplo de impedancias a la guía de ondas. (MIRANDA et al., 2002, p.135)

Para una mayor precisión del atenuador se debe tener en cuenta la penetración de la lámina lo que se emplea unos soportes de material dieléctrico como se muestra en la figura 1-22, en el centro de la cara ancha de la guía se encuentra el valor máximo del campo, para lo que se introduce la lámina disipada por el centro para llegar a tener una atenuación mayor mientras más sea insertada. (MIRANDA et al., 2002, p.135)

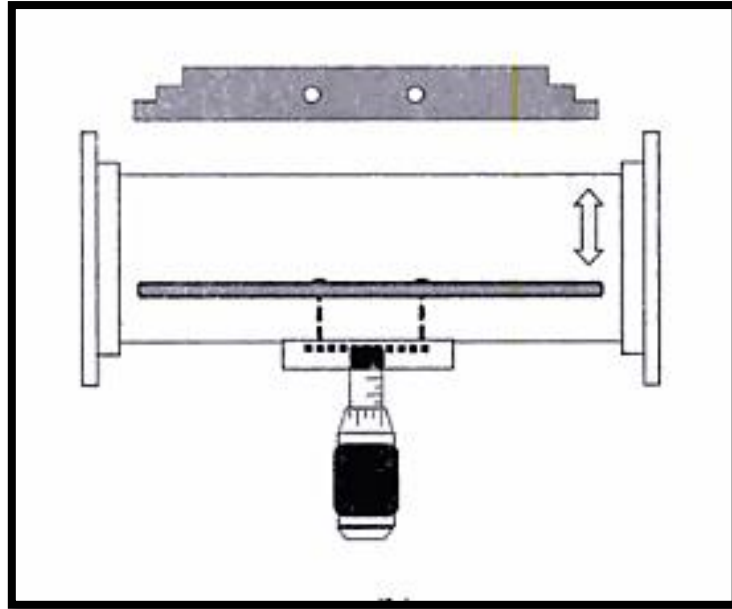


Figura 1-22: Atenuador de Precisión Resistivo en Guía de Ondas.

Fuente: MIRANDA et al., 2002

1.3.4 *Atenuador de Corte*

Uno de los primeros atenuadores diseñados es el atenuador de corte, los cuales fueron utilizados como referencia para la calibración de los siguientes atenuadores. El desarrollo de este tipo de atenuador lo hizo H. A. Wheeler. Un atenuador mostrado en la figura 1-23, de dimensiones a y b , en su interior con un material dieléctrico de permitividad ϵ , y una longitud d , si se considera una propagación en TE_{10} , contrastadas para frecuencias de corte f_{c10d} en las secciones I y III rellenas de material dieléctrico, mientras que la sección II f_{c10a} se encuentra vacía se obtiene las ecuaciones 1-8. (MIRANDA et al., 2002, p.135)

$$f_{c10d} = \frac{c_0}{2a\sqrt{\epsilon r}} \quad , \quad f_{c10a} = \frac{c_0}{2a} \quad \text{Ecuación 1-8}$$

Para la propagación de frecuencias bajas, se reduce la frecuencia de corte relleno completamente una guía de onda con un dieléctrico si se cumple la relación $f_{c10d} \leq f \leq f_{c10a}$, la propagación del modo TE_{10} se hace por las secciones I y III y mientras que en la sección de corte II se desvanece.

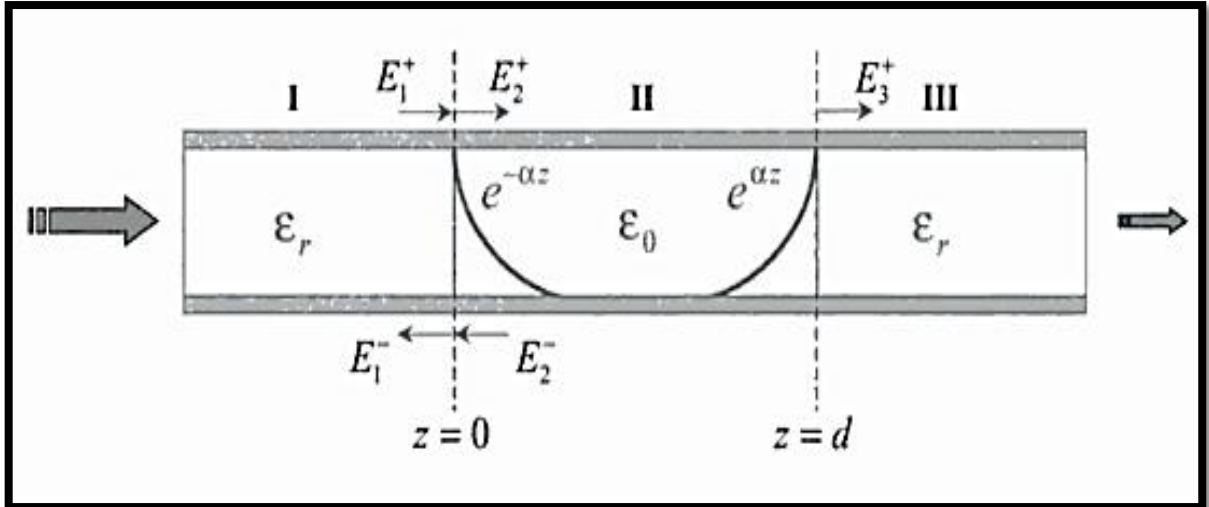


Figura 1-23: Estructura de un atenuador de corte con la distribución del campo eléctrico.

Fuente: MIRANDA et al., 2002

1.3.5 *Atenuador de lámina giratoria*

Uno de los mejores atenuadores u de buenas prestaciones, es el atenuador de lámina giratoria, ya que este tipo de atenuador tiene mejoras en la precisión la cual es tomada hoy en día para calibrar otros atenuadores con la referencia estándar.

La configuración de este tipo de atenuador consta de tres láminas de atenuación ubicadas estratégicamente como se muestra en la figura 1-24, las láminas situadas en el inicio y al final son fijas y están ubicadas perpendicularmente al campo eléctrico incidente, mientras que la lámina que se sitúa en el centro gira libremente para poder tener una atenuación precisa.

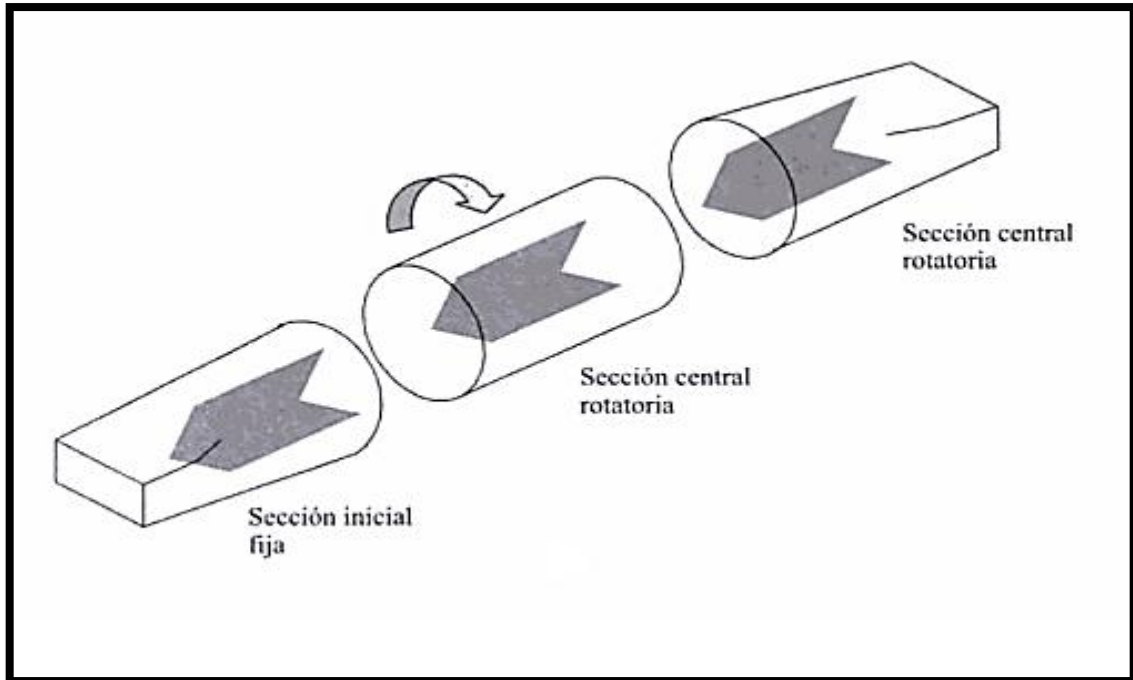


Figura 1-24: Atenuador de lámina giratoria.

Fuente: MIRANDA et al., 2002

La este tipo de configuración con la lámina intermedia tiene múltiples ventajas entre ella es la atenuación es independiente a la frecuencia lo que no introduce ningún cambio en fase, otra ventaja es que la adaptación de impedancia es elevada en cualquiera de las posiciones. (MIRANDA, et al, 2002, p.139)

1.4 Combinador / divisor

1.4.1 Introducción

Con el pasar de los años los sistemas de comunicaciones fueron tomando complejidad, donde varios sistemas tienen sus propias especificaciones de funcionamiento, en la actualidad los sistemas de comunicaciones deben estar conectados de alguna manera, para lo que se creó un dispositivo combinador-divisor capaz interconectar varios elementos que requieran que la potencia se divida o volverse a combinar siempre manteniendo las impedancias adaptadas.

1.4.2 *Definición.*

Un combinador-divisor es un dispositivo que se utiliza en los sistemas actuales de microondas, su principal función dividir o combinar las potencias procedentes de diferentes sistemas o elementos, el combinador en un dispositivo capaz de funcionar como divisor de potencia y combinador gracias que se puede excitar de ambas maneras, si el dispositivo es excitado como combinador este acopla las señales entregadas por diferentes puertos para tener una sola salida de referencia, si por el contrario este es excitado de manera de divisor, fragmenta la potencia para los requerimientos de sistemas conectados a cada una de las salidas.

1.4.3 *Clasificación*

Los combinadores-divisores se clasifican en:

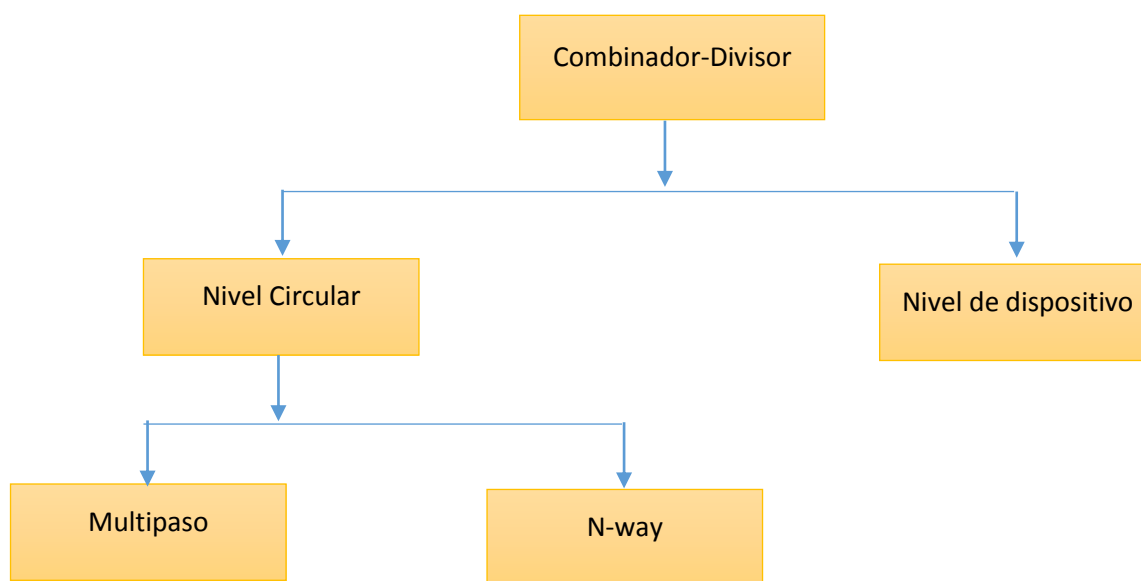


Figura 1-25: Clasificación de combinadores-divisores de potencia.

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

1.3.1.1. *Combinador de potencia a nivel de dispositivo*

Los combinadores-divisores a nivel de dispositivo son diseñados en base a la longitud de onda para lo que se requieren elementos pequeños. En la figura 1-26 se muestra un combinador-divisor de potencia donde la función que cumple es la combinación de potencias de un transistor.

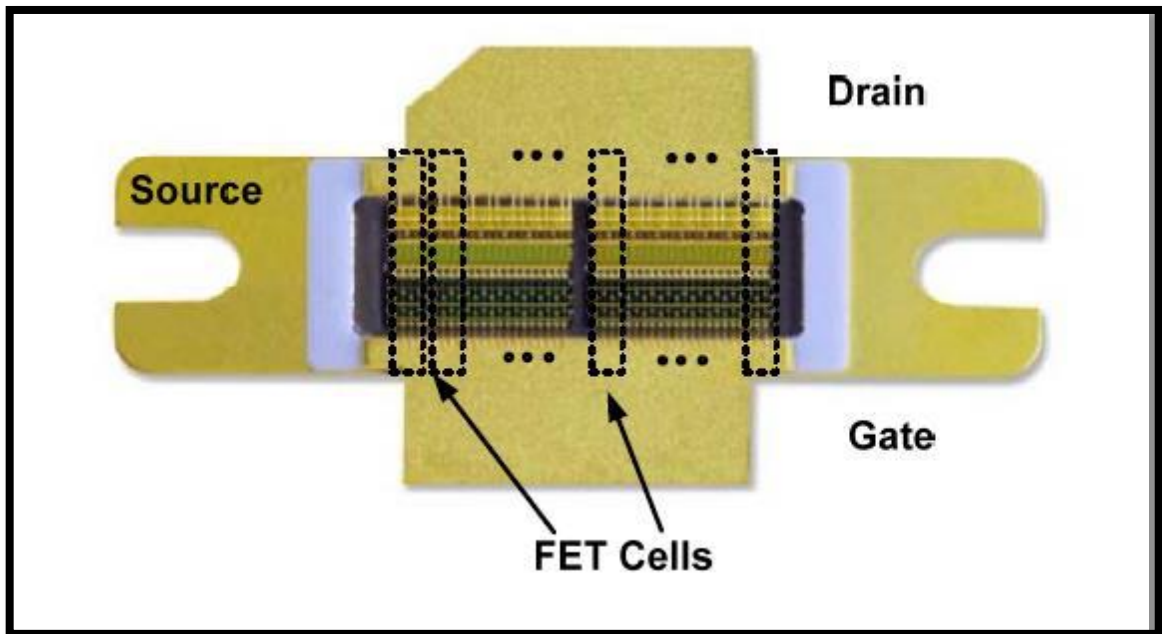


Figura 1-26: Combinador-divisor a nivel de dispositivo en chip de transistor de potencia

Fuente: <http://www.sjfoti-consulting.co.uk/60-Way%20Extremely%20Low%20Loss%20Radial%20Waveguide%20Power%20Divider-Combiner%20Assembly.jpg>

1.4.3.1 *Combinador de potencia a nivel circular*

Los combinadores circulares se clasifican en Multi-step y N-way. Donde los combinadores Multi-step combinan las señales procedentes de varias entradas, este se clasifica en:

- Árbol binario
- Cadena

Mientras que los combinadores N-way son de pequeñas dimensiones permitiendo combinar la potencia de entrada en un solo paso, disminuyendo pérdidas en el sistema y aumentando la eficiencia del mismo estos se clasifican en:

- Radial
- No radial

Dentro de la fabricación de dispositivos combinadores-divisores de potencia se los realiza con tecnología microstrip, coaxial o guía de onda.

1.4.3.1.1 Combinador binario

El combinador binario tiene puertos coherentes distribuidos en forma de árbol, los cuales deben estar en potencia de dos, dependiendo del número de puertos de salida la pérdida de eficiencia se pierde rápidamente la figura 1-27 muestra la distribución de un combinador binario.

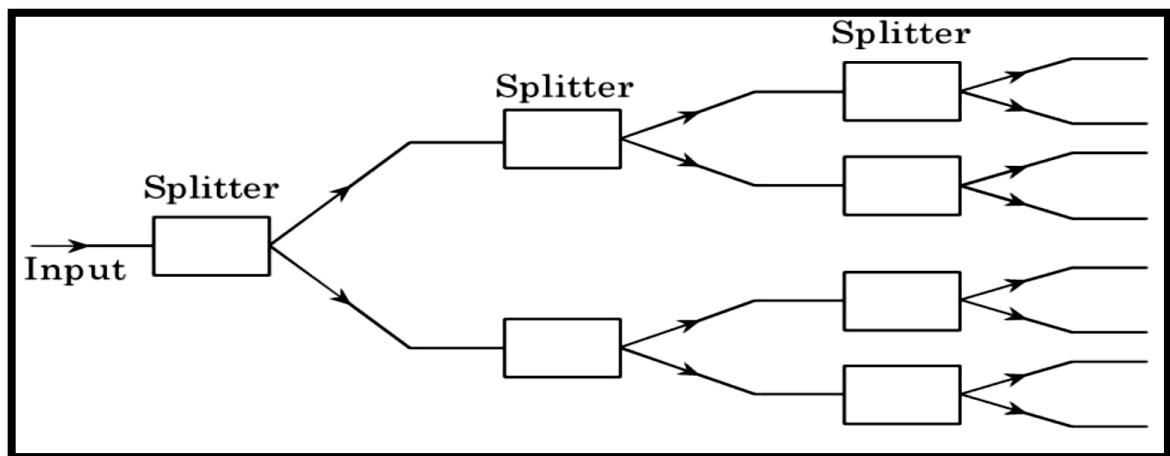


Figura 1-27: Estructura de un combinador binario.

Fuente: http://www.fs.com/images/ckfinder/images/tutorial/Tree_Coupler.jpg

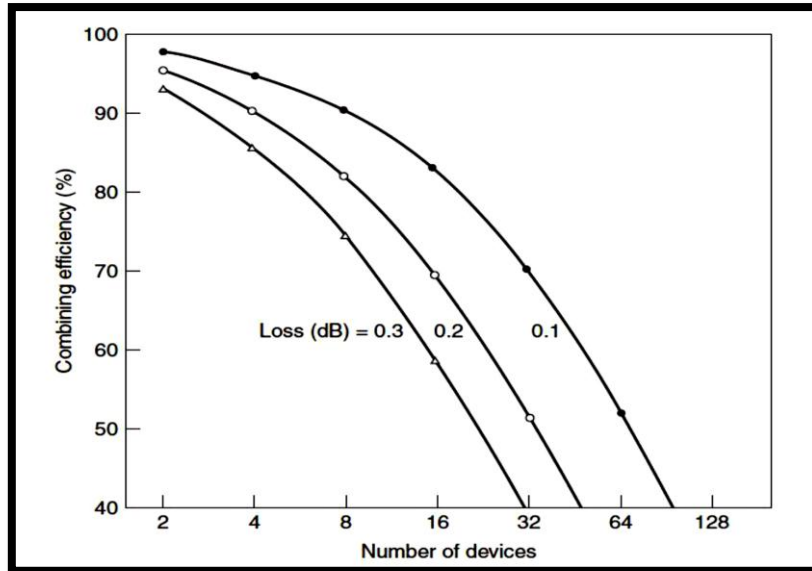


Figura 1-28: Evolución de la eficiencia al variar el número de etapas existentes.

Fuente: http://www.apollomw.com/products/?id=262164&product=Waveguide_Power_Combiners

1.4.3.1.2 Combinador de Cadena

Este tipo de combinador también conocido como combinador en serie mostrado en la figura 1-29, tiene $N-1$ etapas donde N es el número de puertos que conforma el combinador. Este tipo de combinador tiene a la entrega en cada una de las etapas $1/N$ la potencia de salida, si se incrementa N se incrementa el coeficiente de acoplamiento, este tipo de combinadores son de compleja fabricación llegando a ser sumamente costosa.

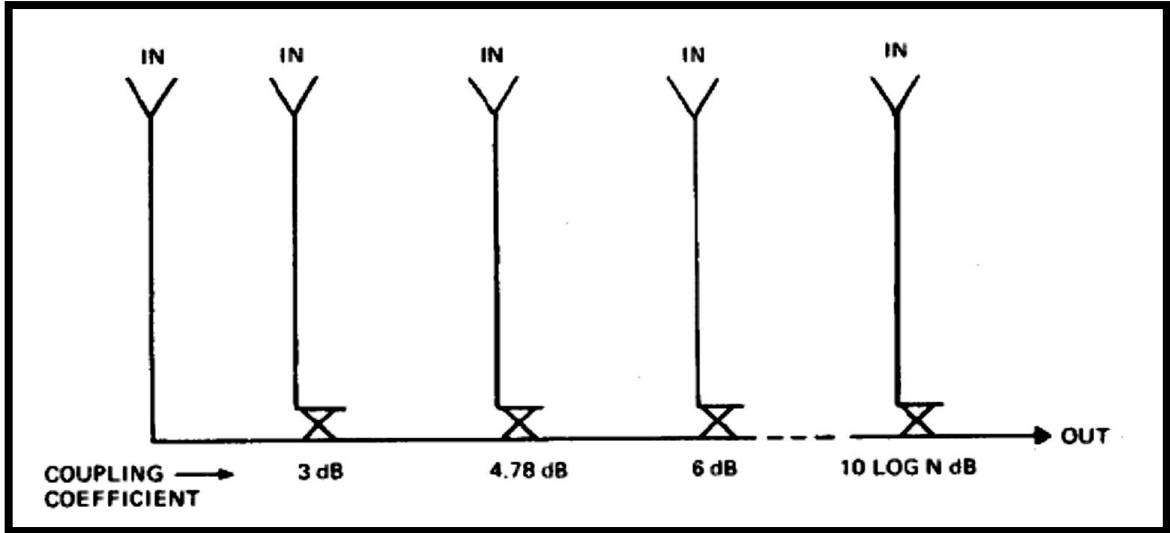


Figura 1-29: Combinador-divisor en cadena.

Fuente: <http://www.instockwireless.com/images/pd1060/1060nolid270.jpg>

1.4.3.1.3 *Combinador resonante*

La principal característica de este tipo de combinadores son de banda estrecha, dispone de salidas ubicadas simétricamente, este tipo de dispositivos son fabricados por guías de ondas lo que se puede emplear para frecuencias altas como la banda Ku, K y Ka, una de las principales inconvenientes es si gran tamaño lo que se hace menos fiable para aplicaciones en frecuencias bajas.

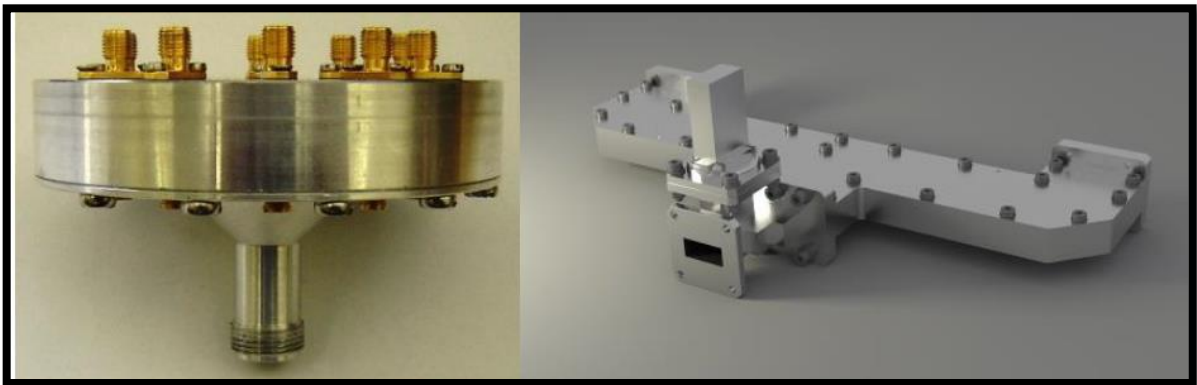


Figura 1-30: Combinador-divisor resonante.

Fuente: http://www.mesmicrowave.com/Images/Products2012/10417d_Small.png

1.4.3.1.4 Combinador no resonante

Este tipo de combinador es uno de los más utilizados ya que proporciona una banda ancha, generalmente este tipo de dispositivo se elabora con tecnología microstrip, existe varios modelos de combinador el principal y más utilizado es el combinador Wilkinson de dos puertos, ya que mantiene la adaptación logrando aislar las salidas. En este proyecto se ha empleado este tipo de combinador gracias a su versatilidad y no disipa la potencia obteniendo mayor eficiencia.

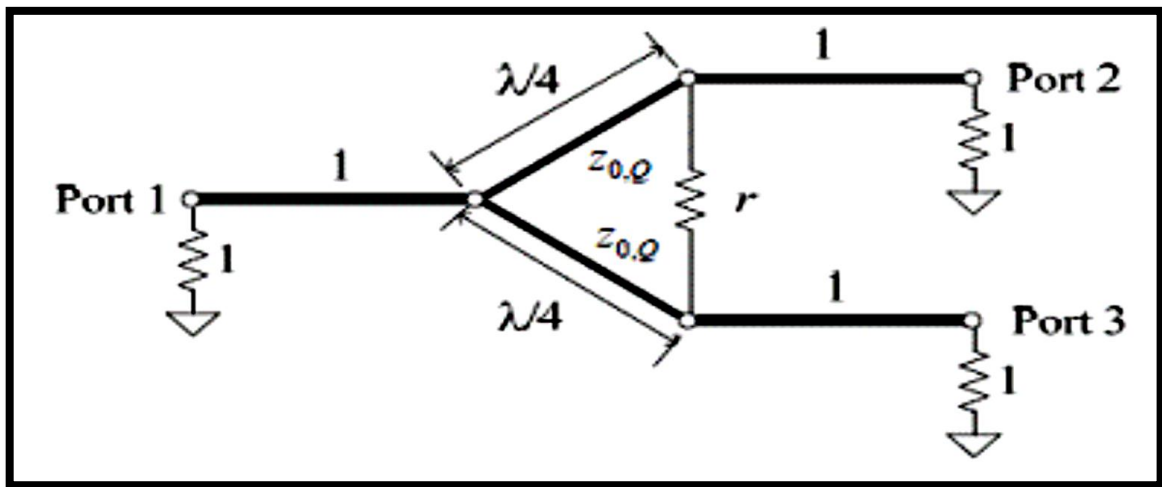


Figura 1-31: Combinador-divisor resonante.

Fuente: http://examcrazy.com/Engineering/Electronics-Communication/images/Wilkinson_Power_Divider/image006.gif

CAPITULO II

2. MARCO METODOLOGICO

2.1 Introducción

En este capítulo se describe el diseño propuesto de un sistema de amplificación de alta frecuencia, con sus respectivas elementos que lo componen, conformados en un conjunto de bloques los cuales de describirá con detalle su funcionamiento.

De la misma manera se darán a conocer los requerimientos en hardware que el sistema requiera para su funcionamiento y operación, conociendo así la función que desempeñan cada uno de los elementos que conforman en sistema, y los procesos que se llevó a cabo para la implementación.

2.2 Diseño del amplificador de alta frecuencia

Para proponer un diseño para el amplificador, se determinó los tipo de integrados MMIC que se disponen en el mercado, y las respectivos fabricantes, a los que nos presenta una amplia variedad de elementos los cuales se eligió cuidadosamente para cumplir con el rango establecido, en el siguiente figura 2-1 se aprecia el diagrama de bloques se muestra gráficamente los elementos que componen el sistema.

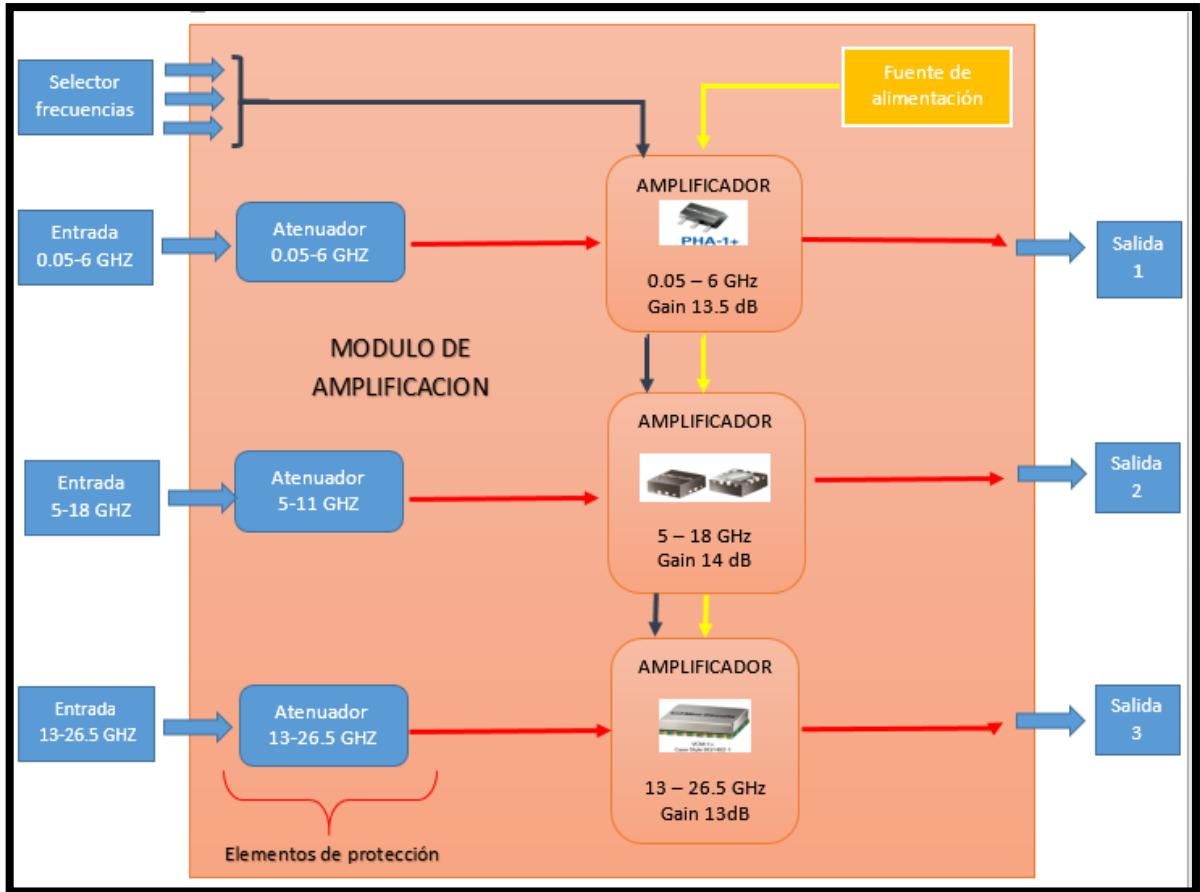


Figura 2-1: Diagrama de bloques de sistema de amplificación

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

2.3 Requerimientos del sistema

Como se muestra en la figura 2-1, se tiene un sistema conformado por bloques los cuales funcionan conjuntamente para tener una buena respuesta y principalmente de un buen funcionamiento.

Uno de los elementos principales del sistema es la fuente de alimentación, ya que este elemento debe entregar los valores correctos tanto de voltaje como corriente, rectificadas correctamente, alimentando a cada uno de los módulos de amplificación.

Dentro de los elementos se encuentran los elementos de protección, los cuales consta de atenuadores microstrip, diseñados acorde al rango de funcionamiento de cada uno de los

amplificadores, dando protección si se llega a sobrepasar el rango de potencia de funcionamiento de cada uno.

Los elementos principales son los amplificadores, ya que cada uno de los bloques representados en la figura 2-1, son módulos que en su interior contiene un integrado MMIC, amplificando cada uno de los rangos de frecuencias.

Todos los elementos están interconectados con líneas de transmisión de 50 ohm, se han empleado cable coaxial que cumple con las necesidades del sistema para mantener una impedancia en entrada y salida de 50 Ω , ya que la mayoría de los equipos de la institución trabajan en esta impedancia.

2.3.1 Descripción de los elementos internos que conforman sistema

Una vez estudiado cada uno de las características de los elementos que conformaran el amplificador, se precedió al determinar la estructura que debe llevar, para que los elementos internos funcionen conjuntamente de una manera eficaz y reduciendo errores, continuación se describen cada uno de los elementos con sus respectivas características, rangos de funcionamiento, utilidad dentro del sistema.

2.3.1.1 Fuente de alimentación

Para proporcionar una alimentación a los circuitos integrados amplificadores se requiere de una fuente de alimentación la cual debe prestar voltajes estables de 5 voltios, ya que los circuitos integrados MMIC operan con este voltaje específico, lo que le hace vulnerable a cambios bruscos de voltaje.

2.3.1.1.1 Transformador de 120 a 12 AC

El transformador es un dispositivo electrónica capaz de reducir o aumentar la tensión de corriente alterna, para el caso de nuestro proyecto se empleó un transformado cuya configuración

permitiendo reducir el voltaje de la red eléctrica de 120 V a 12V para luego ser rectificad y filtrada.

2.3.1.1.2 Rectificador de onda completa de onda completa

Otro de los elementos indispensables dentro de la fuente de alimentación son los diodos puente, que permiten rectificar la corriente alterna, para luego ser convertido en corriente pulsante, procedimiento en la que la onda negativa de la señal se convierte en positiva, obteniendo un resultado como se muestra en la figura 2-2.

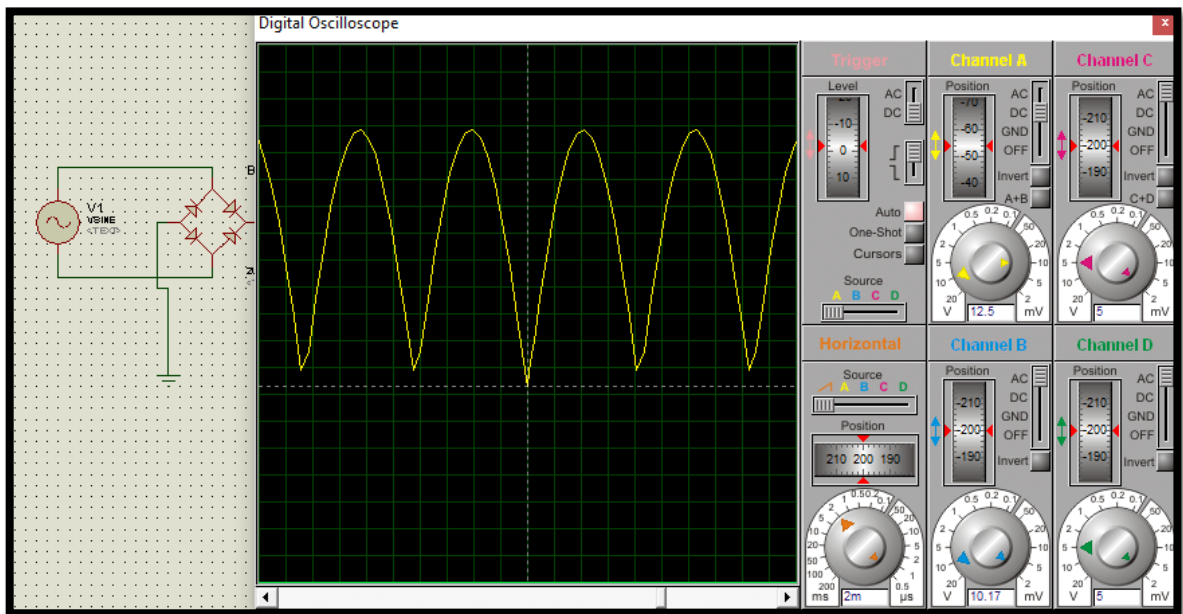


Figura 2-2. Rectificador de onda completa

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

2.3.1.1.3 Condensadores

Este tipo de elemento en este proyecto se emplea a para filtrar la señal pulsante obteniendo como resultado una señal casi invariante en el tiempo, mejorando de gran manera al no presentar picos los cuales podrían afectar a nuestro sistema.

2.3.1.1.4 Integrado regulador

Uno de los elementos principales de la fuente de alimentación son los circuitos integrados reguladores, gracias a este pequeño elemento se obtiene una señal mucho más continua, de la misma manera este tipo de elemento regula la señal de entrada en una señal de salida con las necesidades de nuestro sistema, en el proyecto contamos con dos integrados reguladores el 7805 que proporciona la alimentación a los integrados amplificadores y 7812 que alimenta un pequeño ventilador para ayudar a la refrigeración del sistema.

Tabla 2-1: Índices absolutos máximos.

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for VO= 5V to 18V) (for VO = 24V)	VI	35	V
	VI	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	R θ JC	5	oC/W
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	R θ JA	65	oC/W
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ +125	oC
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	oC

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Fuente: <http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/82833/FAIRCHILD/LM7805.html>

En la tabla 2-1 se muestra los índices absolutos máximos de la familia de los integrados reguladores LM78XX, como límites de voltaje de entrada que pueden soportar, la temperatura de operación, por lo que se debe contar con un disipador de calor para alargar la vida útil del dispositivo. En la tabla 2-2, 2-3 muestra la característica eléctrica de los integrados reguladores LM7805 y LM7812.

Tabla 2-2: Características eléctricas (MC7805/LM7805)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min	Typ	Max		
Output Voltage	VO	TJ = +25 °C	4.8	5.0	5.2	V	
		5.0mA ≤ IO ≤ 1.0A, PO ≤ 15W VI = 7V to 20V	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	TJ = +25 °C	VO = 7V to 25V	-	4.0	100	mV
			VI = 8V to 12V	-	1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	TJ = +25 °C	IO = 5.0mA to 1.5A	-	9	100	mV
			IO = 250mA to 750mA	-	4	50	
Quiescent Current	IQ	TJ = +25 °C	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔIQ	IO = 5mA to 1.0A	-	0.03	0.5	mA	
		VI = 7V to 25V	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	ΔVO/ΔT	IO = 5mA	-	-0.8	-	mV/ °C	
Output Noise Voltage	VN	f = 10Hz to 100KHz, TA = +25 °C	-	42	-	μV/VO	
Ripple Rejection	RR	f = 120Hz VO = 8V to 18V	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	VDrop	IO = 1A, TJ = +25 °C	-	2	-	V	
Output Resistance	rO	f = 1KHz	-	15	-	mΩ	
Short Circuit Current	ISC	VI = 35V, TA = +25 °C	-	230	-	mA	
Peak Current	IPK	TJ = +25 °C	-	2.2	-	A	

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Fuente: <http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/82833/FAIRCHILD/LM7805.html>

Tabla 2-3: Características eléctricas (LM7812)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min	Typ	Max		
Output Voltage	VO	TJ = +25 °C	11.5	12	12.5	V	
		5.0mA ≤ IO ≤ 1.0A, PO ≤ 15W VI = 7V to 20V	11.4	12	12.6		
Line Regulation (Note1)	Regline	TJ = +25 °C	VI = 14.5V to 30V	-	10	240	mV
			VI = 16V to 22V	-	3.0	120	
Load Regulation (Note1)	Regload	TJ = +25 °C	IO = 5mA to 1.5A	-	11	240	mV
			IO = 250mA to 750mA	-	5.0	120	
Quiescent Current	IQ	TJ = +25 °C	-	5.1	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔIQ	IO = 5mA to 1.0A	-	0.1	0.5	mA	
		VI = 14.5V to 30V	-	0.5	1.0		
Output Voltage Drift	ΔVO/ΔT	IO = 5mA	-	-1	-	mV/ °C	
Output Noise Voltage	VN	f = 10Hz to 100KHz, TA = +25 °C	-	76	-	μV/VO	
Ripple Rejection	RR	f = 120Hz VI = 15V to 25V	55	71	-	dB	
Dropout Voltage	VDrop	IO = 1A, TJ = +25 °C	-	2	-	V	
Output Resistance	rO	f = 1KHz	-	18	-	mΩ	
Short Circuit Current	ISC	VI = 35V, TA = +25 °C	-	230	-	mA	
Peak Current	IPK	TJ = +25 °C	-	2.2	-	A	

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Fuente: <http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/82833/FAIRCHILD/LM7805.html>

2.3.1.2 Atenuador microstrip

La función principal del atenuador en este proyecto es proteger a los módulos de amplificación de potencias expeditas, de la misma manera los atenuadores protegen a los equipos de mediación, ya que estos tienen definidas potencias máximas en sus entradas, lo que no deberíamos sobrepasar ya que se estropearían los equipos.

Para el diseño de los mismos se han tomado en cuenta las potencias máximas y mínimas en las que trabajan los integrados amplificadores, por medio de estos valores se calcula el factor de atenuación para cada uno de los integrados con la ecuación 1-5.

Existen varios modelos de atenuadores los cuales cumplen una misma función, en nuestro caso se ha tomado en cuenta el atenuador tipo T por su sencillez como se muestra en la figura 2-3, ya que estos atenuadores están diseñados en base a la tecnología microstrip porque presentan valores de resistencias que en el mercado no se encuentran, gracias a esta tecnología se puede representar una gran variedad de resistencias sobre un sustrato, estas resistencias son calculadas para cada uno de los integrados con las ecuaciones 1-5.1-6.

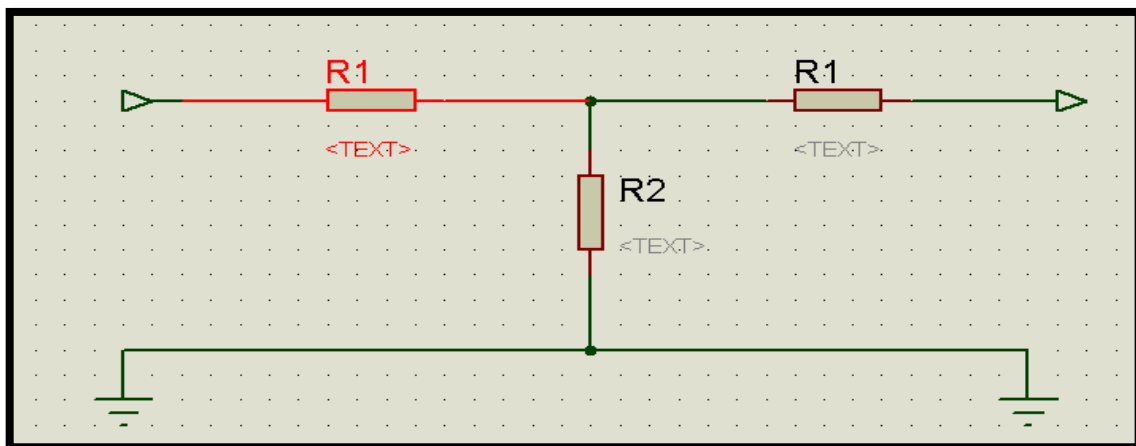


Figura 2-3: Atenuador tipo T

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Tabla 2-4: Características de los atenuadores

amplificador	Pout	Pin	Factor atenuación	R1	R2	Rango de Frecuencia
PHA-1+	22dBm	24dBm	2dB	5,73 Ω	215,24 Ω	0.05 - 6 GHZ
AVA-183A+	19dBm	20dBm	1dB	2,875 Ω	433,34 Ω	5 - 18 GHZ
AVM-273HPK+	27 dBm	16dBm	11dB	28 Ω	31 Ω	13 – 26,6 GHZ

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Para la elaboración de los atenuadores se utilizó un software Ansoft Designer, para su diseño en microstrip, este programa nos permite el cálculo de las resistencias gracias a una calculadora establecida en el programa, donde ingresamos los parámetros necesarios y como resultado nos da el ancho y largo de las pistas para posteriormente ser impresas en bakelita, en la figura 2-4 se muestra el cálculo de uno de los atenuadores con el software.

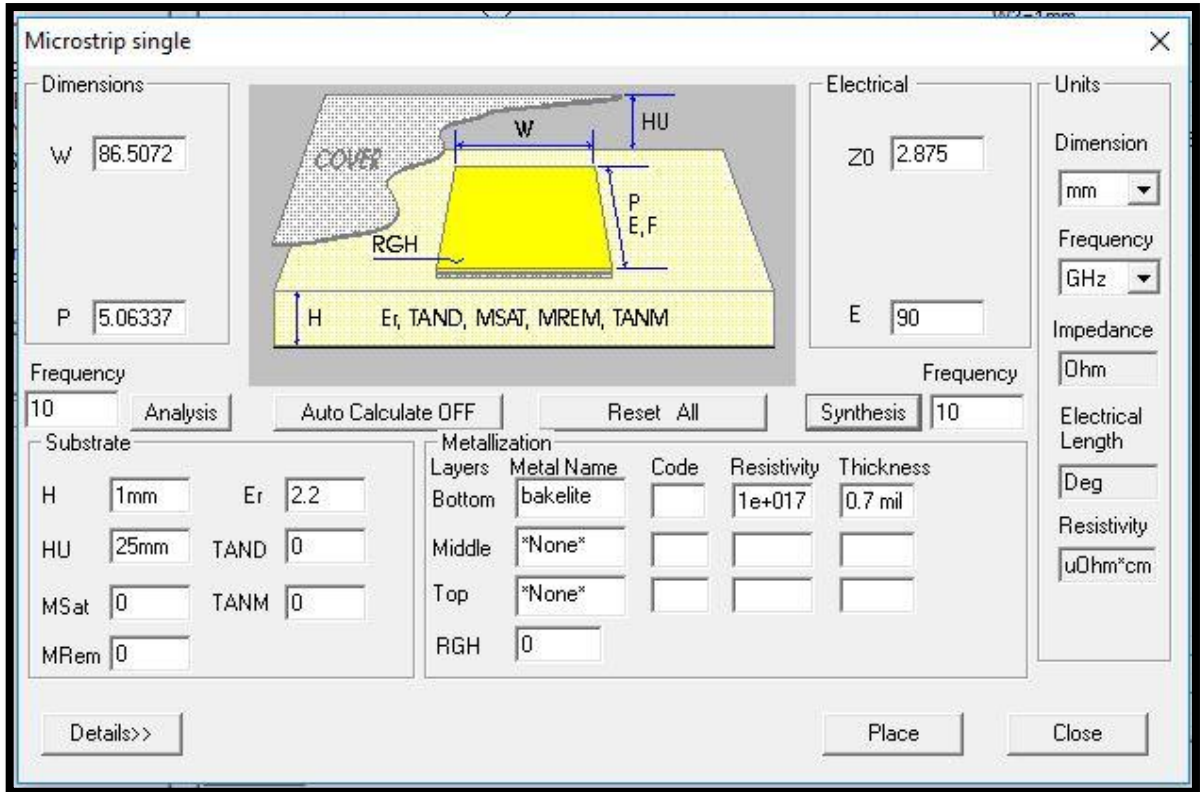


Figura 2-4: Calculo de pistas de atenuador

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

2.3.1.3 Cable SMA-SMA

Los elementos tales como combinadores, atenuadores y los amplificadores están diseñados para trabajar conjuntamente, en sus entradas y salidas de cada uno de los elementos consta de conectores SMA hembra tipo rosca, para eso se utiliza un cable coaxial con conectores SMA machos de rosca colocados en cada extremo, los mismos que son compatibles con los conectores de los otros dispositivos, en la siguiente tabla se muestra las características de los cables.

Tabla 2-5: Características del cable SMA-SMA

Característica	Descripción
Tipo	Coaxial
Impedancia	50 ohmios
Conector	SMA macho uno en cada extremo
Longitud	10cm
Tipo de coaxial	LRM-195

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Fuente: <https://www.ettus.com/product/details/SMA-SMA>

2.3.1.4 Módulos de amplificación

Para la elaboración del sistema de amplificación se han escogido tres circuitos integrados MMIC los cuales cubren rangos de 0.05 GHZ hasta 26.5 GHZ, obteniendo así un amplio rango de frecuencias de operación, a continuación se presentan cada una de los integrados con sus respectivas características de funcionamiento entregados por nuestro proveedor Mini-circuit.

2.3.1.4.1 Integrado MMIC PHA-1+

Este integrado MMIC PHA-1+ se ha empleado para amplificar las frecuencias bajas que van de 0.05 GHZ hasta 6 GHZ, este tipo de integrado es fabricado usando E-PHEMT lo que permite tener menor ruido en la figura 2-5 se muestra el esquema del circuito integrado.

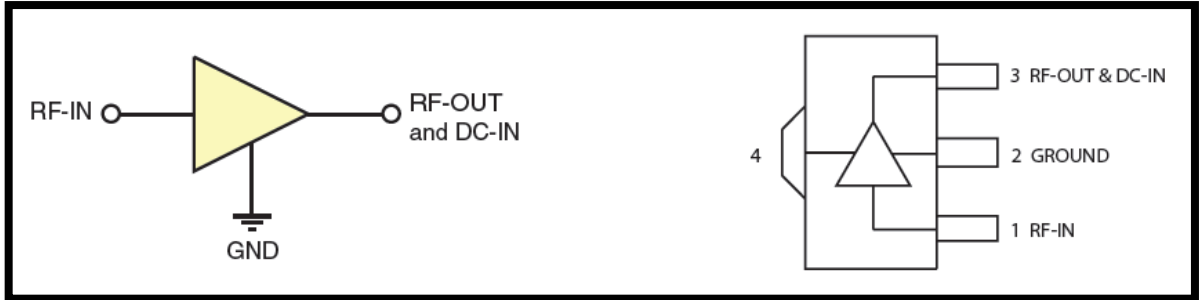


Figura 2-5: Esquema de circuito MMIC PHA-1+, distribución de pines.

Fuente: [https://www.minicircuits.com/pdfs/PH-1+.pdf](https://www.minicircuits.com/pdfs/PHA-1+.pdf)

Para el correcto funcionamiento del integrado este debe interactuar conjuntamente con otros elementos pasivos como: condensadores, resistencias, bobinas, las cuales se adquirió de manera igual que los integrados para su posterior ensamblaje, el circuito esquemático del módulo de amplificación recomendado por la Mini-circuits se muestra en la figura 2-6.

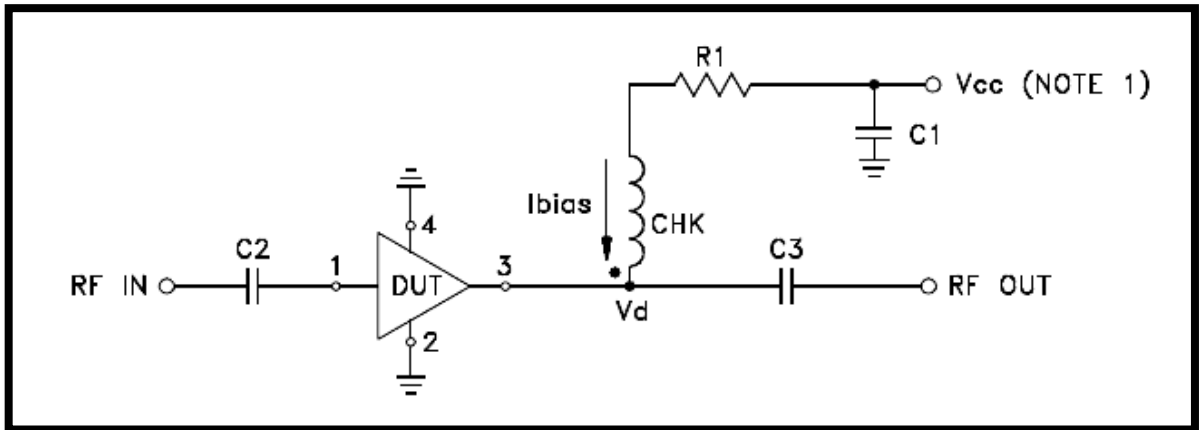


Figura 2-6: Circuito esquemático recomendado para PHA-1+

Fuente: <https://www.minicircuits.com/pdfs/PHA-1+.pdf>

Tabla 2-6: Valores de componentes para módulo 1

Componente	Valor
DUT	PHA-1+
C1(bypass)	0.1 uf
C2 – C5	0.001 uf
R1	0 OHM, 0.25W
CHK	Mini-circuits TCCH-80+

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Fuente: <https://www.minicircuits.com/pdfs/PHA-1+.pdf>

2.3.1.4.1.1 Características del módulo de amplificación

2.3.1.4.2 Integrado MMIC AVA-183A+

Este tipo de integrado es un amplificador de banda ancha que opera en la frecuencias de 5-18 GHZ, a la misma manera que el anterior circuito integrado, este también es fabricado en base a la tecnología PHEMT, por la que cuenta con una buena estabilidad haciéndolo óptimo para sistemas de microondas, este integrado cuenta con una potencia de salida de 19.0 dB el esquema del circuito integrado se muestra en la figura 2-7.

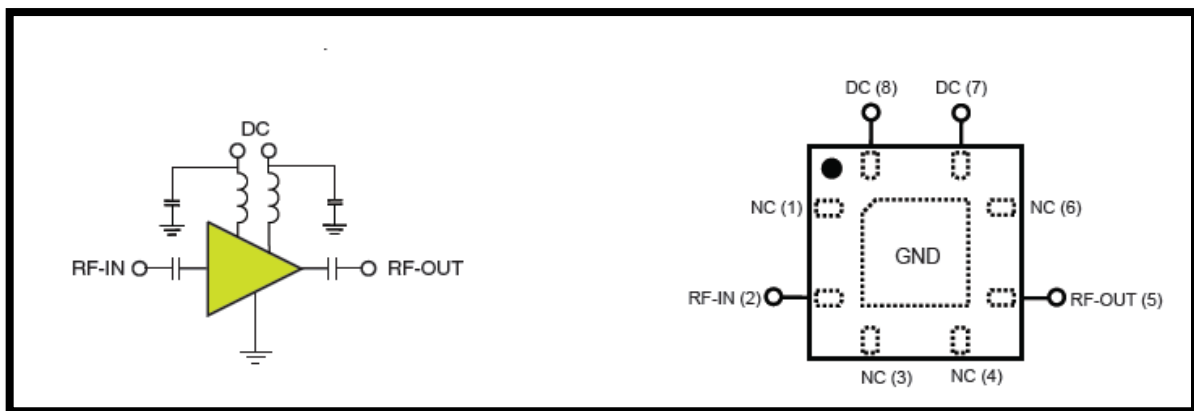


Figura 2-7: Esquemático simplificado y distribución de pines.

Fuente: <https://www.minicircuits.com/pdfs/AVA-183A+.pdf>

Este integrado también cuenta con un esquema recomendado de parte del fabricante mismo que se muestra en la figura

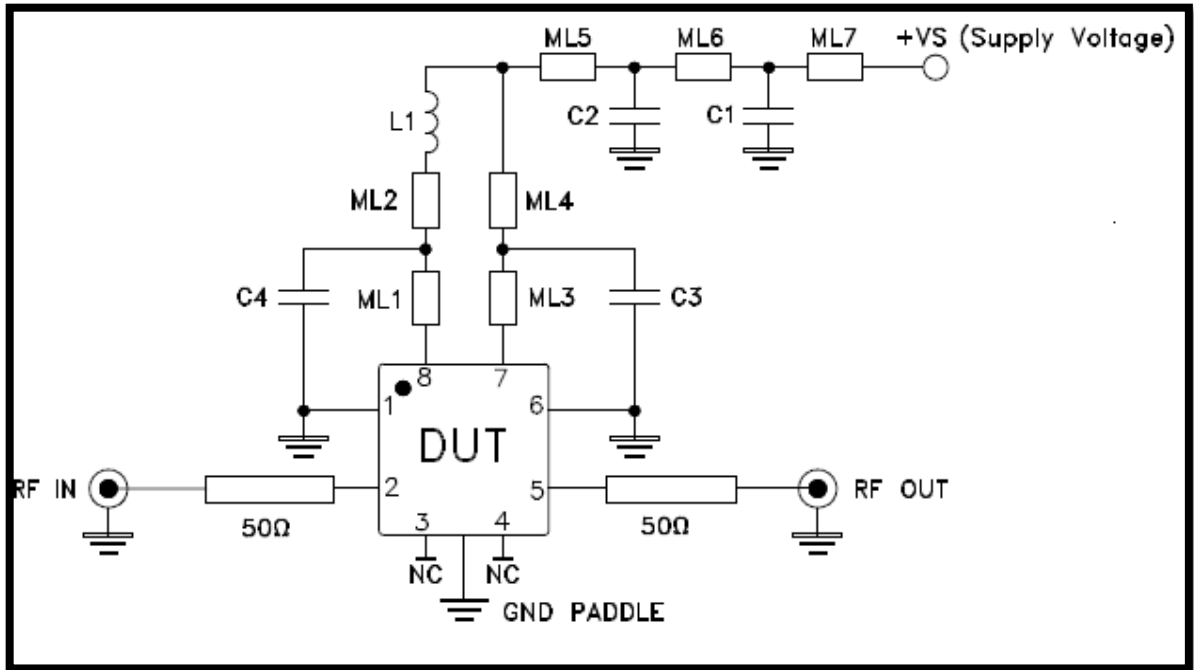


Figura 2-8. Diagrama esquemático para amplificador AVA-183A+

Fuente: <https://www.minicircuits.com/pdfs/AVA-183A+.pdf>

Tabla 2-7: Lista de componentes para amplificador AVA-183A+

Componentes	Descripción
DUT	AVA-183A+
C1	5.6 pf
C2	18 pf
C3	0.001 μ f
C4	0.1 μ f
L1	3.3 nH

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Fuente: <https://www.minicircuits.com/pdfs/AVA-183A+.pdf>

2.3.1.4.2.1 Características del módulo de amplificación

Para un mejor manejo y operación del cuito integrado el proveedor muestra los valores máximos que el dispositivo soporta en la tabla 2-10 se muestra las máximos valores de entrada y salida del sistema de amplificación.

Tabla 2-8: Índices absolutos máximos

Parámetros	Rangos
Temperatura de operación	-40°C to 85°C
Temperatura de almacenamiento	-55°C to 100°C
Temperatura de canal	150°C
DC voltaje (Pad 7, 8)	5.5 V
DC voltaje (Pad 2, 5)	10V
Poder de disipación	980 mW
DC corriente (Pad 7+8)	180 mA
Potencia de entrada (CW)	20 dBm

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Fuente: <https://www.minicircuits.com/pdfs/AVA-183A+.pdf>

2.3.1.4.3 Integrado MMIC AVM-273HPK+

Este integrado es un amplificador que opera en un rango de 13 GHZ a 26.5 GHZ, el integrado es alimento por un módulo de secuenciación de tensión automática, de la misma manera que los circuitos anteriores este también es fabricado con la tecnología PHET, el cual tiene las mismas prestaciones que los otros sistemas vistos, en la figura 2-9, se muestra el esquemático y la distribución de los pines del integrado y su respectivo módulo de alimentación.

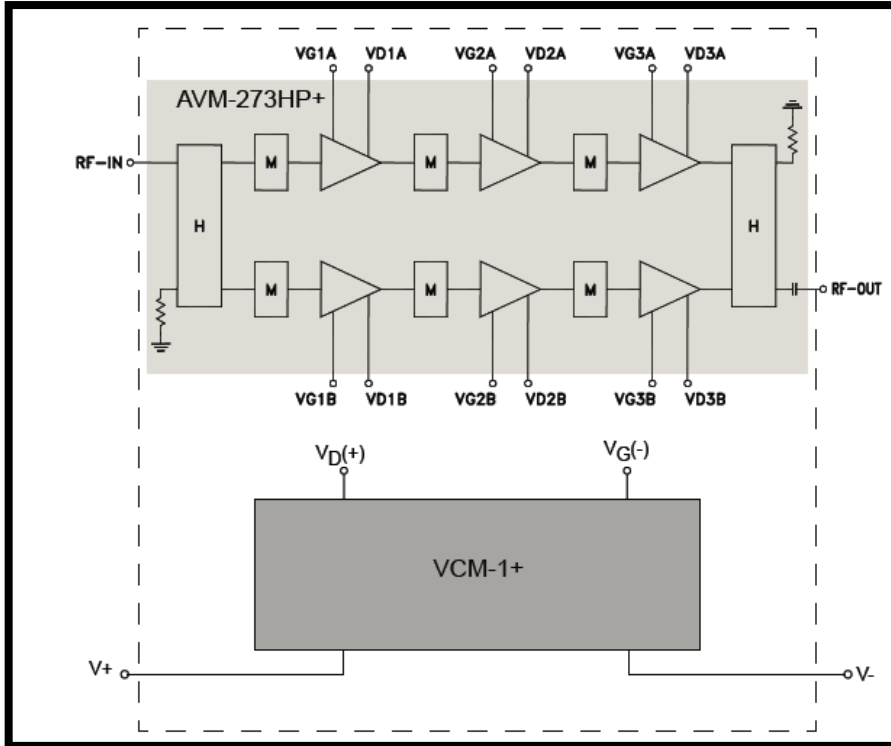


Figura 2-9: Esquema de integrado AVM-273HPK+, y módulo de alimentación VCM-1+

Fuente: <https://www.minicircuits.com/pdfs/AVM-273HPK+.pdf>

De la misma manera se presenta un diagrama esquemático recomendado para la fabricación del módulo de amplificación, la cual se muestra en la figura 2-10.

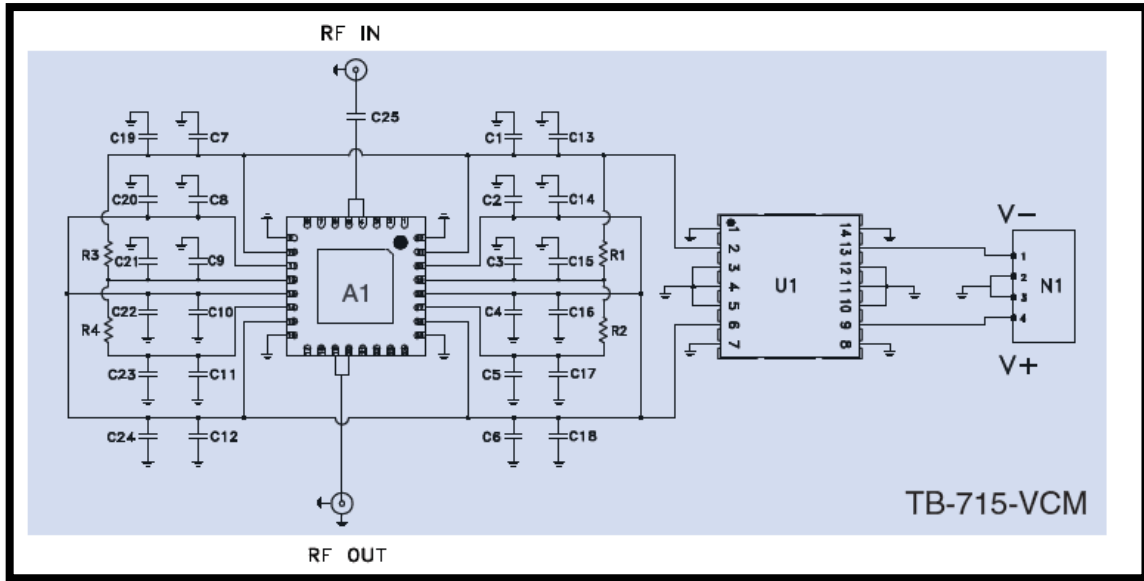


Figura 2-10: Diagrama esquemático de construcción de módulo para el integrado AVM-273HPK+

Fuente: <https://www.minicircuits.com/pdfs/AVM-273HPK+.pdf>

Tabla 2-9: Lista de componentes elaboración de módulo AVM-273HPK+

Componentes	Valores
A1	AVM-273HP+
U1	VCM-1+
N1	BORNERA DE ALIMENTACIÓN
C1,C6,C7,C12-C24	0.1 μ F
C2-C5,C8-C11	470 Pf
C25	0.1 μ F
R1-R4	0 ohm

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Fuente: <https://www.minicircuits.com/pdfs/AVM-273HPK+.pdf>

2.3.1.4.3.1 Características de módulo de amplificación

En la tabla 2-13 muestra los valores máximos de operación de este integrado, valores los cuales no se pueden ser excedidos por cuestiones de seguridad y vida útil del circuito integrado.

Tabla 2-10: Índices absolutos máximos

Parametros	Rangos
Temperatura de operación	-40°C to 85°C
Temperatura de almacenamiento	-65°C to 150°C
Temperatura de canal	136°C
DC voltaje: V+	+7.4 V
DC voltaje: V-	-6 V
DC corriente: V+	620 mA
DC corriente: V-	1 mA
Poder de disipación	3.1 W
Potencia de entrada (CW)	16 dBm

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Fuente: <https://www.minicircuits.com/pdfs/AVM-273HPK+.pdf>

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS

3.1 Introducción

Este capítulo se muestra el diseño de cada uno de los elementos que conforman el sistema de amplificación, comenzando con los diseños de los circuitos impresos de los atenuadores, combinadores, los módulos de amplificación la fuente de alimentación.

Una vez obtenido los diseños de cada uno de los circuitos anteriormente dichos, se procedió a implementar soldando cuidadosamente los componentes pasivos, y conectores de entrada y salida SMA, principalmente en los módulos de amplificación, mientras que en los dispositivos como: atenuadores y combinadores se les suelda a sus entradas y salidas un conectores SMA tipo hembra

Previamente se procedió a elaboración los cables SMA-SMA, los cuales son utilizados para la unión de cada uno de estos elementos que conforman el sistema.

Una vez ya obtenido todos los dispositivos listos se procede a la comprobación de los amplificadores de forma individual, este procedimiento se lo hace con los equipos adecuados, en nuestro caso se utilizó un generador de microondas como transmisor, el cual crea la señal de prueba a diferentes frecuencias, y como receptor se utilizó el analizador de espectros.

Luego de comprobar el funcionamiento de los amplificadores se hace la medición con sus respectivos atenuadores, para comprobar si estos dispositivos cumplen su función de proteger el módulo de amplificación, y por último se ensambla en una caja plástica todos los elementos y se saca mediciones en el rango de frecuencias de operación del sistema.

3.2 Diseño e implantación de fuente de alimentación

Una vez obtenido los elementos necesarios los cuales se les describió en el capítulo II, se procedió a diseñar una fuente de alimentación el cual debe cumplir con las características que requieren los módulos para un correcto funcionamiento, el diseño propuesto se muestra en la figura 3-1.

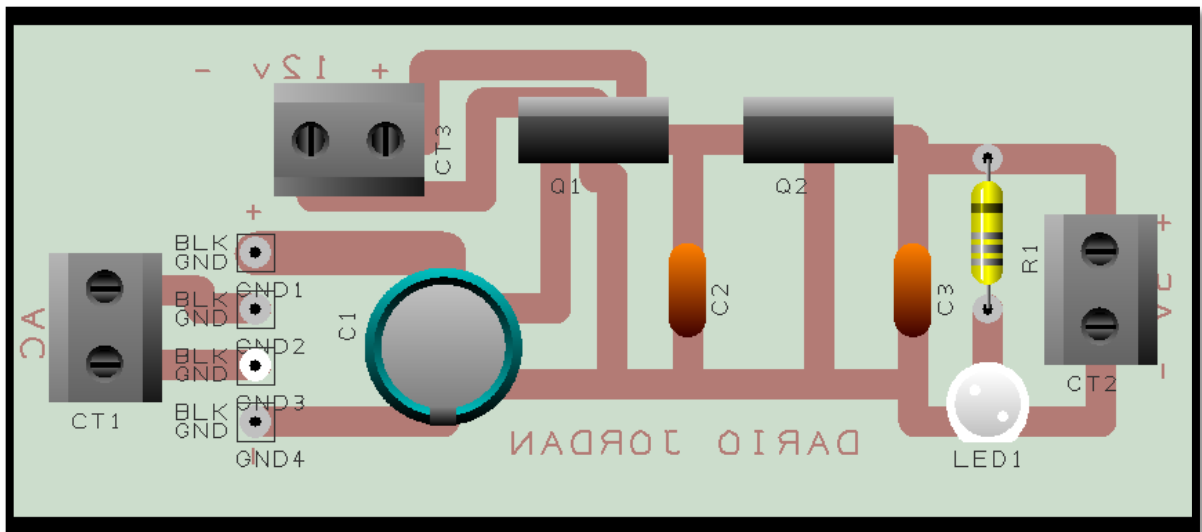


Figura 3-1: Diseño de la fuente de alimentación

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Como se muestra en la figura 3-1 la fuente consta de dos integrados reguladores de voltaje, ofreciendo así estabilidad al diseño, apoyados por tres capacitores filtrando así señales parasitas que puedan interferir en el sistema, y como indicador se insertó un diodo led el que indica si la fuente esta en operación.

Luego del diseño realizado por computadora se procede a realizar el impreso en una placa de bakelita donde como resultado las pistas de cobre como se muestra en la figura 3-2

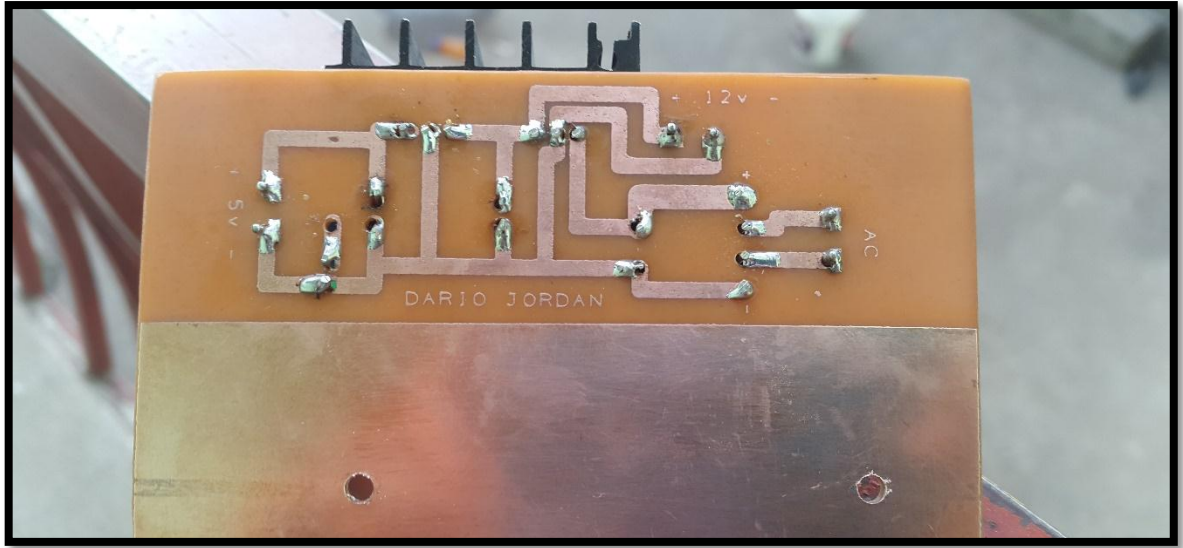


Figura 3-2: Circuito impreso en bakelita de la fuente de alimentación.

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

En la figura 3-3 se muestra ya la fuente de alimentación con sus elementos soldados a la placa que contiene las pistas del respectivo diseño.



Figura 3-3: Fuente de alimentación componentes internos

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

3.2.1 *Funcionamiento de fuente de alimentación*

Para un óptimo uso de la fuente de alimentación de inserto un disipador de calor en los integrados ya que estoy por el estrés de trabajo llegan a generar calor, para ayudar con el enfriamiento se colocó un pequeño ventilador que funciona a 12V.

La fuente de alimentación a su entrada ingresa 120 VAC de la red eléctrica pública, mientras q a su salida se tiene 5 VDC con un máximo de 1 Am capaz de alimentar a los módulos de amplificación. En la figura 3-4 se muestra la fuente de alimentación terminada y en funcionamiento.

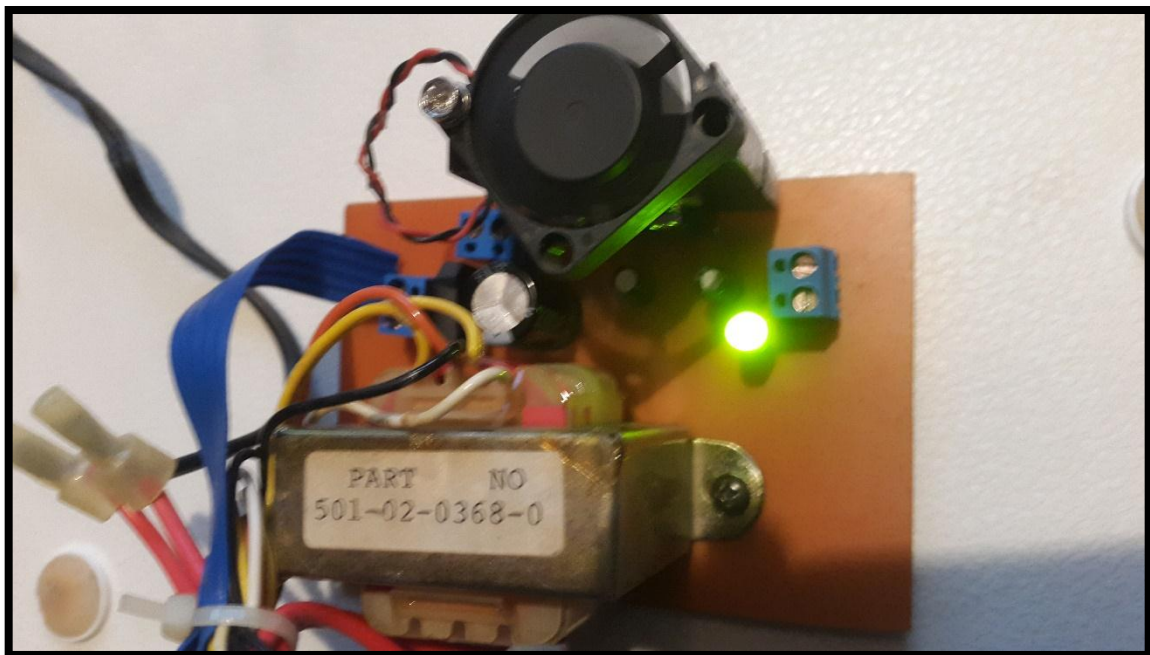


Figura 3-4: Fuente de alimentación operativa

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Moco se puede ver en la figura 3-4 la fuente de alimentación esta completada con su respectivo transformador y sistema de enfriamiento por aire, se igual manera la fuente está en operación sin presentar ningún inconveniente por su diseño quedando lista para dar alimentación a los módulos de amplificación.

3.3 Diseño e implementación de atenuadores microstrip

Para el diseño de cada uno de los atenuadores se han tomado las medidas ya calculadas y mostradas en el capítulo II, de la misma manera que los combinadores estos atenuadores fueron diseñados en el software de Ansoft Designer, y se basan en el tipo de atenuador tipo T.

3.3.1 Implementación de atenuador 0.05- 6 GHZ

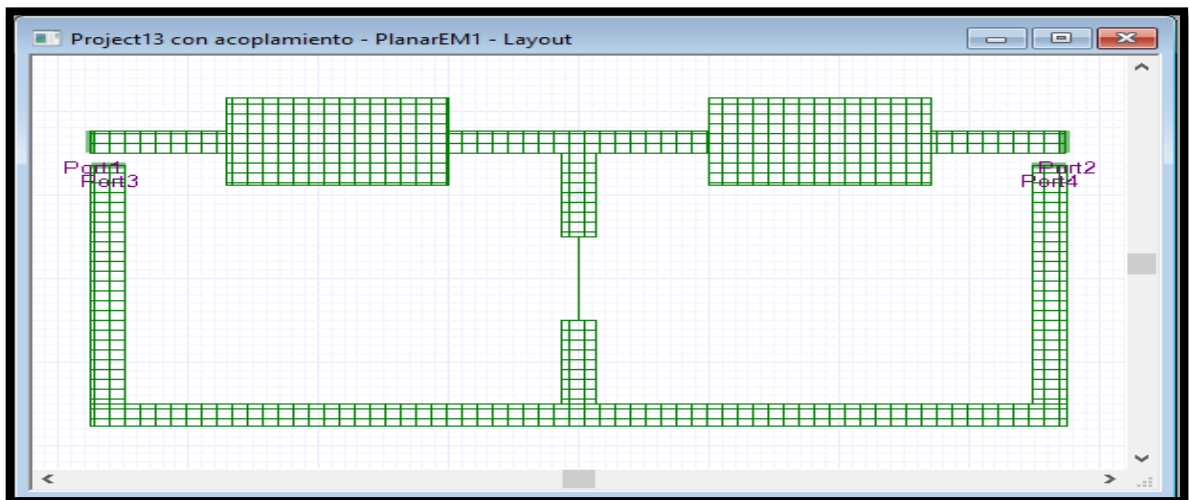


Figura 3-5: Diseño final de atenuador tipo T de 0.05-6 GHZ

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Como se muestra en la figura 3-6, es el diseño final del atenuador tipo T que opera en frecuencias de 0.05-6 GHZ realizado en el software Designer, luego se su diseño final se procedió a la implementación en una placa de bakelita y a solar sus respectivas entradas y salidas, que consta de 2 conectores SMA tipo hembra.

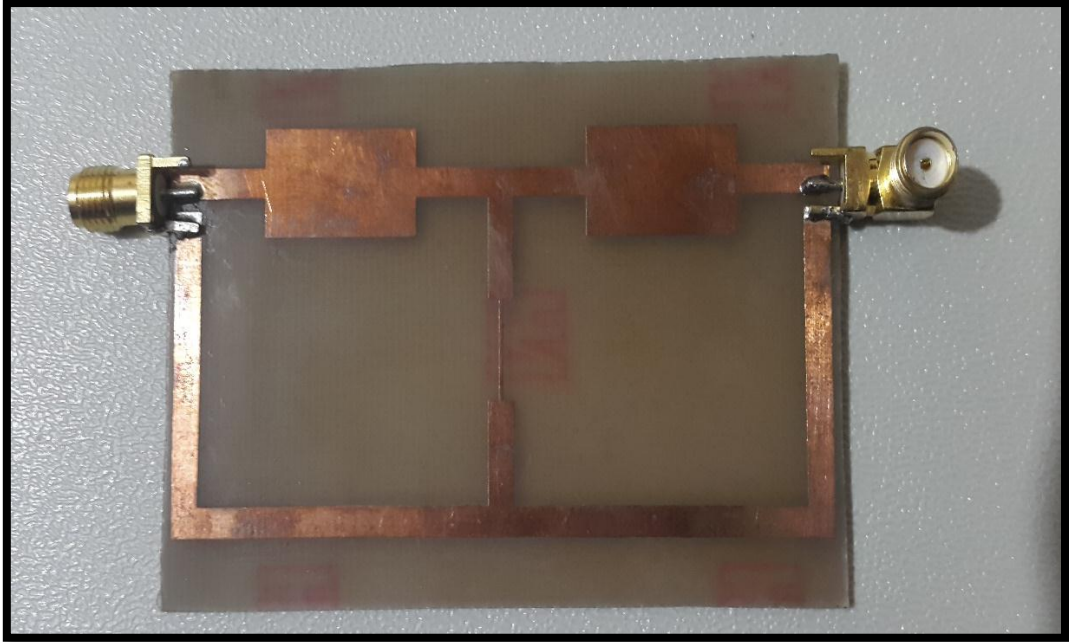


Figura 3-6: Atenuador 0.05-6 GHZ implementado

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

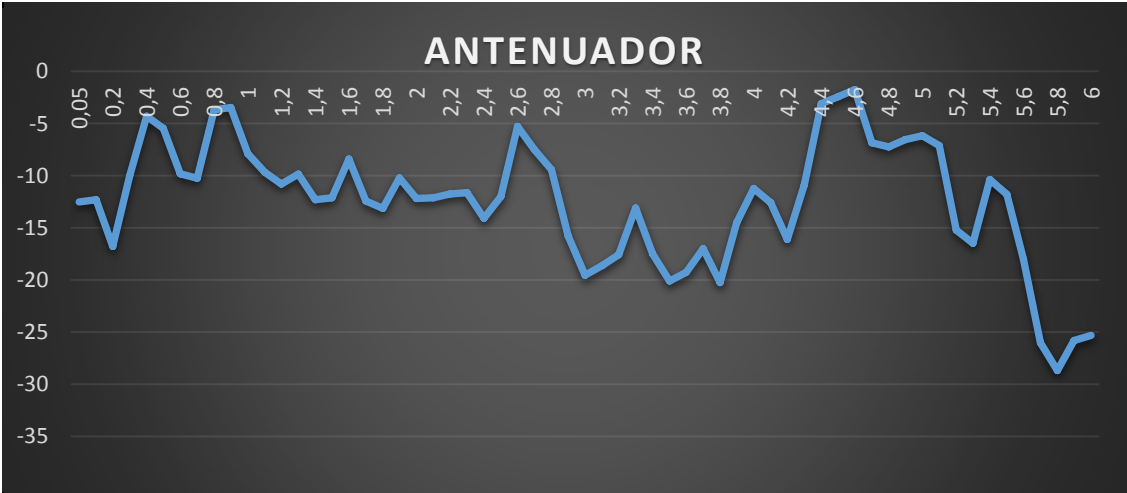


Figura 3-7: Rango de atenuación del atenuador de 0.05-6 GHZ

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

En el grafico 3-7 muestra la atenuación del dispositivo implementado en un rango de frecuencias que van de 0.05 GHZ hasta los 6 GHZ cubriendo así un amplio rango de frecuencias y dando una protección al sistema.

3.3.2 *Implementación de atenuador 5- 18 GHZ*

Una de las características de este atenuador que opera en frecuencias altas que van de 11-18 GHZ, es que por sus valores de las resistencias el diseño de este es relativamente mayor a los demás atenuadores.

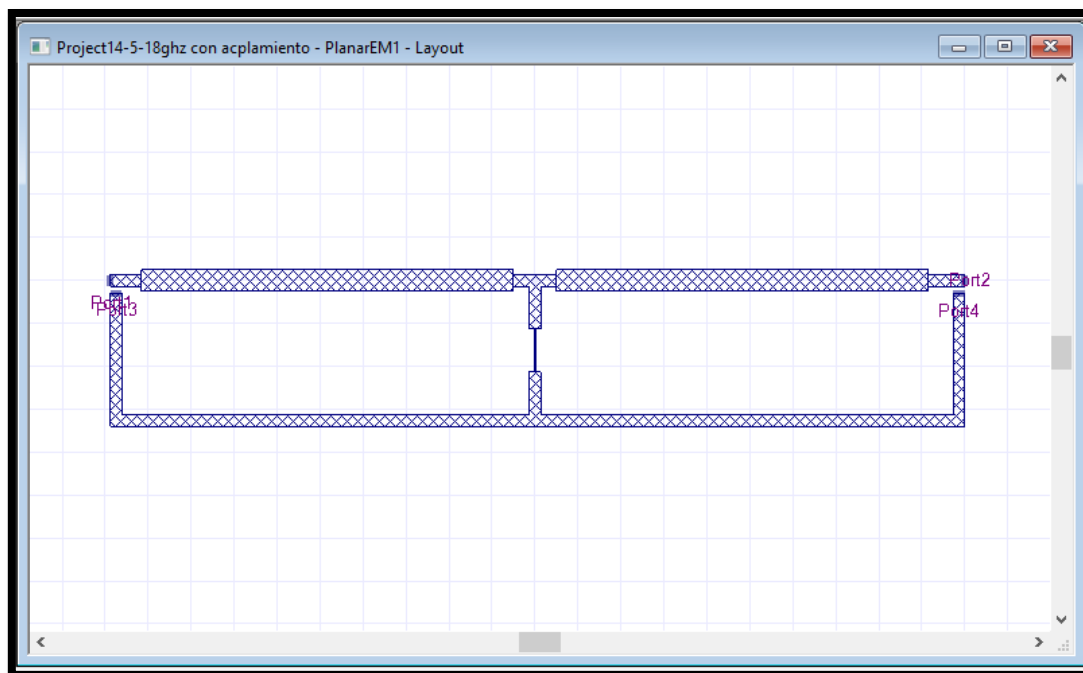


Figura 3-8: Diseño final de atenuador de 11-18 GHZ

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

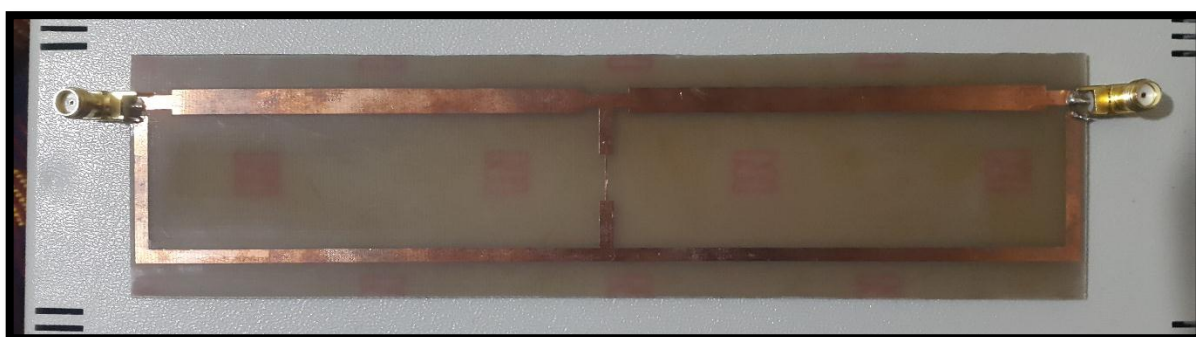


Figura 3-9: Atenuador 11-18 GHZ implementado

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

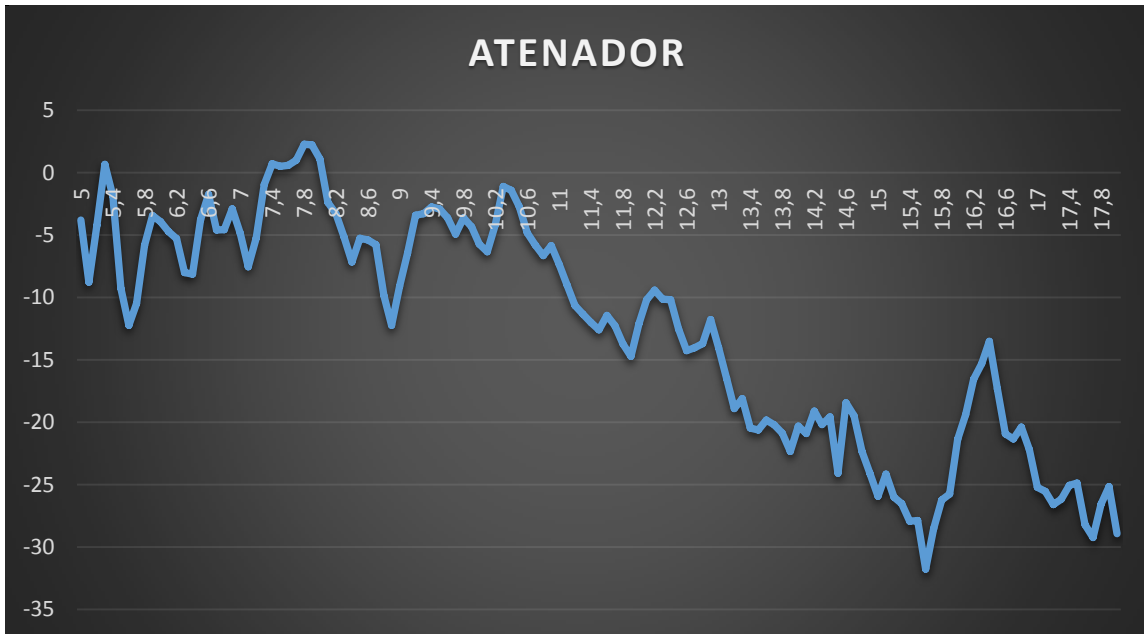


Figura 3-10: Rango de trabajo de atenuador 5-18 GHZ

Realizador por: JORDAN, Dario, 2017

En la figura 3-10 se aprecia el rango de trabajo del atenuador que cubre un ancho de banda que va de 5 hasta los 18 GHZ, como se explicaba anteriormente en el rango que va de 5 a 11 GHZ no se obtiene la atenuación deseada por lo que se procedió a elaborar otro atenuador que opera en esas frecuencias.

3.3.3 *Implementación de atenuador de 18- 26.5GHZ*

El diseño final del atenuador de 18-26.5 GHZ se presenta en la figura 3-11, como se ha explicado anteriormente este tipo de modulo que opera en la frecuencia de 18-26.5 GHZ no se llegó a implementar por lo que su atenuador solo se presenta su diseño para futuros trabajos de investigación.

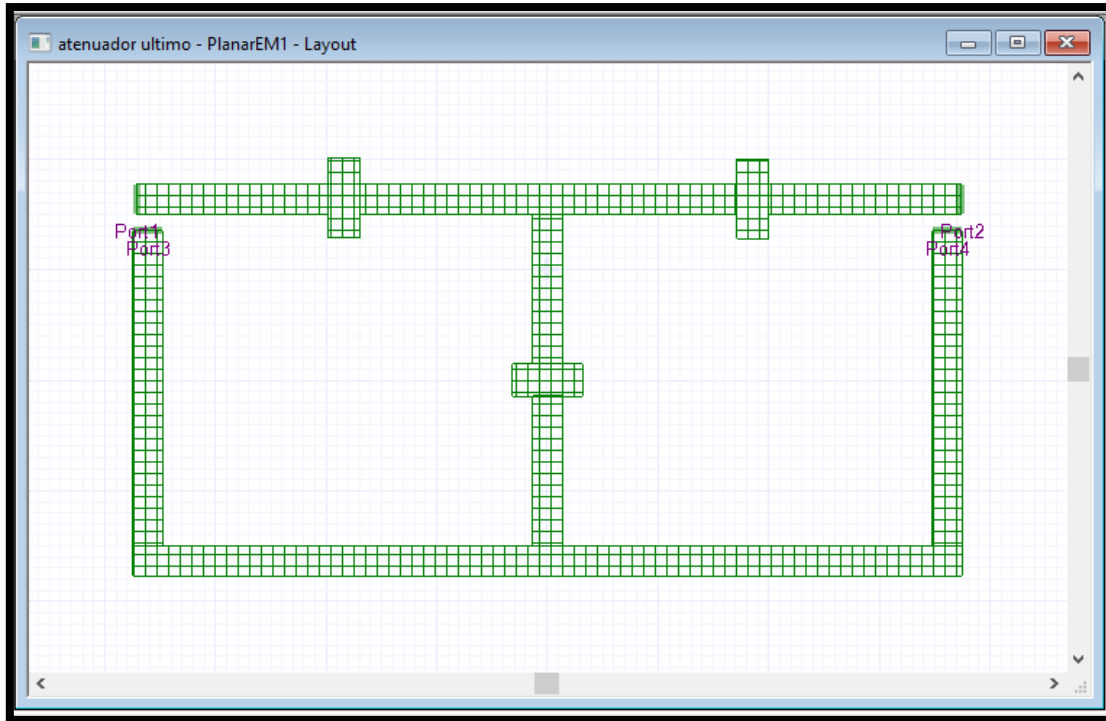


Figura 3-11: Diseño final de atenuador de 18-26.5 GHZ

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

3.4 Elaboración de cables SMA-SMA

Para unir todos los elementos del sistema se requieren de líneas de transmisión de 50Ω , en nuestro caso se adoptó por utilizar cable coaxial con sus respectivos terminales tipo SMA, los cuales deben ser compatibles con los conectores instalados en cada uno de los módulos sean de amplificación como los atenuadores.

Todos los cables SMA-SMA son todos idénticos ya que las líneas de transmisión están diseñadas para 50 ohms, la elaboración de explica a continuación.



Figura 3-12: Conector SMA macho

Fuente: <http://img-europe.electrocomponents.com>

Como se puede ver en la figura 3-12 este tipo de conector consta de 3 partes los cuales van cuidadosamente soldados al cable coaxial, para poder soldar el cable coaxial se procede hacer un corte en el cable como se muestra en la figura 3-13.

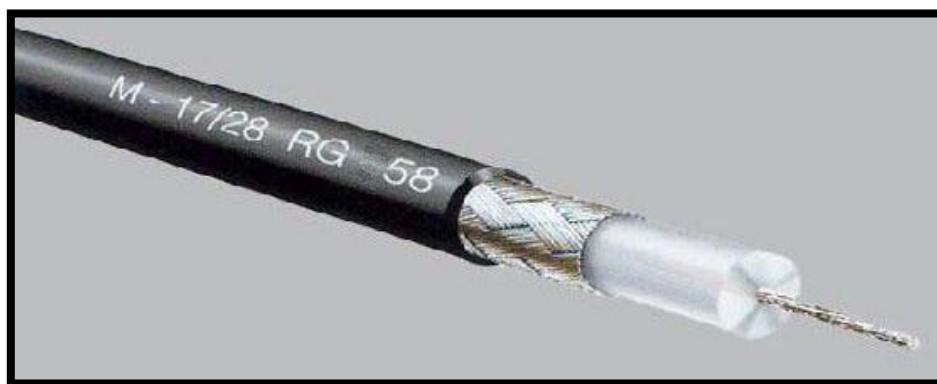


Figura 3-13: Corte cable coaxial RG-58

Fuente: http://www.tot-radio.com/images/cable_rg-58.jpg

Luego de obtener un corte igual, el conductor central se lo suelda a la punta de cobre del conector, luego se inserta cuidadosamente la parte del conector que contiene la rosca, teniendo en cuenta que la malla metálica del cable tiene que quedar por encima de la parte posterior para poder soldarlo, por último se coloca en su lugar la protección de cobre, cubriendo la malla metálica del cable, el

mismo procedimiento lo hacemos en la otra punta del cable quedándonos un cable como muestra en la figura 3-14.



Figura 3-14: Cable SMA-SMA completado.

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

3.5 Implementación de los módulos de amplificación

En el diseño de los amplificadores se ha tomado en cuenta las recomendaciones del fabricante de los circuitos integrados, los cuales nos presentan un esquema recomendado para el ensamblaje de cada uno de los módulos de amplificación.

3.5.1 Módulo de amplificación de 0.05-6 GHZ

Para las entradas y salidas de los módulos se colocan conectores SMA tipo hembra compatibles con los conectores de los cables coaxiales, acorde con el esquema recomendado las pistas para el módulo se imprimió en bakelita y luego se soldó sus respectivos componentes en la figura 3-15 se muestra el módulo terminado.

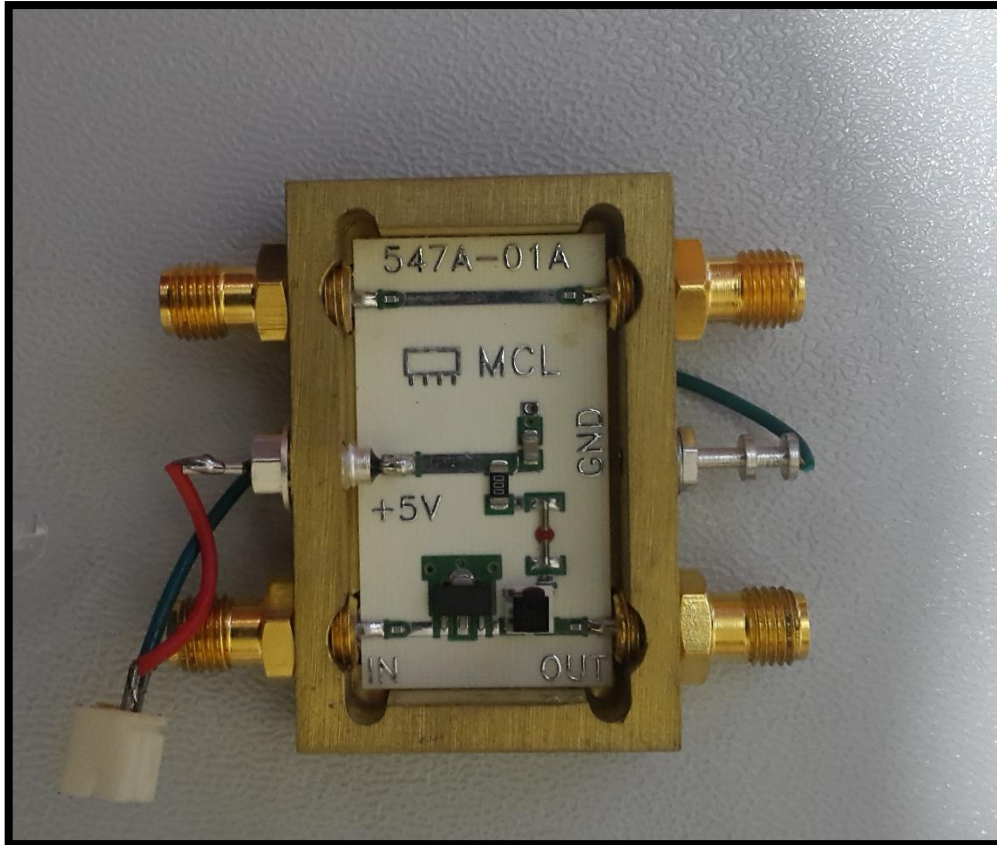


Figura 3-15: Módulo de amplificación terminado de 0.05-6 GHZ

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

3.5.2 *Módulo de amplificación de 5-18 GHZ*

De la misma manera que el modulo anterior este utiliza un esquema recomendado por el fabricante de los circuitos integrados MMIC, hay que tener en cuenta los elementos que están siendo utilizados, ya que estos son de tipo SMA lo que se hace un poco dificultoso soldar en la placa. En la figura 3-16 se muestra este módulo terminado.

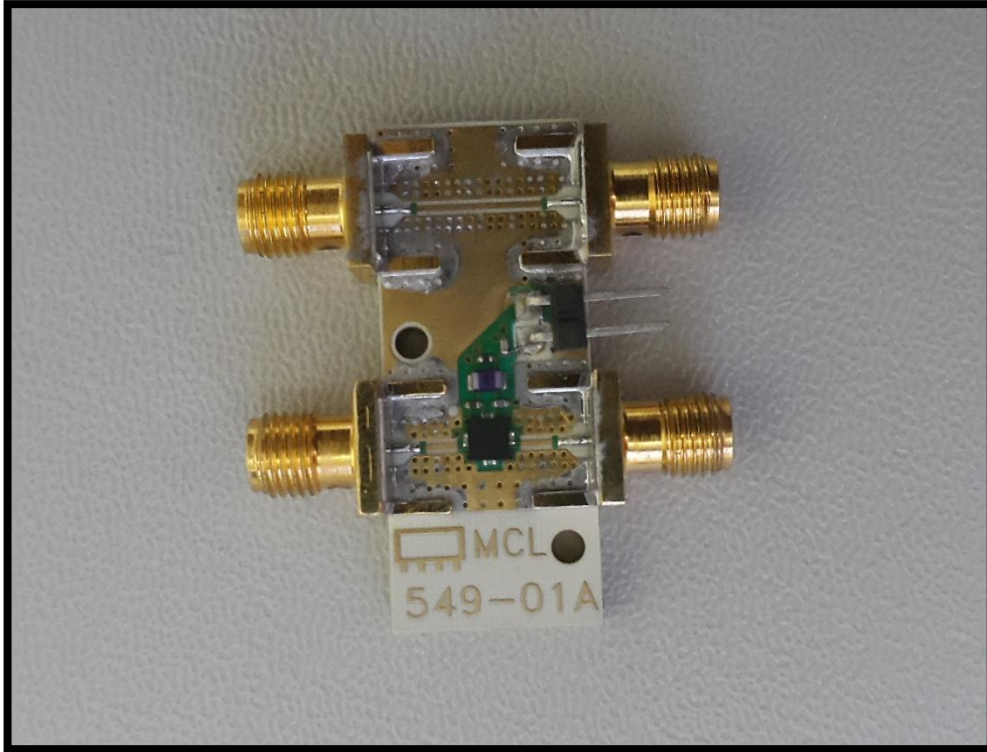


Figura 3-16: Módulo de amplificación de 5-18 GHz terminado

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

3.5.3 *Módulo de amplificación 18-26.5 GHz*

Por condiciones económicas y últimos impuestos que el estado ecuatoriano impuso sobre importaciones no se llegó a adquirir los integrados que componen este módulo, por lo que no se llegó a implementar, quedando diseñados para futuras investigaciones tanto del módulo de amplificación y del atenuador respectivamente mostrado en los anexos.

3.6 **Toma de medidas de amplificadores**

Para la toma de medidas se procedió a conectar los módulos de amplificación con los respectivos equipos, para transmitir se utilizó un generador de microondas configurado a -15 dBm a diferentes frecuencias en la figura 3-17 se muestra la conexión de los equipos de medición con los respectivos módulos de amplificación para la toma de medidas.

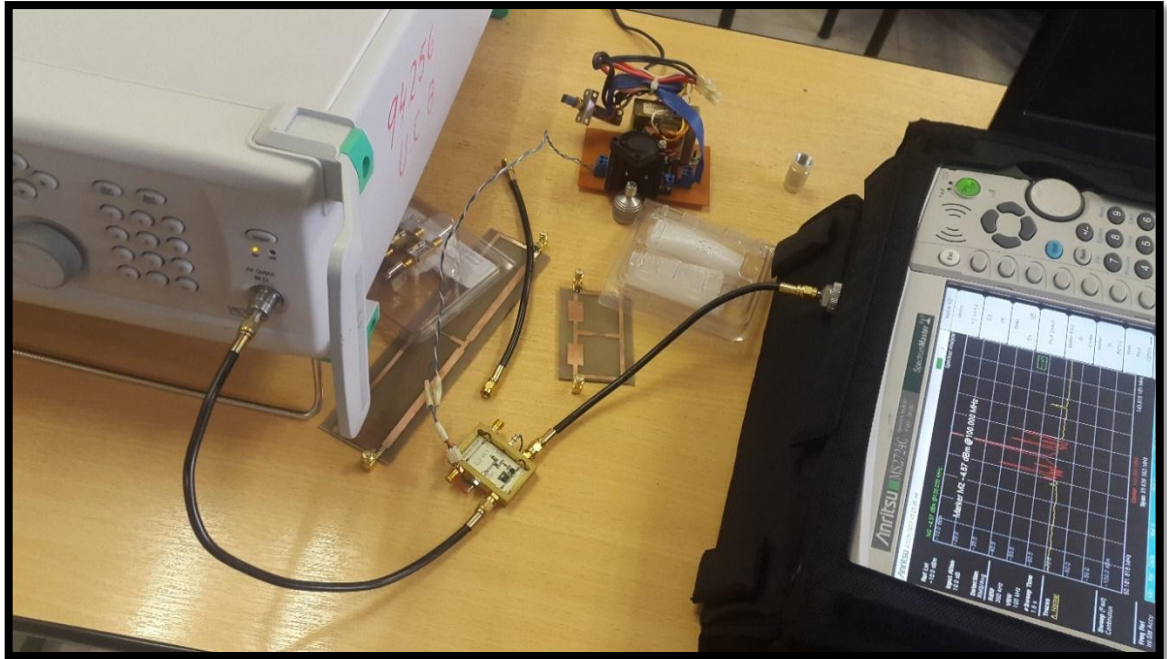


Figura 3-17: Toma de medidas de módulo de 0.05-6 GHZ.

Realizador por: JORDAN, Dario, 2017

El segundo módulo de amplificación tiene la misma configuración en su conexión mostrada en la figura 3-18, se toma las medidas correspondientes para ver su funcionamiento en los diferentes rangos de frecuencia.



Figura 3-18: Grafica de módulo de amplificación de 0.05-6 GHZ

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Como se muestra en la figura 3-18 se aprecia la curva que toma el módulo de amplificación a un rango de frecuencias que va de 0.05 a 6 GHz, con intervalos de 0.1 GHz con una potencia de entrada de -15 dBm. La amplificación del módulo varía acorde a este sube de frecuencia ya que es más difícil amplificar frecuencias altas las variaciones dependen de los circuitos integrados



Figura 3-19: Gráfica de módulo de amplificación de 5-18 GHz

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

De la misma manera para el segundo módulo se configuró el generador con una potencia de salida de -15 dBm con intervalos en un rango de 5 a 18 GHz, con pasos de 0.1 GHz obteniendo la gráfica del comportamiento del módulo presentado en la figura 3-19.

3.7 Toma de medidas de amplificadores y atenuadores

A continuación de tomar medidas de los amplificadores con sus atenuadores respectivamente ya que estos protegerán al sistema en la figura 3-20 se muestra la conexión de un atenuador a un módulo de amplificación. Esta conexión se repetirá con todos los atenuadores y sus respectivos módulos de amplificación.

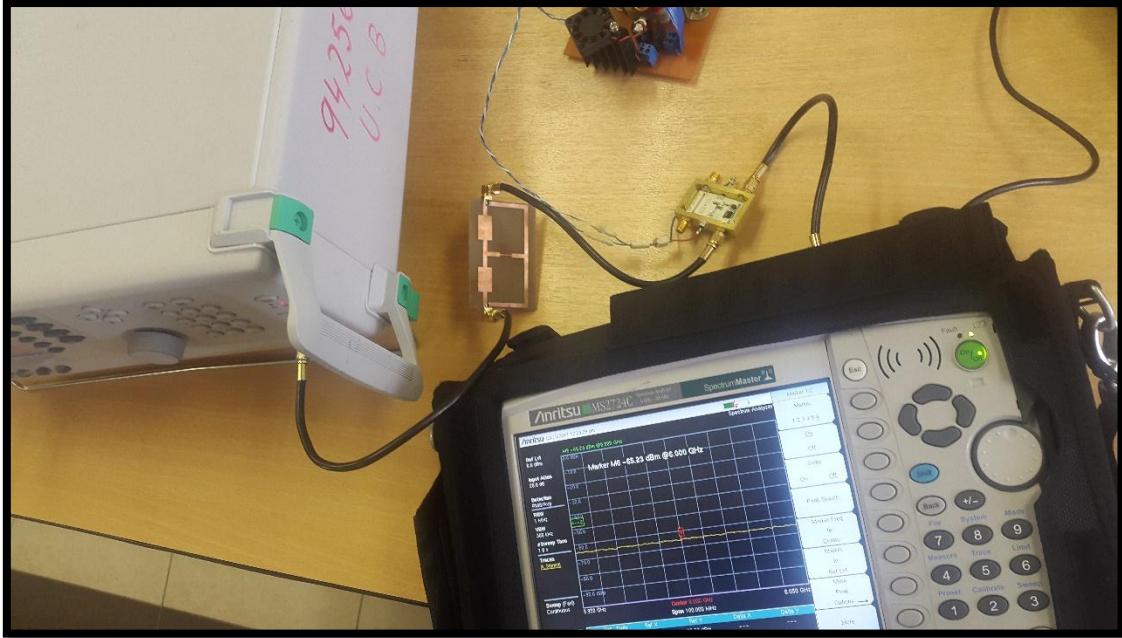


Figura 3-20: Conexión de los módulos de amplificación y atenuadores toma de medidas

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

Para tomar mediciones de los amplificadores conjuntamente con los atenuadores se configura el generador de microondas con una potencia de -15 dBm para luego ser comparadas con las gráficas anteriores.

A continuación se muestran las figuras donde se puede ver la señal amplificada y la atenuación en cada uno de los módulos de amplificación.

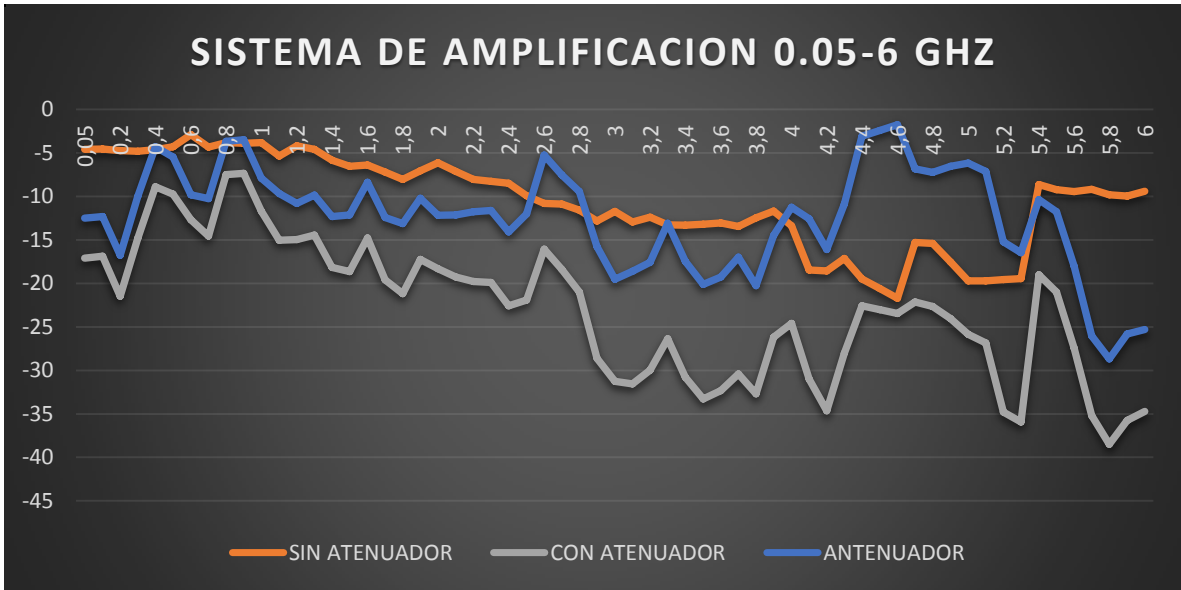


Figura 3-21: Comportamiento del sistema de amplificación 0.05-6 GHZ

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

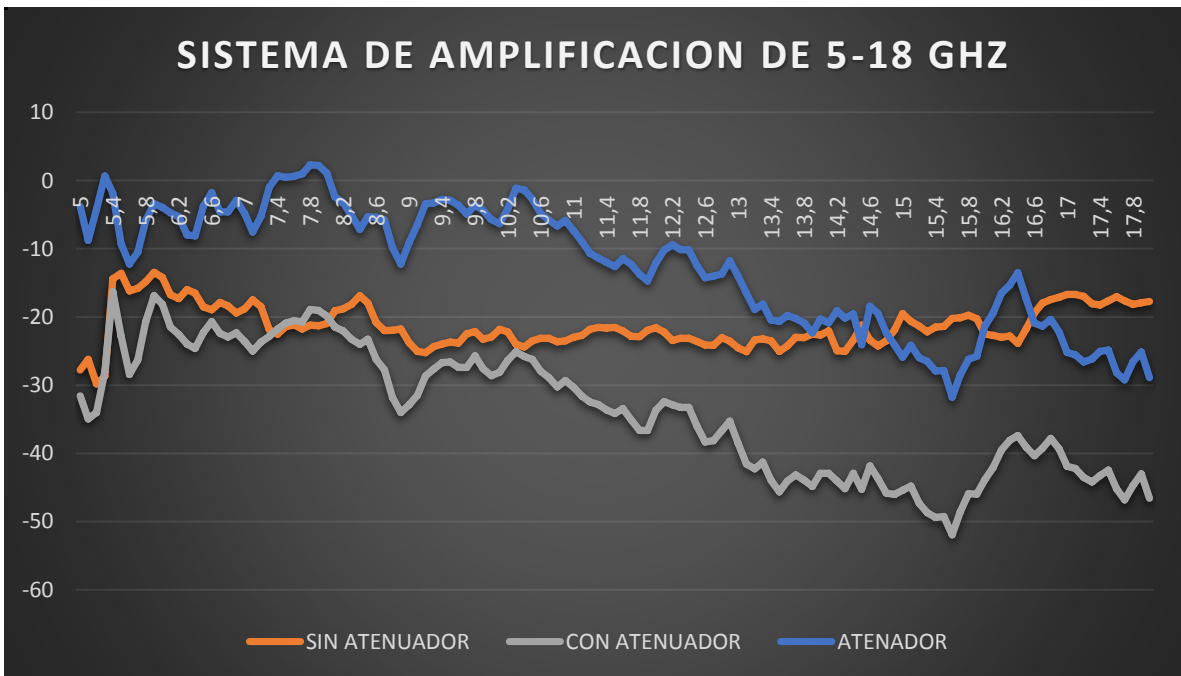


Figura 3-22: Comportamiento del sistema de amplificación 5-18 GHZ

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

3.8 Instalación del sistema.

Para la instalación del sistema e amplificación se tomó en cuenta el número de elementos y el tamaño que estos tienen, por lo que se ha conseguido una caja plástica adecuada para armar circuitos electrónicos la caja tiene unas dimensiones de 30x20 cm, siendo acorde y con un buen espacio para acomodar todos los elementos que conformaran el sistema en la figura 3-23 muestra el ensamblaje de los elementos dentro de la caja plástica.

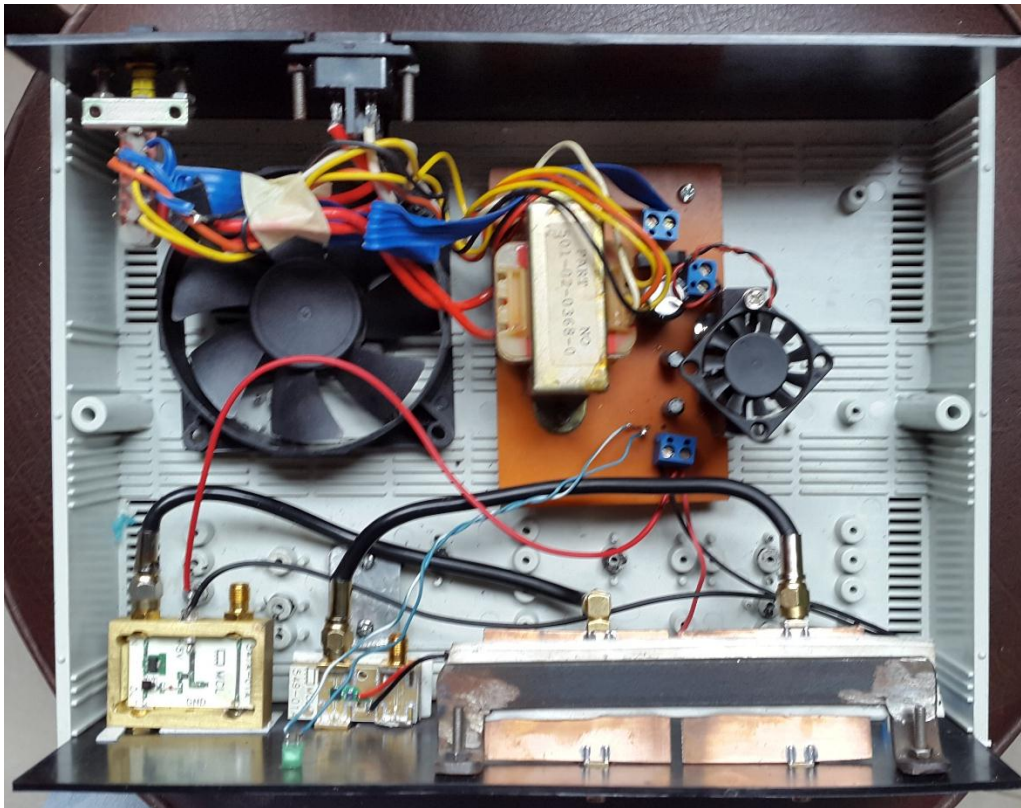


Figura 3-23: Armado de elementos dentro de la caja plástica

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

3.9 Análisis económico del trabajo de titulación

Tabla 3-1: Análisis económico

N ^o	ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO FINAL (USD)
1	AMPLIFICADOR PHA-1+	1	100.00	100.00
2	AMPLIFICADOR AVA-183A+	1	100.00	100.00
3	KIT DE ELEMENTOS PASIVOS Y REPUESTOS	1	120.00	120.00
4	BAKELITA	3 (10X20 cm)	3.50	10.5
5	CABLE COAXIAL RG58	10 m	0.90/m	9.00
6	CONECTORES SMA MACHO	16	2.00	32
7	CONECTORES SMA HEMBRA	20	3.75	75
8	CAJA PLASTICA	1	20.00	20.00
9	OTROS		150	150
	TOTAL			616.5

Realizado por: JORDAN, Dario, 2017

CONCLUSIONES

Con el beneficio que prestan los circuitos integrados monolíticos de microondas se ha podido implementar un sistema de amplificación de altas prestaciones muy compacto a un bajo costo, que operan en frecuencias que van de 0.05 GHz hasta los 18 GHz, con una buena ganancia en sus salidas. Debido a impuestos de importaciones impuestas por el estado no se ha adquirido el integrado que opera en frecuencias de 18 GHz hasta los 26.5GHz. Por lo que el sistema de amplificación no está operando en este rango de frecuencias, pero su diseño está preparado para la ampliación futura.

Las mediciones se realizaron con equipamiento de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el cual consta de un analizador de espectros y un generador de microondas, equipos que operan hasta una frecuencia de 18 GHz haciendo factible la toma de medidas del sistema en todo su rango de frecuencias.

Los elementos como los atenuadores se diseñaron con tecnología microstrip debido a que los elementos que conforman el atenuador como las resistencias, su cálculo del valor de cada uno de estos no se encuentra en el mercado. El software en el que se diseñaron estos elementos es el Ansoft Designer.

Los elementos de protección implementados fueron diseñados en base a las potencias de cada uno de los amplificadores presentados en los Datasheet, por lo que su funcionamiento está acorde a las necesidades de los módulos de amplificación protegiéndoles de potencias elevadas que puedan perjudicar su funcionamiento, los atenuadores disminuyen la potencia hasta -12 dBm, de la señal de entrada cumpliendo así su objetivo de proteger los equipos de medición como los módulos de amplificación.

Debido a que el sistema opera en un rango de frecuencias muy amplio no se logró obtener una sola salida ya que los combinadores en altas frecuencias se comportaba como un filtro, impidiendo el paso de las frecuencias que van de 8 hasta los 18 GHz, por lo que se optó por tener 2 salidas para cada rango de amplificación.

RECOMENDACIONES

En el país no se encuentran los integrados monolíticos de microondas por lo que importarlos es difícil si no se cuenta con un conocimiento del dispositivo a adquirir. Es recomendable hacerlo bajo la supervisión de una persona que cuente con los conocimientos necesarios para no llegar a tener problemas a la hora de su compra.

Si bien se utilizó el software Ansoft Designer para el diseño de cada uno de los elementos como los atenuadores y combinadores la mayoría de estudiantes de la escuela de ingeniería electrónica en telecomunicaciones y redes no está familiarizado con este programa haciéndose complicada su comprensión en el diseño de cada uno de estos elementos.

Hacer uso del sistema de amplificación conlleva una gran responsabilidad, ya que se está operando con potencias elevadas las cuales podrían llegar a dañar el sistema y hasta el equipo de medición por lo que se debe tener conciencia del rango de potencias que el equipo acepta y no sobrepasar los límites establecidos. Para mayor información de uso se ha implementado un manual de usuario donde se explica el funcionamiento correcto del sistema de amplificación y la configuración exacta de los equipos externos.

El sistema está destinado para docentes y estudiantes por lo que pueden ser usado el equipo para su estudio y ampliar sus usos en las diferentes áreas de investigación de las telecomunicaciones tomando en cuenta las debidas precauciones.

El trabajo de titulación mostrado puede ser mejorado para darle una solución al problema expuesto que no llega a cubrir el rango de 18 GHz a 26.5 GHz, llegando a adquirir el circuito integrado que opere en este rango de frecuencias, ya que su diseño queda abierto para futuras investigaciones y mejoras.

BIBLIOGRAFÍA

ARGENTINA, CABLES EPUYEN SRL. Coaxial RG 58/U - 50 OHMS [en línea].

[Consulta: 23 mayo 2017].

<http://epuyen.com.ar/es/producto/coaxial-rg-58u-50-ohms-densidad-95-esta%C3%B1ado-sin-esta%C3%B1ar>

BALANIS, C. *Antenna Theory*, 3ª. Ed, New Jersey- Estados Unidos: Editorial Wiley, 2005, pp. 27-40.

BAHL, Inder; & BHARTIA, Prakash. *Microwave Solid State Circuit Design*. 2ª ed. United States: John Wiley & Sons INC, 2003. pp. 4-5.

CÓRCOLES, Juan . *Análisis y diseño de combinador radial de potencia sobre tecnología microstrip* [en línea] (**Tesis**). (**Maestría**) Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España. 2016. pp. 2-10. [Consulta: 4 mayo 2017].

https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/675556/Yu_Xueqing_tfm.pdf?sequence=1

ESTADOS UNIDOS, ETTUS RESEARCH. SMA-SMA Cable [en línea].

[Consulta: 23 de mayo 2017].

<https://www.ettus.com/product/details/SMA-SMA>

ESTADOS UNIDOS, MINI-CIRCUITS. PHA-1+ Integrado MMIC [en línea].

[Consulta: 25 mayo 2017].

<https://www.minicircuits.com/pdfs/PHA-1+.pdf>

ESTADOS UNIDOS, MINI-CIRCUITS. AVA-183A+ Integrado MMIC [en línea].

[Consulta: 25 mayo 2017].

<https://www.minicircuits.com/pdfs/AVA-183A+.pdf>

ESTADOS UNIDOS, MINI-CIRCUITS. AVM-273HPK+ Integrado MMIC [en línea].

[Consulta: 25 mayo 2017].

<https://www.minicircuits.com/pdfs/AVM-273HPK+.pdf>

ESTADOS UNIDOS, PASTERNAK ENTERPRISES. Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded with Black PVC (NC) Jacket [en línea]. [Consulta: 23 mayo 2017].

<https://www.pasternack.com/images/productpdf/rg58c-u.pdf>

FONTAL, Bernardo. *El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones.* Venezuela-Mérida: CELCIEC-ULA, 2005. pp. 6-124.

GOLIO, Mike. *The RF and Microwave Handbook.* United States: CRC Press LLC, 2001. pp. 1-4.

KITCHEN, Ronald. *RF and Microwave Radiation Safety Handbook.* 2^a ed. Great Britain: Newnes, 2001. pp. 1-172.

LADBROOKE, Peter H. *MMIC Design: GaAs FERs and HEMTs.* United States-The University of Michigan : Artech House, 1989. pp. 12-41.

MARCUVITZ, Nathan. *Waveguide Handbook. Illustrated.* United States-New York: IET, 1951. pp. 1-47. Vol. 21.

RUIZ, Mario. *Aplicaciones de los sistemas de radiofrecuencia y posicionamiento en la seguridad industrial (Tesis) (Doctoral)* Universidad de Córdoba, Departamento de Informática y Análisis Numérico, Área en Ingeniería de Sistemas y Automática. Córdoba, España. 2013. pp. 7-15.

[consulta: 4 mayo 2017].

<http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/10987/2013000000832.pdf?sequence=1>

MERRILL, Skolnik. *Radar Handbook*. 3ra ed. United States-New York: The McGraw-Hill Companies, 2008. pp. 1-15.

MIRANDA, José M; y et al. *Ingeniería de Microondas*. [En línea] 2002. España-Madrid. Pearson Educación. 2002. Pp.133-134

[Consulta: 14 de abril de 2017.].

https://books.google.com.ec/books?id=RChVaWXdXrUC&pg=PA133&lpg=PA133&dq=como+funciona+un+atenuador+microondas&source=bl&ots=4Jxk9NJha2&sig=K19-9oqMaGZS_5qls53nhfFy58Y&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwit5p3SnojRAhUP7GMKHcYLBS8Q6AEILDAD#v=onepage&q=como%20funciona.

PINAR DOMINGUEZ, Iván; & MURILLO FUENTES, Juan José. *Laboratorio de Comunicaciones Digitales Radio Definida por Software* [en línea]. Dep. Teoría de la Señal y Comunicaciones Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 2011. pp. 11-27.

[Consulta: 14 mayo 2017]. Disponible en:

<http://docplayer.es/12938116-Laboratorio-de-comunicaciones-digitales-radio-definida-por-software.html>

POZAR, David M. *Microwave and RF Wireless Systems*. United States-University of Massachusetts at Amherst : John Wiley & Sons INC, 2000. pp. 1-221.

POZAR, David M. *Microwave Engineering*. 4^a ed. United States: John Wiley & Sons, Inc., 2012. pp. 4-147.

REINO UNIDO, RS COMPONENTS INTERNATIONAL. Conectores RF [en línea].

[Consulta: 15 mayo 2017].

<http://es.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=conectores-industriales&file=Conectores-RF-Conectores-SMA.html>

ROBERTSON, I.D.; & LUCYSZYN, L. *RFIC and MMIC desing and technology*. 2^a ed. United States- The University of Michigan : Institution of Electrical Engineers, 2001. pp. 38-44. Vol. 13.

SANFUENTES, Jorge Parker. “Historia del radar”. *Revista de Marina–Armada de Chile* [en línea], 2000, (Santiago-Chile), 2000, no 1, pp, 1-7. [Consulta: 22 abril 2017].

<http://revistamarina.cl/revistas/2000/1/parker.pdf>

TOMASI, Wayne. *Sistemas de comunicaciones electrónica*, 4^a ed. México: Pearson educación, 2003, pp. 51-60

VOLAKIS, John L. *Antenna Engineering Handbook*. 4^a ed. United States- The University of Virginia: The McGraw-Hill Companies, 2007. pp. 1-210.

Ultra High Dynamic Range Monolithic Amplifier

PHA-1+

50Ω 0.05 to 6 GHz

The Big Deal

- Ultra High IP3
- Broadband High Dynamic Range without external Matching Components
- May be used as a replacement to WJ AH1^{a,b}



SOT-89 PACKAGE

- LTE Performance
- TD-SCDMA Performance

Product Overview

PHA-1+ (RoHS compliant) is an advanced wideband amplifier fabricated using E-PHEMT technology and offers extremely high dynamic range over a broad frequency range and with low noise figure. In addition, the PHA-1+, unlike competitive models, has good input and output return loss over a broad frequency range without the need for external matching components and has demonstrated excellent reliability. Lead finish is SnAgNi. It has repeatable performance from lot to lot and is enclosed in a SOT-89 package for very good thermal performance.

Key Features

Feature	Advantages
Broad Band: 0.05 to 6.0 GHz	Broadband covering primary wireless communications bands: Cellular, PCS, LTE, WIMAX
Extremely High IP3 Versus DC power Consumption 42 dBm typical at 2 GHz	The PHA-1+ matches industry leading IP3 performance relative to device size and power consumption. The combination of the design and E-PHEMT Structure provides enhanced linearity over a broad frequency range as evidence in the IP3 being typically 20 dB above the P 1dB point. This feature makes this amplifier ideal for use in: • Driver amplifiers for complex waveform up converter paths • Drivers in linearized transmit systems • Secondary amplifiers in ultra High Dynamic range receivers
No External Matching Components Required	Unlike competing products, Mini-Circuits PHA-1+ provides Input and Output Return Loss of 14-21 dB up to 4 GHz without the need for any external matching components
Low Noise Figure: 2.3dB typ. up to 4 GHz 3.5dB typ. up to 6 GHz	A unique feature of the PHA-1+ which separates this design from all competitors is the low noise figure performance in combination with the high dynamic range.

Notes:

- Suitability for model replacement with a particular system must be determined by and is solely the responsibility of the customer based on, among other things, electrical performance criteria, stimulus conditions, application, compatibility with other components and environmental conditions and stresses.
- The WJ AH1 part number is used for identification and comparison purposes only.
- X-parameters is a registered trademark of Agilent Technologies, Inc. The X-parameters format and underlying equations are open and documented. For more information, refer to [X-parameters Specs, Documentation, Trademark Usage & Permissions](#).

Notes:

- 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.
- Critical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions.
- 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.



Ultra High Dynamic Range Monolithic Amplifier

0.05-6 GHz

Product Features

- High IP3, 42 dBm typ. at 2 GHz, 5V
- Gain, 13.5 dB typ. at 2 GHz, 5V
- High Pout, P1dB 22 dBm typ. at 2 GHz, 5V
- Low noise figure, 2.2 dB @ 2 GHz, 5V
- Usable to 4.0V
- No external matching components required
- May be used as replacement for WJ AH1^{a,b}



PHA-1+

CASE STYLE: DF782

RoHS Compliant

The + suffix identifies RoHS Compliance. See our website for RoHS Compliance methodology and qualifications.

☑ LTE Performance

☑ TD-SCDMA Performance

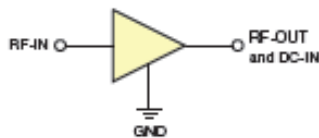
Typical Applications

- Base station infrastructure
- Portable Wireless
- CATV & DBS
- MMDS & Wireless LAN
- LTE

General Description

PHA-1+ (RoHS compliant) is an advanced wideband amplifier fabricated using E-PHEMT technology and offers extremely high dynamic range over a broad frequency range and with low noise figure. In addition, the PHA-1+ has good input and output return loss over a broad frequency range without the need for external matching components. Lead finish is SnAgNi. It has repeatable performance from lot to lot and is enclosed in a SOT-89 package for very good thermal performance.

Simplified schematic and pin description



Function	Pin Number	Description
RF IN	1	RF Input pin. This pin requires the use of an external DC blocking capacitor chosen for the frequency of operation.
RF-OUT and DC-IN	3	RF output and bias pin. DC voltage is present on this pin; therefore a DC blocking capacitor is necessary for proper operation. An RF choke is needed to feed DC bias without loss of RF signal due to the bias connection, as shown in "Recommended Application Circuit", Fig. 2
GND	2,4	Connections to ground. Use via holes as shown in "Suggested Layout for PCB Design" to reduce ground path inductance for best performance.

Notes:

- Stability for model replacement within a particular system must be determined by and is solely the responsibility of the customer based on, among other things, electrical performance criteria, signal conditions, application, compatibility with other components and environmental conditions and stresses.
- The WJ AH1 part number is used for identification and comparison purposes only.

Notes:

- 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.
- Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions.
- 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/MCUStore/terms.jsp



www.minicircuits.com P.O. Box 350105, Booths, NY 11235-0105 (718) 634-4500 sales@minicircuits.com

REV C
08/11/07
PHA-1+
THRSORAM
08024
Page 2 of 2

Electrical Specifications at 25°C, unless noted

Parameter	Condition (GHz)	Vd=5.0V ⁽¹⁾			Vd=4.5V ⁽²⁾	Vd=4.0V ⁽²⁾	Units
		Min.	Typ.	Max.	Typ.	Typ.	
Frequency		0.05		6.0	0.05-6.0	0.05-6.0	GHz
Gain	0.05	15.4	17.2	19.4	17.5	17.3	dB
	0.8	14.1	15.7	17.3	15.5	15.2	
	2.0	—	13.5	—	13.4	13.1	
	3.0	—	11.8	—	11.8	11.4	
	4.0	9.6	10.7	12.3	10.7	10.4	
	6.0	—	9.7	—	9.6	9.2	
Input Return Loss	0.05	—	11.7	—	10.7	10.6	dB
	0.8	13.0	17.0	—	16.5	16.1	
	2.0	—	11.3	—	11.7	11.4	
	3.0	—	10.2	—	10.4	10.1	
	4.0	—	10.2	—	9.7	9.5	
	6.0	—	8.6	—	7.3	7.3	
Output Return Loss	0.05	—	14.5	—	13.7	13.5	dB
	0.8	13.0	20.8	—	19.5	18.3	
	2.0	—	17.1	—	16.1	14.7	
	3.0	—	15.3	—	14.1	13.4	
	4.0	—	13.8	—	12.8	12.2	
	6.0	—	11.0	—	10.2	9.7	
Reverse Isolation	2.0	—	19.9	—	19.3	18.9	dB
Output Power @ 1 dB compression	0.05	30.0	32.2	—	21.5	20.0	dBm
	0.8	30.0	32.6	—	21.3	19.9	
	2.0	30.0	32.4	—	21.4	19.9	
	3.0	—	29.7	—	21.6	20.1	
	4.0	—	29.7	—	21.5	20.1	
	6.0	—	21.6	—	20.3	19.2	
Output IP3	0.05	—	41.4	—	36.8	34.4	dBm
	0.8	37.0	41.1	—	40.0	36.3	
	2.0	—	42.0	—	37.1	34.0	
	3.0	—	42.3	—	36.3	33.3	
	4.0	—	40.8	—	35.8	32.7	
	6.0	—	36.8	—	33.9	31.2	
Noise Figure	0.05	—	1.7	—	1.9	1.8	dB
	1.0	—	1.9	—	2.3	2.1	
	2.0	—	2.2	—	2.4	2.2	
	3.0	—	2.3	—	2.5	2.5	
	4.0	—	2.7	—	3.0	2.9	
	6.0	—	3.5	—	3.7	3.6	
Device Operating Voltage		4.5	5.0	5.2	4.5	4.0	V
Device Operating Current		110	146	180	119	95	mA
Device Current Variation vs. Temperature ⁽³⁾			-12		60	67	µA/°C
Device Current Variation vs. Voltage			0.054		0.052	0.052	mA/mV
Thermal Resistance, Junction-to-ground lead			60		60	60	°C/W

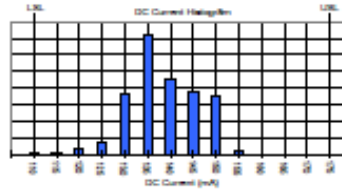
⁽¹⁾ Measured on Mini-Circuits Characterization test board TG-013. See Characterization Test Circuit (Fig. 1)
⁽²⁾ Measured on Mini-Circuits test fixture 90-6-20-26 characterization Circuit (Fig. 1), except replace TG-013 with 90-6-20-26
⁽³⁾ Current at 85°C — Current at -45°C/100

Absolute Maximum Ratings

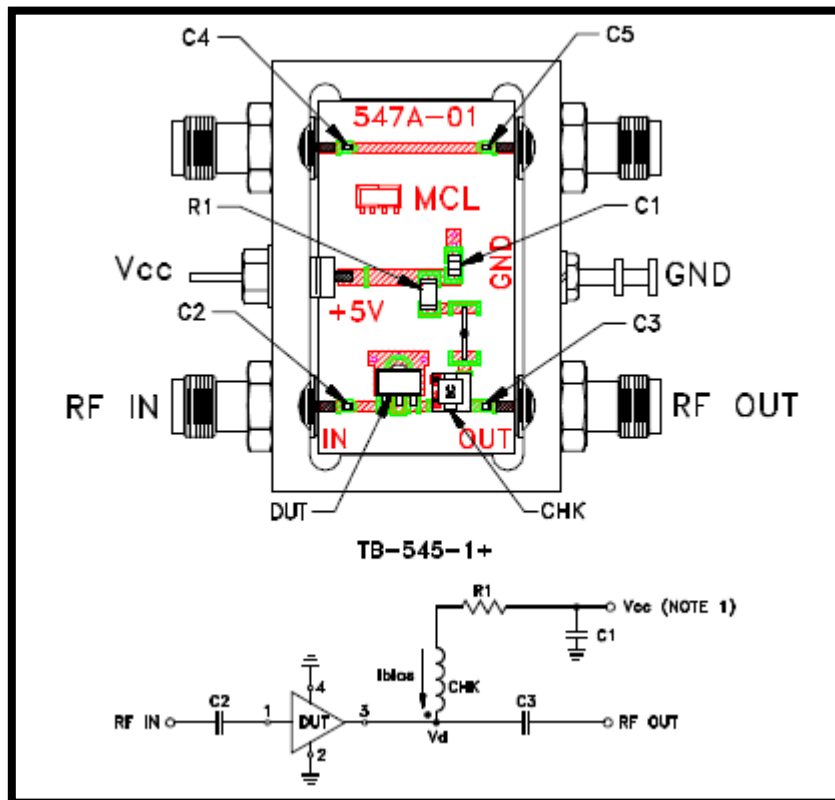
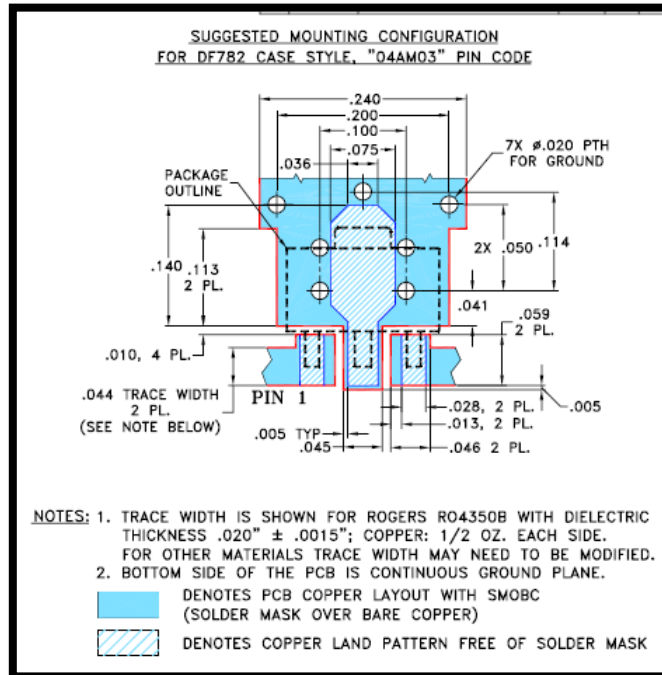
Parameter	Rating
Operating Temperature (ground lead)	-40°C to 85°C
Storage Temperature	-65°C to 150°C
Operating Current at 5V	210 mA
Power Dissipation	1 W
Input Power (CW)	24 dBm
DC Voltage on Pin 3	6 V

Note:
 Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.
 Electrical maximum ratings are not intended for continuous normal operation.

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 notified to the rights and benefits contained herein, via a statement of the standard terms and conditions printed on the part and available at www.minicircuits.com/LitFiles/termsupp



ANEXO B: impreso de modulo de amplificador PHA-1+.



Wideband, Microwave Monolithic Amplifier

5-18 GHz

Product Features

- Gain, 13.8 dB typ. & Flatness, ± 1.2 dB
- Output Power, up to +19.0 dBm typ.
- Excellent Isolation, 36 dB typ. at 12 GHz
- Single Positive Supply Voltage, 5.0V
- Integrated DC blocks, Bias-Tee & Microwave bypass capacitor
- Unconditionally Stable
- Aqueous washable; 3mm x 3mm SMT package



AVA-183A+

CASE STYLE: D0640

Typical Applications

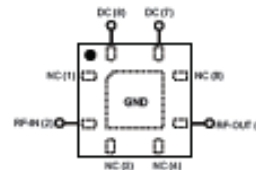
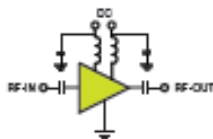
- Military EW and Radar
- DBS
- Wideband Isolation amplifier
- Microwave point-to-point radios
- Satellite systems

+RoHS Compliant
The eSulfur identifier RoHS Compliance See current site for RoHS Compliance methodology and qualifications

General Description

The AVA-183A+ is a wideband monolithic amplifier with outstanding gain flatness up to 18 GHz. It is manufactured using PHEMT technology and is unconditionally stable. Its outstanding isolation enables it to be used as a wideband isolation amplifier or buffer amplifier in a variety of microwave systems.

simplified schematic and pad description



Function	Pad Number	Description (See Application Circuit, Fig. 2)
RF-IN	2	RF Input pad
RF-OUT	5	RF output pad
DC	6(V_{cc}), 7(V_{cc})	DC power supply
GND	pad in center of bottom	Connected to ground
NOT USED	1,3,4,8	No internal connection; recommended use: per PCB Layout PL-328

Note

- 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 application document are based on Mini-Circuit's applicable, established test procedures, circuitry, 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/MCULStandardTerms.jsp

Mini-Circuits

www.minicircuits.com P.O. Box 350958, Brooklyn, NY 11235-0958 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

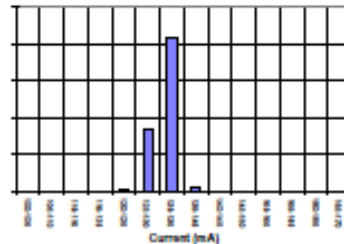
AV183A
Mini-183
AV183A+
10/07
Page 2 of 2

Electrical Specifications⁽¹⁾ at 25°C, Z₀=50Ω, (refer to characterization circuit, Fig. 1)

Parameter	Condition (GHz)	Min.	Typ.	Max.	Units
Frequency Range		5.0		18.0	GHz
DC Voltage (V _{DC} , V _{DD})			5.0		V
DC Current (I _{DC} , I _{DD})		104	131	166	mA
Gain	5.0	—	12.9	—	dB
	8.0	12.0	14.7	—	
	10.0	12.0	14.0	—	
	12.0	—	13.4	—	
	14.0	—	13.1	—	
	16.0	—	13.6	—	
Input Return Loss	5.0	—	10.8	—	dB
	8.0		10.4		
	10.0		17.0		
	12.0		11.0		
	14.0		11.0		
	16.0		11.0		
Output Return Loss	5.0		7.5		dB
	8.0		8.0		
	10.0		18.0		
	12.0		14.0		
	14.0		11.0		
	16.0		10.6		
Output IP _{1dB}	5.0		30.2		dBm
	8.0		29.0		
	10.0		27.7		
	12.0		26.3		
	14.0		25.1		
	16.0		24.3		
Output Power @ 1 dB compression	5.0		24.4		dBm
	8.0		17.6		
	10.0		18.0		
	12.0	16.0	19.0		
	14.0		19.0		
	16.0		19.9		
Noise Figure	5.0		7.4		dB
	8.0		4.3		
	10.0		4.5		
	12.0		4.8		
	14.0		5.1		
	16.0		5.1		
Directivity (Isolation-Gain)	12		23.1		dB
DC Current Variation vs. Temperature ⁽²⁾			0.046		mA/°C
Thermal Dissipation			81		°C/W

Absolute Maximum Ratings⁽⁴⁾

Parameter	Ratings
Operating Temperature ⁽⁵⁾	-40°C to 85°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
Channel Temperature	150°C
DC Voltage (Pad 7, 8)	5.5 V
DC Voltage (Pads 2, 5)	10 V
Power Dissipation	980 mW
DC Current (Pad 7+8)	180 mA
Input Power (CW)	20 dBm



⁽¹⁾ Measured on Mini-Circuits Characterization test fixture TD-5472+
See Characterization Test Circuit (Fig. 1)

⁽²⁾ At P_{out}=0dBm

⁽³⁾ Current at 85°C - Current at -45°C/100

⁽⁴⁾ Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

⁽⁵⁾ These maximum ratings are not intended for continuous normal operation.

⁽⁶⁾ Defined with reference to ground pad temperature.

Note:

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 characteristics and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuits' applicable, established test systems, setup and measurement instructions.

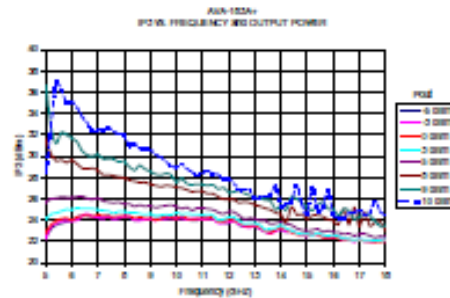
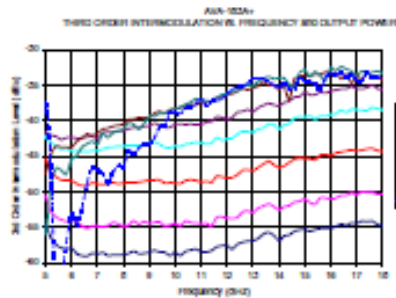
C, The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits' standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"), the contents of the part are certified to be in the scope and benefit of the Standard Terms and conditions. Please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/M3_SpecTerms.jsp

Mini-Circuits

www.minicircuits.com P.O. Box 350182, Brooklyn, NY 11235-0002 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

Page 2 of 3

Intermodulation and IP3 vs. Frequency and Output Power



Characterization Test Circuit

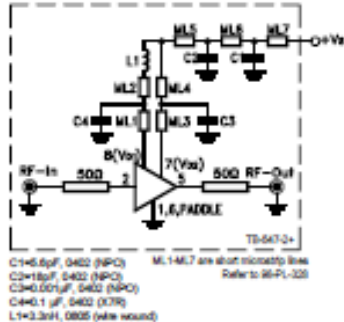


Fig 1. Block Diagram of Test Circuit used for characterization. (DUT soldered on Mini-Circuits Characterization Test Board TB-547-2+) Gain, Output power at 1dB compression (P1dB), Noise Figure, Output IP3 (OIP3) are measured using Agilent's N5242A PNA-X microwave network analyzer.

Conditions:

1. Gain: P1dB \approx 25 dBm
2. Output IP3 (OIP3): Two tones, spaced 1 MHz apart, 9 dBm/line at output.
3. V_s adjusted for 5.0V at device (V_{gs} and V_{ds}), compensating loss of bias lines.

Recommended Application Circuit

(refer to evaluation board for PCB Layout and component values)

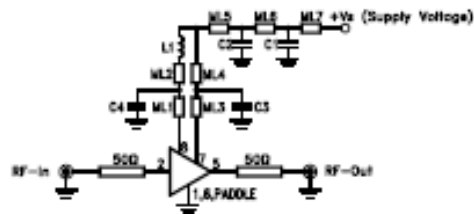
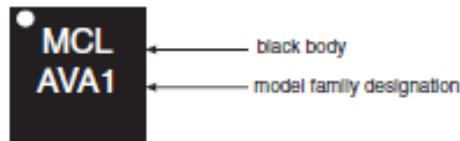


Fig 2. Recommended Application Circuit

Product Marking



Notes:

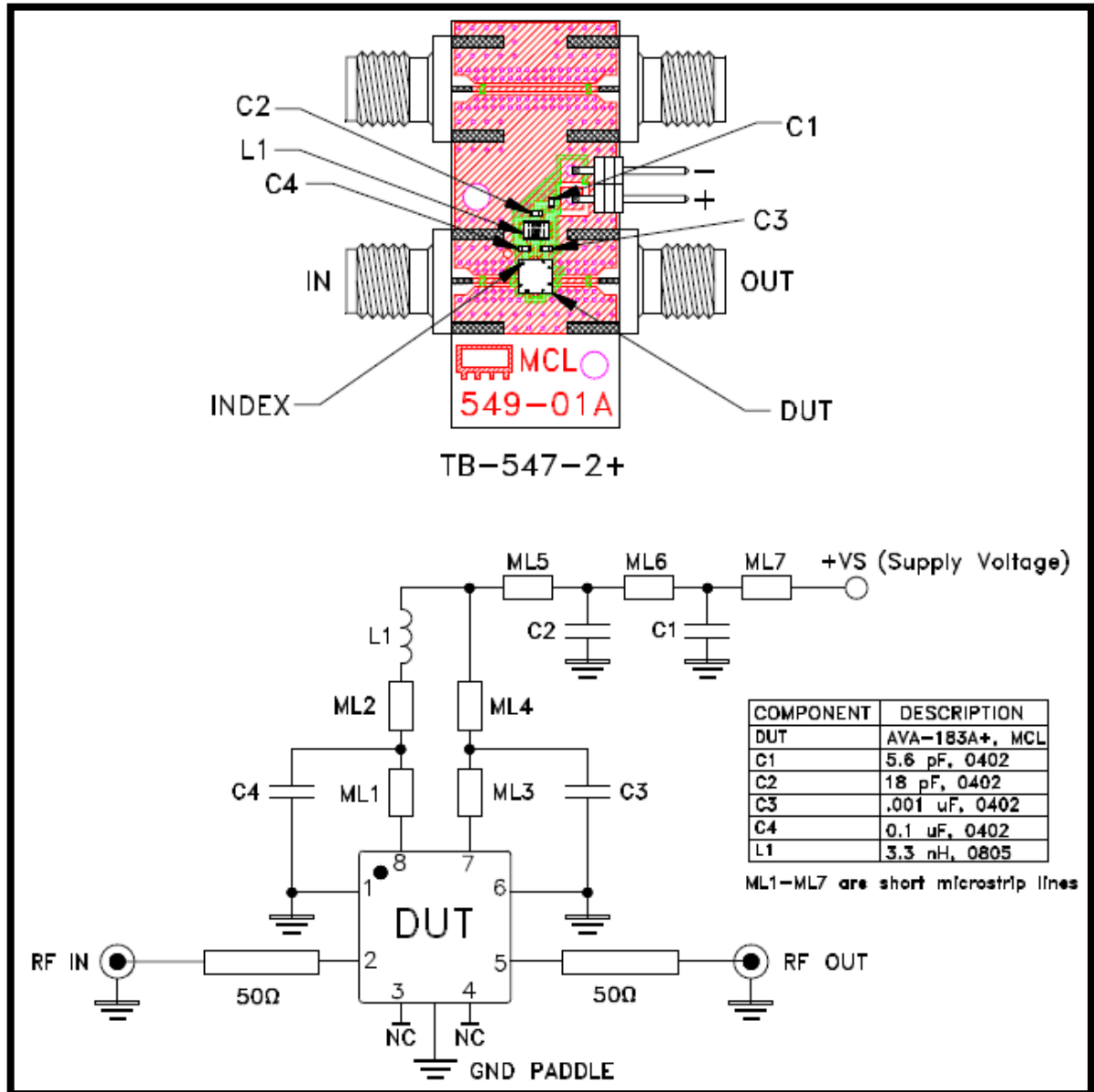
1. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
2. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions.
3. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits' standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Full text of this policy can be found in the applicable Standard Terms located at the bottom of the order form or on the Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/MCOStore/terms.jsp

Mini-Circuits

www.minicircuits.com P.O. Box 350106, Brooklyn, NY 11225-0000 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

page 4 of 6

ANEXO D: impreso de módulo de amplificación AVA-183+.



Wideband, Microwave, 0.5W

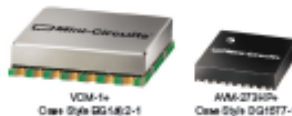
Monolithic Amplifier Subsystem

AVM-273HPK+

50Ω 13 to 26.5GHz

The Big Deal

- Wideband 13 to 26.5 GHz
- Output power up to +27 dBm
- Excellent directivity, 43 dB typ. @ 20 GHz
- Unconditionally stable
- Excellent gain flatness, ±1 dB
- Sequencing and DC Control module Included



Model	Price	Qty.
AVM-273HPK+	\$36.90	(10)
Kit Includes		
VCM-1+		
AVM-273HP+		

Product Overview

Mini-Circuits' AVM-273HPK+ is a MMIC amplifier subsystem consisting of a MMIC amplifier and an auto-voltage sequencing module. The MMIC amplifier is designed using 0.15µm PHEMT technology and provides very wideband performance, medium power and unconditional stability. Furthermore, its outstanding isolation enables it to be used as a wideband isolation amplifier or buffer amplifier, making this an ideal amplifier for use in a variety of microwave systems including point-to-point radio, military EW and radar, DBS, and VSAT. The included voltage sequencing and DC control module enables plug-and-play operation without the need for external voltage sequencing circuits.

Key Features

Feature	Advantages
Wideband	Wide frequency coverage up to 26.5GHz supports many microwave applications.
Power up to +27 dBm	Can be used as a low-cost driver for high power amplifiers.
Excellent active directivity, 43 dB @ 20 GHz (directivity = isolation - gain)	Can be used as an inter-stage isolation amplifier, minimizing interaction of adjacent components.
Unconditionally stable	Eliminates the need for any compensating network to prevent unintended oscillation.
Small package	Small size for high power with low inductance, repeatable transitions, and excellent thermal contact to PCB.
Voltage Sequencing and DC Control Module Included	Provides correct voltage sequence and DC control, as well as reverse polarity protection, replacing over 20 discrete components and greatly simplifying circuit design.



Wideband, Microwave, 0.5W Monolithic Amplifier Subsystem

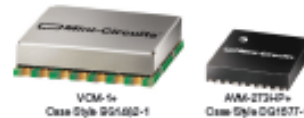
13-26.5 GHz

Product Features

- Gain, 13 dB typ.
- Output Power, up to +27 dBm typ.
- Excellent directivity, 48 dB typ. at 20 GHz
- Unconditionally Stable
- Aqueous washable; 5 mm x 5 mm SMT package
- DC Control and voltage sequencing module included

Typical Applications

- Point to Point Radio
- Military EW and Radar
- DBS
- VSAT
- Wideband Isolation amplifier



Model	Price	Qty.
AVM-273HPK+	\$36.90	(10)

Kit Includes
VCM-1+
AVM-273HP+

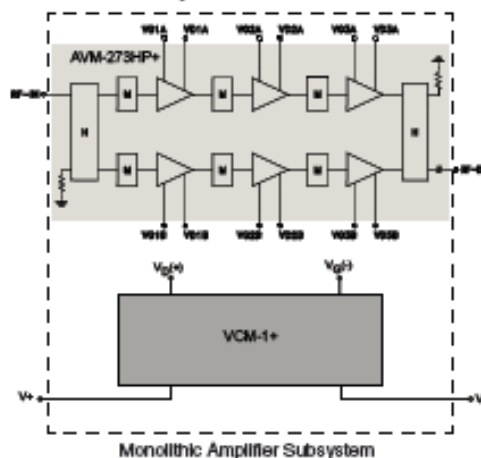
AVM-273HPK+

RoHS Compliant
The + suffix identifies RoHS Compliant. See our web site for RoHS Compliant part numbers and quantities.

General Description

Mini-Circuits' AVM-273HPK+ is a MMIC amplifier subsystem consisting of a MMIC amplifier and an auto-voltage sequencing module. The MMIC amplifier is designed using 0.15µm PHEMT technology and provides very wideband performance, medium power and unconditional stability. Furthermore, its outstanding isolation enables it to be used as a wideband isolation amplifier or buffer amplifier, making this an ideal amplifier for use in a variety of microwave systems including point-to-point radio, military EW and radar, DBS, and VSAT. The included voltage sequencing and DC control module enables plug-and-play operation without the need for external voltage sequencing circuits.

Simplified Schematic



Note:
H - 90° Hybrid
M - Matching Network
VD and VG connections from VCM-1+ to AVM-273HP+ are required via application PCB; see Figure 1 for details.

Mini-Circuits®

www.minicircuits.com P.O. Box 350165, Brooklyn, NY 11235-0033 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

REV. 08
WB048
AVM-273HPK+
TWKICP
18040
M0212 012

Electrical Specifications ⁽¹⁾ at 25°C, Z₀=50Ω

Parameter	Condition (GHz)	Min.	Typ.	Max.	Units
Frequency Range		13.0		26.5	GHz
DC Voltage (V+)		+5.9	+6.0	+6.3	V
DC Voltage (V-)		-5.5	-5.0	-4.5	V
DC Current (I+)			550	590	mA
DC Current (I-)			0.5		mA
Gain	13.0	—	12.8	—	dB
	14.0	—	12.8	—	
	16.0	—	13.6	—	
	18.0	12.0	15.1	—	
	20.0	—	14.7	—	
	24.0	—	13.8	—	
Input Return Loss	13.0		16.9		dB
	14.0		17.1		
	16.0		17.0		
	17.0		19.4		
	20.0		8.9		
	24.0		9.0		
Output Return Loss	13.0		8.1		dB
	14.0		12.7		
	16.0		19.3		
	17.0		16.6		
	20.0		8.0		
	24.0		10.6		
Directivity (Isolation-Gain)	20.0		43		dB
Output Power @ 1 dB compression	13.0		22.6		dBm
	14.0		24.3		
	16.0		26.3		
	17.0		26.4		
	20.0		26.6		
	24.0		26.5		
OIPs	13.0		28.7		dBm
	14.0		30.6		
	16.0		32.4		
	17.0		33.2		
	20.0		31.0		
	24.0		29.7		
Noise Figure	13.0		9.8		dB
	14.0		9.6		
	16.0		8.9		
	17.0		8.8		
	20.0		8.5		
	24.0		7.5		
DC Current Variation vs. Temperature (2)			0.32		mA/°C
DC Current Variation vs. Voltage			0.145		mA/mV
Thermal Resistance			16.3		°C/W

Absolute Maximum Ratings⁽³⁾

Operating Temperature ⁽⁴⁾	-40°C to 85°C
Storage Temperature	-65°C to 150°C
Channel Temperature	120°C
DC Voltage: V+	+7.4 V
DC Voltage: V-	-6 V
DC Current: I+	620mA
DC Current: I-	1mA
Power Dissipation	3.1 W
Input Power (CW)	16 dBm

Notes:

- Measured on Mini-Circuits Test Board TS-715-0X. Gain, Output power at 1dB compression (P_{1dB}), Noise Figure, Output IP3 (OIP3) are measured using Keysight N6742A PNA-X microwave network analyzer.
Conditions:
1. Gain: P_{in}-25 dBm
2. Output IP3 (OIP3): Two tones, spaced 1 MHz apart, 0 dBm/line at output.
3. V₊ set to +6.1V to account for 1.1V drop in bias circuit resulting in +5V at drain (NO to VDD (A40))
- Current at 25°C - Current at -40°C/100
- Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded. These maximum ratings are not intended for continuous normal operation.
- Defined with reference to ground-pad temperature.

Bias Sequence and Conditions



NOTE: To prevent damage to the AVM-2734PK+, and to ensure proper operation, all bias voltages must be applied through the VCM-I+ module.



Recommended Application Circuit

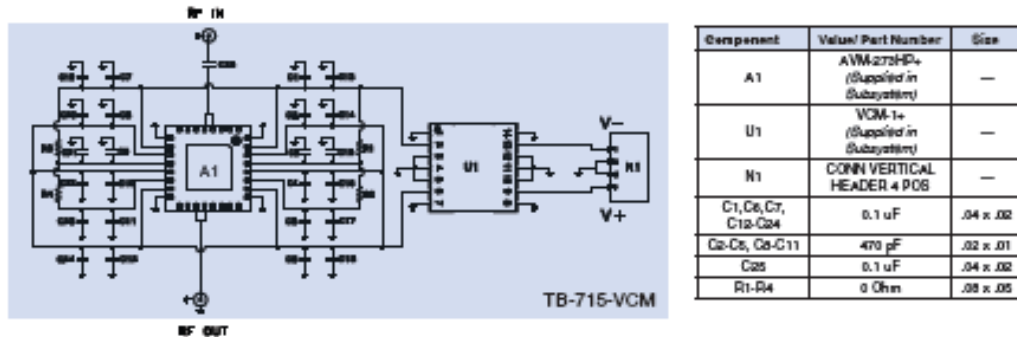
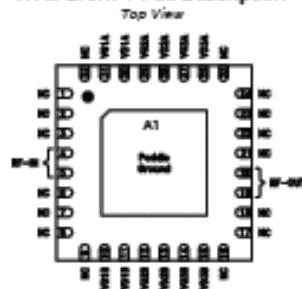


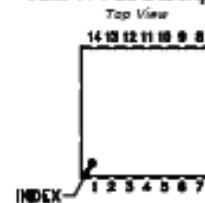
Fig 1. Schematic of Test Board TB-715-VCM
VCM-1+ incorporates current stabilization, automatic voltage sequencing, reverse voltage protection circuitry.

AVM-273HP+ Pad Description

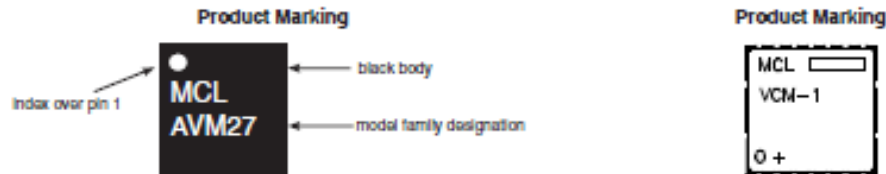


Function	Pad Number	Description (See Application Circuit)
RF-In	4,5	RF Input
RF-Out	10,20	RF-Output (DC blocked)
VG1A	21	Gate Voltage of first stage amplifier (Top)
VG2A	29	Gate Voltage of second stage amplifier (Top)
VG3A	27	Gate Voltage of third stage amplifier (Top)
VD1A	20	Drain Voltage of first stage amplifier (Top)
VD2A	28	Drain Voltage of second stage amplifier (Top)
VD3A	26	Drain Voltage of third stage amplifier (Top)
VG1B	10	Gate Voltage of first stage amplifier (Bottom)
VG2B	12	Gate Voltage of second stage amplifier (Bottom)
VG3B	14	Gate Voltage of third stage amplifier (Bottom)
VD1B	11	Drain Voltage of first stage amplifier (Bottom)
VD2B	13	Drain Voltage of second stage amplifier (Bottom)
VD3B	15	Drain Voltage of third stage amplifier (Bottom)
NC	1-3, 6-9, 11-19, 21-29, 32	No Connection, not used internally

VCM-1+ Pad Description



Function	Pad Number	Description
V- Out	2	Negative Output
V+ Out	6	Positive Output
V+ In	9	Positive Input
V- In	13	Negative Input
GND	1,4,4,5,7,4 10,11,12,14	Ground



Additional Detailed Technical Information	
<i>additional information is available on our dash board.</i>	
Performance Data	Data Table
	Swept Graphs
	S-Parameter (S2P Files) Data Set (.zip file)
Case Style	AVM-273HP+ DG1677-1 (SOT 89) <i>Plastic package, exposed paddle, lead finish: tin-silver over nickel</i> VCM-1+ BG1482-1 (14 Pin) <i>Case material: Nickel-Silver Alloy</i> <i>Base: Printed wiring laminate</i>
Tape & Reel	13" reels with 10, 20, 50 devices
Standard quantities available on reel	
Suggested Layout for PCB Design	PL-448
Evaluation Board	TB-715-VCM

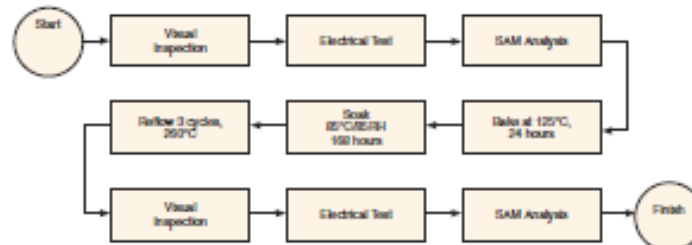
ESD Rating (AVM-273HP+)

Human Body Model (HBM): Class 1A In accordance with JESD22-A114F

Machine Model (MM): Class A (pass 25V) In accordance JESD22-A115

MSL Rating (AVM-273HP+)

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

MSL Test Flow Chart**Additional Notes**

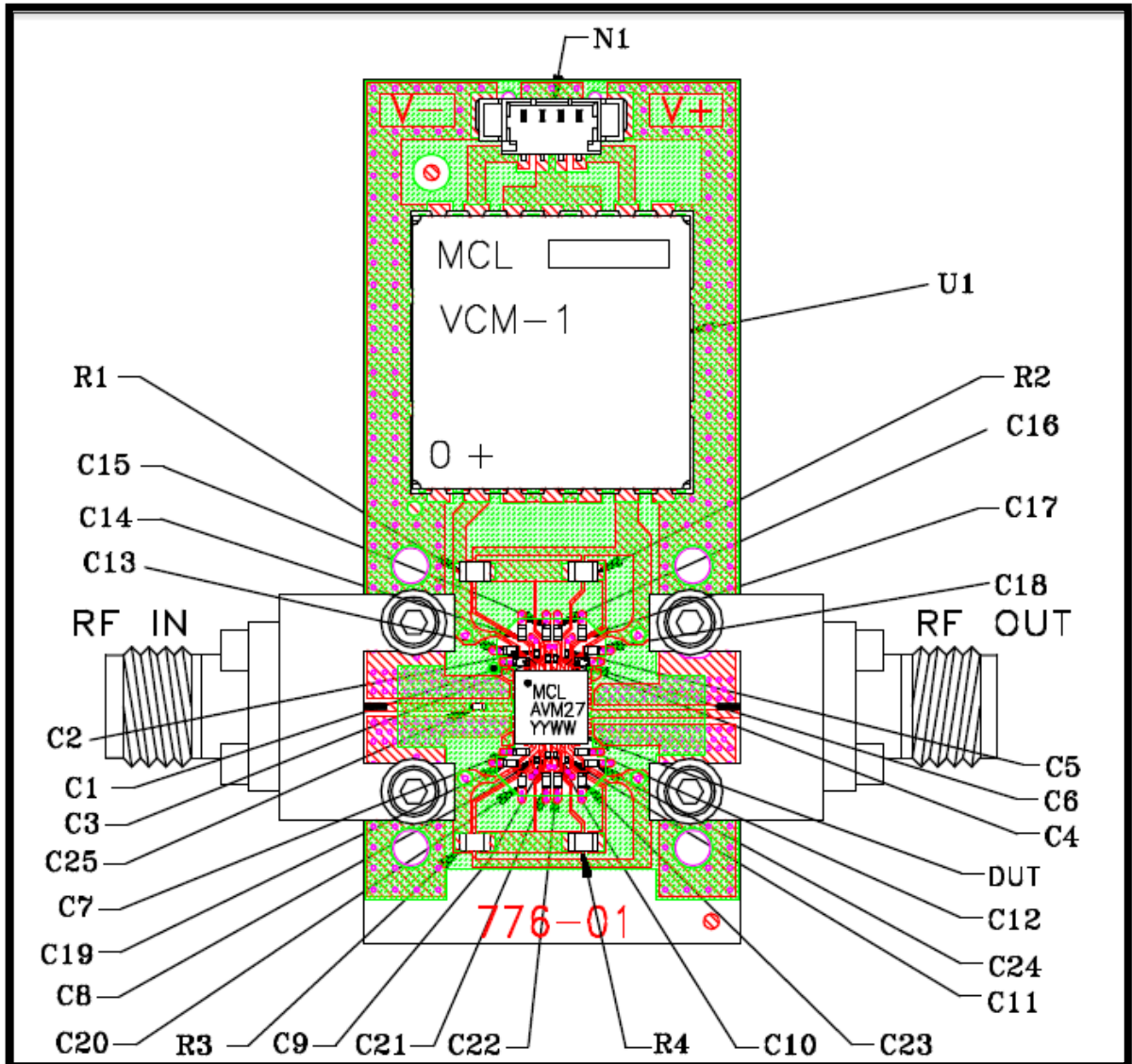
A. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.

B. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions.

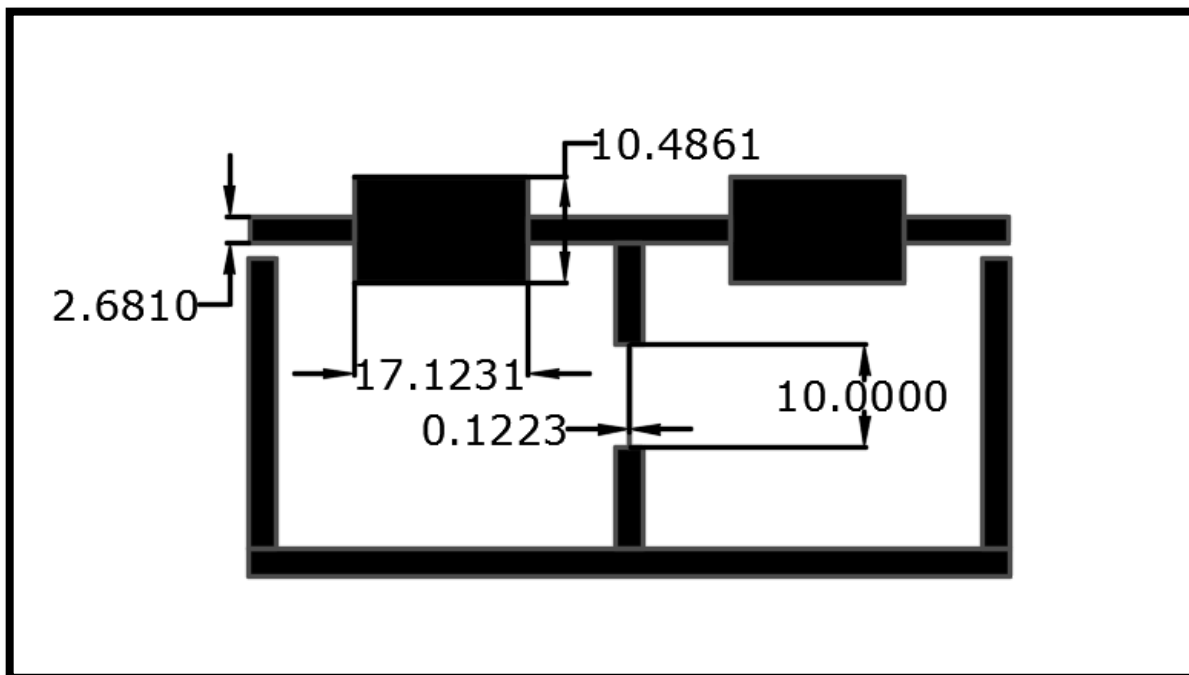
C. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits' standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/MCSTerms/terms.jsp



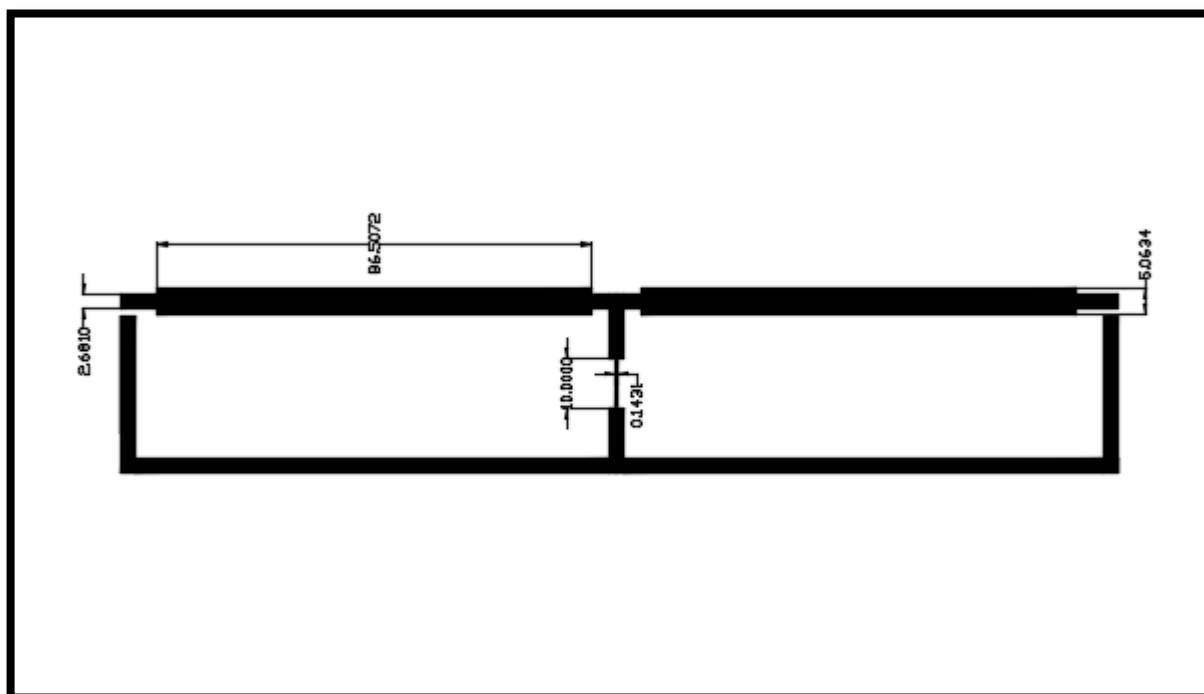
ANEXO F: Impreso de módulo de amplificación de AVM-273HPK+.



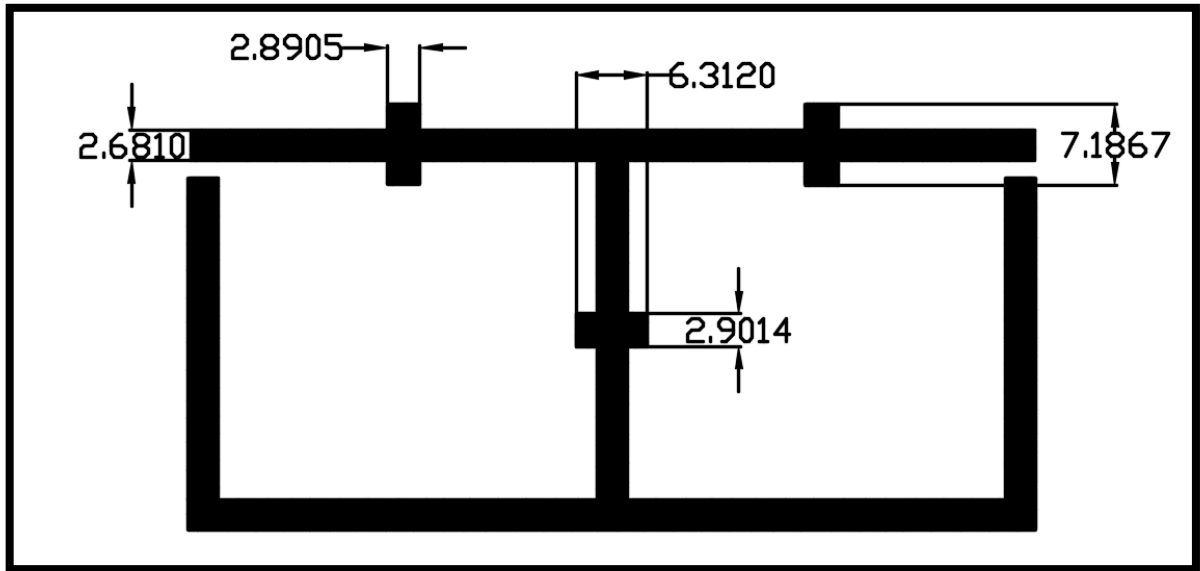
ANEXO G: Impreso de atenuador de 0.05-6 GHZ.



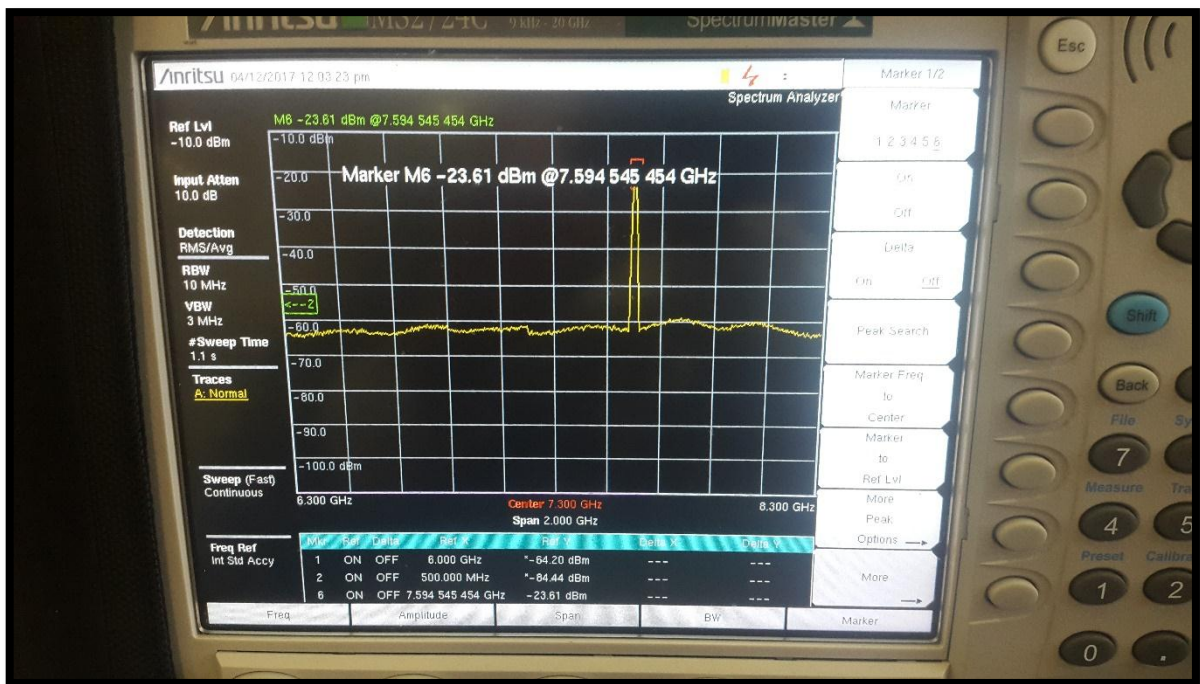
ANEXO H: Impreso atenuador 11-18 GHZ.



ANEXO I: impreso atenuador 18 – 26.5 GHz



ANEXO J: Recepción de la señal amplificada.



ANEXO K: Transmisión de señal.



ANEXO L: Manual de usuario del sistema.

PARTES DE AMPLIFICADOR

El amplificador contiene partes los cuales pueden ser manipulados a continuación se muestra sus componentes

FRONTAL



TRASERA



DESCRIPCION DE LAS PARTES DEL DISPOSITIVO

El dispositivo consta de partes los cuales están distribuidas en la parte frontal como en la trasera, cada una de ellas cumplen una función específica los cuales se detalla a continuación

➤ ENTRADA DE SEÑAL DE MICROONDAS

En esta sección es donde se ingresara la señal que se desee amplificar siempre y cuando respetando los límites para cada una de las bandas



EL CONECTOR SMA 1 se ingresaran la frecuencia que este dentro del rango de frecuencias de 0.05 hasta 6 GHZ

EL CONECTOR SMA 2 se ingresaran la frecuencia que este dentro del rango de frecuencias de 5 hasta 18 GHZ

➤ **SALIDA DE SEÑAL DE MICROONDAS**

En esta sección es donde se obtiene la señal ya amplificada, de la misma manera se respeta las bandas de frecuencias



EL CONECTOR SMA 1 se obtiene la señal amplificada del rango que va de 0.05 hasta los 6 GHZ ingresada por el CONECTOR SMA 1 IN

EL CONECTOR SMA 2 se obtiene la señal amplificada del rango que va de 5 hasta los 18 GHZ ingresada por el CONECTOR SMA in 2

NOTA: SE TIENE QUE RESPETAR LOS RANGOS ESTABLESIDOS PARA CADA UNA DE LAS FRECUENCIAS CON SUS RESPECTIVOS CONECTORES

➤ **LED INDICADOR DE ENCENDIDO** como se indica este led de encenderá de color verde si el dispositivo está listo para ser manipulado

NOTA: SI EL LED NO ENCIENDE COMPROBAR EL FUSIBLE DE PROTECCION

➤ **SELECTOR DE FRECUENCIAS** este selector es quien determina con que rango de frecuencias deseamos trabajar este selector consta de

3 posiciones en la posición 1 trabaja con el rango de frecuencias que va de 0,05 hasta 6 GHZ de sus respectivos conectores, la posición 2 trabaja en el rango que va de 5 hasta los 18 GHZ mientras que la posición central deshabilita los módulos de amplificación

NOTA: VERIFICAR LA POSICION DEL SELECTOR ANTES DE CONECTAR LAS SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA

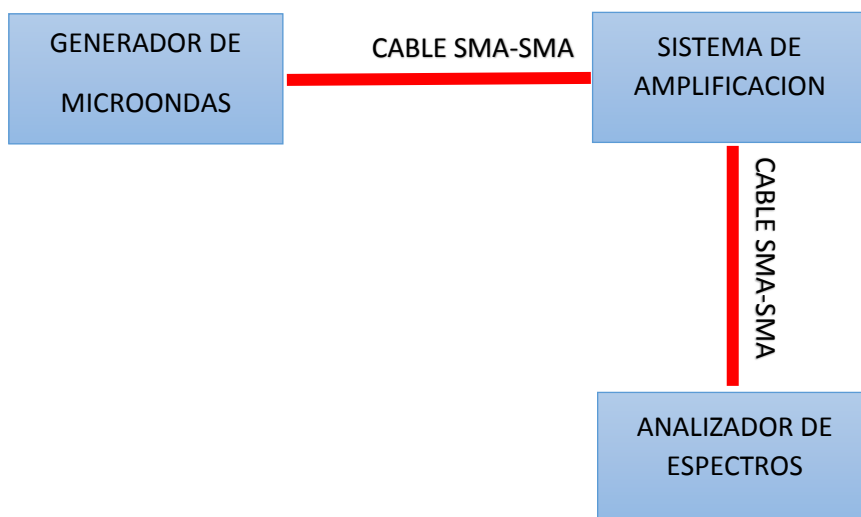
- **ALIMENTACION** el dispositivo costa de un Jack de alimentación el cual soporta la red eléctrica establecida en el país que es de 120v 60 HZ
- **ENCENDIDO** este es un elemento que da paso la corriente eléctrica hacia la fuente que alimenta los módulos de amplificación
- **FISIBLE DE PROTECCION** este elemento protege de sobrecargas al sistema de amplificación

CONEXIÓN

Para empezar a trabajar es necesario tener un cable SMA-SMA como se muestra en la figura siguiente



NOTA: SE REQUIERE COMO MINIMO 2 CABLES DE ESTE TIPO



Cabe recalcar que el esquema de conexión no es establecido ya que el usuario tiene la libertad de realizar sus conexiones necesarias los cuales los cables pueden ser sustituidos por antenas.

RECOMENDACIONES IMPORTANTES

Se recomienda no sobrepasar los -15 dBm en la señal de entrada ya que este podría ocasionar problemas en los equipos de medición y en el sistema de amplificación

Verificar la conexión y los cables antes de encender los dispositivos

Para hacer cambios de cables en los conectores de entrada y salida verificar que el selector de frecuencia se encuentre en posición que inhabilite los módulos de amplificación (posición central)

Verificar que las rejillas de ventilación estén descubiertas

ANEXO M: Datos obtenidos en las mediciones finales

FRECUENCIAS GHZ	SIN ATENUADOR	CON ATENUADOR	ATENUACION	ANTENUADOR
0,05	-4,59	-17,1	12,51	-12,51
0,1	-4,56	-16,86	12,3	-12,3
0,2	-4,72	-21,49	16,77	-16,77
0,3	-4,79	-14,8	10,01	-10,01
0,4	-4,61	-8,89	4,28	-4,28
0,5	-4,29	-9,75	5,46	-5,46
0,6	-2,88	-12,69	9,81	-9,81
0,7	-4,32	-14,57	10,25	-10,25
0,8	-3,82	-7,5	3,68	-3,68
0,9	-3,87	-7,34	3,47	-3,47
1	-3,81	-11,7	7,89	-7,89
1,1	-5,37	-15,04	9,67	-9,67
1,2	-4,17	-14,96	10,79	-10,79
1,3	-4,58	-14,43	9,85	-9,85
1,4	-5,84	-18,15	12,31	-12,31
1,5	-6,52	-18,63	12,11	-12,11
1,6	-6,4	-14,79	8,39	-8,39

1,7	-7,19	-19,61	12,42	-12,42
1,8	-8,03	-21,17	13,14	-13,14
1,9	-7,06	-17,26	10,2	-10,2
2	-6,12	-18,3	12,18	-12,18
2,1	-7,13	-19,26	12,13	-12,13
2,2	-8,05	-19,8	11,75	-11,75
2,3	-8,28	-19,9	11,62	-11,62
2,4	-8,49	-22,57	14,08	-14,08
2,5	-9,92	-21,92	12	-12
2,6	-10,81	-16,07	5,26	-5,26
2,7	-10,88	-18,4	7,52	-7,52
2,8	-11,57	-21	9,43	-9,43
2,9	-12,82	-28,6	15,78	-15,78
3	-11,74	-31,28	19,54	-19,54
3,1	-12,94	-31,56	18,62	-18,62
3,2	-12,4	-29,99	17,59	-17,59
3,3	-13,28	-26,38	13,1	-13,1
3,4	-13,31	-30,79	17,48	-17,48
3,5	-13,18	-33,28	20,1	-20,1
3,6	-13,06	-32,32	19,26	-19,26
3,7	-13,45	-30,43	16,98	-16,98
3,8	-12,45	-32,71	20,26	-20,26
3,9	-11,69	-26,17	14,48	-14,48
4	-13,38	-24,62	11,24	-11,24
4,1	-18,45	-31,02	12,57	-12,57
4,2	-18,56	-34,66	16,1	-16,1
4,3	-17,14	-28,02	10,88	-10,88
4,4	-19,5	-22,59	3,09	-3,09
4,5	-20,6	-23,02	2,42	-2,42
4,6	-21,71	-23,45	1,74	-1,74
4,7	-15,3	-22,14	6,84	-6,84
4,8	-15,4	-22,64	7,24	-7,24
4,9	-17,52	-24,06	6,54	-6,54
5	-19,7	-25,86	6,16	-6,16
5,1	-19,72	-26,83	7,11	-7,11
5,2	-19,57	-34,79	15,22	-15,22
5,3	-19,44	-35,92	16,48	-16,48
5,4	-8,65	-19,02	10,37	-10,37
5,5	-9,22	-20,99	11,77	-11,77
5,6	-9,43	-27,44	18,01	-18,01
5,7	-9,18	-35,2	26,02	-26,02

5,8	-9,82	-38,5	28,68	-28,68
5,9	-9,95	-35,75	25,8	-25,8
6	-9,4	-34,72	25,32	-25,32

FRECUENCIAS	SIN ATENUADOR	CON ATENUADOR	ATENUACION	ATENUADOR
5	-20,55	-24	3,45	-3,45
5,1	-24,56	-21,14	-3,42	3,42
5,2	-25,17	-21,52	-3,65	3,65
5,3	-24,46	-22,44	-2,02	2,02
5,4	-9,62	-10,8	1,18	-1,18
5,5	-8,57	-10,99	2,42	-2,42
5,6	-8,4	-10,45	2,05	-2,05
5,7	-9,62	-9,32	-0,3	0,3
5,8	-10,94	-11,57	0,63	-0,63
5,9	-11,62	-13,16	1,54	-1,54
6	-11,27	-12,84	1,57	-1,57
6,1	-9,95	-13,4	3,45	-3,45
6,2	-9,83	-17,28	7,45	-7,45
6,3	-10,79	-21,26	10,47	-10,47
6,4	-12,44	-18,76	6,32	-6,32
6,5	-13,12	-16,51	3,39	-3,39
6,6	-14,22	-14,7	0,48	-0,48
6,7	-12,7	-15,66	2,96	-2,96
6,8	-10,7	-15,9	5,2	-5,2
6,9	-12,15	-17,89	5,74	-5,74
7	-12,91	-21,44	8,53	-8,53
7,1	-12,97	-25,82	12,85	-12,85
7,2	-13,59	-27,3	13,71	-13,71
7,3	-12,71	-25,3	12,59	-12,59
7,4	-10,52	-22,78	12,26	-12,26
7,5	-10,82	-20,84	10,02	-10,02
7,6	-11,82	-19,17	7,35	-7,35
7,7	-12,62	-17,55	4,93	-4,93
7,8	-10,72	-17,15	6,43	-6,43
7,9	-10,17	-18,02	7,85	-7,85
8	-9,9	-19,89	9,99	-9,99
8,1	-10,14	-19,32	9,18	-9,18
8,2	-10,28	-18,66	8,38	-8,38
8,3	-11,31	-18,36	7,05	-7,05

8,4	-11,99	-18,94	6,95	-6,95
8,5	-10,96	-21,27	10,31	-10,31
8,6	-11,99	-21,45	9,46	-9,46
8,7	-12,58	-21,48	8,9	-8,9
8,8	-14,29	-23,61	9,32	-9,32
8,9	-14,41	-20,18	5,77	-5,77
9	-14,66	-18,98	4,32	-4,32
9,1	-13,68	-19,9	6,22	-6,22
9,2	-13,62	-20,57	6,95	-6,95
9,3	-14,52	-21,77	7,25	-7,25
9,4	-15,5	-23,62	8,12	-8,12
9,5	-15,4	-28,17	12,77	-12,77
9,6	-14,22	-36,08	21,86	-21,86
9,7	-13,95	-35,49	21,54	-21,54
9,8	-14,1	-32,78	18,68	-18,68
9,9	-16,48	-32,09	15,61	-15,61
10	-16,3	-32,62	16,32	-16,32
10,1	-15,9	-32,56	16,66	-16,66
10,2	-14,84	-33,81	18,97	-18,97
10,3	-15,12	-33,01	17,89	-17,89
10,4	-16,16	-32,77	16,61	-16,61
10,5	-17,82	-33,75	15,93	-15,93
10,6	-18,08	-33,22	15,14	-15,14
10,7	-16,44	-31,71	15,27	-15,27
10,8	-15,88	-29,32	13,44	-13,44
10,9	-15,66	-28,75	13,09	-13,09
11	-16,46	-27,37	10,91	-10,91

FRECUENCIAS	SIN ATENUADOR	CON ATENUADOR	ATENUACION	ATENADOR
11,1	-22,68	-31,64	8,96	-8,96
11,2	-21,8	-32,44	10,64	-10,64
11,3	-21,53	-32,86	11,33	-11,33
11,4	-21,63	-33,63	12	-12
11,5	-21,54	-34,13	12,59	-12,59
11,6	-22,03	-33,45	11,42	-11,42
11,7	-22,82	-35,08	12,26	-12,26
11,8	-22,9	-36,62	13,72	-13,72
11,9	-21,95	-36,66	14,71	-14,71
12	-21,58	-33,67	12,09	-12,09

12,1	-22,25	-32,42	10,17	-10,17
12,2	-23,47	-32,88	9,41	-9,41
12,3	-23,14	-33,27	10,13	-10,13
12,4	-23,1	-33,27	10,17	-10,17
12,5	-23,57	-36,1	12,53	-12,53
12,6	-24,09	-38,34	14,25	-14,25
12,7	-24,14	-38,15	14,01	-14,01
12,8	-23,03	-36,71	13,68	-13,68
12,9	-23,55	-35,3	11,75	-11,75
13	-24,52	-38,54	14,02	-14,02
13,1	-25,07	-41,56	16,49	-16,49
13,2	-23,37	-42,27	18,9	-18,9
13,3	-23,22	-41,31	18,09	-18,09
13,4	-23,52	-43,97	20,45	-20,45
13,5	-25,03	-45,64	20,61	-20,61
13,6	-24,27	-44,08	19,81	-19,81
13,7	-22,96	-43,15	20,19	-20,19
13,8	-23,04	-43,9	20,86	-20,86
13,9	-22,52	-44,85	22,33	-22,33
14	-22,64	-42,94	20,3	-20,3
14,1	-22,02	-42,91	20,89	-20,89
14,2	-24,97	-44,07	19,1	-19,1
14,3	-25,03	-45,2	20,17	-20,17
14,4	-23,39	-42,94	19,55	-19,55
14,5	-21,22	-45,29	24,07	-24,07
14,6	-23,42	-41,86	18,44	-18,44
14,7	-24,24	-43,7	19,46	-19,46
14,8	-23,49	-45,82	22,33	-22,33
14,9	-21,92	-46,01	24,09	-24,09
15	-19,5	-45,41	25,91	-25,91
15,1	-20,65	-44,79	24,14	-24,14
15,2	-21,34	-47,34	26	-26
15,3	-22,2	-48,7	26,5	-26,5
15,4	-21,48	-49,39	27,91	-27,91
15,5	-21,4	-49,26	27,86	-27,86
15,6	-20,19	-51,95	31,76	-31,76
15,7	-20,12	-48,63	28,51	-28,51
15,8	-19,72	-45,94	26,22	-26,22
15,9	-20,25	-45,98	25,73	-25,73
16	-22,51	-43,87	21,36	-21,36
16,1	-22,68	-42,07	19,39	-19,39

16,2	-23	-39,52	16,52	-16,52
16,3	-22,78	-38,09	15,31	-15,31
16,4	-23,88	-37,38	13,5	-13,5
16,5	-21,76	-39,06	17,3	-17,3
16,6	-19,42	-40,34	20,92	-20,92
16,7	-17,95	-39,28	21,33	-21,33
16,8	-17,44	-37,81	20,37	-20,37
16,9	-17,12	-39,3	22,18	-22,18
17	-16,7	-41,89	25,19	-25,19
17,1	-16,68	-42,22	25,54	-25,54
17,2	-16,95	-43,54	26,59	-26,59
17,3	-18,04	-44,2	26,16	-26,16
17,4	-18,22	-43,26	25,04	-25,04
17,5	-17,61	-42,48	24,87	-24,87
17,6	-17,04	-45,24	28,2	-28,2
17,7	-17,62	-46,85	29,23	-29,23
17,8	-18,16	-44,71	26,55	-26,55
17,9	-17,89	-43,04	25,15	-25,15
18	-17,7	-46,61	28,91	-28,91