



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS

ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CARRERA ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

TEMA:

“TRANSMISOR Y RECEPTOR DE FRECUENCIA MODULADA DIDÁCTICO
PARA USO EN LOS LABORATORIOS DE LA F.I.S.E.I.”

Proyecto de Trabajo de Graduación. Modalidad: TEMI. Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

SUBLINEA DE INVESTIGACION: Comunicaciones Inalámbricas

AUTOR: Juan David Soria Salazar

TUTOR: Ing. Mg. Julio Cuji Rodríguez

Ambato – Ecuador
2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema “Transmisor y receptor de frecuencia modulada didáctico para uso en los laboratorios de la F.I.S.E.I.”, elaborado por el señor Juan David Soria Salazar, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo II, del Reglamento de Graduación para obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Enero del 2015

EL TUTOR

Ing. Mg. Julio Cuji Rodríguez

AUTORÍA DE LA TESIS

El presente trabajo de investigación titulado: “Transmisor y receptor de frecuencia modulada didáctico para uso en los laboratorios de la F.I.S.E.I.”. Es absolutamente original, autentico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, Enero del 2015

EL AUTOR

Juan David Soria Salazar

C.I. 1804346672

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Edgar Freddy Robalino, Mg. e Ing. Geovanni Danilo Brito, Mg., revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado: “Transmisor y receptor de frecuencia modulada didáctico para uso en los laboratorios de la F.I.S.E.I.”, presentado por el señor Juan David Soria Salazar de acuerdo al Art. 17 del Reglamento de Graduación para obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Vicente Morales Lozada, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Edgar Freddy Robalino, Mg.
DOCENTE CALIFICADOR

Ing. Geovanni Danilo Brito, Mg.
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

A Dios por protegerme, darme salud y fortaleza para seguir luchando día a día por lograr mis metas.

A mi hijo, Francisco David, la persona que necesito para ser feliz y por quien luchar de forma incansable.

A mis padres, Jorge y Gladys, por ser el pilar fundamental de mi vida, por el amor y apoyo incondicional que me brindan, ejemplo de responsabilidad y trabajo; gracias a quienes pude levantarme y superar circunstancias adversas.

A mi hermano, Andrés, por ser un ejemplo de dedicación y carácter.

Juan David

AGRADECIMIENTO

A mi familia por el apoyo y cariño que siempre me han sabido brindar.

A los docentes de la F.I.S.E.I. por los conocimientos brindados durante estos años, de manera especial al Ing. Julio Cuji por el apoyo recibido para la realización de este trabajo.

A mis amigos, por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Juan David

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DE LA TESIS	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
GLOSARIO DE TERMINOS	xvi
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Delimitación.....	2
1.3.2 Delimitación temporal:.....	2
1.4 Justificación.....	2
1.5 Objetivos	3
1.5.1 Objetivo general	3
1.5.2 Objetivos específicos	3
CAPÍTULO II.....	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Antecedentes investigativos	4
2.2 Fundamentación teórica	4
2.2.1 Sistemas electrónicos de comunicaciones.....	4
2.2.2 Modulación y demodulación.....	5

2.2.3 Frecuencia Modulada.....	6
2.2.3.1 Señal modulante.....	7
2.2.3.2 Banda comercial de emisión en FM.....	7
2.2.3.3 Bandas laterales e índice de modulación.....	8
2.2.3.4 Ancho de banda de una señal FM.....	9
2.2.3.5 Porcentaje de modulación.....	9
2.2.4 Transmisor FM.....	10
2.2.4.1 Filtros.....	10
2.2.4.2 Filtro pasa banda.....	11
2.2.4.3 Filtro pasa bajo.....	11
2.2.4.4 Mezclador.....	12
2.2.4.5 Oscilador.....	12
2.2.4.6 Amplificador.....	13
2.2.5 Modulador FM.....	13
2.2.6 Construcción de transmisores FM.....	14
2.2.6.1 Mini transmisor FM.....	14
2.2.6.2 Transmisor FM de potencia media.....	15
2.2.6.3 Transmisor FM con CI MC2833.....	15
2.2.6.4 Transmisor FM con CI BA1404.....	16
2.2.6.5 Transmisor FM de alta potencia.....	17
2.2.7 Receptor FM.....	18
2.2.7.1 Demodulador FM.....	18
2.2.7.2 Amplificador.....	18
2.2.8 Construcción de receptores FM.....	19
2.2.8.1 Receptor FM con transistores.....	19
2.2.8.2 Receptor FM con CD2003GP.....	19
2.2.8.3 Receptor FM con TDA7000.....	20
2.2.9 Herramienta Didáctica.....	21
2.3 Propuesta de solución.....	22
CAPÍTULO III.....	23
METODOLOGÍA.....	23
3.1 Modalidad de la investigación.....	23

3.1.1 Proyecto de investigación aplicada(I)	23
3.2 Recolección de la información.....	23
3.2.1 Entrevista.....	23
3.2.2 Guía de observación.....	23
3.3 Procesamiento y análisis de datos	24
3.3.1 Procesamiento	24
3.3.2 Análisis.....	24
3.4 Desarrollo del proyecto	24
CAPÍTULO IV	25
DESARROLLO DE LA PROPUESTA	25
4.1 Estado actual de los laboratorios de la F.I.S.E.I.....	25
4.1.1 Equipos existentes.....	26
4.2 Requerimientos	28
4.3 Elección de Elementos	29
4.3.1 Elementos para el Transmisor.....	29
4.3.2 Elementos para el Receptor.....	30
4.4 Transmisor FM.....	31
4.4.1 Etapas del transmisor	32
4.4.1.1 Filtro pasa banda	32
4.4.1.2 Circuito integrado BA1404	34
4.4.1.3 Modulación Estéreo	35
4.4.1.4 Modulación FM.....	36
4.4.1.5 Antena Telescópica	37
4.4.1.6 Diagramas del circuito transmisor FM.....	39
4.4.1.7 Fuente de alimentación	42
4.4.2 Pruebas de funcionamiento	47
4.5 Receptor FM.....	54
4.5.1 Etapas del receptor	54
4.5.1.1 Circuito integrado TDA7000	54
4.5.1.2 Antena del receptor	55
4.5.1.3 Oscilador	55
4.5.1.4 Mezclador y Frecuencia Intermedia.....	56

4.5.1.5 Demodulación FM	56
4.5.1.6 Diagrama del circuito receptor.....	57
4.5.1.7 Demodulador estéreo	58
4.5.1.8 Amplificador de salida	59
4.5.1.9 Diagramas del circuito Receptor FM	60
4.5.1.10 Fuente de alimentación	65
4.5.2 Pruebas de funcionamiento	69
4.6 Evaluación del Transmisor y Receptor	75
4.6.1 Evaluación del Transmisor.....	75
4.6.2 Evaluación del Receptor	75
4.7 Costos.....	77
CAPÍTULO V	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
Bibliografía	82
ANEXOS.....	85
ANEXO A: GUIA DE OBSERVACIÓN	86
ANEXO B: PRACTICAS DE LABORATORIO	88
ANEXO C: HOJAS DE DATOS DE LOS CIRCUITOS INTEGRADOS.	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1: Sistema de Comunicaciones Electrónicas.	5
Figura 2. 2: Diagrama de bloques de un Sistema de Comunicaciones	6
Figura 2. 3: Modulación FM	7
Figura 2. 4: Espectro de una señal FM.....	8
Figura 2. 5: Diagrama de bloques del transmisor FM.....	10
Figura 2. 6: Respuesta de un filtro pasa banda ideal.....	11
Figura 2. 7: Respuesta de un filtro pasa bajo ideal	12
Figura 2. 8: Mezclador	12
Figura 2. 9: Oscilador.....	13
Figura 2. 10: Modulador FM sencillo	14
Figura 2. 11: Mini Transmisor FM.	14
Figura 2. 12: Transmisor FM de Potencia Media.	15
Figura 2. 13: Diagrama de bloques del MC2833.	16
Figura 2. 14: Diagrama de bloques del BA1404.....	17
Figura 2. 15: Transmisor FM de Alta Potencia.....	17
Figura 2. 16: Diagrama de bloques del receptor FM	18
Figura 2. 17: Receptor FM con Transistores.....	19
Figura 2. 18: Diagrama de bloques del CD2003GP.....	20
Figura 2. 19: Diagrama de bloques del TDA7000	21
Figura 4. 1: Tablero Lógico "IDL-800".....	26
Figura 4. 2: Tablero de Modulación "Type 4280".....	27
Figura 4. 3: Tablero de Demodulación "Type 4281".....	28
Figura 4. 4: Filtro Pasabanda.	33
Figura 4. 5: C.I. BA1404.....	34
Figura 4. 6: Espectro de la señal MPX.....	35
Figura 4. 7: Oscilador Collpits.....	36
Figura 4. 8: Antena Telescópica.....	38
Figura 4. 9: Diagrama esquemático del Transmisor FM.....	39
Figura 4. 10: Diagrama pictórico de transmisor FM.....	40
Figura 4. 11: Diagrama impreso del transmisor FM	40
Figura 4. 12: Transmisor FM	41
Figura 4. 13: Diagrama de corrientes Transmisor FM.....	43
Figura 4. 14: Diagrama esquemático de la fuente de alimentación TX.....	46
Figura 4. 15: Diagrama pictórico de la fuente de alimentación TX.....	46
Figura 4. 16: Diagrama impreso de la fuente de alimentación TX	47
Figura 4. 17: Resultado del Filtro Pasabanda.	48
Figura 4. 18: Señal de 38KHz.	48
Figura 4. 19: Señal Piloto de 19KHz.	49
Figura 4. 20: Salida del Modulador Estéreo (Señal MPX).	49

Figura 4. 21: Señal modulada en estéreo combinada con la señal piloto.....	50
Figura 4. 22: Señal en la Salida del Transmisor.....	51
Figura 4. 23: Señal en Frecuencia Modulada.....	51
Figura 4. 24: Transmisor FM montado en Chasis.....	53
Figura 4. 25: C.I. TDA7000.....	54
Figura 4. 26: Oscilador modulable mediante diodos varicap.....	56
Figura 4. 27: Demodulador en Cuadratura.....	57
Figura 4. 28: Circuito Receptor FM TDA7000.....	57
Figura 4. 29: Circuito Demodulador Estéreo.....	59
Figura 4. 30: Circuito Amplificador de Salida.....	60
Figura 4. 31: Diagrama esquemático del Receptor FM.....	61
Figura 4. 32: Diagrama pictórico del Receptor FM.....	62
Figura 4. 33: Diagrama impreso del Receptor FM.....	63
Figura 4. 34: Receptor FM.....	64
Figura 4. 35: Diagrama de corrientes Receptor FM.....	65
Figura 4. 36: Diagrama esquemático de la fuente de alimentación RX.....	68
Figura 4. 37: Diagrama pictórico de la fuente de alimentación RX.....	68
Figura 4. 38: Diagrama impreso de la fuente de alimentación RX.....	69
Figura 4. 39: Señal en la Antena.....	70
Figura 4. 40: Señal Demodulada.....	71
Figura 4. 41: Señal Piloto de 19KHz.....	71
Figura 4. 42: Señal Canal Derecho.....	72
Figura 4. 43: Señal Canal Izquierdo.....	72
Figura 4. 44: Señal Amplificada Canal Derecho.....	73
Figura 4. 45: Señal Amplificada Canal Izquierdo.....	74
Figura 4. 46: Transmisor FM montado en Chasis.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1: Coeficientes de las funciones de Bessel.....	9
Tabla 4. 1: Equipos existentes en los laboratorios de la F.I.S.E.I.	26
Tabla 4. 2: Tabla comparativa de Transmisores FM.....	29
Tabla 4. 3: Tabla comparativa de amplificadores operacionales	30
Tabla 4. 4: Tabla comparativa de Receptores FM	30
Tabla 4. 5: Tabla comparativa de demoduladores estéreo	31
Tabla 4. 6: Características técnicas del MC4558	32
Tabla 4. 7: Características técnicas BA1404.....	35
Tabla 4. 8: Características técnicas del LM317	45
Tabla 4. 9: Características técnicas del LM337	45
Tabla 4. 10: Características técnicas del TDA7000	55
Tabla 4. 11: Características técnicas del LM1800	58
Tabla 4. 12: Características técnicas LM386	59
Tabla 4. 13: Características técnicas del LM7809	67
Tabla 4. 14: Costo Detallado del Transmisor.....	77
Tabla 4. 15: Costo Detallado del Receptor	78

RESUMEN

En la presente investigación se diseña e implementa dos dispositivos de frecuencia modulada, un transmisor y un receptor respectivamente. Estos son diseñados para su uso en los laboratorios de la F.I.S.E.I. por lo que cuentan con puntos de prueba en los que se puede observar formas de onda y magnitudes que se dan en los procesos correspondientes a la transmisión y recepción.

Estos dispositivos están basados en circuitos integrados específicos para cada función, los cuales se escogieron por sus características en cuanto a bajo consumo de corriente, estabilidad de frecuencia y buena calidad de audio. Otra de las características importantes es que los dispositivos son de gran robustez ya que al ser instrumentos de laboratorio están sujetos a extendidas jornadas de trabajo.

Para complementar el proyecto, se proponen diferentes prácticas a desarrollarse que corresponden a las etapas que conforman cada uno de los dispositivos.

ABSTRACT

In the present research is designed and implemented two devices frequency modulated transmitter and receiver respectively. These are designed for use in laboratories F.I.S.E.I. feature so that in the test points can be observed magnitudes and waveforms occurring in processes belonging to the transmission and reception.

These devices are based on specific integrated circuits for each function, which were chosen for their characteristics in terms of low power consumption, frequency stability and good audio quality. Another important feature is that the devices are very robust because as laboratory instruments are subject to extended work hours.

To complement the project, various practices to develop corresponding to the stages comprising each of the devices proposed.

GLOSARIO DE TERMINOS

FCC	Comisión Federal de Comunicaciones
RF	Radio Frecuencia
IF	Frecuencia Intermedia
AM	Amplitud Modulada
FM	Frecuencia Modulada
TX	Transmisor
RX	Receptor
FLL	Lazo de frecuencia cerrada
CI	Circuito Integrado
ESD	Descarga electrostática
HBM	Modo humano
MM	Modo maquina
CDM	Modelo de dispositivo cargado
SVR	Relación de rechazo de la tensión de alimentación
SR	Velocidad de subida
GBP	Producto de la ganancia de ancho de banda
CB	Balance de canal
EMF	Campo electromagnético
THD	Distorsión armónica total
QUIESCENT CURRENT	Corriente de reposo
MODULACIÓN	Conjunto de técnicas que se usan para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal.
DEMODULACIÓN	Conjunto de técnicas utilizadas para recuperar la información transportada por una onda portadora, que en el extremo transmisor había sido modulada con dicha información.
FRECUENCIA	Magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

AMPLITUD	Es una medida de la variación máxima del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódicamente en el tiempo. Es la distancia entre el punto más alejado de una onda y el punto de equilibrio o medio.
IRADIAR	Despedir de un cuerpo rayos de luz, calor u otra energía.
OSCILAR	Variación, perturbación o fluctuación en el tiempo de un medio o sistema.
MULTIPLEXOR	Circuitos combinacionales con varias entradas y una única salida de datos
TRANSDUCTOR	Dispositivo capaz de transformar o convertir una determinada manifestación de energía de entrada, en otra diferente a la salida, pero de valor muy pequeños en términos relativos con respecto a un generador.
ACONDICIONAR	Disponer o preparar una señal para un fin específico.
HETERODINAR	Generar nuevas frecuencias mediante la mezcla de dos o más señales en un dispositivo no lineal
MONOFONICO	Es la textura más sencilla, que consiste en una sola línea melódica o un solo canal audible
ESTEREOFONICO	Sonido grabado y reproducido en dos canales.
SENSIBILIDAD	Es la mínima magnitud en la señal de entrada requerida para producir una determinada magnitud en la señal de salida, dada una determinada relación señal/ruido, u otro criterio especificado.
SELECTIVIDAD	Es la aptitud que tiene para distinguir entre la señal deseada y las señales de frecuencias adyacentes muy próximas.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que presenta la educación pública del país es la falta de herramientas y equipos en los laboratorios de las instituciones, específicamente en las de educación superior, que pese a los esfuerzos de las autoridades el factor económico es uno de los principales obstáculos por lo que es muy complicado conseguir un equipamiento que satisfaga la demanda de estudiantes. Debido a esto el presente proyecto está orientado al desarrollo de equipos de laboratorio que permitan mejorar el nivel de aprendizaje de los estudiantes. En el módulo de comunicación analógica, se diseña e implementa un transmisor y receptor de FM para su uso en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, el mismo que se desarrolló en la forma que se detalla a continuación:

Capítulo I, se realiza un análisis del entorno para plantear el problema, sus causas y consecuencias. Se delimita su contenido para poder justificarlo y plantear objetivos para la investigación.

Capítulo II, se presenta la fundamentación teórica de la investigación que muestra las bases del proyecto y posteriormente se establece una propuesta de solución para el problema planteado.

Capítulo III, presenta la metodología utilizada para el desarrollo de la investigación detallando técnicas e instrumentos, así como puntualiza los pasos para el desarrollo del proyecto.

Capítulo IV, refiere al diseño e implementación de un transmisor y receptor FM, sus etapas, características y funcionamiento.

Capítulo V, señala las conclusiones y recomendaciones que se dan resultado de la realización del proyecto.

Anexos, contiene las prácticas de laboratorio establecidas para ser desarrollarlas, así también los datasheets correspondientes a los elementos utilizados.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema

TRANSMISOR Y RECEPTOR DE FRECUENCIA MODULADA DIDÁCTICO
PARA USO EN LOS LABORATORIOS DE LA F.I.S.E.I.

1.2 Planteamiento del problema

En el entorno académico actual se maneja un esquema de enseñanza en el que la teoría no va de forma paralela con la práctica, por lo que los conocimientos adquiridos de forma teórica no pueden ser complementados totalmente lo que ocasiona vacíos e insuficiencia en los conocimientos que el alumnado adquiere. Esto se debe a la falta de instrumentos o equipos específicos que permitan integrar ambos aspectos para así lograr que el conocimiento transmitido por el docente sea el adecuado.

En el país el factor económico es uno de los mayores limitantes para el equipamiento completo de laboratorios en instituciones públicas de educación superior, ya que al ser estos de costo muy elevado es difícil su adquisición, aun cuando los mismos son sumamente necesarios para lograr un alto nivel de instrucción en materias que demandan ser integradas tanto en su forma teórica como práctica.

En la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato existe el mismo inconveniente ya que los laboratorios de sus tres carreras carecen de los equipos e instrumentos necesarios para complementar la cátedra de sus materias, es por eso que surge la necesidad de implementar circuitos que ayuden a los docentes en su labor. Partiendo de ese punto se orienta la atención a la carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones en donde son necesarios

ciertos elementos o equipos que puedan facilitar y ayudar en la comprensión de varias materias de forma práctica, de ahí surge la idea de realizar un dispositivo que permita ilustrar el proceso y funcionamiento tanto de transmisión y recepción en frecuencia modulada.

1.3 Delimitación

- **Área Académica:** Comunicaciones
- **Línea de Investigación:** Tecnologías de comunicación
- **Sublínea:** Comunicaciones inalámbricas

1.3.1 Delimitación espacial:

La presente investigación se realizó en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.3.2 Delimitación temporal:

La presente investigación se desarrolló en el periodo de 6 meses a partir de su aprobación por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.4 Justificación

La presente investigación está orientada hacia el desarrollo de elementos que ayuden a fortalecer y comprender de mejor forma la teoría impartida en un salón de clases. Este proceso se puede lograr por medio de la elaboración de instrumentos de laboratorio, los cuales permitan observar de forma detallada cada uno de los pasos realizados en un proceso específico.

En muchas materias impartidas, entender la teoría que permite el funcionamiento de algún dispositivo o equipo es difícil sin la ayuda de un elemento real, en el cual se puedan observar formas de onda, realizar mediciones o a su vez modificaciones que alteren el funcionamiento y así palpar resultados. En el caso del módulo de Comunicación Analógica, en el estudio de frecuencia modulada es necesaria que la teoría sea complementada con la parte práctica, para así poder comprender claramente cuáles son sus etapas, de que elementos está compuesta cada una de ellas, que proceso realiza y demás factores que ayudan a facilitar la comprensión y a complementar la teoría, tanto en la transmisión como en la recepción de la señal.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Implementar un sistema de transmisión y recepción de frecuencia modulada didáctico para uso en los laboratorios de la F.I.S.E.I.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio de los instrumentos utilizados para el aprendizaje de modulación en los laboratorios de la F.I.S.E.I.
- Analizar el comportamiento y tratamiento de señales, frecuencias, modulación y demás variables que son utilizadas en modulación analógica.
- Diseñar los circuitos correspondientes a cada una de las etapas que conforman tanto el transmisor como el receptor de FM.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos

En el presente proyecto de investigación se propone la realización de un prototipo para la transmisión y recepción de frecuencia modulada, para lo que se investigó en las tesis de la biblioteca de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato en donde no existe ningún proyecto similar. Se ha investigado también en los repositorios de la Escuela Politécnica Nacional, Escuela Politécnica de Chimborazo, Escuela Politécnica del Ejército y se ha determinado que no existen proyectos similares. Realizando una búsqueda a nivel global se logró encontrar que Arizaga Adriana realiza un transmisor y receptor FM estéreo orientado a la reducción del cableado en sistemas de sonido profesional. Suarez Miguel desarrolla un transmisor/receptor inalámbrico de cuatro canales enfocado a instrumentos musicales. Giraldo José realiza una tesis sobre una emisora portátil FM estéreo. [1][2][3]

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Sistemas electrónicos de comunicaciones

Un transmisor es un conjunto de uno o más dispositivos o circuitos electrónicos que convierten la información de la fuente original en una señal que se presta para su transmisión a través de determinado medio de transmisión. El medio de transmisión transporta las señales desde el transmisor hasta el receptor, y puede ser tan sencillo como un par de conductores de cobre que propaguen las señales en forma de flujo de corriente eléctrica. También se puede convertir la información a ondas electromagnéticas luminosas, propagarlas a través de cables de fibra óptica hechas de vidrio o de plástico, o bien se puede usar el espacio libre para transmitir ondas

electromagnéticas de radio, a grandes distancias o sobre terreno donde sea difícil o costoso instalar un cable físico. Un receptor es un conjunto de dispositivos y circuitos electrónicos que acepta del medio de transmisión las señales transmitidas y las convierte a su forma original. En la figura 2.1 se muestra un sistema de comunicaciones que comprende de un transmisor, un medio de transmisión y un receptor. [5]

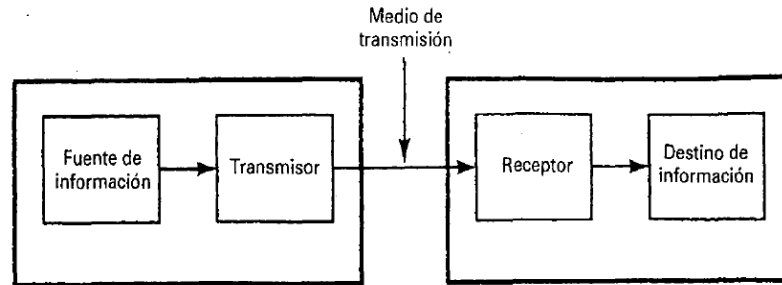


Figura 2. 1: Sistema de Comunicaciones Electrónicas.

Fuente: TOMASI, Wayne - Sistemas de Comunicaciones Electrónicas

2.2.2 Modulación y demodulación

Como a menudo no es práctico propagar señales de información a través de cables metálicos o de fibra óptica, o a través de la atmósfera terrestre, con frecuencia es necesario modular la información de la fuente, con una señal analógica de mayor frecuencia, llamada portadora. En esencia, la señal portadora transporta la información a través del sistema. La señal de información modula la portadora, cambiando su amplitud, su frecuencia o su fase. Modulación no es más que el proceso de cambiar una o más propiedades de la portadora, en proporción con la señal de información.

La modulación se hace en un transmisor mediante un circuito llamado modulador. Una portadora sobre la que ha actuado una señal de información se llama onda modulada o señal modulada. La demodulación es el proceso inverso a la modulación, y reconvierte a la portadora modulada en la información original (es decir, quita la información de la portadora). La demodulación se hace en un receptor, con un circuito llamado demodulador.

Hay dos razones por las que la modulación es necesaria en las comunicaciones electrónicas: 1) Es en extremo difícil irradiar señales de baja frecuencia en forma de energía electromagnética, con una antena, y 2) ocasionalmente, las señales de la información ocupan la misma banda de frecuencias y si se transmiten al mismo tiempo las señales de dos o más fuentes, interferirán entre sí. Por ejemplo, todas las estaciones comerciales de FM emiten voz y música que ocupan la banda de audiofrecuencias, desde unos 300Hz hasta 15KHz. Para evitar su interferencia mutua, cada estación convierte a su información a una banda o canal de frecuencia distinto. Se suele usar el término canal para indicar determinada banda de frecuencias asignada a determinado servicio. La figura 2.2 es el diagrama simplificado de bloques de un sistema electrónico de comunicaciones, donde se ven las relaciones entre la señal moduladora, la portadora de alta frecuencia y la onda modulada. La señal de información se combina con la portadora en el modulador y se produce la onda modulada. [5]

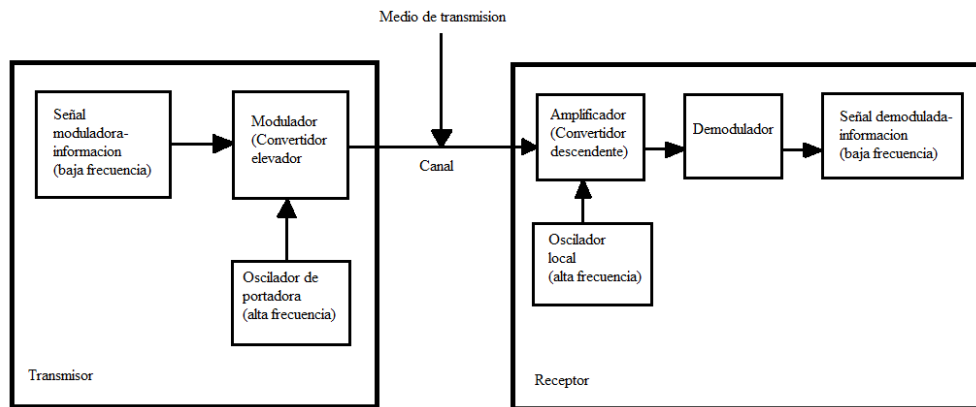


Figura 2. 2: Diagrama de bloques de un Sistema de Comunicaciones

Fuente: TOMASI, Wayne - *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*.

2.2.3 Frecuencia Modulada

Un proceso de modulación de frecuencia consiste en variar la frecuencia de una portadora de amplitud constante en proporción directa a la amplitud de la señal moduladora, con una rapidez igual a la frecuencia de la señal moduladora.

La frecuencia de la portadora oscila más o menos rápidamente, según la onda moduladora, esto es, si se aplica una moduladora de 100 Hz, la onda modulada se desplaza arriba y abajo cien veces en un segundo respecto de su frecuencia central,

que es la portadora; además el grado de esta variación dependerá del volumen con que se module la portadora, a lo que se denomina índice de modulación.

Debido a que los ruidos o interferencias alteran la amplitud de la onda, no afecta a la información transmitida en FM, puesto que la información se extrae de la variación de frecuencia y no de la amplitud, que es constante. En la figura 2.3 se observa las formas de onda en un proceso de modulación de frecuencia

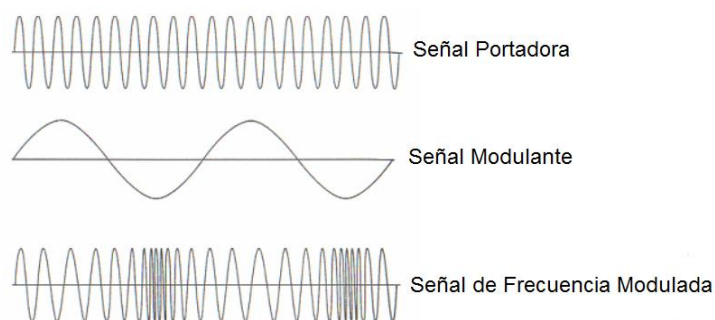


Figura 2. 3: Modulación FM

Fuente: GIRALDO, José - *Emisora portátil FM estéreo.*

Las emisoras de FM pueden trabajar en bandas de frecuencias muy altas, en las que las interferencias en AM son importantes. El alcance en estas bandas está limitado para que pueda haber emisoras de la misma frecuencia situadas a unos cientos de kilómetros sin que se interfieran entre ellas. [6][3]

2.2.3.1 Señal modulante

Esta es la señal de banda base que contiene la información a transmitir (voz, música, video, datos, etc.). La información a transmitir en este sistema de FM son señales de audio que están entre los 20Hz y los 15KHz, lo cual corresponde al rango de frecuencias audibles por el ser humano. Dado que el sonido es una onda de presión, se requiere un transductor de presión que convierte las ondas de presión de aire en señales eléctricas. [2]

2.2.3.2 Banda comercial de emisión en FM

La FCC ha asignado una banda de frecuencia de 20MHz al servicio de emisiones de FM, que va desde los 88 a los 108MHz. Esta banda de 20 MHz se divide en canales

de 100 y 200KHz de ancho que comienzan en 88.1MHz; es decir 88.3MHz, 88.5Mhz y así sucesivamente. Para obtener una música de alta calidad y confiable, la desviación máxima de frecuencia permitida es 75KHz con una frecuencia máxima de señal moduladora de 15KHz. [5]

2.2.3.3 Bandas laterales e índice de modulación

En todo proceso de modulación se originan bandas laterales, tanto en AM como en FM, la diferencia entre estas dos modulaciones radica que en AM se producen únicamente dos bandas, y en FM teóricamente el número de bandas laterales superiores e inferiores es infinito. Por lo que el espectro de una señal FM es más grande que el de una señal AM. En la figura 2.4 se muestra el espectro de una señal FM.

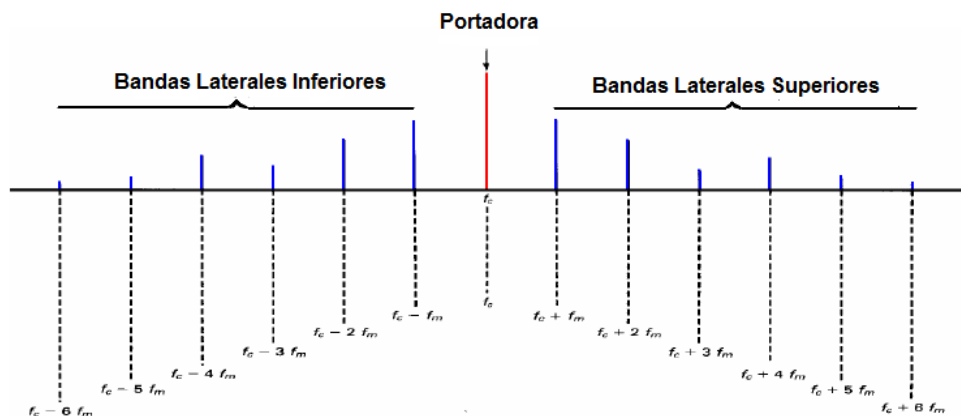


Figura 2. 4: Espectro de una señal FM

Fuente: SUAREZ, Miguel - *Transmisor / Receptor Inalámbrico de cuatro canales para instrumentos musicales.*

El número de bandas laterales significativas y sus amplitudes dependen de la desviación de frecuencia y de la frecuencia moduladora. El cociente de la desviación de frecuencia y la frecuencia moduladora se denomina índice de modulación:

$$m = \frac{fd}{fm}$$

La mayoría de los sistemas de comunicación que usan modulación de frecuencia establecen límites máximos para la desviación de frecuencia y para la frecuencia moduladora. [2]

2.2.3.4 Ancho de banda de una señal FM

El ancho de banda de la señal FM, su amplitud y el número de las bandas laterales significativas puede determinarse conociendo el índice de modulación. Esto se puede hacer mediante el uso de las funciones de Bessel, las cuales están tabuladas para un amplio intervalo de valores del índice de modulación. La figura 2.4 muestra los coeficientes de las funciones de Bessel.

Tabla 2. 1: Coeficientes de las funciones de Bessel

Índice de modulación	Portadora	Bandas laterales (pares)																
		1o.	2o.	3o.	4o.	5o.	6o.	7o.	8o.	9o.	10o.	11o.	12o.	13o.	14o.	15o.	16o.	
0.00	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.25	0.98	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.5	0.94	0.24	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6.0	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—
7.0	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	—	—	—	—	—	—	—
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	—	—	—	—	—	—
9.0	-0.09	0.24	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.30	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—	—	—
10.0	-0.25	0.04	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.31	0.29	0.20	0.12	0.06	0.03	0.01	—	—	—
12.0	-0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01	—
15.0	-0.01	0.21	0.04	0.19	-0.12	0.13	0.21	0.03	-0.17	-0.22	-0.09	0.10	0.24	0.28	0.25	0.18	0.12	—

Fuente: SUAREZ, Miguel - Transmisor / Receptor Inalámbrico de cuatro canales para instrumentos musicales

Este ancho de banda calculado representa el número real de bandas laterales significativas y además es el estipulado por la FCC. [2]

2.2.3.5 Porcentaje de modulación

La modulación porcentual es la relación de la desviación producida realmente, entre la desviación máxima de frecuencia permitida, expresada en forma porcentual. La ecuación correspondiente es:

$$\% \text{ de modulación} = \frac{\Delta f_{(real)}}{\Delta f_{(max)}} \times 100$$

El estándar manejado limita la desviación de frecuencia para los transmisores de banda comercial en +/- 75KHz. [2]

2.2.4 Transmisor FM

Un transmisor es un equipo que emite una señal, código o mensaje a través de un medio. El transmisor FM es un caso particular de transmisor, en el cual el soporte físico de la comunicación son ondas electromagnéticas. La figura 2.5 se detalla las etapas que conforman un transmisor FM. El transmisor tiene como función codificar señales ópticas, mecánicas o eléctricas, amplificarlas, y emitirlas como ondas electromagnéticas a través de una antena. [1][3]

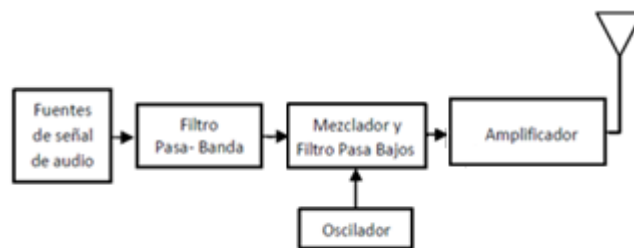


Figura 2. 5: Diagrama de bloques del transmisor FM

Fuente: ARIZAGA, Adriana - Diseño y construcción de un transmisor y receptor FM estéreo para reducción de cableado en equipos de audio profesional

2.2.4.1 Filtros

Son dispositivos que dejan pasar una banda de frecuencia mientras rechazan otras. Los filtros pueden ser pasivos o activos. Los pasivos se construyen con resistencias, condensadores y autoinducciones. Se usan generalmente por encima de 1MHz, no tienen ganancia en potencia y son relativamente difíciles de sintonizar. Los filtros activos se construyen con resistencias, condensadores y amplificadores operacionales. Se usan por debajo de 1 MHz, tienen ganancia en potencia y son relativamente fáciles de sintonizar. A continuación se detallan los tipos de filtros que existen: [7]

- Filtro Pasa Bajo
- Filtro Pasa Alto
- Filtro Pasabanda
- Filtro Banda Eliminada

En un transmisor FM se manejan dos tipos de filtros: filtro pasabanda y filtro pasa bajo, que se describen a continuación.

2.2.4.2 Filtro pasa banda

Un filtro pasa banda es útil cuando se quiere sintonizar una señal de radio o televisión. También se utiliza en equipos de comunicación telefónica para separar las diferentes conversaciones que simultáneamente se transmiten sobre el mismo medio de comunicación. [7]

La figura 2.6 muestra la respuesta en frecuencia ideal de un filtro pasa banda. La respuesta ideal elimina todas las frecuencias desde cero a la frecuencia de corte inferior, permite pasar todas aquellas que están entre la frecuencia de corte inferior y la frecuencia de corte superior y elimina todas las frecuencias por encima de la frecuencia de corte superior. En un filtro pasa banda ideal, la atenuación en la banda pasante es cero, la atenuación es infinita en la banda eliminada y las dos transiciones son verticales. El ancho de banda en un filtro pasa banda es la diferencia entre las frecuencias superior e inferior de corte. [7]

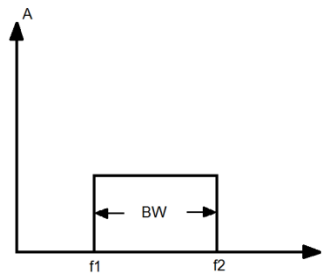


Figura 2. 6: Respuesta de un filtro pasa banda ideal.

Fuente: MALVINO, Albert Paul - Principios de Electrónica

2.2.4.3 Filtro pasa bajo

Este tipo de filtro deja pasar todas las frecuencias desde cero hasta la frecuencia de corte y bloquea todas las frecuencias por encima de la misma. En los filtros pasa bajo, las frecuencias entre cero y la frecuencia de corte se llaman banda pasante. Las frecuencias por encima de la frecuencia de corte son la banda eliminada. La zona entre la banda pasante y la banda eliminada se llama región de transición. La figura 2.7 muestra la respuesta en frecuencia ideal para un filtro pasa bajo. Un filtro pasa bajo ideal tiene atenuación cero en la banda pasante, infinita en la banda eliminada y una transición vertical; el filtro pasa bajo ideal no produce desfase en todas las frecuencias de la banda pasante. [7]

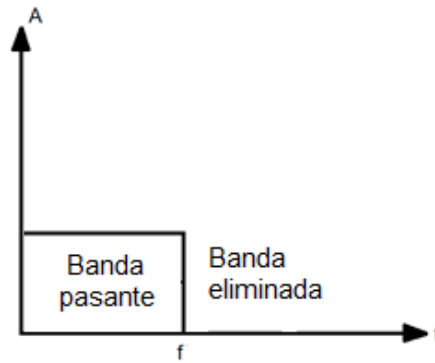


Figura 2. 7: Respuesta de un filtro pasa bajo ideal

Fuente: MALVINO, Albert Paul - Principios de Electrónica

2.2.4.4 Mezclador

El propósito de este es convertir radiofrecuencias a frecuencias intermedias. El heterodinaje se lleva a cabo en la etapa del mezclador y las radiofrecuencias se convierten a frecuencias intermedias. Aunque la frecuencia de la portadora y las bandas laterales se trasladan de RF a IF, la forma de la variación de frecuencia se mantiene igual y por lo tanto la información original contenida en la portadora permanece sin cambio. Aunque la portadora y las frecuencias laterales cambian de frecuencia, el proceso de heterodinaje no cambia el ancho de banda. La figura 2.8 muestra los elementos de un mezclador que es un dispositivo no lineal. [2]

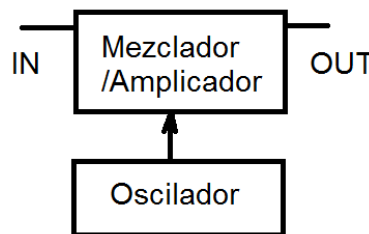


Figura 2. 8: Mezclador

Fuente: SUAREZ, Miguel - Transmisor / Receptor Inalámbrico de cuatro canales para instrumentos musicales

2.2.4.5 Oscilador

En electrónica un oscilador es un circuito que es capaz de convertir la corriente continua en una corriente que varía de forma periódica en el tiempo; estas oscilaciones pueden ser senoidales, cuadradas, triangulares, etc. Dependiendo de la forma que tenga la onda producida.

En la figura 2.9 se indica el circuito que genera las señal de alta frecuencia llamada portadora, la cual se ubica en el espectro de un punto mucho mayor que el de la frecuencia de la señal moduladora. Se puede lograr que cualquier amplificador oscile como se muestra en la figura si una porción de la salida se retroalimenta a la entrada de tal manera que satisfagan que la ganancia alrededor del lazo del circuito sea igual 1 y el desfaseamiento 0° o algún múltiplo de 360° . La selección de frecuencia se determina con circuitos LC llamados tanque o con osciladores de cristal. [2]

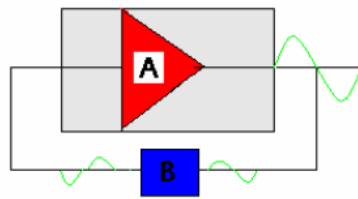


Figura 2. 9: Oscilador

Fuente: SUAREZ, Miguel - *Transmisor / Receptor Inalámbrico de cuatro canales para instrumentos musicales*

2.2.4.6 Amplificador

La función de estos amplificadores es aumentar el nivel de la señal de comunicaciones en la banda de radio frecuencia, además de amplificar pueden restringir las señales a un intervalo de frecuencia relativamente ancho o angosto. Poseen una buena respuesta en frecuencias altas, que van desde 100 KHz hasta 1 GHz, y pueden llegar incluso al rango de frecuencias de microondas. Para la construcción de estos amplificadores de potencia de RF se utilizan elementos activos de diversa índole, dependiendo del ancho de banda y la frecuencia con la que se necesitan operar. [2]

2.2.5 Modulador FM

La modulación angular de FM directa es aquella en la que se varía la frecuencia de la portadora, en forma directa, mediante la señal moduladora. Con la FM directa, la desviación instantánea de frecuencia es directamente proporcional a la amplitud de la señal moduladora. La figura 2.10 muestra el diagrama de un generador sencillo de FM directa. Es FM directa porque cambia la frecuencia del oscilador en forma directa mediante la señal moduladora, y la magnitud del cambio de frecuencia es proporcional a la amplitud del voltaje de la señal moduladora. [5]

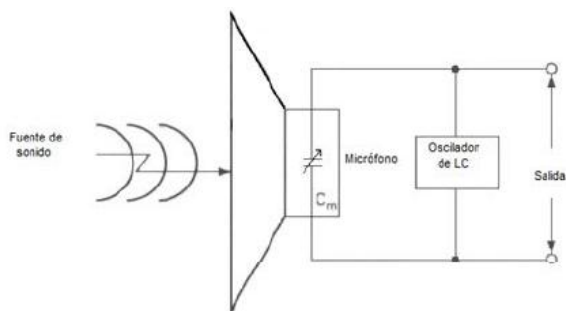


Figura 2. 10: Modulador FM sencillo

Fuente: TOMASI, Wayne - *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*

2.2.6 Construcción de transmisores FM

Para la construcción de un transmisor FM existen varias opciones que van desde sencillos transmisores a base de dos transistores simples hasta complejos sistemas de transmisión como los utilizados en las estaciones de radio. A continuación se detalla las características de cada uno de los tipos existentes.

2.2.6.1 Mini transmisor FM.

Existen diversas versiones para este tipo de transmisor, pero las diferencias en cuanto al diseño son mínimas, en principio su funcionamiento es el mismo. Este circuito está diseñado a partir de dos transistores, el primero es el encargado de acondicionar la señal a transmitir es decir la señal moduladora y el segundo cumple la función de oscilador, este trabaja conjuntamente con una bobina y un condensador variable los cuales permiten sintonizar la frecuencia en la que el dispositivo va a transmitir. En la figura 2.11 se detalla el circuito esquemático del mini transmisor FM. [5]

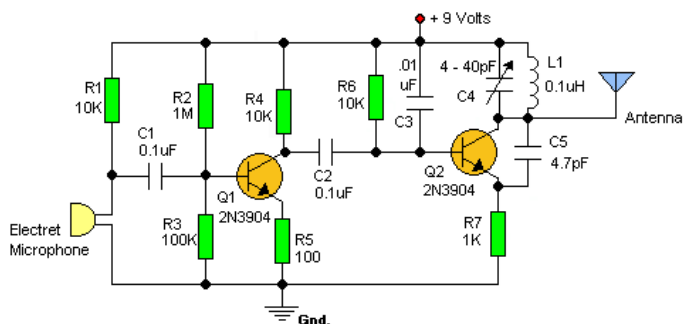


Figura 2. 11: Mini Transmisor FM.

Fuente: <http://blog-j.marcano.net.ve/index.php/2009/03/15/transmisor-fm-miniatura/>

Este transmisor utiliza un micrófono electret como fuente de audio, pero también se puede utilizar con otros dispositivos como un reproductor mp3 para ingresar la señal a transmitir. El alcance de este circuito se encuentra en un radio aproximado de 5 metros, tanto la distancia de transmisión y la eficacia de la misma pueden variar de acuerdo a la calidad de construcción del circuito. [12]

2.2.6.2 Transmisor FM de potencia media.

Este tipo de transmisores de igual forma son basados en transistores, pero los mismos ya son específicos para potencias altas por lo que su alcance es mayor así como su diseño es más complejo y requiere mejores características de construcción. En la figura 2.12 se muestra el circuito esquemático de uno de los numerosos circuitos existentes de este tipo.

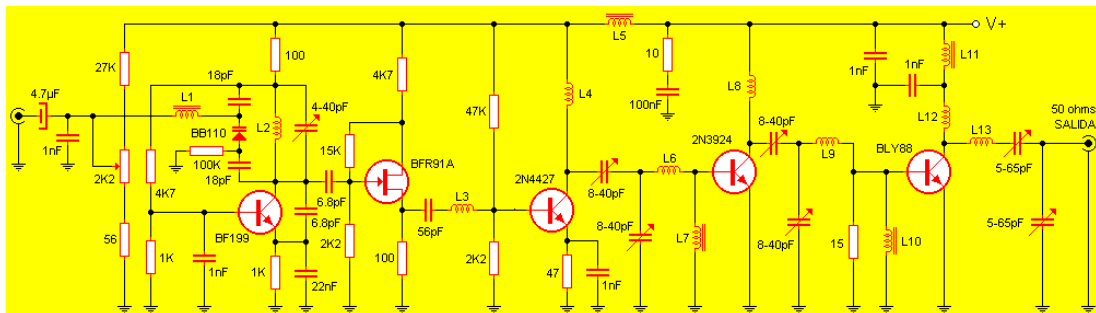


Figura 2. 12: Transmisor FM de Potencia Media.

Fuente: <http://pablin.com.ar/electron/circuito/radio/txfm18/index.htm>

Como este diseño existen otras variedades con diferentes características, por lo que hay que tener presente que dispositivos como este por su potencia puede abarcar distancias considerables, por lo que para su utilización el mismo ya deberá estar sujeto a las regulaciones que competen sobre uso del espectro radioeléctrico. [14]

2.2.6.3 Transmisor FM con CI MC2833.

Este circuito integrado es un transmisor FM de baja potencia, utilizado comúnmente en teléfonos inalámbricos. Este integrado posee un oscilador de tipo Colpitts y genera una señal FM mediante un conjunto formado por una reactancia variable, una bobina y un cristal. En la figura 2.13 se muestra el diagrama de bloques del circuito integrado MC2833.

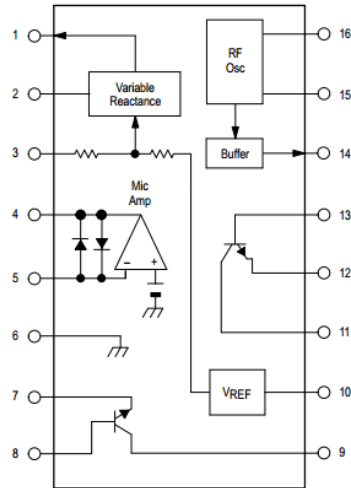


Figura 2. 13: Diagrama de bloques del MC2833.

Fuente: Datasheet MC2833

Este circuito permite una generación directa de FM de hasta 60MHz lo que puede ser modificado mediante una configuración distinta de sus elementos externos logrando así una multiplicación de frecuencia de hasta el triple de la frecuencia de operación. [11][15]

2.2.6.4 Transmisor FM con CI BA1404.

Este circuito integrado es uno de los más completos que existe en el mercado ya que con pocos elementos externos permite una transmisión en FM muy estable y de gran calidad, con una característica adicional muy importante ya que este también posee un modulador estéreo con una excelente separación de canales. En la figura 2.14 se presenta el diagrama de bloques del BA1404.

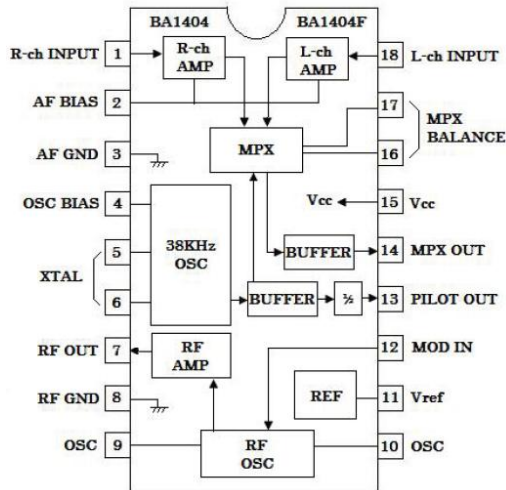


Figura 2. 14: Diagrama de bloques del BA1404.

Fuente: Datasheet BA1404

Este circuito integrado trabaja en la banda comercial de FM, posee en su parte interna un amplificador de radiofrecuencia por lo que la distancia de transmisión de este circuito se encuentra en un radio aproximado de 6 metros, para una transmisión óptima, lo que puede ser modificado con el uso de amplificadores de radio frecuencia externos.

2.2.6.5 Transmisor FM de alta potencia.

Estos dispositivos son ya específicamente para estaciones de radio, manejan grandes potencias puesto que uno de sus principales objetivos es el cubrir grandes distancias, su estructura es completa y sumamente robusta debido a que su uso será de forma continua. En la figura 2.15 se muestra un transmisor FM de alta potencia.



Figura 2. 15: Transmisor FM de Alta Potencia.

Fuente: http://es.made-in-china.com/co_zhcfmtv/product_Professional-FM-Transmitter-for-Radio-Station_huhrhgghy.html

2.2.7 Receptor FM

Un receptor es el dispositivo electrónico que permite recuperar señales vocales o de cualquier otro tipo, transmitidas por un emisor de radio mediante ondas electromagnéticas. Un receptor de radio consiste en un circuito eléctrico, diseñado de tal forma que permite filtrar o separar una corriente pequeñísima, que se genera en la antena, por efecto de las ondas electromagnéticas que llegan por el aire normalmente y luego amplificarla selectivamente. En la figura 2.16 se indica las etapas del receptor FM. [1][3]

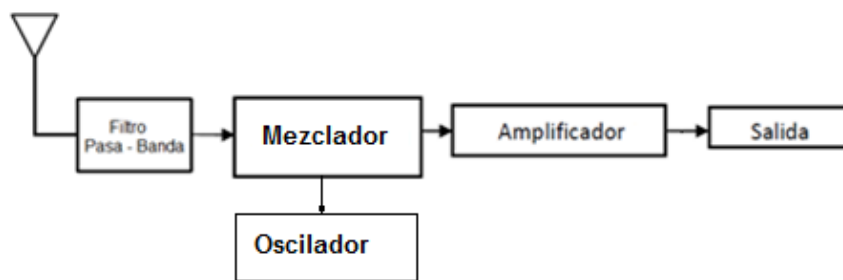


Figura 2. 16: Diagrama de bloques del receptor FM

Fuente: ARIZAGA, Adriana - Diseño y construcción de un transmisor y receptor FM estéreo para reducción de cableado en equipos de audio profesional

2.2.7.1 Demodulador FM

Los demoduladores de FM son circuitos dependientes de la frecuencia, diseñados para producir un voltaje de salida que sea proporcional a la frecuencia instantánea en su entrada. La función general de transferencia para un demodulador de FM es no lineal.

Hay varios circuitos que se usan para demodular las señales de FM. Los más conocidos son el detector de pendiente, el discriminador de Foster-Seeley, el detector de relación, el demodulador PLL y el detector de cuadratura. El detector de pendiente, el discriminador de Foster-Seeley y el detector de relación son formas de discriminadores de frecuencia con circuito sintonizado. [5]

2.2.7.2 Amplificador

Son circuitos orientados a dar ganancia a la salida del demodulador, ya que la señal recibida es demasiado baja para ser ingresada directamente a un altavoz, esta se acondiciona mediante un circuito amplificador. Estos pueden ser realizados mediante

amplificadores operacionales o con circuitos integrados específicos para esta función.

2.2.8 Construcción de receptores FM

2.2.8.1 Receptor FM con transistores

Existen varios circuitos basados en transistores para receptores FM, en la figura 2.17 se presenta uno de los más comunes el cual funciona con dos transistores, el primero es un oscilador que funciona conjuntamente con el circuito tanque formado por la bobina y el condensador variable los que permiten sintonizar la frecuencia deseada. El segundo funciona como amplificador y acondicionador de la señal demodulada.

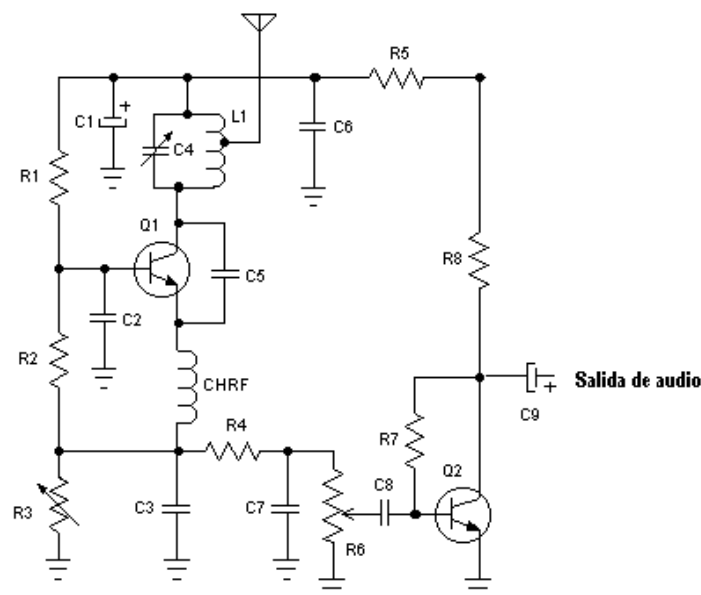


Figura 2. 17: Receptor FM con Transistores

Fuente: <http://www.forosdeelectronica.com/f22/construccion-receptor-fm-miniatura-regenerativo-16195/>

La calidad de sonido en este circuito es regular ya que por su constitución y simpleza es muy susceptible al ruido, así como también su rango de frecuencias depende de la construcción y características de las bobinas que el mismo necesita. [17]

2.2.8.2 Receptor FM con CD2003GP

Este es un receptor AM/FM, el cual también tiene la característica de detectar cuando una señal es estéreo o no y con la ayuda de otro circuito integrado demodular la señal

estéreo y obtener dos canales de audio (L y R). En la figura 2.18 se muestra el diagrama de bloques del CD2003GP

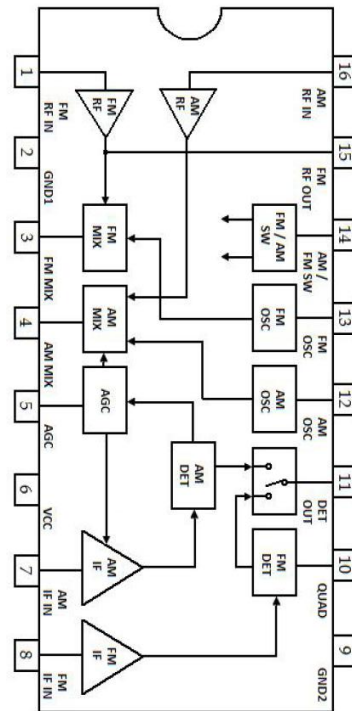


Figura 2. 18: Diagrama de bloques del CD2003GP

Fuente: ARIZAGA, Adriana - Diseño y construcción de un transmisor y receptor FM estéreo para reducción de cableado en equipos de audio profesional

Existen otros circuitos integrados que poseen características similares a este, cuyos elementos externos son pocos, pero uno de los grandes limitantes del mismo es la adquisición de algunos componentes que este requiere, como son el filtro pasabanda de 88 a 108MHz y el cristal de 10.7MHz que son muy difíciles de conseguir. [1]

2.2.8.3 Receptor FM con TDA7000

Este es un circuito integrado receptor de FM monofónico de gran versatilidad y gran calidad de sonido. Es uno de los más populares en el mercado por su gran desenvolvimiento y facilidad de manejo, sus componentes exteriores son reducidos y fáciles de conseguir. En la figura 2.19 se muestra el diagrama de bloques del circuito integrado.

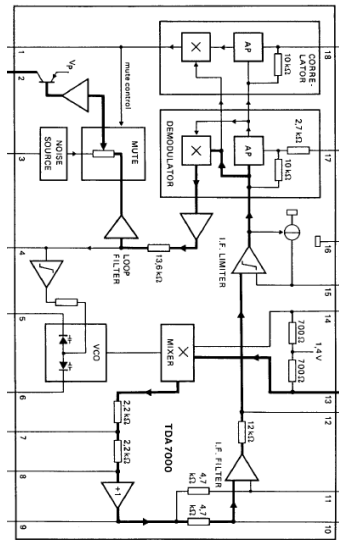


Figura 2. 19: Diagrama de bloques del TDA7000

Fuente: Datasheet TDA7000

Este trabaja en la banda de comercial FM pero con ligeros ajustes en su bobina de sintonía se puede llegar a sintonizar frecuencias de otros rangos como son audio de canales de TV o de teléfonos inalámbricos. Pese a tener la desventaja de no manejar una señal estereofónica su funcionamiento hace que sea uno de los más populares. [2]

2.2.9 Herramienta Didáctica

Son los medios con los que cuenta un facilitador o docente y pueden ser aplicados durante el desarrollo de talleres o módulos de capacitación para lograr impartir con éxito conocimientos e información. También se considera herramientas didácticas a aquellos materiales y equipos que ayudan a presentar y desarrollar los contenidos (libros, carteles, mapas, fotos, láminas, videos, software, etc.). [20]

Estas pueden ser de diferente naturaleza, entre las diferentes herramientas didácticas tenemos:

- **Permanente de trabajo:** Proyectors, cuadernos, computadores personales.
- **Informativo:** Libros, diccionarios, enciclopedias, revistas, periódicos, etc.
- **Ilustrativo audiovisual:** Posters, videos, discos, etc.
- **Experimental:** Aparatos y materiales variados, que se presten para la realización de pruebas o experimentos que deriven en aprendizajes.

- **Tecnológico:** Todos los medios electrónicos que son utilizados para la creación de materiales didácticos. [20]

En el área técnica el enfoque está dirigido a las herramientas experimentales; ya que en este campo una herramienta didáctica cumple la función de ilustrar magnitudes y sus reacciones ante fenómenos físicos y alteraciones que se presentan en un proceso definido. [18][19]

Entre los instrumentos experimentales existentes con respecto a la modulación, se encuentra el “Modulation Board Type 4280” y “Demodulation Board Type 4281” que son equipos dedicados a la realización de prácticas referentes a modulaciones analógicas y digitales; entre las cuales se encuentran: AM, SBB, FM, PM, PCM, PFM, PPM, DM, ASK, FSK, PSK. Así mismo poseen generadores de señal, filtros de distinto tipo, entre otras herramientas.

El funcionamiento de estos es a través de secciones; en las cuales mediante configuraciones en las conexiones correspondientes a los bloques específicos para cada modulación se puede modificar las magnitudes que intervienen en el desarrollo y así observar los fenómenos que se presentan tanto en modulación como en demodulación.

2.3 Propuesta de solución

La implementación de un transmisor y receptor FM va a permitir realizar prácticas reales a los estudiantes de la F.I.S.E.I. mejorando significativamente el aprendizaje teórico práctico.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Modalidad de la investigación

3.1.1 Proyecto de investigación aplicada(I)

En la investigación se utilizó la modalidad de proyecto de investigación aplicada, ya que se buscó dar una solución al déficit de instrumentos didácticos de laboratorio que permitan complementar la teoría impartida en clase; puntualmente en modulación FM, ya que dichos elementos son escasos en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

3.2 Recolección de la información

Para el proyecto de investigación las técnicas que se aplicaron para la recolección de información fueron la entrevista y la guía de observación.

3.2.1 Entrevista

Por medio de esta técnica fue posible despejar varias incógnitas ya que se obtuvo información de autoridades, docentes y demás personas quienes están directamente relacionados con la problemática en cuestión, permitiendo el correcto desarrollo de la investigación.

3.2.2 Guía de observación

La guía de observación fue de gran ayuda ya que permitió obtener información de cómo se desarrolla el ambiente en el módulo de comunicación analógica, para el presente proyecto la atención estuvo centrada en los laboratorios de electrónica de la F.I.S.E.I.

3.3 Procesamiento y análisis de datos

3.3.1 Procesamiento

Una vez obtenida la información pertinente esta pasó a formar parte de un proceso estadístico que consiste en:

- Revisión
- Tabulación
- Procesamiento

Este proceso facilito la comprensión de la de información obtenida ya que permitió graficarla en forma de porcentajes.

3.3.2 Análisis

Partiendo de aquí se realizó un análisis del resultado que arrojaron los datos del procesamiento de la información conjuntamente con los objetivos y la propuesta de donde se pudo exponer un juicio crítico de la investigación y posteriormente enunciar las respectivas conclusiones y recomendaciones.

3.4 Desarrollo del proyecto

Para la ejecución del presente proyecto se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Recopilación de información y estudio de los instrumentos de modulación existentes en los laboratorios de la F.I.S.E.I.
- Análisis de requerimientos.
- Análisis de la estructura y etapas que forman un transmisor y receptor FM.
- Selección de los elementos necesarios para poder implementar cada una de las etapas correspondientes al transmisor y receptor.
- Diseño del circuito correspondiente a cada una de las etapas teniendo en cuenta las características necesarias tanto del transmisor como el receptor.
- Ensamblaje de los circuitos por separado; pruebas de funcionamiento para verificar que su desempeño por etapas sea el correcto.
- Montaje de todo el circuito, tanto de transmisor y receptor para ver su comportamiento en conjunto, realizar modificaciones en elementos que lo requieran.
- Elaboración de prácticas a desarrollarse en el transmisor y receptor.
- Elaboración del informe final.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1 Estado actual de los laboratorios de la F.I.S.E.I.

Para conocer el estado actual de los laboratorios de electrónica de la F.I.S.E.I. de la Universidad técnica de Ambato fue necesario realizar entrevistas a las autoridades de la facultad, profesores, laboratorista y alumnos de donde se pudo obtener una visión global y a la vez objetiva con respecto al módulo de Comunicaciones Analógicas.

Según el punto de vista general de los estudiantes los laboratorios se encuentran parcialmente equipados por lo que el número de prácticas realizadas durante el semestre no es el indicado para complementar cada uno de los módulos. Puntualizando más la óptica hacia el módulo de comunicaciones analógicas y refiriéndonos al tema de modulación FM la opinión es similar y compartida con el docente, no se puede realizar las prácticas necesarias debido al déficit de equipos y herramientas que permitan complementar de mejor forma la materia.

Por parte de las autoridades se conoció que los motivos para el desabastecimiento de equipos en los laboratorios de la F.I.S.E.I. son el número de estudiantes y principalmente el presupuesto asignado, ya que no es suficiente porque el mismo debe ser repartido en las tres carreras. De igual forma se dio a conocer las medidas que se han tomado para poder equipar de mejor forma los laboratorios como son, convenios con empresas privadas, autogestión entre otras. Con respecto al desarrollo e implementación de herramientas y equipos por parte de los alumnos consideran de mucha importancia pero de igual forma el aspecto económico es uno de los mayores inconvenientes.

4.1.1 Equipos existentes

Los equipos que están a disposición de los estudiantes en los laboratorios de la F.I.S.E.I. para realizar prácticas en el módulo de comunicación analógica son:

Tabla 4. 1: Equipos existentes en los laboratorios de la F.I.S.E.I.

DESCRIPCION	NUMERO
Tableros Lógicos "IDL-800"	4
Tablero de Modulación "Type 4280"	1
Tablero de Demodulación "Type 4281"	1

Fuente: El investigador

El tablero lógico "IDL-800 Digital Lab" del marca "K and H" que se muestra en la figura 4.1, este consta de varias herramientas que se detallan a continuación:

- Generador de funciones: 6 Rangos, Formas de onda Senoidal (0 - 5Vpp), Triangular (0 -5Vpp), Cuadrada (0 – 15Vpp).
- Voltímetro Digital: 4 rangos, display Led
- Fuente Simétrica: DC +/-15V 300mA
- Switches y Pulsadores Lógicos
- Indicadores Led
- 2 Displays de 7 segmentos
- Protoboard



Figura 4. 1: Tablero Lógico "IDL-800".

Fuente: El investigador.

Estos equipos son mayormente utilizados para aplicaciones de electrónica digital por las prestaciones de sus herramientas, para Comunicaciones Analógicas se puede decir que sus características son demasiado básicas, lo que no representa un aporte considerable en dicho modulo.

Los tableros tanto de modulación “Modulation Board (Type 4280)”, figura 4.2, como de demodulación “Demodulation Board (Type 4281)”, figura 4.3, de marca “HPS System Technik” constan de distintas funciones, las cuales pueden obtenerse realizando distintas configuraciones de conexión en los mismos, estos dispositivos utilizan una señal monofónica para realizar los distintos tipos de modulación, que se detallan a continuación: AM, SBB(Modulación de banda latera única), FM, PM, PAM(Modulación de amplitud de pulso), PCM(Modulación por código de pulso), PFM(Modulación por frecuencia de pulso), PPM(Modulación por fase de pulso), DM(Modulación delta), ASK, PSK, FSK. Las prestaciones de estos equipos son mayormente utilizadas para técnicas de modulación digital.

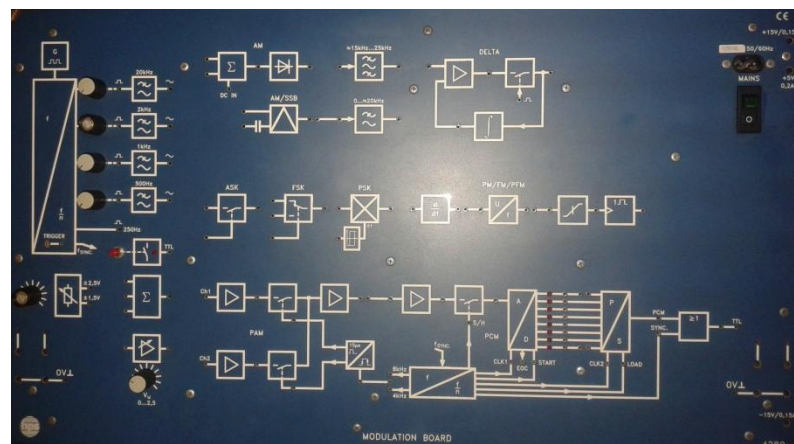


Figura 4. 2: Tablero de Modulación “Type 4280”.

Fuente: El investigador

Algunas de las características técnicas de los módulos son:

- Salidas de voltaje DC: +/-15V 0.15A, 5V 0.2A
- Fuente de señal: Senoidal (5V F=0.5/1/2/20KHz), Cuadrada (5V F=0.25/0.50/1/2/20KHz).
- Señal de disparo: 250Hz.
- Salida TTL

- Convertidor AD; 8Bits con indicador led.
- Filtro Pasabanda: 15 – 15KHz
- Filtro Pasa bajo: 0 – 20KHz

Los módulos son por separado tanto el de modulación como el de demodulación además de contar con un analizador de espectro “Analyser Board (Type 3880)” específicamente diseñado para estos dispositivos.

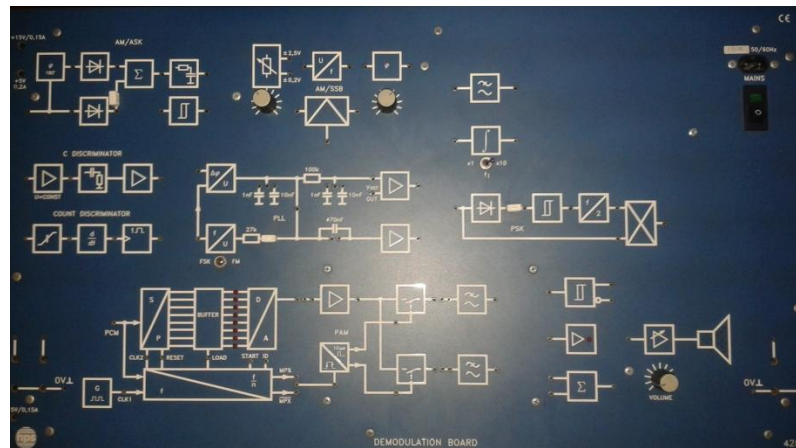


Figura 4. 3: Tablero de Demodulación “Type 4281”.

Fuente: El investigador

4.2 Requerimientos

Analizando objetivamente el estado de los laboratorios y con la ayuda de la información obtenida de los estudiantes, autoridades y especialmente del docente del módulo de comunicación analógica se evidencio la necesidad de un dispositivo que permita realizar prácticas a los estudiantes sobre modulación y demodulación FM.

Con estos antecedentes se propone realizar un transmisor y receptor FM para ejecutar prácticas, permitiendo así que se pueda observar en una aplicación real las distintas etapas que conforman una transmisión y recepción, logrando así complementar la teoría impartida por el docente.

En el dispositivo transmisor FM se debe ingresar señales de audio fijas provenientes de un generador de funciones así como también ingresar señales de audio generadas en un reproductor de música. Este debe tener puntos de prueba estratégicamente ubicados en los cuales con la ayuda del osciloscopio se puedan apreciar magnitudes y

formas de onda de los procesos realizados, la frecuencia portadora debe ser variable para que se transmita a distintas frecuencias.

Para complementar el proyecto es necesaria la implementación de un receptor FM, que así mismo posea puntos de prueba para exponer las variaciones de magnitudes y formas de onda en sus diferentes etapas. Este también receptorá las frecuencias de las estaciones de radio existentes.

Todo esto integrado con los equipos y materiales disponibles en la F.I.S.E.I. para la realización de prácticas, es decir un laboratorio con el espacio adecuado, mesas de trabajo, generadores de funciones, osciloscopios y teniendo en cuenta que el número de estudiantes por grupo de trabajo sea el adecuado para lograr así la interacción apropiada con los dispositivos a fin de que en la práctica se consolide el aprendizaje.

4.3 Elección de Elementos

4.3.1 Elementos para el Transmisor

Los distintos circuitos analizados en la fundamentación teórica fueron cotejados mediante una tabla comparativa con el fin de determinar cuál de los circuitos posee un mejor desempeño y presenta las características adecuadas para el desarrollo del proyecto.

Tabla 4. 2: Tabla comparativa de Transmisores FM

Descripción	Consumo de energía	Estabilidad de frecuencia	Distancia de trasmisión	Estéreo
Mini Transmisor FM	Bajo	Bajo	Bajo	No
Transmisor FM de potencia media.	Alto	Alto	Alto	No
MC2833	Bajo	Medio	Bajo	No
BA1404	Bajo	Alto	Medio	Si

Fuente: El Investigador

Bajo criterios de elección basados en funcionalidad e implementación se determina que el transmisor basado en el circuito integrado BA1404 es el que presenta las mejores características técnicas en lo que se refiere a transmisores de gama media baja.

Así mismo fue necesario realizar un análisis de amplificadores operacionales para determinar cuál de los existentes en el mercado satisfacen las características necesarias para el diseño del filtro pasabanda correspondiente a la etapa de acondicionamiento de la señal modulante. A continuación se muestra la tabla comparativa.

Tabla 4. 3: Tabla comparativa de amplificadores operacionales

Descripción	Voltaje de Polarización	Corriente de suministro	Resistencia de entrada	Ancho de banda	Ganancia de voltaje de la señal
LM358	+/-16V	3mA	-	-	100V/mV
MC1458	+/-22V	5mA	1MΩ	14KHz	100V/mV
MC4558	+/-22V	4.5mA	2MΩ	5.5MHz	200V/mV

Fuente: El Investigador

Mediante un juicio crítico se determinó que el amplificador operacional MC4558 es el más indicado para la implementación del filtro debido a que posee un mayor ancho de banda, así mismo presenta una ganancia mayor para la señal; lo que fue de gran utilidad en el proyecto al momento de acondicionar señales que no posean las características suficientes para ser manejadas.

4.3.2 Elementos para el Receptor

De igual forma se realizó una tabla comparativa entre las particularidades de los circuitos receptores citados en la fundamentación teórica para ver cuál de ellos es el que mejores características tiene y así aplicarlo al proyecto.

Tabla 4. 4: Tabla comparativa de Receptores FM

Descripción	Consumo de energía	Estabilidad de frecuencia	Selectividad	Estéreo
Receptor FM con transistores	Bajo	Bajo	Baja	No
CD2003GP	Bajo	Alto	Alta	Si
TDA7000	Bajo	Alto	Alta	No

Fuente: El Investigador

Una vez revisado los resultados de la tabla comparativa y en base a criterios de implementación y funcionalidad se determinó que el receptor adecuado para el

proyecto es el basado en el circuito integrado TDA7000 por sus características técnicas como receptor FM a pesar de su desventaja de no ser estéreo. El CD2003GP a pesar de poseer mejores características que el circuito escogido no pudo ser implementado por la dificultad que representa adquirir los elementos externos para su funcionamiento.

Para complementar el proyecto se adiciona un demodulador estéreo a modo demostrativo, a continuación se muestra la tabla comparativa de los circuitos existentes.

Tabla 4. 5: Tabla comparativa de demoduladores estéreo

Descripción	Corriente de suministro	Separación de canales estéreo	Ganancia de voltaje mono	Distorsión armónica
NTE1560	13mA	45dB	-	0.1%
LM1310	18mA	45dB	-	0.15%
LM1800	30mA	45dB	200mVrms	0.1%

Fuente: El Investigador

Una vez analizado los resultados, se decidió utilizar el LM1800 ya que presenta una mejor ganancia en monoaural, característica que es importante en este proyecto ya que la función de este es realizar una división simple de canales a la señal monofónica proveniente del demodulador FM.

Para la amplificación de audio en los canales de salida del receptor se decidió utilizar el LM386, ya que este es un circuito integrado dedicado a la amplificación de audio con una baja tensión; se podría utilizar amplificadores operacionales con este fin pero sería necesaria la implementación de más elementos externos y el resultado no sería del todo satisfactorio.

4.4 Transmisor FM

El principal propósito de este es transmitir tanto señales de audio como frecuencias fijas y con la ayuda de puntos de prueba definidos observar el comportamiento en distintas etapas de la transmisión.

Resaltando el hecho que el dispositivo transmisor va a ser una herramienta de laboratorio, es decir debe ser de constitución robusta, se examinó los posibles circuitos o elementos a utilizar, posterior a este análisis se determinó utilizar circuito integrado BA1404, que es un transmisor FM de gran desempeño y que tiene un agregado extra que es su modulador estéreo que para fines demostrativos permite complementar el proyecto de mejor manera, además en el integrado se puede observar ciertos procesos que en el transcurso de la transmisión se presentan.

4.4.1 Etapas del transmisor

4.4.1.1 Filtro pasa banda

Fue necesaria la implementación de un filtro pasa banda para acondicionar la señal que ingresa ya que para una transmisión FM es necesario una señal entre 20Hz y 15KHz, estas frecuencias se las referencia del hecho que el oído humano percibe frecuencias en el rango de 20Hz a 20KHz, pero para transmisiones en FM el máximo de una señal moduladora es de 15KHz. Además es necesario proporcionar adaptabilidad a las señales que provengan de dispositivos que no posean la ganancia suficiente especialmente en frecuencias altas (10KHz – 15KHz), esta etapa también es conocida como preénfasis. [1][5]

Para el diseño del filtro pasa banda se utilizó el amplificador operacional MC4558, este tiene una mayor ganancia para la señal de salida, un mayor ancho de banda, entre otras características técnicas que se detallan en la tabla 4.6:

Tabla 4. 6: Características técnicas del MC4558

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación	+/-2 ; +/-20V
Corriente de suministro	- ; 2.3 ; 4.5mA
Disipación de potencia	680mW
Ancho de banda	5.5MHz
Ganancia de voltaje de la señal	200V/mV

Fuente: Datasheet MC4558.

En el anexo C1, se encuentra el datasheet completo del circuito integrado MC4558. El diagrama correspondiente al filtro pasabanda implementado en el transmisor se especifica en la figura 4.4, así como los cálculos realizados para su diseño:

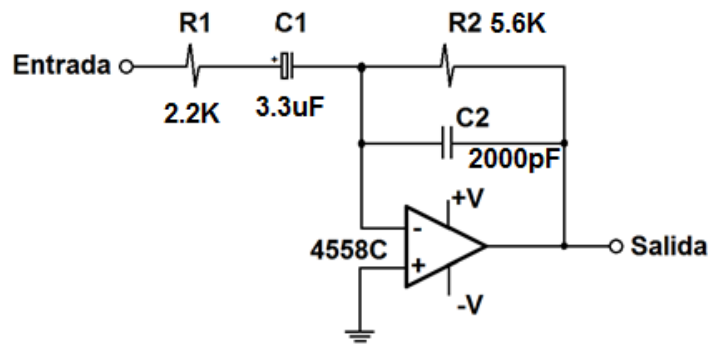


Figura 4. 4: Filtro Pasabanda.

Fuente: ARIZAGA, Adriana - *Diseño y construcción de un transmisor y receptor FM estéreo para reducción de cableado en equipos de audio profesional*

Se conoce las frecuencias de corte:

$$f_{c1} = 20\text{Hz}$$

$$f_{c2} = 15\text{KHz}$$

Relación de la ganancia:

$$A = \frac{R2}{R1}$$

Relación de frecuencia con los demás elementos:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Se propone una ganancia de 2.5 con el fin de acondicionar las señales débiles que provengan de ciertos dispositivos, de igual forma esta ganancia permite elevar la amplitud de frecuencias altas que en ciertos casos presenta un valor muy bajo. [1][2]

Se propone un condensador $C2 = 2000\text{pF}$, se despeja $R2$ de la relación de frecuencia de corte f_{c2} :

$$R2 = \frac{1}{2\pi C2 f_{c2}}$$

$$R2 = \frac{1}{2\pi(2000\text{pF})(15\text{KHz})}$$

$$R2 = 5.305 \times 10^3 = 5.6\text{K}\Omega$$

De la relación de la ganancia obtenemos R1

$$R1 = \frac{R2}{A}$$

$$R1 = \frac{5.6K\Omega}{2.5}$$

$$R1 = 2.24 \times 10^3 = 2.2K\Omega$$

De la relación de frecuencia de corte fc1 se despeja C1:

$$C1 = \frac{1}{2\pi R1 f1}$$

$$C1 = \frac{1}{2\pi(2.2K\Omega)(20Hz)}$$

$$C1 = 3.617 \times 10^{-6} F = 3.3\mu F$$

4.4.1.2 Circuito integrado BA1404

El circuito integrado BA1404 es un transmisor FM estéreo muy versátil ya que con un número reducido de elementos externos y un bajo consumo de corriente es capaz de lograr una transmisión de gran calidad, puede utilizarse ya sea solo como modulador estéreo o modulador FM. En la figura 4.5 se muestra el circuito integrado BA1404. [2]

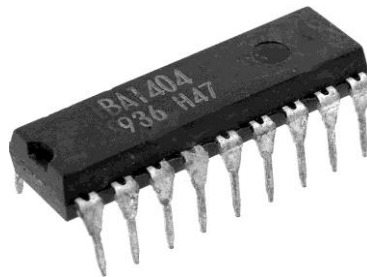


Figura 4. 5: C.I. BA1404.

Fuente: El investigador

Para los fines del presente proyecto fue necesaria la implementación de ambos moduladores, a continuación se presenta la tabla de características técnicas del BA1404; en el anexo C2 consta el datasheet completo del circuito integrado.

Tabla 4. 7: Características técnicas BA1404

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación	1; 1.25; 2.5V
Corriente de alimentación	0.5 ; 3; 5mA
Banda de frecuencia	75 – 108MHz
Disipación de potencia	1200mW
Voltaje de salida RF	600mVrms

Fuente: Datasheet BA1404

4.4.1.3 Modulación Estéreo

Es el proceso del cual se obtiene la señal MPX y consiste en sumar ambos canales de audio L y R obteniendo una señal principal (L+R) y una sub señal (L-R) esta última desplazada en frecuencia.

Esto se logra modulando en AM (L-R) sobre una subportadora de 38KHz, este proceso se lleva a cabo en el multiplexor estéreo interno del BA1404, dando como resultado una señal con dos bandas laterales que tienen la misma información como se muestra en la figura 4.6.

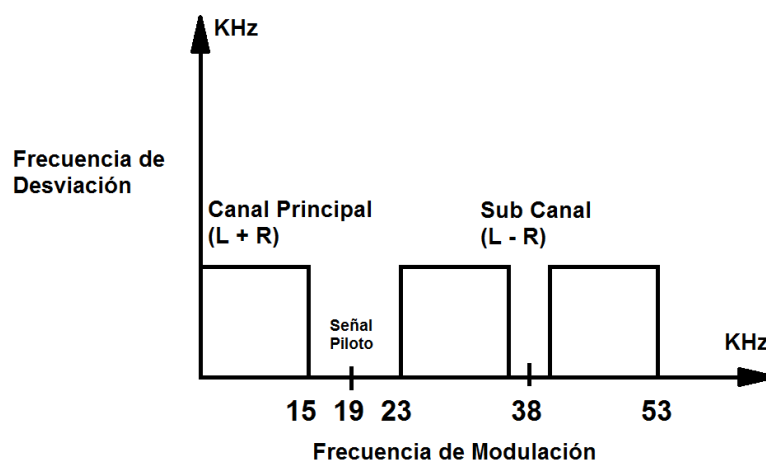


Figura 4. 6: Espectro de la señal MPX.

Fuente: Datasheet BA1404.

La portadora de 38KHz se elimina mediante filtros existentes dentro del BA1404 ya que no posee información significativa. En su lugar se adiciona una la señal piloto de 19KHz que sirve de referencia de fase para la recepción. Esta se obtiene mediante un proceso de división que realiza internamente el BA1404 a la señal de 38KHz generada por el cristal que se conecta en el integrado. [2]

4.4.1.4 Modulación FM

La modulación se la realiza en base a un oscilador Collpits; que es un oscilador LC de alta frecuencia, entre 1 y 500MHz, en donde con un amplificador y un circuito tanque se puede realimentar una señal con amplitud y fase adecuadas para mantener las oscilaciones.

Los principales inconvenientes en el diseño de osciladores de alta frecuencia se deben a las propias frecuencias altas, capacidades parasitas y las inductancias de los terminales de conexión son muy importantes al determinar la frecuencia de oscilación, la fracción de realimentación, la potencia de salida y otras características propias de la corriente alterna.[7]

Existen varias versiones del oscilador Collpits, el BA1404 cuenta con uno de estos en su parte interna el cual muestra una gran estabilidad, este se muestra en la figura 4.7.

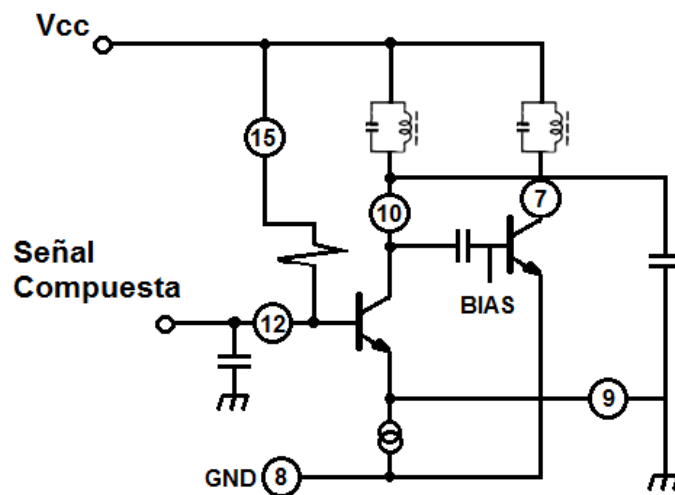


Figura 4. 7: Oscilador Collpits.

Fuente: Datasheet BA1404.

La señal modulada estéreo una vez combinada con a la señal piloto, es decir la señal moduladora, ingresa por el pin 12 del BA1404 a la base del transistor quien convierte los cambios de corriente en la base a cambios de corriente en el colector afectando la oscilación del circuito tanque LC en los pines 9 y 10, logrando de esta forma cambiar la frecuencia de la señal portadora en cada cambio en el tiempo del nivel de voltaje en la señal moduladora. Así se obtiene la señal en frecuencia modulada. Este circuito será el encargado de modular en frecuencia a una señal portadora, la que será generada por un circuito LC el mismo que determina la frecuencia a la que va a ser transmitida la información. El pin 7 es la salida a la antena del modulador y el pin 15 la entrada de Vcc.

Según las características del integrado se decidió usar una bobina variable, esta presenta un mejor desenvolvimiento en lo que a estabilidad de frecuencia se refiere al ser menos susceptible a cambios de temperatura y demás variantes que se pueden presentar en el entorno. [2]

4.4.1.5 Antena Telescópica

Las antenas son transductores entre los transmisores, receptores y el medio circundante. Funciona haciendo coincidir la baja impedancia producida por la radio con las frecuencias de radio más altas en la atmósfera.

Las antenas de los transmisores y de los receptores son estructuras diseñadas respectivamente para radiar o para recibir eficazmente la energía e información de las ondas de radio. Si el equipo es un transmisor, la antena es un transductor que convierte ondas de corriente eléctrica en ondas de radiación electromagnética que se propagan en el espacio. Por el contrario, si el equipo es un receptor, la antena es un transductor que convierte ondas de radiación electromagnética en ondas de voltaje. [10]



Figura 4. 8: Antena Telescópica

Fuente: http://www.noecom.com.ar/list_cate.asp?order=37

➤ **Construcción de antenas telescópicas**

En los segmentos de las antenas circulan corrientes de alta frecuencia, por lo tanto, para que no existan considerables pérdidas por disipación, es necesario que el material sea buen conductor eléctrico. Pero cuando se trata de alta frecuencia, ser buen conductor tiene otra ventaja: la onda casi no penetra en el metal, sino que se desvanece en un pequeño espesor. Esta es una de las importantes razones por las que en la fabricación de antenas relativamente grandes se utilizan tubos y que sean de aluminio o acero inoxidable, el uso de estos metales evita la corrosión temprana, un factor importante debido a que cada sección de la antena debe ajustarse dentro de la siguiente. [10]

Para el presente transmisor se utiliza una antena telescópica que cumple con la condición de que su longitud debe ser al menos la cuarta parte del tamaño de la longitud de onda de la señal transmitida, para calcular la longitud de la antena se propone una frecuencia de 108MHz.

$$L = \frac{\lambda}{4}$$

$$L = \frac{c}{4f}$$

$$L = \frac{300000000 \frac{m}{s}}{4 \times 108000000 Hz}$$

$$L = 0.6944 m$$

4.4.1.6 Diagramas del circuito transmisor FM

En la figura 4.9 se muestra el diagrama esquemático del circuito transmisor completo detallando el sitio donde se encuentran ubicados cada uno de los puntos de prueba donde se pueden apreciar las formas de onda de los procesos que realiza, cuando se acondiciona la señal y en la transmisión.

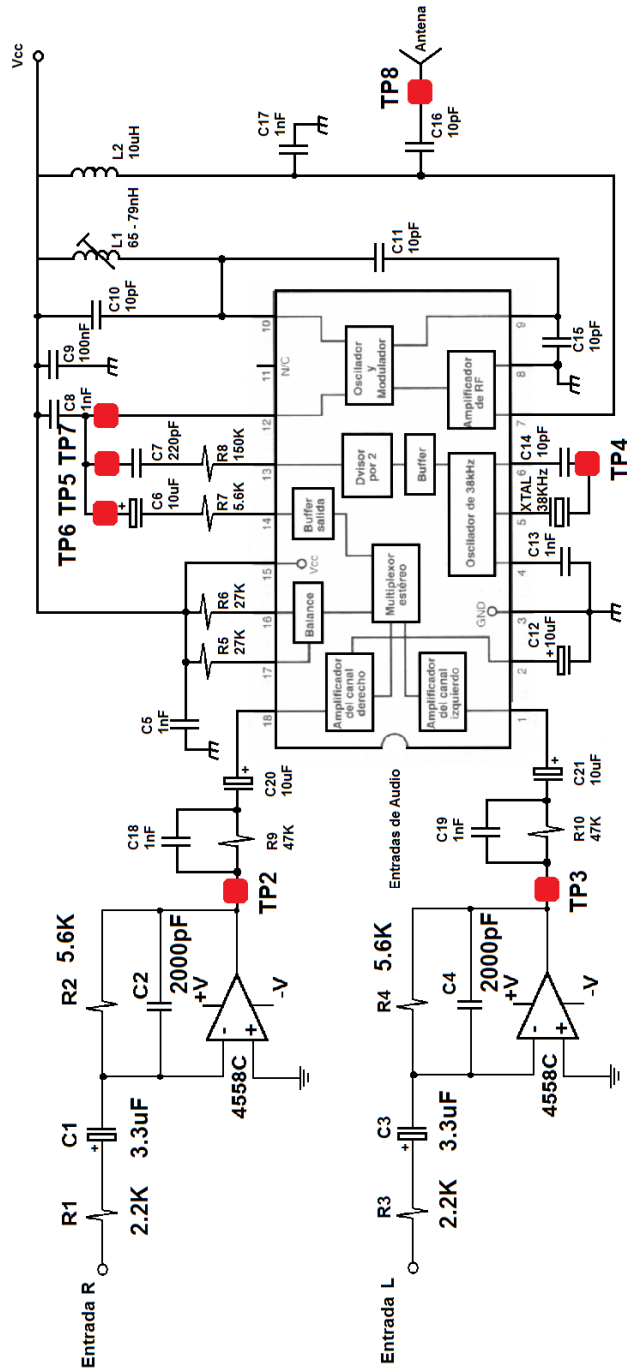


Figura 4. 9: Diagrama esquemático del Transmisor FM.

Fuente: El investigador

En esta sección se muestran los diagramas pictórico e impreso del transmisor FM así mismo el transmisor ya ensamblado en las figuras 4.10, 4.11 y 4.12 respectivamente.

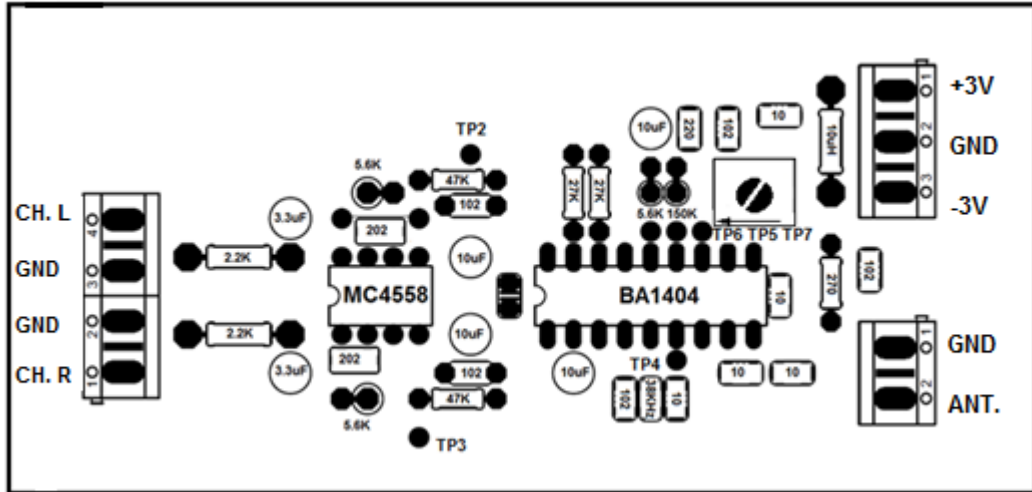


Figura 4. 10: Diagrama pictórico de transmisor FM

Fuente: El Investigador

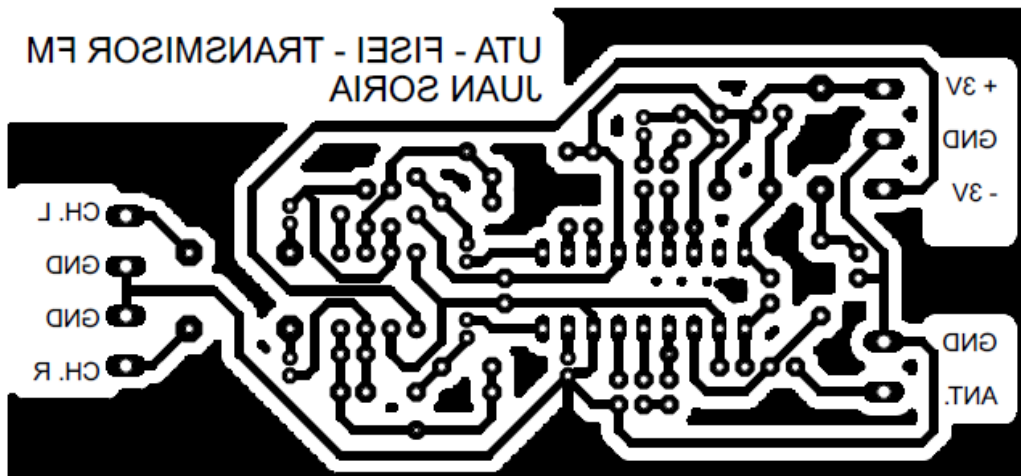


Figura 4. 11: Diagrama impreso del transmisor FM

Fuente: El investigador



Figura 4. 12: Transmisor FM

Fuente: El investigador

A continuación se describe la ubicación de los puntos de prueba y la información que se obtiene de cada uno de ellos.

TP1

Este es utilizado para la conexión a tierra existente en la punta del osciloscopio.

TP2 y TP3

Estos puntos se encuentran ubicados luego de la sección de preénfasis, es decir del filtro Pasabanda de cada canal. Aquí se puede observar la señal resultante del proceso de acondicionamiento, el resultado de este proceso debe ser comparado con la señal ingresada para determinar qué diferencias existen entre las magnitudes de ambas señales.

TP4

Se coloca un punto de prueba en el pin 6 del integrado que es la salida del cristal de 38KHz utilizado en la modulación estéreo, dicha señal es de onda cuadrada.

TP5

De igual forma se puede observar mediante un punto de prueba ubicado en el pin 13 la señal piloto, que es una onda cuadrada de 19KHz, esta se obtiene luego de pasar la señal de 38KHz por un divisor existente en la parte interior del BA1404.

TP6

En el pin 14 se colocó un punto de prueba con el fin de observar la señal resultante del proceso de modulación estéreo, la forma de esta varía de acuerdo a los valores de las señales ingresadas en el transmisor.

TP7

Para poder observar el resultado de combinar la señal piloto más la señal de salida del modulador estéreo se colocó un punto de prueba en el pin 12, en donde se puede apreciar la forma de la misma, su forma es dependiente de los valores de las señales ingresadas. Esta es la señal moduladora para la transmisión FM

TP8

Finalmente para poder observar la señal modulada en frecuencia se coloca un punto de prueba en la salida del integrado, es decir el pin 7 que es la salida hacia la antena del amplificador de RF interno del BA1404, donde se puede ver la señal resultante. Es necesario recalcar que en este punto es necesario calibrar de forma manual el osciloscopio para observar la señal modulada en frecuencia.

4.4.1.7 Fuente de alimentación

En esta sección se diseñó una fuente de alimentación que cubra con las necesidades de voltaje y corriente del transmisor FM desarrollado. El voltaje necesario para el circuito transmisor es de 3V, que es el voltaje máximo con el que trabaja el circuito integrado BA1404; este voltaje también alimenta sin ningún problema el circuito integrado MC4558 pero este elemento además necesita de una alimentación de -3V, estos valores son determinados en los datasheet respectivos además de otras aplicaciones documentadas de estos elementos. Para conocer la corriente que consume el circuito transmisor realizamos un análisis de las corrientes en base a los valores de los datasheet:

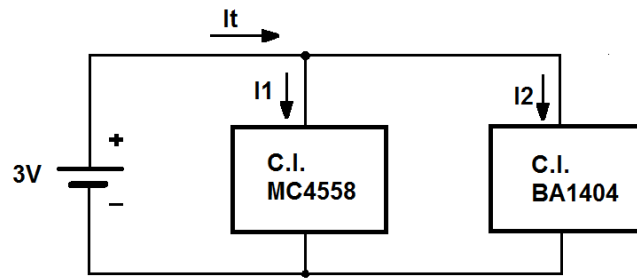


Figura 4. 13: Diagrama de corrientes Transmisor FM

Fuente: El Investigador

I1: Corriente consumida por MC4558

I2: Corriente consumida por BA1404

$$IT = I1 + I2$$

$$IT = 4.5mA + 5mA = 9.5mA; \text{ Parámetros máximos}$$

$$IT = 2.3mA + 3mA = 5.3mA; \text{ Parámetros normales}$$

$$VT = V1 = V2$$

Una vez determinada la corriente que consume el circuito transmisor, se indicó las características que debe tener la fuente:

- Voltaje simétrico: +/-3V
- Corriente: 9.5mA

Para obtener estabilidad en el voltaje suministrado por la fuente se utilizaron reguladores de voltaje.

- Calculo de la eficiencia del transformador:

Características del transformador:

Reductor: 110V – 1A; 9V – 450mA.

Teóricamente la eficiencia de un transformador es del 100%, pero ya en la práctica esto no es cierto, las condiciones del ambiente en el que se encuentra el transformador entre otros factores provocan que su eficiencia disminuya, basados en distintos estudios se ha determinado que la eficiencia real de un transformador es de aproximadamente 75%. Entonces: [21] [22]

Calculamos la potencia del transformador:

$$P = V * I$$

$$P = 9V * 450mA$$

$$P = 4.05Watts$$

Entonces la eficiencia es:

$$100\% \quad \underline{\quad} \quad 4.05\text{Watts}$$

$$75\% \quad \underline{\quad} \quad X = 3.03\text{Watts}$$

Calculamos la corriente:

$$P = V * I$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3.03\text{Watts}}{9V} = 0.33A = 330mA$$

- Calculo del rectificador de onda completa

$$Vp = 9V * \sqrt{2}$$

$$Vp = 12.72$$

Cada diodo provoca una pérdida de 0.7, como son dos la pérdida total es 1.4V.

Entonces tenemos que el voltaje luego del rectificador es:

$$V1 = 12.72 - 1.4 = 11.32$$

$$V2 = -12.72 - (-1.4) = -11.32$$

- Voltaje de rizo

$$Vr(rms) = \frac{2.4I_{dc}}{C}$$

I_{dc} : Corriente de consumo del circuito

C: Valor del capacitor propuesto

$$Vr(rms) = \frac{2.4(9.5)}{4700} = 4.85mV$$

- Voltaje dc del filtro

$$V_{dc} = V_m - \frac{4.17I_{dc}}{C}$$

V_m : Voltaje pico del rectificador

$$V_{dc} = 11.32 - \frac{4.17(9.5)}{4700} = 11.31V$$

- Rizo del filtro

$$r = \frac{2.4I_{dc}}{CV_{dc}} \times 100\%$$

$$r = \frac{2.4(9.5)}{(4700)(11.31)} \times 100\% = 0.42 \times 10^{-3} \%$$

- Regulador LM317 y LM337

En las tablas se presenta las principales características de los reguladores LM317 y LM337:

Tabla 4. 8: Características técnicas del LM317

Parámetro	Valor
Rango de voltaje	1.2 ; 37V
Voltaje de referencia	1.20 ; 1.25 ; 1.30V
Corriente del pin de ajuste	- ; 0.2 ; 5uA
Corriente mínima de carga	- ; 3.5 ; 10mA
Corriente de salida en exceso	1.5A

Fuente: Datasheet LM317

Tabla 4. 9: Características técnicas del LM337

Parámetro	Valor
Rango de voltaje	-1.2 ; -37V
Voltaje de referencia	-1.20 ; -1.25 ; -1.30V
Corriente del pin de ajuste	- ; 0.2 ; 5uA
Corriente mínima de carga	- ; 2.5 ; 10mA
Corriente de salida en exceso	1.5A

Fuente: Datasheet LM337

Para conocer los valores apropiados utilizamos la formula dada en los datasheets de los reguladores:

$$V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{adj}R2$$

R1: Resistencia de ajuste = 220Ω

Vout: Voltaje de salida = 3V

Los valores antes mencionados vienen dados por el fabricante, R1 originalmente tiene un valor de 240Ω pero el valor comercial más aproximado es 220Ω; entonces despejamos R2 para conocer su valor y así obtener el voltaje de salida deseado:

$$R2 = 308\Omega$$

Entonces se utiliza una resistencia de 220Ω ya que al utilizar una de 330Ω que son valores comerciales de resistencias el voltaje obtenido es mayor que 3V lo que podría averiar el circuito integrado BA1404. Los cálculos realizados son los mismos para la

parte negativa de la fuente. Los valores de los capacitores; basados en la teoría revisada se determinó que deben ser de una capacitancia grande para que se obtenga un buen resultado del filtrado, Así también se coloca capacitores cerámicos que permitan filtrar la componente alterna de mejor forma. Los componentes de los reguladores LM317 y LM337 así como los diodos para protección en cada uno de ellos son basados en los datasheet respectivos que se encuentran en los anexos C6 y C7 respectivamente. [7][23][24]

- Diagramas de la fuente

A continuación se muestran los diagramas esquemático, pictórico e impreso:

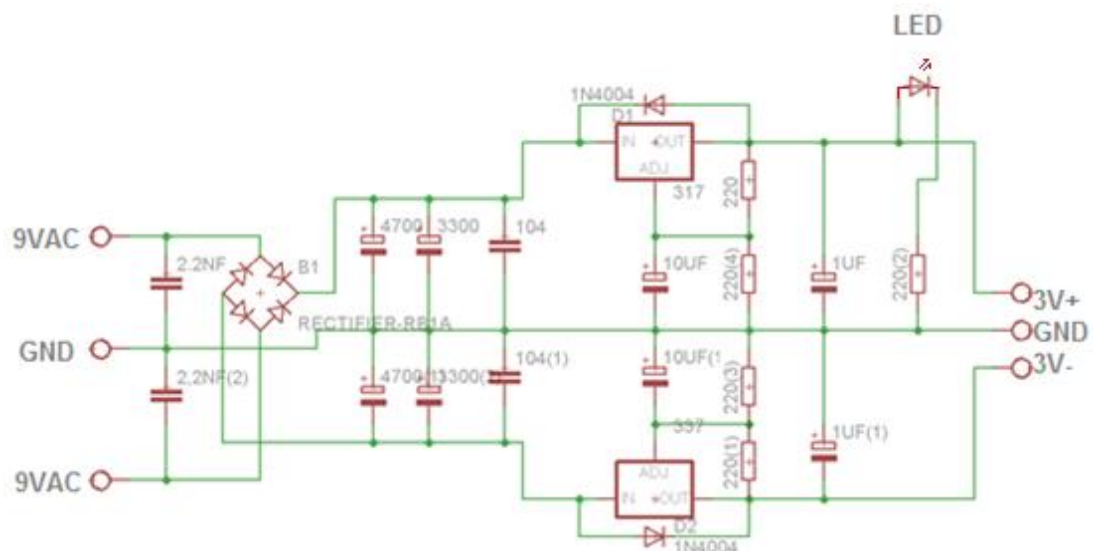


Figura 4. 14: Diagrama esquemático de la fuente de alimentación TX

Fuente: El investigador

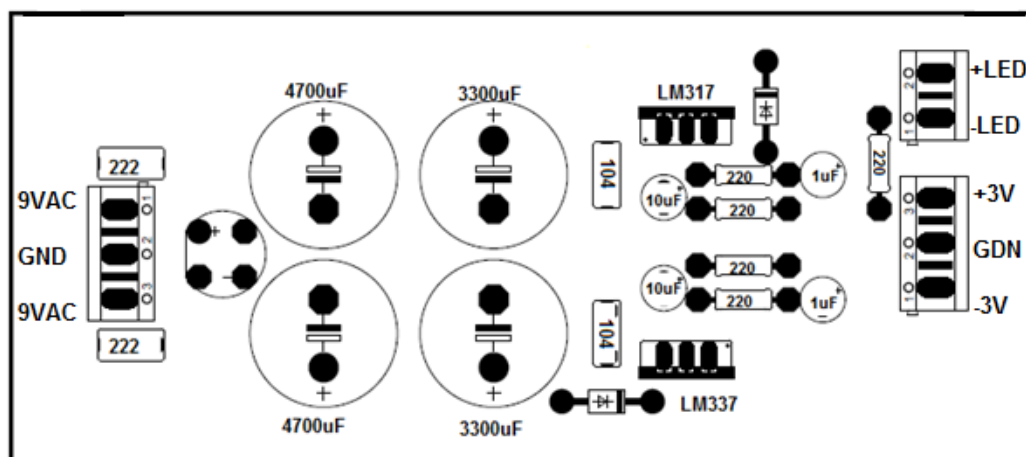


Figura 4. 15: Diagrama pictórico de la fuente de alimentación TX

Fuente: El investigador

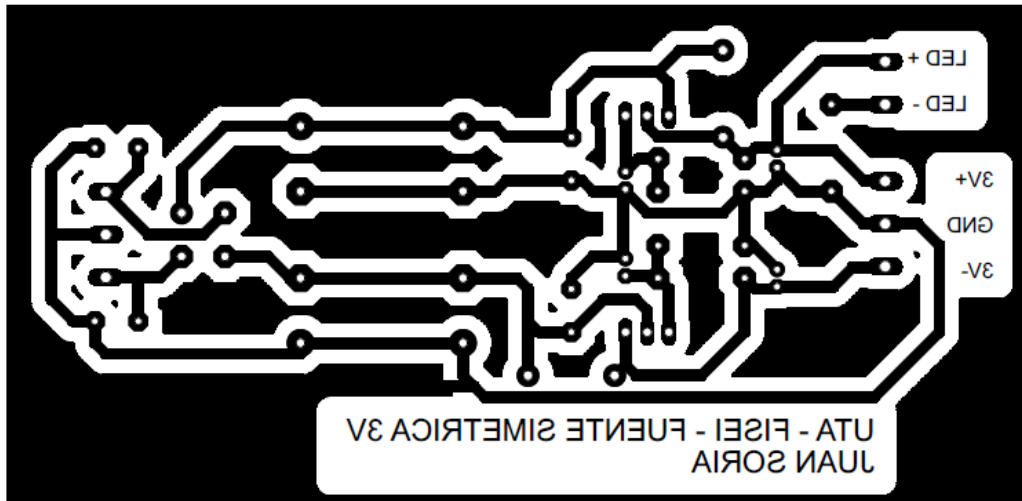


Figura 4. 16: Diagrama impreso de la fuente de alimentación TX

Fuente: El investigador

4.4.2 Pruebas de funcionamiento

Una vez ensamblado el circuito en su totalidad se realizaron pruebas para verificar que el funcionamiento del transmisor sea el correcto, el transmisor tiene una calidad de transmisión óptima en un radio de aproximadamente 6 metros, que es una distancia muy aceptable para los fines del proyecto. De igual forma se verifica que en los puntos de prueba se muestren las magnitudes y formas de onda respectivas a las etapas de transmisión. A continuación se detallan los resultados obtenidos en cada sección:

➤ Filtro Pasabanda

En esta etapa se aprecia las frecuencias de corte de dicho filtro así como la amplificación que se da en las señales de frecuencias altas. La figura 4.17 muestra la señal de entrada y la señal de salida procesada por el filtro, la misma se la obtiene en los puntos de prueba TP2 y TP3.

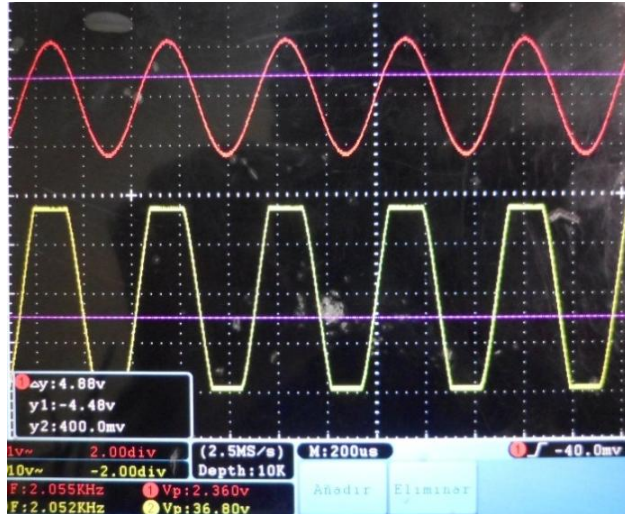


Figura 4. 17: Resultado del Filtro Pasabanda.

Fuente: El investigador

➤ **Modulador estéreo**

Esta sección está conformada por las formas de onda del cristal de 38KHz, la frecuencia piloto de 19KHz, la salida del modulador estéreo y finalmente la señal compuesta. A continuación se detallan las formas de onda resultantes de cada proceso.

La frecuencia de 38KHz se la obtiene del cristal externo en donde se encuentra el punto de prueba TP4, la figura 4.18 presenta su forma de onda.



Figura 4. 18: Señal de 38KHz.

Fuente: El investigador.

Una vez obtenida la señal de 38KHz, esta pasa por el divisor interno del BA1404 de donde se obtiene la señal piloto de 19KHz aquí se encuentra el punto de prueba TP5.

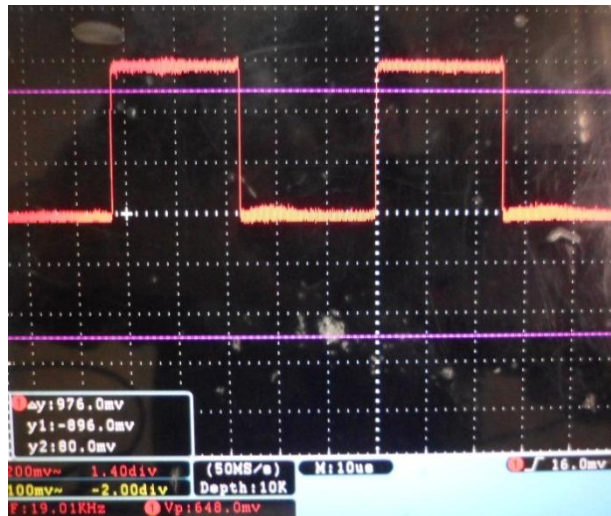


Figura 4. 19: Señal Piloto de 19KHz.

Fuente: El investigador

Luego de procesar internamente las señales de los canales derecho e izquierdo se obtiene a señal resultante de la modulación estéreo, la figura 4.20 muestra la forma de onda a la salida del modulador estéreo obtenida mediante el punto de prueba TP6.

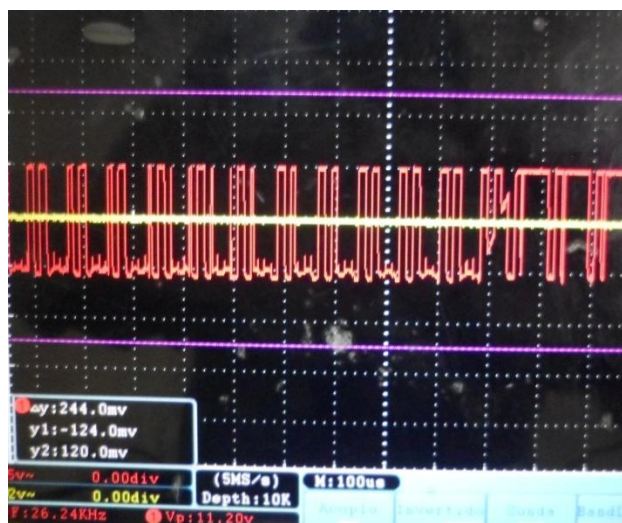


Figura 4. 20: Salida del Modulador Estéreo (Señal MPX).

Fuente: El investigador

Obtenidas tanto la señal modulada en estéreo y la señal piloto, estas se combinan y pasan a formar la señal moduladora del circuito, la figura 4.21 muestra dicho resultado obtenido por el punto de prueba TP7.

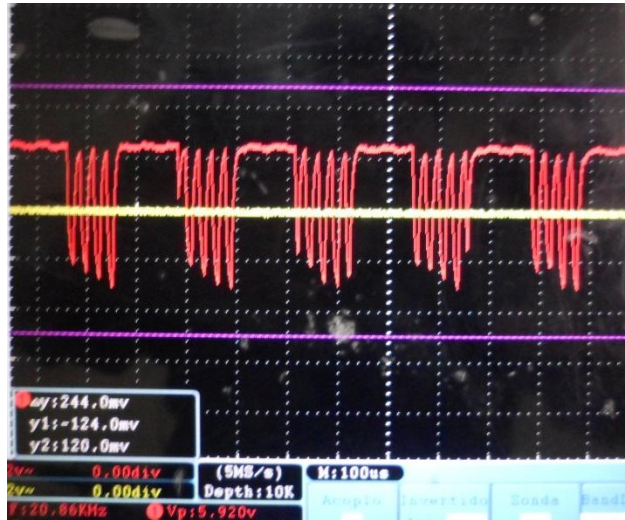


Figura 4. 21: Señal modulada en estéreo combinada con la señal piloto.

Fuente: El investigador

➤ **Modulador FM**

Finalmente se realiza pruebas en el modulador de frecuencia, en donde se determina que el rango de frecuencias de transmisión del dispositivo esta entre 87.5MHz y 108MHz, obteniéndose una calidad de transmisión optima y fácil de calibrar entre 87.5MHz y 100.7MHz en las frecuencias superiores es decir entre 100.7MHz y 108MHz, la calibración de la bobina variable se dificulta pero esto no impide que se pueda transmitir en esas frecuencias aunque con un bajo nivel. En la figura 4.22 se presenta la forma de onda obtenida a la salida del transmisor es decir el punto de prueba TP8.

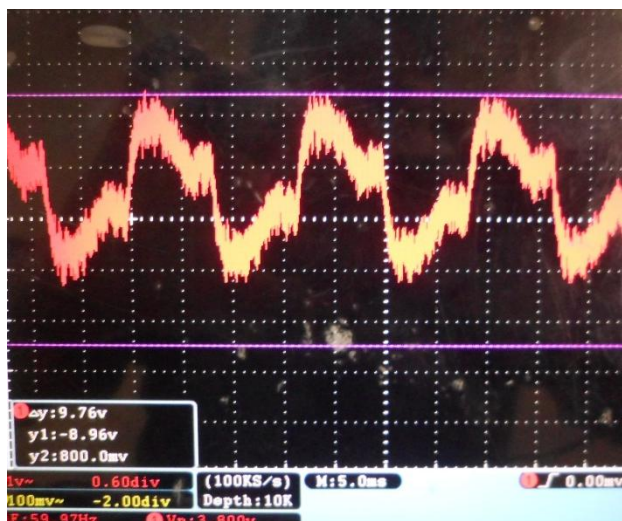


Figura 4. 22: Señal en la Salida del Transmisor

Fuente: El investigador

Para obtener una forma de onda más explícita de frecuencia modulada es necesario calibrar el osciloscopio de forma manual y de la forma más precisa posible así como también probar con distintas frecuencias de transmisión y las que se aplican a la entrada del transmisor. En la figura 4.23 se muestra la señal de entrada y la señal de salida es decir la señal en frecuencia modulada.



Figura 4. 23: Señal en Frecuencia Modulada

Fuente: El investigador

El dispositivo transmisor está diseñado para realizar prácticas de laboratorio ya que este cuenta con puntos de prueba que permiten realizar mediciones y capturar formas de onda con la ayuda de un osciloscopio. El alcance de transmisión depende si la superficie es plana y sin obstáculos. Cuenta con alimentación propia gracias a una fuente simétrica de +/- 3V diseñada específicamente para este dispositivo.

- **Entradas de Audio**

Al ser un transmisor estéreo cuenta con dos entradas de audio, el mismo es capaz de transmitir señales de frecuencia fija provenientes de un generador de funciones así como audio originado desde un reproductor de mp3, computador o cualquier otro dispositivo.

Para transmitir una señal de frecuencia fija, simplemente se ingresa la señal proveniente del generador de ondas a una de las dos entradas de audio, para que la transmisión sea estéreo se debe aplicar señales distintas a cada una de las entradas del transmisor.

Para transmitir música es necesario que la fuente de sonido tenga el nivel de volumen bajo, ya que si este está en un nivel alto va a provocar que en el receptor exista saturación generando una calidad de sonido pésima.

- **Selección de frecuencia portadora**

Para seleccionar la frecuencia portadora, es decir la frecuencia a la que se va a transmitir se debe variar suavemente la bobina, esta tiene un núcleo de ferrita el cual se debe girar con la ayuda de un desarmador pequeño hasta encontrar la frecuencia deseada, *se debe tener mucho cuidado al momento de girar el núcleo de la bobina ya que este núcleo se puede salir de su lugar*, si esto llegara a suceder se debe colocar el núcleo en las espiras con mucho cuidado de no aislar la rosca que lo guía. Para elegir la frecuencia de preferencia en el receptor se debe escoger un punto “muerto”, es decir una frecuencia en la que no exista ninguna emisora. En la figura 4.24 se muestra el transmisor montado en el chasis:

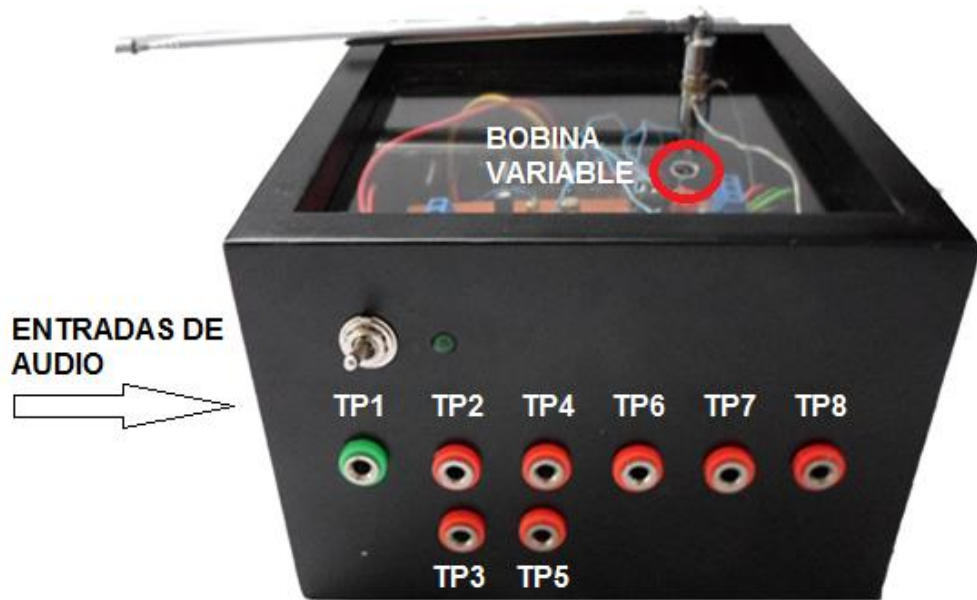


Figura 4. 24: Transmisor FM montado en Chasis

Fuente: El investigador

4.5 Receptor FM

Para complementar y lograr un correcto enfoque de una transmisión FM es necesario contar con un dispositivo que reciba las señales tanto del dispositivo transmisor como de las distintas estaciones de radio existentes; con el propósito de verificar su correcto funcionamiento y mediante puntos de prueba tomar lecturas de las magnitudes que se presentan y apreciar formas de onda. Luego de un análisis de los distintos tipos de receptores existentes se determinó que la mejor opción es el circuito integrado TDA7000 que es un receptor FM monofónico que presenta una calidad de sonido muy aceptable y es de gran robustez, característica que es muy necesaria en el presente proyecto.

4.5.1 Etapas del receptor

4.5.1.1 Circuito integrado TDA7000

El TDA7000 es un receptor FM monofónico, ya que por su constitución y funcionamiento este debe filtrar la señal desfasada que permite la demodulación estéreo, con el fin de evitar ruido, por lo que no es posible recuperar una señal estéreo del mismo. Pese a esta desventaja el integrado es de gran estabilidad al tener una gran sensibilidad y selectividad particularidades propias de un buen receptor. En la figura 4.25 se muestra el circuito integrado TDA7000.



Figura 4. 25: C.I. TDA7000

Fuente: El investigador

En la tabla 4.10 se muestran las características técnicas principales del receptor TDA7000, en el anexo C3 se encuentra el datasheet completo del circuito integrado.

Tabla 4. 10: Características técnicas del TDA7000

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación	2.7 ; 4.5 ; 10V
Corriente de alimentación	- ; 8mA ; -
Disipación de potencia	Aprox. 1750 mW
Sensibilidad	5.5uV
Selectividad	45dB
Rango de RF de entrada	1.5 a 110MHz

Fuente: Datasheet TDA7000.

4.5.1.2 Antena del receptor

La versatilidad del TDA7000 permite que se pueda trabajar con una antena telescópica sin que esto se vea afectado por señales de ruido por su alta sensibilidad, característica que se debe a su entrada de señal RF de tipo diferencial. La antena va conectada al pin 13 mediante un capacitor cuya función es la de filtrar las señales conjuntamente con la bobina L1 entre los pines 13 y 14. [2]

4.5.1.3 Oscilador

Para generar la frecuencia de sintonía, el TDA7000 incorpora un circuito oscilador modulable mediante un par de diodos varicap, por lo que únicamente es necesario implementar el circuito tanque para poder tener el control de frecuencia. Dicho circuito tanque está conformado por la bobina L2, un capacitor fijo y uno variable que hacen posible sintonizar las diferentes frecuencias con una excelente calidad y estabilidad. El condensador variable utilizado, es de los más comunes en lo que a sintonía se refiere por las características favorables que presenta. [2]

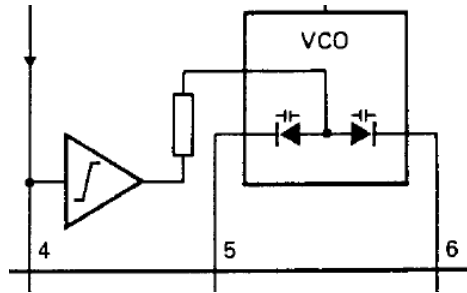


Figura 4. 26: Oscilador modulable mediante diodos varicap

Fuente: Datasheet TDA7000

4.5.1.4 Mezclador y Frecuencia Intermedia

La amplificación de señales de RF se realiza en la parte interna del TDA7000, esto se consigue mediante una frecuencia fija llamada frecuencia intermedia (FI). El mezclador interno del integrado heterodina la señal del oscilador con la señal recibida de la antena y de este proceso se obtiene la frecuencia intermedia.

Este integrado no posee bobinas para frecuencia intermedia, tiene un sistema interno de lazo de frecuencia cerrada (FLL) con una frecuencia intermedia de 70KHz. Dicho FLL reduce la distorsión armónica total comprimiendo la variación de la FI. Esto se logra usando una la salida de audio del demodulador de FM para desplazar la frecuencia del oscilador local en sentido contrario al de la desviación de la FI. [2][5]

4.5.1.5 Demodulación FM

El TDA7000 tiene un circuito demodulador en cuadratura o también llamado detector de coincidencia, este extrae la señal de información original de la forma de onda compuesta, de FI, multiplicando dos señales en cuadratura, es decir, desfasadas 90°. Un detector por cuadratura usa un desplazador de fase de 90°, un solo circuito sintonizado y un detector de producto, para demodular señales de FM. El desplazador de fase de 90° produce una señal que está en cuadratura con las señales recibidas de FI. El circuito sintonizado convierte variaciones de frecuencia en variaciones de fase, y el detector de producto multiplica las señales recibidas de FI por la señal de FI con fase desplazada. Este demodulador está constituido por una red desfasadora, un mezclador y un filtro pasa bajos. [2][5]

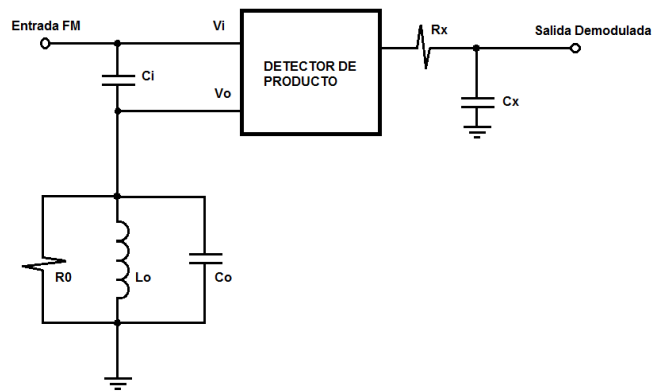


Figura 4. 27: Demodulador en Cuadratura

Fuente: TOMASI, Wayne - *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas.*

4.5.1.6 Diagrama del circuito receptor

En la figura 4.28 se detalla la disposición de los elementos externos que necesita el circuito receptor.

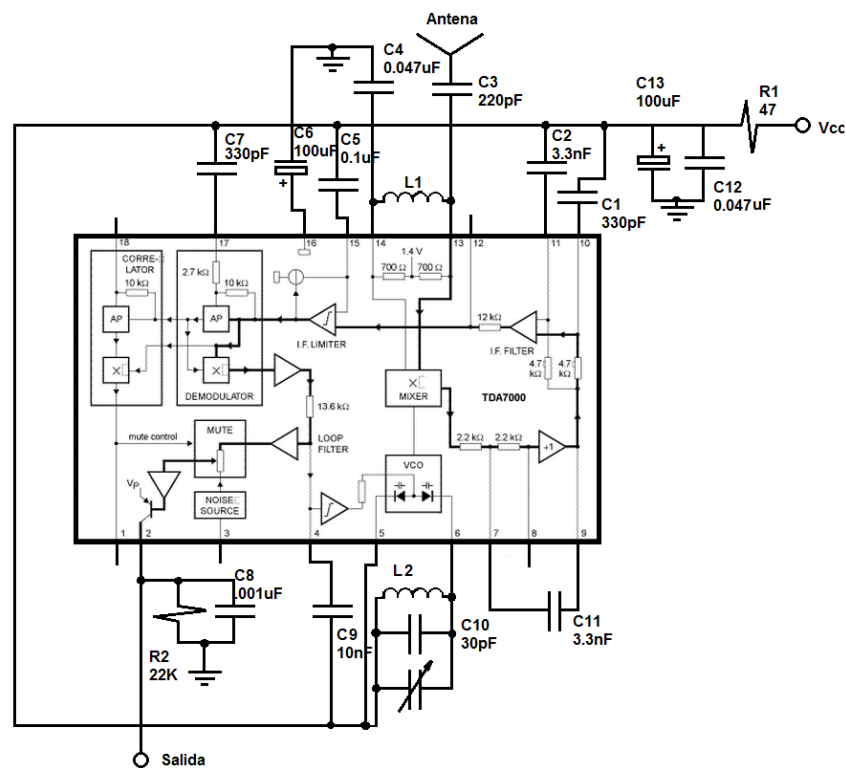


Figura 4. 28: Circuito Receptor FM TDA7000

Fuente: Datasheet TDA7000.

4.5.1.7 Demodulador estéreo

Como se mencionó anteriormente el TDA7000 es un receptor FM monofónico, pero con fines demostrativos para el presente proyecto y complementarios al transmisor elaborado se decidió usar un demodulador estéreo.

El circuito utilizado es el LM1800 que es un demodulador estéreo de gran funcionalidad, este permite apreciar y modificar la señal piloto de 19KHz utilizada para regenerar la subportadora, también realiza una separación de canales con un resultado audible de alta calidad. Algunas de sus principales características se detallan en la tabla 4.11, en el anexo C4 se encuentra el datasheet completo del circuito integrado.

Tabla 4. 11: Características técnicas del LM1800

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación	10V ; 18V
Corriente de alimentación	- ; 21 ; 30mA
Disipación de potencia	1500mW
Ganancia de voltaje monoaural	140 ; 200 ; 260mVrms

Fuente: Datasheet LM1800

En la figura 4.29 se detalla la composición interna y los elementos externos del circuito integrado.

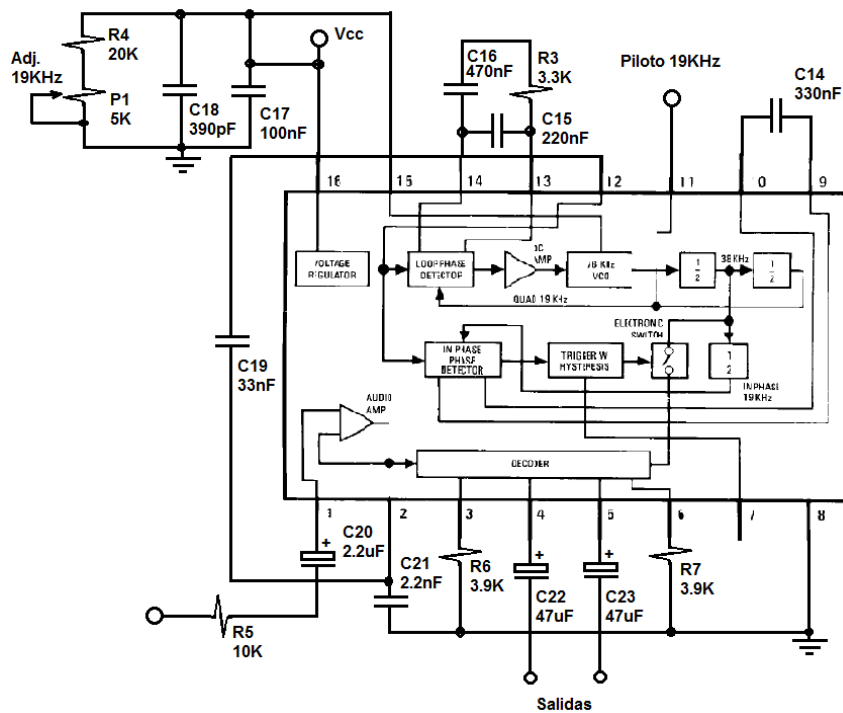


Figura 4. 29: Circuito Demodulador Estéreo

Fuente: Datasheet LM1800

4.5.1.8 Amplificador de salida

La señal que proviene del LM1800 debe ser amplificada y acondicionada para obtener un buen nivel de volumen por lo que se utiliza el LM386 que es un amplificador específico para audio, de este circuito se puede obtener una señal fuerte para ser conectada a un altavoz pequeño. En la siguiente tabla 4.12 se muestra las características eléctricas que tiene el LM386; el anexo C5 contiene el datasheet completo del circuito integrado.

Tabla 4. 12: Características técnicas LM386

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación	4 ; - ; 12V
Corriente de alimentación	- ; 4 ; 8mA
Potencia de salida	500 ; 700; - mW
Ganancia de voltaje	46dB

Fuente: Datasheet LM386

El circuito detallado a continuación es un amplificador con un ganancia de 50, los elementos externos y sus valores son predeterminados por el fabricante con el fin de obtener un mejor resultado.

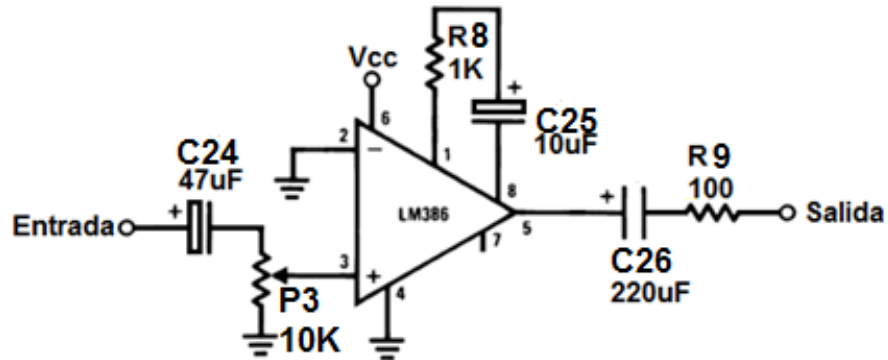


Figura 4. 30: Circuito Amplificador de Salida

Fuente: Datasheet LM386

4.5.1.9 Diagramas del circuito Receptor FM

En la figura 4.31 se muestra el diagrama esquemático completo del circuito receptor detallando la ubicación de los puntos de prueba en los que se observa las formas de onda luego de cada proceso que se realiza.

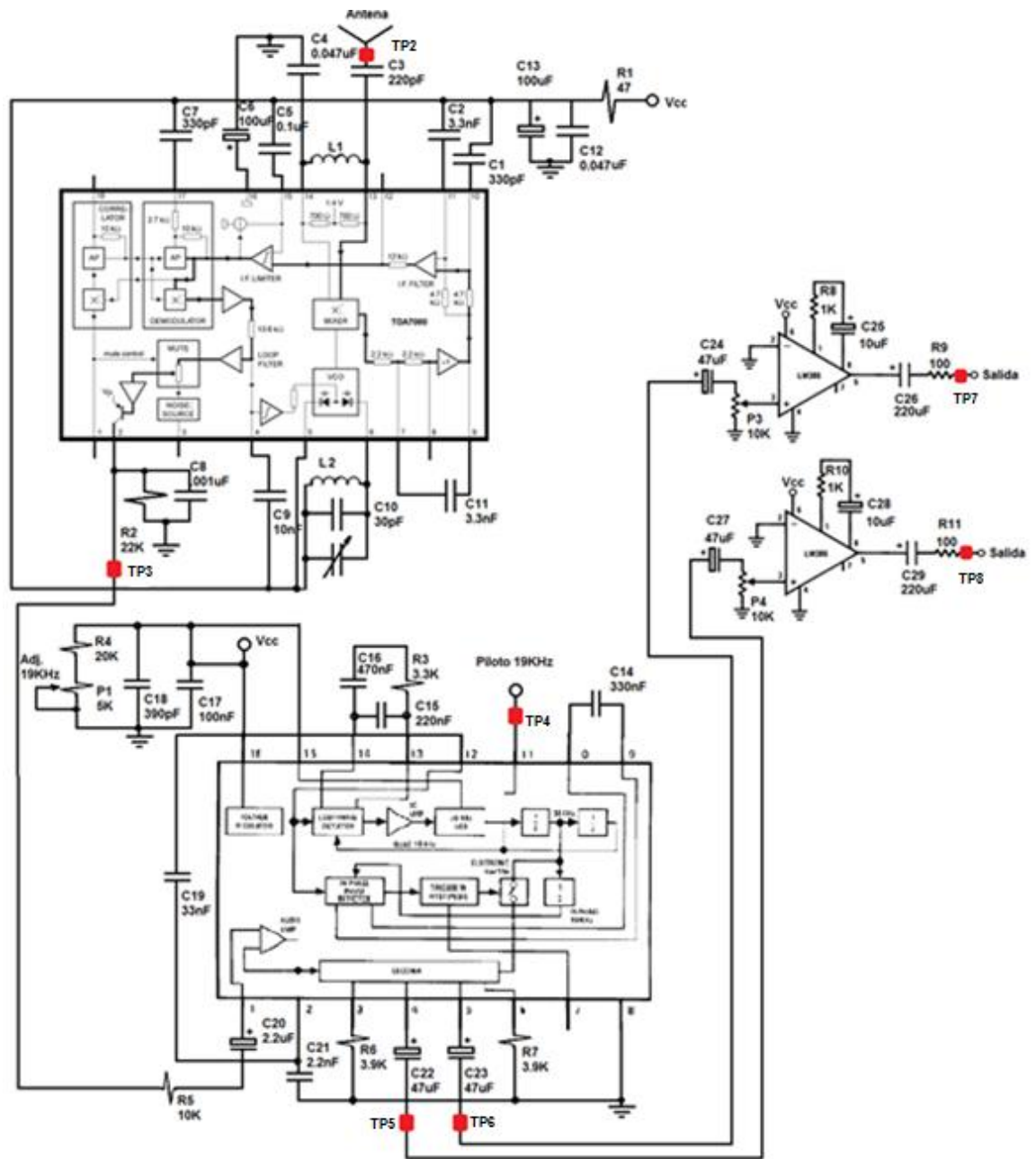


Figura 4. 31: Diagrama esquemático del Receptor FM

Fuente: El investigador

A continuación se muestran los diagramas pictórico e impreso del receptor FM en las figuras 4.32 y 4.33 respectivamente y el circuito receptor ensamblado.

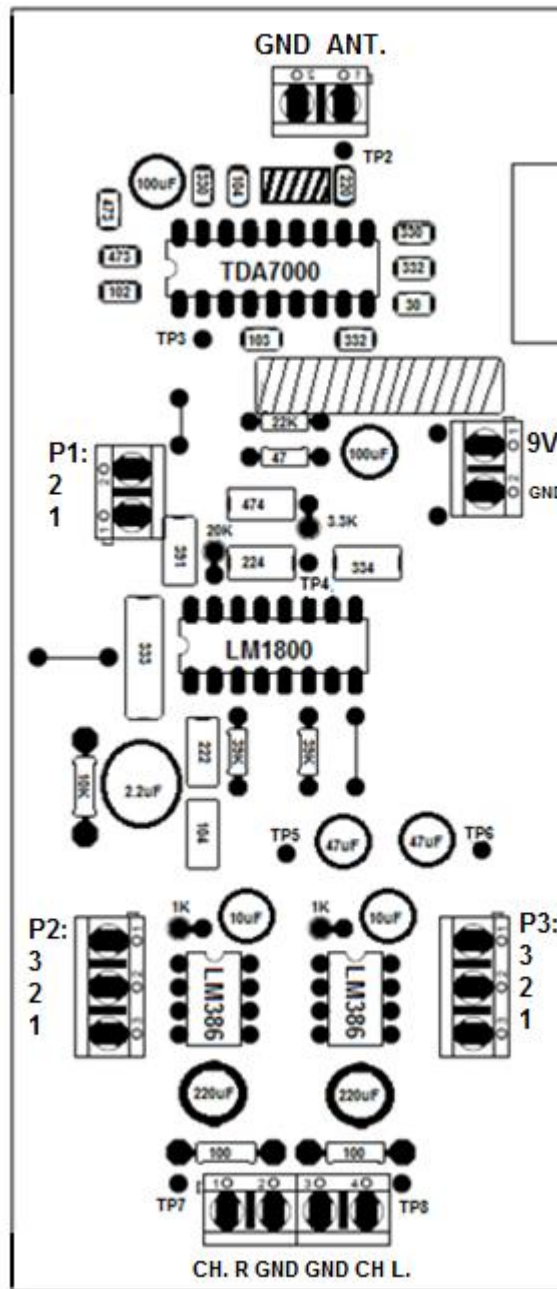


Figura 4. 32: Diagrama pictórico del Receptor FM

Fuente: El investigador

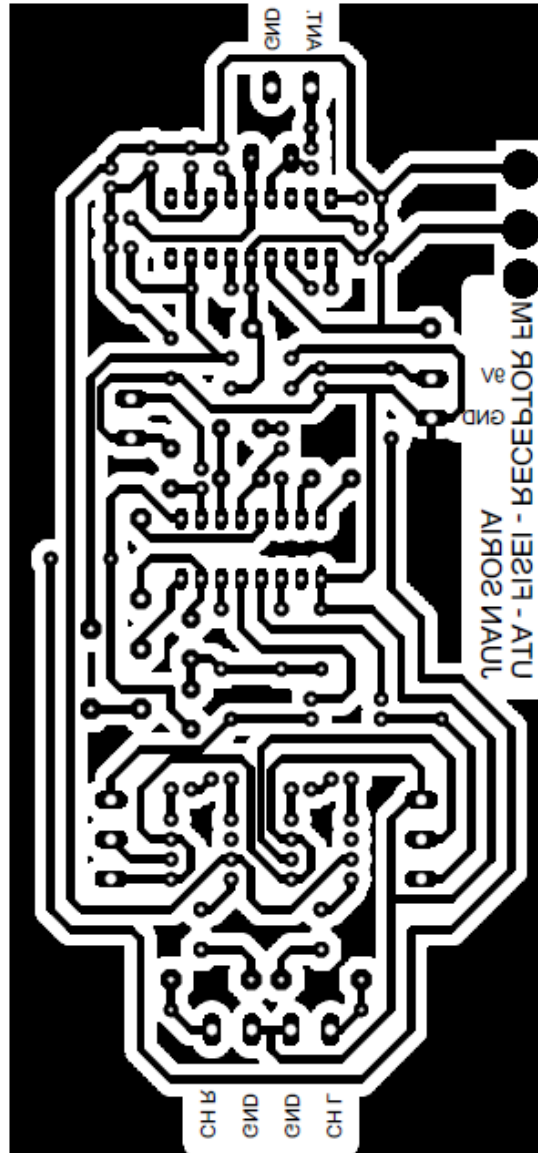


Figura 4. 33: Diagrama impreso del Receptor FM

Fuente: El investigador



Figura 4. 34: Receptor FM

Fuente: El investigador

La descripción de los puntos de prueba y su ubicación se detalla a continuación:

TP1

Este es utilizado para la conexión a tierra existente en el osciloscopio.

TP2

Este punto de prueba se ubica en la entrada del TDA7000, es decir el pin 13, en este se muestra la señal que la antena recepta e ingresa al circuito integrado, dicha señal no distingue información alguna ya que primero debe ser acondicionada para extraer la información que contiene.

TP3

En el pin 2 del TDA7000 se coloca un punto de prueba el cual muestra la señal ya demodulada en frecuencia, es decir la información proveniente del transmisor.

TP4

Con el fin de ilustrar la demodulación estéreo y sus etapas en el pin 11 del LM1800 se colocó un punto de prueba en el que se puede observar la señal piloto de 19KHz, que se utiliza para regenerar la subportadora y así obtener los dos canales de audio; dicha señal es cuadrada y debe ser ajustada con el potenciómetro destinado para este fin.

TP5 y TP6

Los pines 4 y 5 son las salidas de la demodulación estéreo realizada en el LM1800, se colocó un punto de prueba en cada una con el fin de apreciar la señal resultante en cada canal.

TP7 y TP8

A la salida del LM386 se coloca un punto de prueba para cada canal, así se puede observar como este amplifica y acondiciona la señal que proviene del demodulador estéreo.

En cada uno de los puntos de prueba es posible ver las formas de onda que se producen en las etapas concernientes al receptor. Es necesario aclarar que el propósito del LM1800 es netamente demostrativo ya que como se indicó anteriormente la salida del TDA7000 no permite que se realice una demodulación estéreo, por lo que este solo presenta una separación de canales simple.

4.5.1.10 Fuente de alimentación

De la misma forma que en el circuito transmisor se determina un voltaje de 9V para el circuito receptor, este voltaje alimenta de forma eficaz a los elementos, según la información obtenida de los datasheets. Para el demodulador estéreo se tiene que el voltaje mínimo es de 10V, pero mediante las pruebas de funcionamiento realizadas en el receptor se determinó que trabaja de forma normal con una alimentación de 9V. Para conocer la corriente que consume el circuito realizamos un análisis de las corrientes en base a los valores de los datasheet:

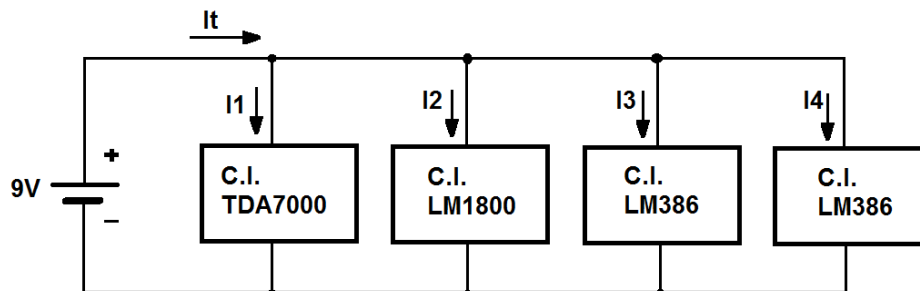


Figura 4. 35: Diagrama de corrientes Receptor FM

Fuente: El Investigador

I1: Corriente consumida por TDA7000

I2: Corriente consumida por LM1800

I3: Corriente consumida por LM386

I4: Corriente consumida por LM386

$$IT = I1 + I2 + I3 + I4$$

$$IT = 8mA + 30mA + 8mA + 8mA = 54mA; \text{ Parámetros máximos}$$

$$IT = 8mA + 21mA + 4mA + 4mA = 37mA; \text{ Parámetros normales}$$

$$VT = V1 = V2 = V3 = V4$$

Obtenida ya la corriente que consume el circuito receptor, se indicó las características que debe tener la fuente:

- Voltaje: 9V

- Corriente: 54mA

Para obtener una estabilidad en el voltaje suministrado por la fuente se utilizó un regulador de voltaje.

- Calculo de la eficiencia del transformador:

Características del transformador:

Reductor: 110V – 1A; 9V – 450mA.

Calculamos la potencia del transformador:

$$P = V * I$$

$$P = 9V * 450mA$$

$$P = 4.05Watts$$

Entonces la eficiencia es:

$$100\% \quad \text{_____} \quad 4.05Watts$$

$$75\% \quad \text{_____} \quad X = 3.03Watts$$

Calculamos la corriente:

$$P = V * I$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3.03Watts}{9V} = 0.33A = 330mA$$

- Calculo del rectificador de onda completa

$$Vp = 18V * \sqrt{2}$$

$$Vp = 25.45V$$

Cada diodo provoca una pérdida de 0.7, como son dos la pérdida total es 1.4V. Entonces tenemos que el voltaje luego del rectificador es:

$$V1 = 25.45 - 1.4 = 24.05V$$

$$V2 = -25.45 - (-1.4) = -24.05V$$

- Voltaje de rizo

$$Vr(rms) = \frac{2.4I_{dc}}{C}$$

I_{dc} : Corriente de consumo del circuito

C: Valor del capacitor propuesto

$$Vr(rms) = \frac{2.4(54)}{4700} = 27.5mV$$

- Voltaje dc del filtro

$$V_{dc} = V_m - \frac{4.17I_{dc}}{C}$$

V_m : Voltaje pico del rectificador

$$V_{dc} = 24.05 - \frac{4.17(54)}{4700} = 24V$$

- Rizo del filtro

$$r = \frac{2.4I_{dc}}{CV_{dc}} \times 100\%$$

$$r = \frac{2.4(54)}{(4700)(24)} \times 100\% = 0.114 \times 10^{-3} \%$$

- Regulador LM7809

Las principales características técnicas del regulador se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4. 13: Características técnicas del LM7809

Parámetro	Valor
Voltaje de entrada	35V
Voltaje de salida	8.65 ; 9 ; 9.35V
Corriente de reposo	8mA
Corriente de salida pico	1.8A

Fuente: Datasheet LM7809

De igual forma el capacitor utilizado es de alta capacitancia para lograr un buen filtrado, este diseño es mucho más sencillo ya que la fuente de alimentación entrega solo voltaje positivo y se utilizó un regulador fijo de voltaje. De igual manera los elementos del regulador de voltaje LM7809 están determinados por el fabricante y su datasheet se encuentra en el anexo C8. [25]

- Diagramas de la fuente

Los diagramas de la fuente de alimentación del receptor se detallan a continuación:

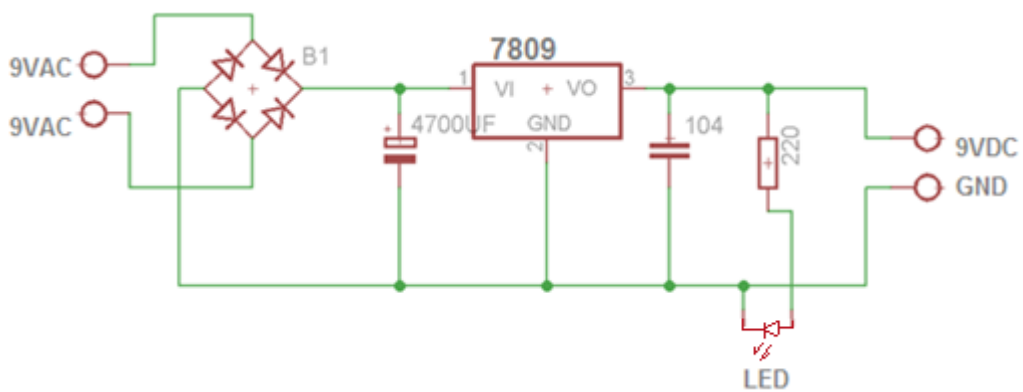


Figura 4. 36: Diagrama esquemático de la fuente de alimentación RX

Fuente: El Investigador

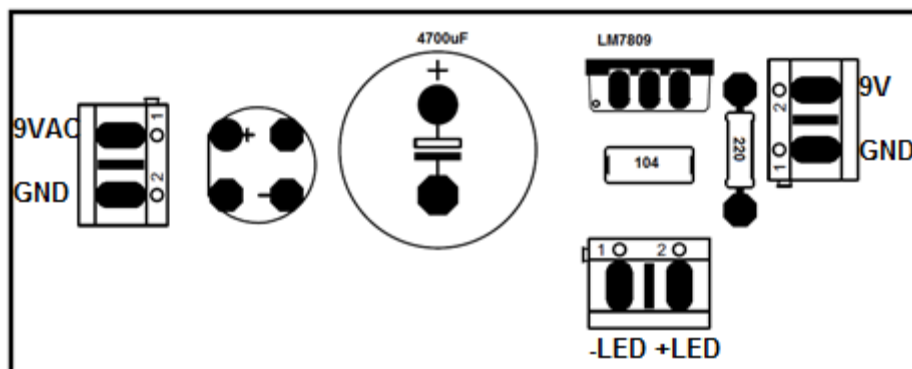


Figura 4. 37: Diagrama pictórico de la fuente de alimentación RX

Fuente: El investigador

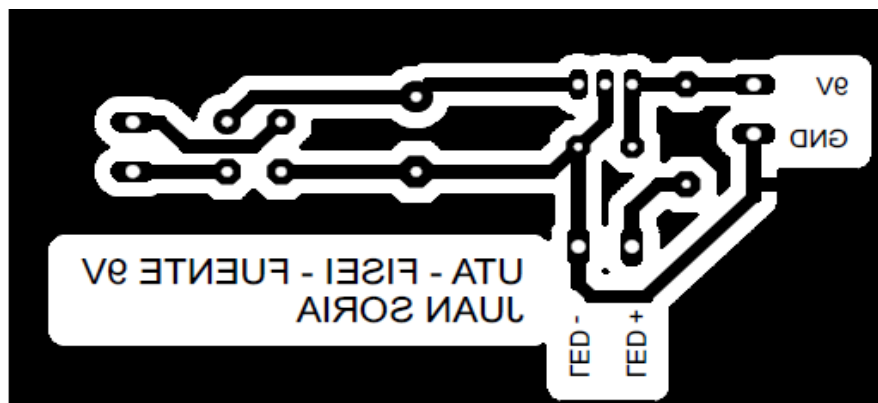


Figura 4. 38: Diagrama impreso de la fuente de alimentación RX

Fuente: El investigador

4.5.2 Pruebas de funcionamiento

Una vez terminada la construcción del circuito se realizaron pruebas de funcionamiento en donde se comprobó que el dispositivo trabaja de forma correcta ya que recepta las estaciones de radio de la localidad con una gran estabilidad de frecuencia y calidad de audio sobresaliente, de igual forma con ayuda del transmisor y un generador de funciones se hizo las pruebas pertinentes para verificar que los puntos de prueba ubicados en el receptor muestren las formas de onda y magnitudes después de cada etapa del mismo.

Para realizar las pruebas de funcionamiento con señales fijas se determinó una frecuencia de transmisión de 88.7MHz en el transmisor y se aplicó distintas frecuencias y amplitudes. A continuación se muestran los resultados obtenidos en cada uno de los puntos de prueba.

➤ Demodulador FM

En la figura 4.39 se puede apreciar mediante el punto de prueba TP2 la señal que ingresa a través de la antena hacia el integrado antes de ser filtrada y acondicionada.

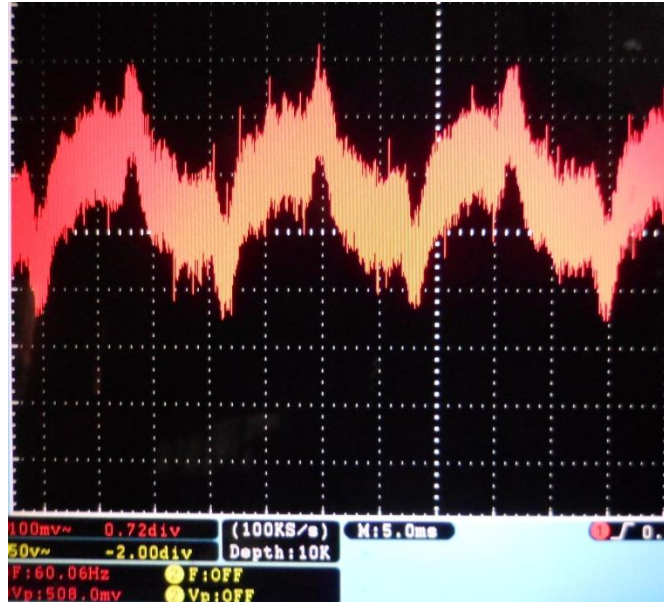


Figura 4. 39: Señal en la Antena

Fuente: El investigador

Una vez demodulada la señal se puede apreciar en el pin 2 del TDA7000 la señal resultante mediante el punto de prueba TP3, en la figura 4.40 se detalla la misma acompañada de la señal que se ingresó en el Tx, la onda presentada no es exactamente la misma ya que en el transmisor la señal pasa por el modulador estéreo además es combinada con la señal piloto lo que modifica su forma.

Otro factor que afecta la señal recibida es el ruido propio del entorno; la forma de onda se ve alterada pero al comparar la magnitud de frecuencia se aprecia que es la misma que la transmitida, con una variación mínima.



Figura 4. 40: Señal Demodulada.

Fuente: El investigador

➤ Demodulador Estéreo

Como se mencionó anteriormente, al receptor se añadió un demodulador estéreo con fines demostrativos, en él se puede observar la forma de onda y magnitud de la señal piloto de 19KHz a través del pin 11 del LM1800 en donde se encuentra el punto de prueba TP4, esta señal se muestra en la figura 4.41 la misma que debe ser calibrada mediante el potenciómetro destinado para este fin.

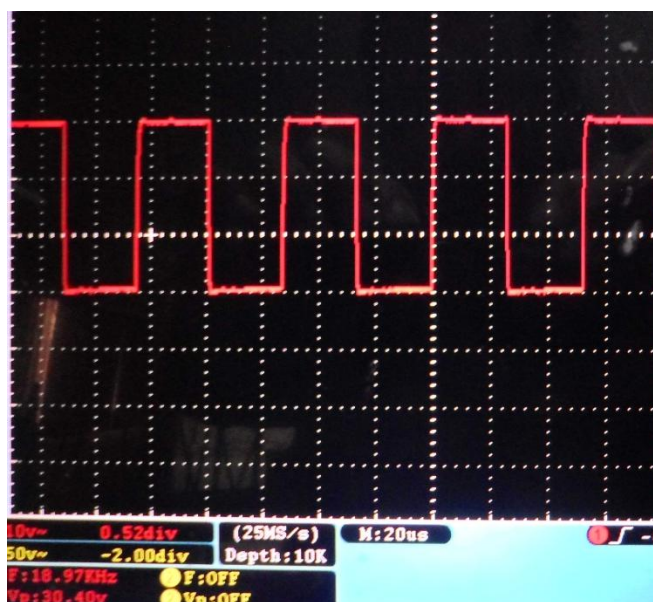


Figura 4. 41: Señal Piloto de 19KHz.

Fuente: El investigador

Uno de los propósitos del demodulador estéreo es dividir la señal recibida en dos canales cuando esta es estéreo, cuando la señal recibida es mono como en este caso simplemente la separa en dos canales dando un resultado que aparenta ser estéreo. A continuación las figuras 4.42 y 4.43 muestran las señales resultantes a la salida de cada canal del LM1800 en los pines 4 y 5 respectivamente mediante los puntos de prueba TP5 y TP6, al igual que la señal ingresada en el transmisor.

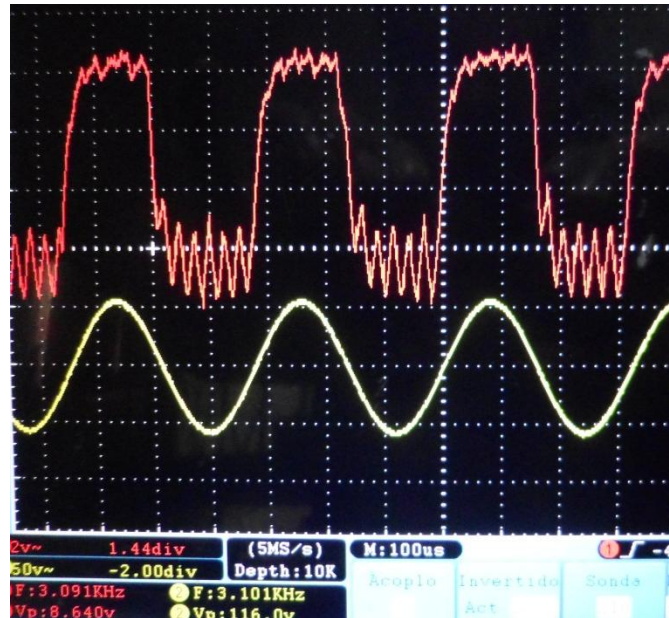


Figura 4. 42: Señal Canal Derecho.

Fuente: El investigador

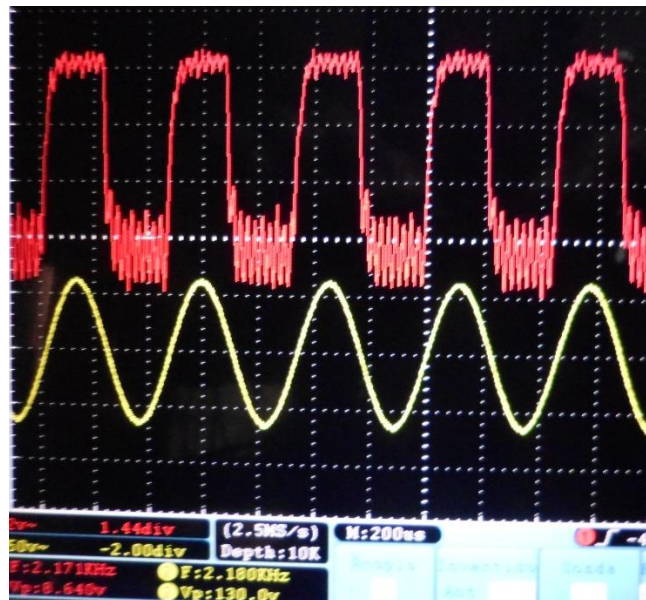


Figura 4. 43: Señal Canal Izquierdo.

Fuente: El investigador

➤ Amplificador

En esta etapa se amplifica y acondiciona la señal proveniente del LM1800 para tener la suficiente ganancia y utilizarla en altavoces. La amplificación se realiza para cada canal por lo que en cada uno existe un potenciómetro encargado de controlar el nivel de volumen.

En las figuras 4.44 y 4.45 se detalla la señal de salida con un nivel máximo de volumen comparado con la señal que sale del LM1800 para así poder apreciar el nivel de amplificación mediante los puntos de prueba TP7 y TP8. La señal resultante tiene forma distinta a la original por todos los procesos a la que es sometida, el LM386 la regenera de la forma más aproximada posible.



Figura 4. 44: Señal Amplificada Canal Derecho.

Fuente: El investigador

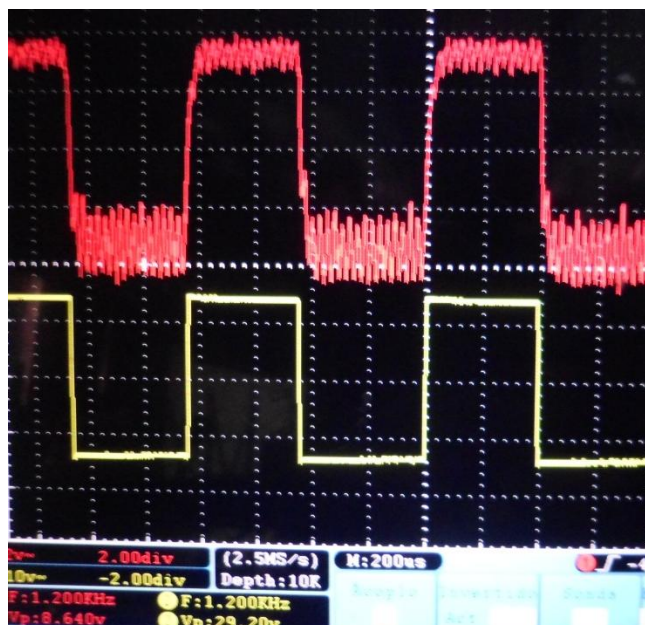


Figura 4. 45: Señal Amplificada Canal Izquierdo.

Fuente: El investigador

El dispositivo receptor está diseñado para realizar prácticas de laboratorio por lo que cuenta con puntos de prueba los cuales permiten apreciar variaciones de las magnitudes receptadas y sus formas de onda mediante la utilización de un osciloscopio. Este recibe las emisoras de radio comprendidas entre la banda de FM es decir de 88 a 108MHz. Cuenta con una fuente de alimentación de 9V diseñada para este dispositivo.

- **Sintonizador**

Para seleccionar la estación deseada basta con variar suavemente el condensador ubicado en la parte superior del dispositivo, este debe ser un proceso de precisión para poder obtener una buena recepción de radio.

- **Señal Piloto**

El potenciómetro P1 indicado es utilizado para ajustar la señal piloto en los 19KHz que permiten regenerar la subportadora de 38 KHz y así demodular una señal estéreo. Es muy importante recalcar que el demodulador que forma parte de este dispositivo es netamente demostrativo ya que el demodulador FM entrega una señal que no permite obtener una señal estéreo. La única función que tiene este es la de separar la señal en dos canales de audio.

- **Control de Volumen**

Cada una de las salidas del demodulador estéreo posee un potenciómetro, P2 y P3, el que sirve para controlar el volumen de cada canal de forma independiente.

En la figura 4.46 se muestra el receptor montado en el chasis:



Figura 4. 46: Transmisor FM montado en Chasis

Fuente: El investigador

4.6 Evaluación del Transmisor y Receptor

4.6.1 Evaluación del Transmisor

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento en el transmisor se determina que los resultados son los esperados, la transmisión es de buena calidad y se realiza en un rango admisible para la aplicación didáctica del mismo, así como cada uno de los puntos de prueba presentan resultados que ilustran los procesos de cada etapa de la transmisión.

El agregado que se le dio al transmisor al ser estéreo gracias a las prestaciones que posee el BA1404 permite entender y demostrar cual es el funcionamiento de los transmisores de gran potencia utilizados en las estaciones de radio, lo que ayuda a complementar el propósito del proyecto.

4.6.2 Evaluación del Receptor

Al igual que en el transmisor las pruebas a las que se sometió el receptor fueron positivas, este recibe las estaciones de radio con una gran calidad de sonido y una buena estabilidad de frecuencia. Un resultado extra que se dio en el receptor es que

recibe el sonido de una estación de televisión, esto como resultado de las características de la bobina utilizada en el circuito tanque que conforma el sintonizador; se explica lo ocurrido ya que el rango de dicha estación esta entre 76MHz – 82MHz que está relativamente cerca del rango de FM. Así mismo se complementa el trabajo del transmisor con sus puntos de prueba, los cuales presentan los resultados en cada segmento de la recepción.

Pese a que el TDA7000 no es estéreo, la implementación del demodulador estéreo LM1800 permitió ilustrar cuál es la función de este en el receptor, sin que esto reste funcionalidad al dispositivo, ya que el mismo es familiar, pues los receptores de frecuencia modulada están en el diario vivir de la sociedad.

4.7 Costos

El costo de cada dispositivo se detalla en las tablas que a continuación se muestran.

Tabla 4. 14: Costo Detallado del Transmisor

Ítem	Elemento	Valor	Unidades	Costo Total
1	C.I. BA1404	21,95	1	21,95
2	Amplificador Operacional MC4558	0,7	1	0,7
3	Cristal 38KHz	3,95	1	3,95
4	Bobina Variable(32 - 35nH)	2,95	1	2,95
5	Zócalo	0,13	2	0,26
6	Puente Rectificador 2A	0,35	1	0,35
7	Transformador 9V	12	1	12
8	Regulador LM317	0,56	1	0,56
9	Regulador LM337	0,56	1	0,56
10	Bobina	0,15	1	0,15
11	Antena Telescópica	2	1	2
12	Resistencias	0,04	14	0,56
13	Condensadores Cerámicos	0,15	16	2,4
14	Condensadores Electrolíticos(47000uF)	0,89	2	1,78
15	Condensadores Electrolíticos(Varios)	0,1	10	1
16	1 Diodo Led	0,08	1	0,08
17	Borneras	0,26	7	1,82
18	Espadines Macho	0,1	6	0,6
19	Espadines Hembra	0,1	6	0,6
20	Baquelita	1,8	1	1,8
21	Cloruro Férrico	0,71	1	0,71
22	Estaño	0,53	2	1,06
23	Impresión Laser	1,5	1	1,5
24	Cable	0,75	2	1,5
25	Jack Banana	0,17	8	1,36
26	Jack RCA	0,25	1	0,25
27	Jack AC	0,44	1	0,44
28	Cable de Poder	2,32	1	2,32
29	Switch	0,53	1	0,53
30	Fusible	0,08	1	0,08
31	Porta Fusible	0,71	1	0,71
32	Chasis	15	1	15
			Total	81,53

Fuente: El investigador.

Tabla 4. 15: Costo Detallado del Receptor

Ítem	Elemento	Valor	Unidades	Costo Total
1	C.I. TDA7000	24,95	1	24,95
2	C.I. LM1800	25,88	1	25,88
3	Amplificador de audio LM386	0,62	2	1,24
4	Bobina	0,25	2	0,5
5	Zócalo	0,13	4	0,52
6	Puente Rectificador 2A	0,35	1	0,35
7	Transformador 9V	12	1	12
8	LM7809	0,44	1	0,44
9	Condensador Variable	2	1	2
10	Antena Telescópica	2	1	2
11	Resistencias	0,04	12	0,48
12	Condensadores Cerámicos	0,2	19	3,8
13	Condensadores Electrolíticos(47000uF)	0,89	1	0,89
14	Condensadores Electrolíticos(Varios)	0,15	9	1,35
15	1 Diodo Led	0,08	1	0,08
16	Borneras	0,26	10	2,6
17	Espadines Macho	0,1	6	0,6
18	Espadines Hembra	0,1	6	0,6
19	Baquelita	1,8	1	1,8
20	Cloruro Férrico	0,71	1	0,71
21	Altavoces	4	2	8
22	Estaño	0,53	2	1,06
23	Impresión Laser	2	1	2
24	Cable	0,75	2	1,5
25	Jack Banana	0,17	8	1,36
26	Potenciómetro	0,36	3	1,08
27	Jack AC	0,44	1	0,44
28	Cable de Poder	2,32	1	2,32
29	Switch	0,53	1	0,53
30	Fusible	0,08	1	0,08
31	Porta Fusible	0,71	1	0,71
32	Chasis	20	1	20
			Total	121,87

Fuente: El investigador.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Una vez recopilada la información de los equipos, condiciones de los laboratorios existentes en la F.I.S.E.I. y puntualizando en el módulo de Comunicación Analógica se estableció que no existen equipos apropiados para que lo estudiantes realicen prácticas complementarias a la teoría impartida.

- Estudiando las características y señales que intervienen en la modulación y demodulación FM, se determinaron las etapas que constituyen el transmisor y receptor FM, los parámetros de las frecuencias requeridas para la transmisión y recepción, tipos de moduladores y demoduladores entre otras particularidades que determinaron pautas fundamentales para el correcto desarrollo del proyecto.

- Se implementó un transmisor de frecuencia modulada estéreo de gran funcionalidad y con una excelente estabilidad de frecuencia. Mediante los puntos de prueba existentes es posible observar formas de onda y magnitudes correspondientes a la etapa de preénfasis, modulación estéreo y la modulación FM, además su frecuencia portadora es regulable características que le permiten ser un instrumento didáctico para el estudiante.

- De forma complementaria al proyecto se construyó un receptor de frecuencia modulada, así mismo cuenta con puntos de prueba en donde se pueden apreciar las etapas de demodulación FM, demodulación estéreo y amplificación de la señal de salida; cabe resaltar que el demodulador estéreo

utilizado es netamente demostrativo, ya que el demodulador FM por su constitución y funcionamiento no permite obtener una señal estéreo. La estabilidad en la frecuencia de sintonía es de alta calidad y cuenta con controles de volumen independientes para cada una de sus salidas.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable fomentar la realización de proyectos que permitan mejorar el equipamiento de los laboratorios de la F.I.S.E.I., mediante convenios con empresa privada o búsqueda de financiamiento que permitan la ejecución de los mismos.
- Es determinante partir de un análisis teórico el cual sustente de forma veraz las acciones desarrolladas para la consecución del proyecto, así se puede entender y relacionar los procesos que conforman la modulación y demodulación FM.
- Mediante el desarrollo de instrumentos didácticos se permite al estudiante comprender de mejor forma la teoría impartida; por lo que la aplicación de proyectos similares en otros módulos beneficiaría tanto al docente como al estudiante mejorando el desenvolvimiento académico.
- La ejecución de proyectos de este tipo deja la puerta abierta al mejoramiento de los mismos, en el caso del receptor, se podría mejorar su desempeño desarrollando o implementando un demodulador FM que permita obtener una señal estéreo y así incrementar la funcionalidad del dispositivo.

Bibliografía

- [1] ARIZAGA, Adriana (2010). Diseño y construcción de un transmisor y receptor FM estéreo para reducción de cableado en equipos de audio profesional. Capítulo I, Pág. 5 - 8 Capítulo II Pág. 32 Recuperado de: <http://tesis.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/7172/1/8.pdf>
- [2] SUAREZ, Miguel (2008). Transmisor / Receptor Inalámbrico de cuatro canales para instrumentos musicales. Capítulo I, Pág. 21, 27, 28,30 Capítulo II, Pág. 41, 51, 52, 54, 66, 67, 68 Recuperado de: http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/319/1/digital_15838.pdf
- [3] GIRALDO, José (2001) Emisora portátil FM estéreo. Capítulo II Pág. 17, 18, 31, 32 Recuperado de: http://www.univalle.edu.co/~telecomunicaciones/trabajos_de_grado/informes/tg_JoseGiraldo.pdf
- [4] MARTIN, Ricardo (2000). Guía práctica de Electricidad y Electrónica Tomo III. Primera Edición. España: Cultural S.A. Capítulo I, Pág. 5
- [5] TOMASI, Wayne (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Cuarta Edición. Estados Unidos: Pearson Educación. Capítulo I Pág. 2 – 7, Capítulo VI Pág. 253, Capítulo VII Pág. 276 – 279.
- [6] FERNADEZ, Marcos (2013). Modulaciones angulares. Capítulo I Pág. 1 – 4 Recuperado de: <http://www.lpi.tel.uva.es/lpi/dld/tts/tema4.pdf>
- [7] MALVINO, Albert (2000). Principios de Electrónica. Sexta edición. Estados Unidos: Mc Grall Hill. Capítulo XXIII Pág. 809 – 812, 942, 943, 1018 - 1020
- [8] BOYLESTAD, Robert (1997). Teoría de Circuitos y dispositivos electrónicos. Octava Edición. Estados Unidos: Pearson Educación Capítulo XIV Pág. 732, 733, 860 - 879
- [9] ESPINOZA, Javier (2007). Diseño e implementación de prácticas de laboratorio sobre la modulación de frecuencia FM. Recuperado de: http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb07_II/pb0716t.pdf

- [10] GIORDANO, J. (2010). Cómo funcionan las cosas: Antenas. Recuperado de: <http://www.profisica.cl/comofuncionan/como.php?id=49>
- [11] CASTAÑEDA, Francisco (2010). Transmisor FM de Audio Digital. Recuperado de: http://www.tlalpan.uvmnet.edu/oiid/download/Transmisor%20FM%20Digital_04_ING_ITE_PIT_E.pdf
- [12] Transmisor de FM. Disponible en: <http://www.forosdeelectronica.com/f22/transmisor-fm-2130/>
- [13] Transmisor FM miniatura. Disponible en: <http://blog-j.marcano.net.ve/index.php/2009/03/15/transmisor-fm-miniatura/>
- [14] Transmisor de FM de 18w. Disponible en: <http://pablin.com.ar/electron/circuito/radio/txfm18/index.htm>
- [15] Práctica 3: Transmisor y receptor FM. Disponible en: http://www.tsc.uc3m.es/docencia/LEC/docs/Practica_3.pdf
- [16] Receptor de FM. Disponible en: <http://www.electronicasi.com/taller-de-electronica/receptor-de-f-m/>
- [17] Construcción Receptor FM miniatura (Regenerativo). Disponible en: <http://www.forosdeelectronica.com/f22/construccion-receptor-fm-miniatura-regenerativo-16195/>
- [18] Herramientas didácticas: Lineamientos nacionales de política de la formación profesional. Disponible en: http://www.mintra.gob.pe/archivos/file/publicaciones_dnpefp/Herramientas_metodologicas.pdf
- [19] Recursos Didácticos: Herramientas para enseñar, aprender y evaluar. Disponible en: http://educacion.ucv.cl/prontus_formacion/site/artic/20070517/asocfile/ASO_CFILE120070517114241.pdf
- [20] Material didáctico. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Material_did%C3%A1ctico#Clasificaci.C3.B3n
- [21] Teoría y Construcción de fuentes de voltaje lineales. Disponible en: <http://diystart.blogspot.com/2012/12/teoria-y-construccion-de-fuentes-de.html>

- [22] Cálculos de la fuente de alimentación. Disponible en: <http://elrincondelectronico.wordpress.com/2011/11/21/calculos-de-la-fuente-de-alimentacion/>
- [23] Fuentes de alimentación. Disponible en: <http://www.depeca.uah.es/depeca/repositorio/asignaturas/20585/Fuentes%20de%20alimentacion.pdf>
- [24] Fuente Simétrica Variable. Disponible en: <http://www.taringa.net/posts/hazlo-tu-mismo/15930141/Fuente-Simetrica-Variable.html>
- [25] Fuente simple de poder regulada. Disponible en: http://construyasuvideorockola.com/proyecto_fuente_simple_regulada.php
- [26] Filtros. Disponible en: <http://html.rincondelvago.com/filtros.html>

ANEXOS

ANEXO A: GUIA DE OBSERVACIÓN

GUIA DE OBSERVACIÓN
UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL

OBJETIVO: Observar y evaluar el equipamiento de los laboratorios de la F.I.S.E.I., puntualizando en las herramientas existentes para el módulo de Comunicación Analógica.

LUGAR DE ORSERVACION	EQUIPOS EXISTENTES	NÚMERO
Administración de Laboratorios		
Laboratorios		

ANEXO B: PRACTICAS DE LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

MÓDULO: **CICLO ACADÉMICO:**
CARRERA: **PARALELO:**
ÁREA ACADÉMICA: **Nº DE ALUMNOS:**
LABORATORIO: **Nº DE PUESTOS DE TRABAJO:**
DOCENTE:

PRÁCTICA Nº 1	
I. TEMA:	Filtro Pasabanda
II. OBJETIVOS:	Analizar el funcionamiento de un filtro pasabanda. Identificar los parámetros que dicho filtro requiere para su aplicación en un transmisor FM.
III. LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES:	Transmisor FM Generador de funciones Osciloscopio
IV. PROCEDIMIENTO:	Realizar mediciones, capturar formas de onda y determinar procesos que se generan en el filtro.

ELABORADO POR:

Docente

Coordinador de Área

Coordinador de Carrera

**Firma y fecha de recepción en
Secretaría de Coordinadores**

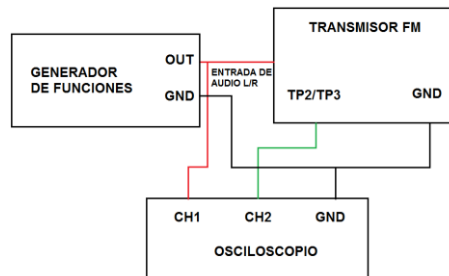
PRACTICA Nº 1

Tema: Filtro Pasa banda

Equipos y Materiales:

- Transmisor FM
- Generador de funciones
- Osciloscopio

Diagrama de conexión:



Procedimiento:

1. Para cada canal del dispositivo ingrese distintas señales en el filtro y determine la amplitud máxima a la salida del mismo.

Canal Derecho

Frec. Ingresada	Amp. Ingresada	Frec. Salida	Amp. Salida

Amp. Máxima de salida: _____

Capture las formas de onda tanto de la entrada como de la salida del filtro.

Canal Izquierdo

Frec. Ingresada	Amp. Ingresada	Frec. Salida	Amp. Salida

Amp. Máxima de salida: _____

Capture las formas de onda tanto de la entrada como de la salida del filtro.

2. Con la ayuda del generador de funciones, ingrese señales con distinta amplitud y determine cuáles son sus frecuencias de corte. Realice este proceso para cada canal.

Canal Derecho

Amp. Ingresada	Amp. Salida	Frec. de corte 1	Frec. de corte 2

Canal Izquierdo

Amp. Ingresada	Amp. Salida	Frec. de corte 1	Frec. de corte 2

Capture las formas de onda

El rango obtenido es un aproximado, explique cuál debería ser el rango teórico del filtro para el transmisor FM y justifique su respuesta.

3. Con la amplitud del generador en su mínimo valor realice nuevamente el barrido de frecuencia, describa que ocurre.

Con la amplitud del generador en un valor alto realice nuevamente el barrido de frecuencia, describa que ocurre.

4. En cada canal del dispositivo inyecte señales distintas tanto en frecuencia como en amplitud y compare sus formas de onda de entrada y salida. Mediante las amplitudes de las señales de entrada y salida determine la ganancia del amplificador.

$$G = \frac{V_{Salida}}{V_{Entrada}}$$

Amplificador 1 - Canal Derecho (Frecuencias Bajas)

Frec. Ingresada	Amp. Ingresada	Frec. Medida	Amp. Medida	Ganancia

Ganancia Promedio: _____

Amplificador 2 - Canal Izquierdo (Frecuencias Altas)

Frec. Ingresada	Amp. Ingresada	Frec. Medida	Amp. Medida	Ganancia

Ganancia Promedio: _____

GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

MÓDULO: **CICLO ACADÉMICO:**
CARRERA: **PARALELO:**
ÁREA ACADÉMICA: **N° DE ALUMNOS:**
LABORATORIO: **N° DE PUESTOS DE TRABAJO:**
DOCENTE:

PRÁCTICA N° 2	
I. TEMA:	Modulación Estéreo
II. OBJETIVOS:	Establecer los procesos que se deben realizar para la modulación estéreo. Identificar los parámetros existentes y determinar su papel en la modulación estéreo.
III. LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES:	Transmisor FM Generador de funciones Osciloscopio
IV. PROCEDIMIENTO:	Realizar mediciones, capturar formas de onda y determinar procesos que se generan en la modulación estéreo.

ELABORADO POR:

Docente

Coordinador de Área

Coordinador de Carrera

**Firma y fecha de recepción en
Secretaría de Coordinadores**

PRACTICA Nº 2

Tema: Modulador Estéreo.

Equipos y Materiales:

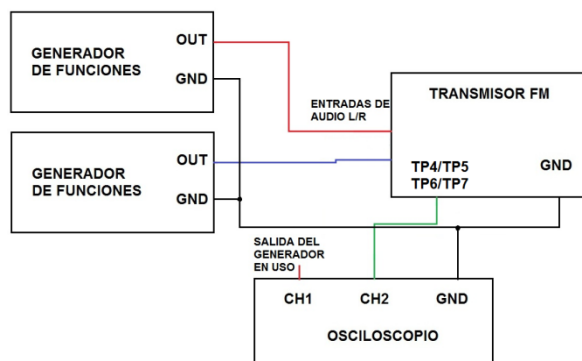
- Transmisor FM
- Generador de funciones
- Osciloscopio

Introducción:

La modulación estéreo es el proceso del cual se obtiene una señal compuesta, consiste en sumar ambos canales de audio L y R obteniendo una señal principal (L+R) y una sub señal (L-R) esta última desplazada en frecuencia.

Esto se logra modulando en AM (L-R) sobre una subportadora, este proceso se lleva a cabo mediante un multiplexor, dando como resultado una señal con dos bandas laterales que tienen la misma información.

Diagrama de conexión:



Procedimiento:

1. Obtener las formas de onda en los siguientes puntos de prueba. Y describa que papel cumple cada una de estas frecuencias en la modulación estéreo.
- Frecuencia de 38KHz

- Frecuencia de 19KHz

2. Obtener la forma de onda de la salida del modulador estéreo con amplitudes y frecuencias distintas.
3. Obtener la forma de onda de la señal combinada de la salida del modulador estéreo con la señal piloto con amplitudes y frecuencias distintas.
4. Cuál es la frecuencia y voltaje que se da en el proceso de modulación estéreo.

GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

MÓDULO: **CICLO ACADÉMICO:**
CARRERA: **PARALELO:**
ÁREA ACADÉMICA: **Nº DE ALUMNOS:**
LABORATORIO: **Nº DE PUESTOS DE TRABAJO:**
DOCENTE:

PRÁCTICA N° 3	
I. TEMA:	Modulación FM
II. OBJETIVOS:	Analizar el proceso de modulación de frecuencia. Determinar las señales necesarias en la modulación FM y su origen.
III. LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES:	Transmisor FM Generador de funciones Osciloscopio
IV. PROCEDIMIENTO:	Realizar mediciones, capturar formas de onda y determinar procesos que se generan en la modulación FM.

ELABORADO POR:

Docente

Coordinador de Área

Coordinador de Carrera

**Firma y fecha de recepción en
Secretaría de Coordinadores**

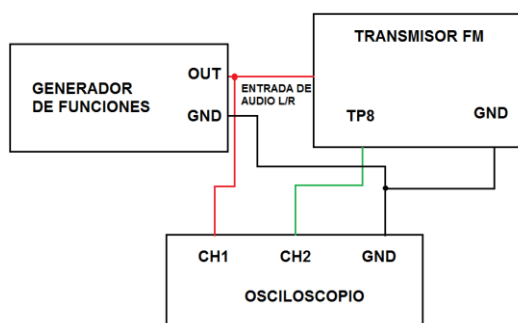
PRACTICA Nº 3

Tema: Modulación FM

Equipos y Materiales:

- Transmisor FM
- Receptor FM
- Generador de funciones
- Osciloscopio

Diagrama de conexión:



Procedimiento:

1. Realice un barrido del transmisor y con ayuda del receptor FM determine del rango de frecuencias que transmite el dispositivo.

Frecuencia de Tx mínima: _____

Frecuencia de Tx máxima: _____

2. Utilizando un solo canal a la entrada, establecer la frecuencia de Tx del dispositivo en un valor fijo, aplique una señal y varié la frecuencia de dicha señal ingresada, utilizando ambos canales del osciloscopio realizar una comparación entre la señal de entrada con la señal de salida.

Frecuencia Ingresada	Frecuencia de Tx

Capture las formas de onda

3. Ingrese una señal fija al dispositivo transmisor y variando la frecuencia de Tx utilizando ambos canales del osciloscopio realizar una comparación entre la señal de entrada con la señal de salida. Capture las distintas formas de onda.

Frecuencia de Tx	Frecuencia Ingresada

Capture las formas de onda

4. En base a los dos pasos anteriores describa el comportamiento de la frecuencia de salida para cada uno de los casos.

5. Ingrese una señal y establezca una frecuencia de Tx fija, visualice tanto la entrada como la salida en los canales del osciloscopio y varíe la amplitud de la señal ingresada. ¿Cuándo se varía la amplitud en la señal de entrada existe algún cambio en la salida? Explique este fenómeno.

Capture las formas de onda

GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

MÓDULO: **CICLO ACADÉMICO:**
CARRERA: **PARALELO:**
ÁREA ACADÉMICA: **Nº DE ALUMNOS:**
LABORATORIO: **Nº DE PUESTOS DE TRABAJO:**
DOCENTE:

PRÁCTICA N° 4	
I. TEMA:	Transmisor FM
II. OBJETIVOS:	Indicar y analizar las ventajas de la transmisión FM estéreo. Determinar y estudiar las etapas que conforman un transmisor FM.
III. LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES:	Transmisor FM Receptor FM Generador de funciones Osciloscopio
IV. PROCEDIMIENTO:	Realizar mediciones, capturar formas de onda y analizar los procesos que se presentan en un transmisor FM.

ELABORADO POR:

Docente

Coordinador de Área

Coordinador de Carrera

**Firma y fecha de recepción en
Secretaría de Coordinadores**

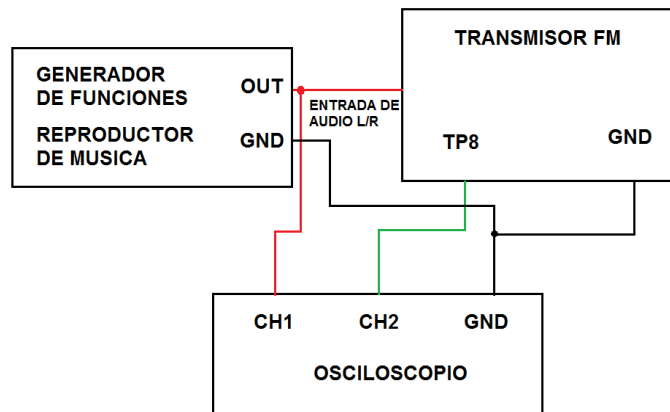
PRACTICA Nº 4

Tema: Transmisor FM

Equipos y Materiales:

- Transmisor FM
- Receptor FM
- Generador de funciones
- Osciloscopio

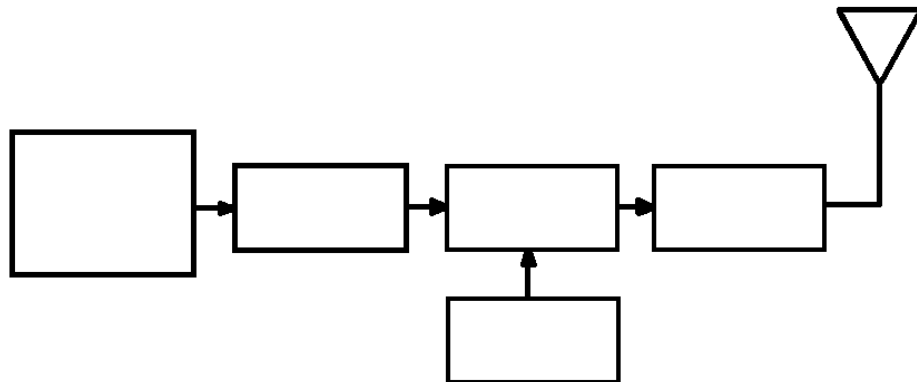
Diagrama de conexión:



Procedimiento:

1. Indique las ventajas de la modulación FM sobre la modulación AM

2. Determine las etapas que conforman un transmisor FM



3. Defina y establezca diferencias entre señal monoaural y estero

Monoaural:

Estéreo:

4. Realice una transmisión utilizando el generador de funciones. Y aplique distintas frecuencias de portadora.

Capture las formas de onda

5. Realice una transmisión utilizando un reproductor de música y aplique distintas frecuencias de portadora.

Capture las formas de onda

6. Cuál es la distancia promedio de transmisión

GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

MÓDULO: **CICLO ACADÉMICO:**
CARRERA: **PARALELO:**
ÁREA ACADÉMICA: **N° DE ALUMNOS:**
LABORATORIO: **N° DE PUESTOS DE TRABAJO:**
DOCENTE:

PRÁCTICA N° 5	
I. TEMA:	Demodulación FM
II. OBJETIVOS:	Analizar la demodulación de frecuencia. Identificar los parámetros que intervienen y determinar su papel en la demodulación frecuencia.
III. LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES:	Receptor FM Transmisor FM Generador de funciones Osciloscopio
IV. PROCEDIMIENTO:	Realizar mediciones, capturar formas de onda y determinar procesos que se generan en la demodulación FM.

ELABORADO POR:

Docente

Coordinador de Área

Coordinador de Carrera

**Firma y fecha de recepción en
Secretaría de Coordinadores**

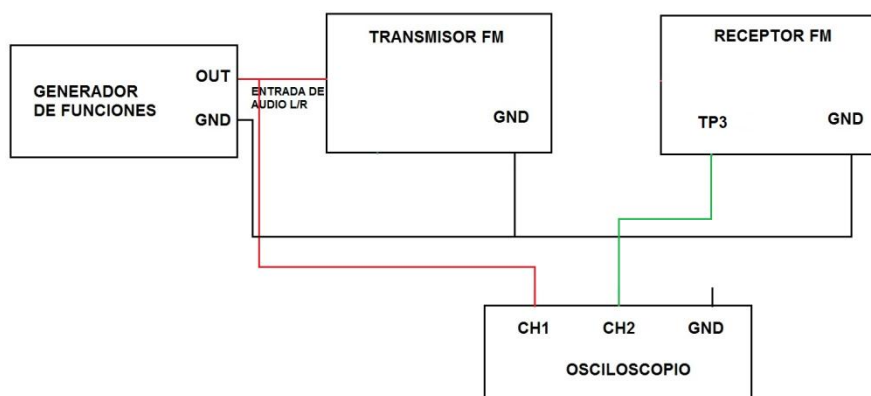
PRACTICA Nº 5

Tema: Demodulación FM

Equipos y Materiales:

- Receptor FM
- Transmisor FM
- Generador de funciones
- Osciloscopio

Diagrama de conexión:



Procedimiento:

1. Realice un barrido del receptor FM y determine el rango de frecuencias que recibe el dispositivo.

Frecuencia de Rx mínima: _____

Frecuencia de Rx máxima: _____

2. En la recepción del dispositivo existe una estación que no corresponde a la banda FM, identifique la fuente del audio y explique el fenómeno.

3. Sintonee una estación de radio, determine su frecuencia de transmisión y capture las formas de onda en la salida del modulador.

4. Con la ayuda del transmisor FM, establecer la frecuencia de Tx del dispositivo en un valor fijo, aplique una señal y varíe la frecuencia y amplitud de dicha señal ingresada, utilizando ambos canales del osciloscopio realizar una comparación entre la señal de entrada en el transmisor con la señal de salida del demodulador.

Transmisor

Frec. Ingresada	Amp. Ingresada	Frecuencia de Tx

Receptor

Frec. Salida	Amp. Salida	Frecuencia de Tx

Capture las formas de onda

5. Con la ayuda del transmisor FM, ingrese una señal fija al dispositivo transmisor y varíe la frecuencia de Tx, utilizando ambos canales del osciloscopio realizar una comparación entre la señal de entrada en el transmisor con la señal de salida del demodulador.

Transmisor

Frecuencia de Tx	Señal Ingresada
	Frec: Amp:

Capture las formas de onda

Receptor

Señal Recibida
Frec: Amp:

6. En base a los dos pasos anteriores describa el comportamiento de la señal a la salida del demodulador con respecto a la frecuencia y amplitud aplicada para cada uno de los casos.

7. Compare si las magnitudes de las ondas transmitida y recibida son las mismas, y determine si la forma de onda recibida es o no la misma que la forma de onda transmitida y explique el porqué.

GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

MÓDULO: **CICLO ACADÉMICO:**
CARRERA: **PARALELO:**
ÁREA ACADÉMICA: **Nº DE ALUMNOS:**
LABORATORIO: **Nº DE PUESTOS DE TRABAJO:**
DOCENTE:

PRÁCTICA N° 6	
I. TEMA:	Demodulación Estéreo
II. OBJETIVOS:	Examinar el proceso de demodulación estéreo. Ilustrar los factores que intervienen en la demodulación estéreo.
III. LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES:	Receptor Estéreo. Transmisor FM Generador de funciones Osciloscopio
IV. PROCEDIMIENTO:	Realizar mediciones, capturar formas de onda y determinar procesos que se generan en la demodulación estéreo.

ELABORADO POR:

Docente

Coordinador de Área

Coordinador de Carrera

**Firma y fecha de recepción en
Secretaría de Coordinadores**

PRACTICA Nº 6

Tema: Demodulador Estéreo

Equipos y Materiales:

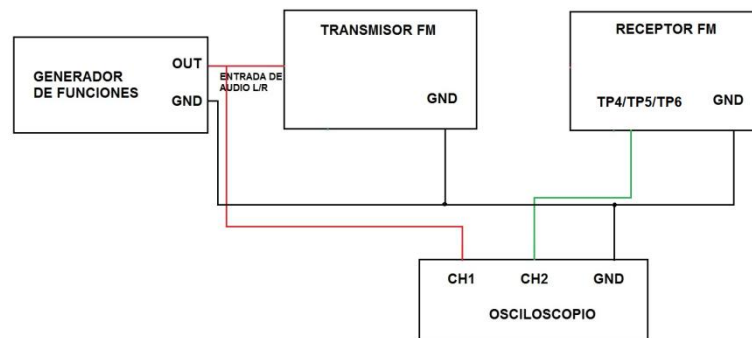
- Receptor FM
- Transmisor FM
- Generador de funciones
- Osciloscopio

Introducción:

Es el proceso contrario a la modulación estéreo, para lo que se necesita una señal piloto de 19KHz que permite regenerar la subportadora de 38KHz y así separar los canales de audio.

Debido a que el demodulador de FM existente en el dispositivo es monofónico no permite recuperar la señal estéreo por características propias del mismo; es por eso que esta etapa del receptor es netamente demostrativa.

Diagrama de conexión:



Procedimiento:

1. Mediante el potenciómetro de calibración existente en el dispositivo determinar cuál es el rango de frecuencia del mismo y situarlo en 19KHz.

Rango: _____

Documente los valores de frecuencia, amplitud y capture las formas de onda.

2. Con la ayuda del transmisor aplique diferentes señales a cada canal de forma individual y observe las salidas del demodulador estéreo.

Canal Derecho		Canal Izquierdo	
Frec. Aplicada	Amp. Aplicada	Frec. Aplicada	Amp. Aplicada

Canal Derecho		Canal Izquierdo	
Frec. Medida	Amp. Medida	Frec. Medida	Amp. Medida

Documente los valores de frecuencia, amplitud y capture las formas de onda.

3. Según los resultados obtenidos en el paso anterior describa cual es el comportamiento del demodulador estéreo.

GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

MÓDULO: **CICLO ACADÉMICO:**
CARRERA: **PARALELO:**
ÁREA ACADÉMICA: **Nº DE ALUMNOS:**
LABORATORIO: **Nº DE PUESTOS DE TRABAJO:**
DOCENTE:

PRÁCTICA N° 7	
I. TEMA:	Amplificador
II. OBJETIVOS:	Determinar la aplicación del amplificador en un receptor FM. Analizar el acondicionamiento de las señales en el amplificador.
III. LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES:	Receptor Transmisor FM Generador de funciones Osciloscopio
IV. PROCEDIMIENTO:	Realizar mediciones, capturar formas de onda y determinar procesos que se generan en el filtro.

ELABORADO POR:

Docente

Coordinador de Área

Coordinador de Carrera

**Firma y fecha de recepción en
Secretaría de Coordinadores**

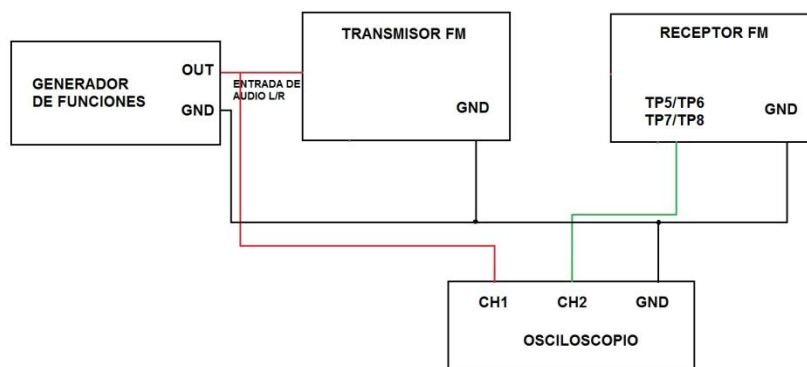
PRACTICA Nº 7

Tema: Amplificador de Audio

Equipos y Materiales:

- Receptor FM
- Transmisor FM
- Generador de funciones
- Osciloscopio

Diagrama de conexión:



Procedimiento:

1. Con ayuda del transmisor envíe un grupo de señales y documente los valores transmitidos y recibidos en los siguientes puntos:
 - Frecuencia transmitida
 - Salida del demodulador estéreo(1)
 - Salida del Amplificador, en esta sección colocar el potenciómetro en su punto máximo.(2)

Frec. Tx	Amp. Tx	Frec. Rx(1)	Amp. Rx(1)	Frec. Sal(2)	Amp. Sal(2)

Capture las formas de onda tanto de la entrada como de la salida.

2. Con los datos obtenidos en el paso anterior determine la ganancia del amplificador.

3. Describa el comportamiento de la amplitud de la señales en la transmisión.

GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

MÓDULO: **CICLO ACADÉMICO:**
CARRERA: **PARALELO:**
ÁREA ACADÉMICA: **N° DE ALUMNOS:**
LABORATORIO: **N° DE PUESTOS DE TRABAJO:**
DOCENTE:

PRÁCTICA N° 8	
I. TEMA:	Receptor FM
II. OBJETIVOS:	Determinar y analizar las etapas que conforman un receptor FM. Analizar los tipos de receptores FM existentes.
III. LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES:	Receptor FM Transmisor FM Generador de funciones Osciloscopio
IV. PROCEDIMIENTO:	Realizar mediciones, capturar formas de onda y analizar los procesos que se presentan en un receptor FM.

ELABORADO POR:

Docente

Coordinador de Área

Coordinador de Carrera

**Firma y fecha de recepción en
Secretaría de Coordinadores**

PRACTICA Nº 8

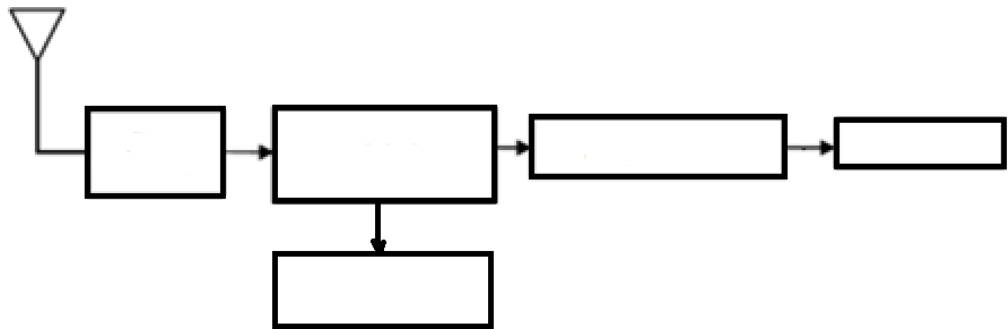
Tema: Receptor FM

Equipos y Materiales:

- Transmisor FM
- Receptor FM
- Generador de funciones
- Osciloscopio

Procedimiento:

1. Determine las etapas que conforman un receptor FM



2. Con ayuda del transmisor y un reproductor de música envíe señales de audio. Explique cuál es el comportamiento del receptor cuando se desconecta una entrada del transmisor.

3. Indique tipos de receptores FM
4. Investigue por qué los receptores monofónicos son compatibles con las transmisiones estereofónicas.

**ANEXO C: HOJAS DE DATOS DE
LOS CIRCUITOS INTEGRADOS.**



Features

- Internally compensated
- Short-circuit protection
- Gain and phase match between amplifier
- Low power consumption
- Pin-to-pin compatible with MC1458/LM358
- Gain bandwidth (at 100 kHz): 5.5 MHz

Description

The MC4558 is a high performance monolithic dual operational amplifier.

The circuit combines all of the outstanding features of the MC1458, and in addition possesses three times the unity gain bandwidth of the industry standard.

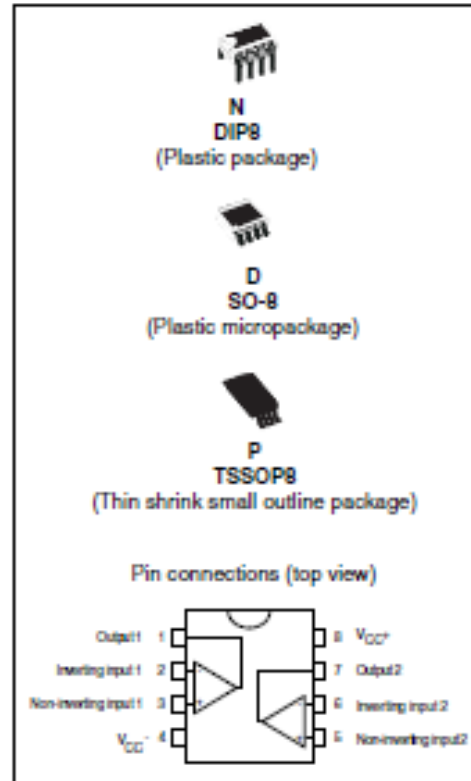


Table 1. Device summary

Order codes	Temperature range	Package	Packing	Marking
MC4558CN	0 °C to +70 °C	DIP8	Tube	MC4558CN
MC4558CD/CDT		SO-8	Tube or tape & reel	4558C
MC4558CPT		TSSOP8	Tape & reel	
MC4558ID/IDT	-40 °C to +105 °C	SO-8	Tube or tape & reel	4558I

1 Absolute maximum ratings

Table 2. Key parameters and their absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	MC4558I	MC4558C	Unit
V_{CC}	Supply voltage	±22		V
$V_I^{(1)}$	Input voltage	±15		V
$V_{id}^{(2)}$	Differential input voltage	±30		V
P_{tot}	Power dissipation	680		mW
	Output short-circuit duration	Infinite		
T_{oper}	Operating free-air temperature range	-40 to +105	0 to +70	°C
$R_{\theta ja}$	Thermal resistance junction-to-ambient:			°C/W
	SO-8	125		
	TSSOP8 DIP8	85		
ESD	HBM: Human body model ⁽³⁾	500		V
	MM: Machine model ⁽⁴⁾	200		
	CDM: Charged device model	1500		

- Input voltage is with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} . Its value must never exceed 15 V or the magnitude of V_{CC} , whichever is less.
- Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
- Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor into pin of device.
- Machine model ESD, a 200 pF cap is charged to the specified voltage, then discharged directly into the IC with no external series resistor (internal resistor < 5 Ω), into pin of device.

Table 3. Operating conditions

Symbol	Parameter	Min.	Max.	Unit
V_{CC}	Supply voltage	±2	±20	V

3 Electrical characteristics

Table 4. Electrical characteristics for $V_{CC} = \pm 15\text{ V}$, $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input offset voltage ($R_x \leq 10\text{ k}\Omega$) $T_{amb} = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1	5 6	mV
I_{io}	Input offset current $T_{amb} = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	100 200	nA
I_b	Input bias current $T_{amb} = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		50	400 500	nA
A_{vd}	Large signal voltage gain ($R_L = 2\text{ k}\Omega$, $V_o = \pm 10\text{ V}$) $T_{amb} = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		V/mV
SVR	Supply voltage rejection ratio ($R_x \leq 10\text{ k}\Omega$) $T_{amb} = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	77 77	90		dB
I_{CC}	Supply current, all amplifiers, no load $T_{amb} = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2.3	4.5 6	mA
V_{icm}	Input common mode voltage range $T_{amb} = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	± 12 ± 12			V
CMR	Common-mode rejection ratio ($R_x \leq 10\text{ k}\Omega$) $T_{amb} = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 70	90		dB
I_{oa}	Output short-circuit current	10	20	40	mA
V_o	Output voltage swing $T_{amb} = +25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ $R_L = 2\text{ k}\Omega$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ $R_L = 2\text{ k}\Omega$	± 12 ± 10 ± 12 ± 10	± 14 ± 13		V
SR	Slow rate $V_i = \pm 10$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unity gain	1.5	2.2		V/ μs
t_r	Rise time $V_i = \pm 20\text{ mV}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unity gain		0.3		μs
K_{ov}	Overshoot $V_i = \pm 20\text{ mV}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unity gain		15		%
R_i	Input resistance	0.3	2		M Ω
C_i	Input capacitance		1.4		pF
R_o	Output resistance		75		Ω
B	Unity gain bandwidth		2.8		MHz

Table 4. Electrical characteristics for $V_{CC} = \pm 15\text{ V}$, $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
GBP	Gain bandwidth product $V_i = 10\text{ mV}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $C_L = 100\text{ pF}$, $f = 100\text{ kHz}$, $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		5.5		MHz
THD	Total harmonic distortion $f = 1\text{ kHz}$, $A_v = 20\text{ dB}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, $V_o = 2V_{pp}$, $C_L = 100\text{ pF}$, $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		0.008		%
e_n	Equivalent input noise voltage ($R_S = 100\Omega$, $f = 1\text{ kHz}$)		12		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
V_{O1}/V_{O2}	Channel separation		120		dB

BA1404 BA1404F

FM stereo transmitter

The BA1404 and BA1404F monolithic ICs are stereo transmitters

Each IC consists of a stereo modulator that creates stereo composite signals, an FM modulator that creates FM signals, and an RF amplifier. The stereo modulator develops composite signals made up of a MAIN (L+R) signal, a SUB (L-R) signal and a pilot (19 kHz) signal using 38 kHz crystal oscillators.

The FM modulator has carriers on the FM broadcast band (75 ~ 108 MHz)

The RF amplifier transmits the stereo encoded FM signals and is also a buffer for the FM modulator.

The stereo transmitter is equipped with a constant voltage pin for a variable capacitor that is used to finely adjust the FM frequency.

Features

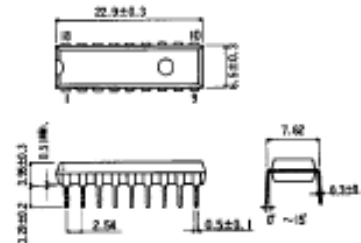
- available in DIP18 and SOP18 packages
- low operating voltage range (1.0 V ~ 2.0 V)
- low power consumption, typically 3 mA
- requires few external components

Applications

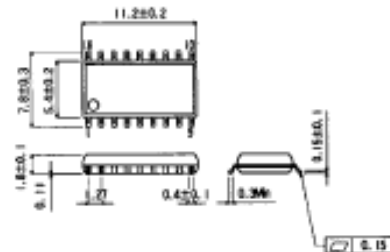
- FM stereo transmitters
- Wireless microphones

Dimensions (Units : mm)

BA1404 (DIP18)



BA1404F (SOP18)



Absolute maximum ratings ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Limits	Unit	Conditions
Power supply voltage	V_{CC}	2.5	V	
Power dissipation	BA1404	1200	mW	Reduce power by 12.0 mW for each degree above 25°C.
	BA1404F	450		Reduce power by 4.5 mW for each degree above 25°C.
Operating temperature	T_{opr}	-25 ~ +75	°C	
Storage temperature	T_{stg}	-50 ~ +125	°C	

Recommended operating conditions ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Min	Typical	Max	Unit
Power supply voltage	V_{CC}	1	1.25	2	V

Electrical characteristics ($T_a = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 1.25\text{ V}$)

Parameter	Symbol	Min	Typical	Max	Unit	Conditions
Quiescent current	I_Q	0.5	3	5	mA	
Input impedance	Z_{IN}	360	540	720	Ω	$f_{IN} = 1\text{ kHz}$
Input/output gain	G_V	30	37		dB	$V_{IN} = 0.5\text{ mV}$
Channel balance	CB			2	dB	$V_{IN} = 0.5\text{ mV}$
Multiplexer output voltage	V_{OM}	200			mV _{pk-pk}	THD $\leq 3\%$
Multiplexer 38 kHz leakage	V_{OO}		1		mV	No signal
Pilot output voltage	V_{OP}	460	580		mV _{pk-pk}	No load
Channel separation	Sep	25	45		dB	With a standard demodulator
Input conversion noise voltage	V_{NIN}		1		μV_{rms}	IHF-A when 38 kHz is terminated
RF output voltage	V_{OSC}	350	600		mV _{rms}	

Figure 1 Test circuit

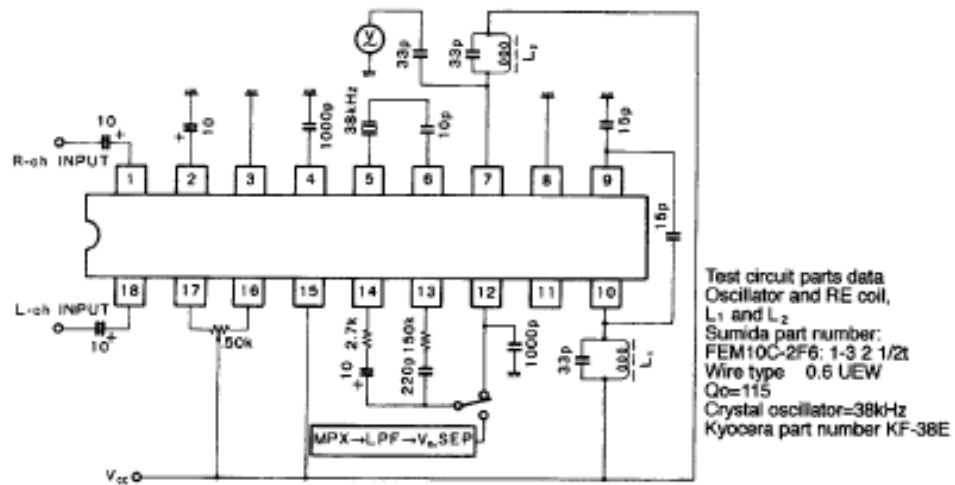
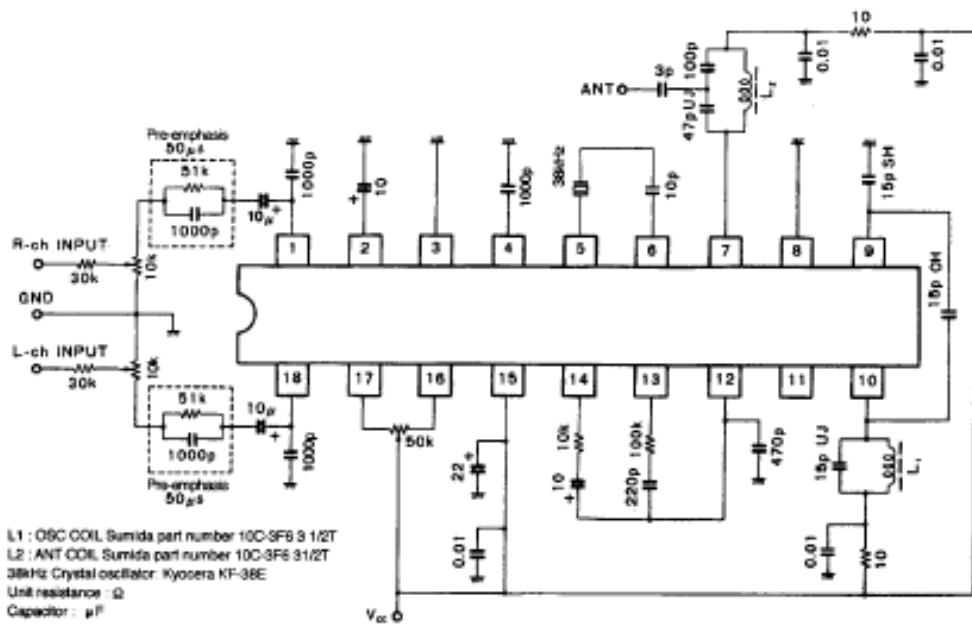


Figure 2 Application example



Circuit operation
Stereo modulator

The R-channel audio is input from pin 1 and the L-channel from pin 18. Each audio signal is amplified about 37 dB by independent amplifiers and output to the multiplexer.

The 38 kHz crystal oscillator, connected between pin 5 and pin 6, creates a 38 kHz subcarrier and a 19 kHz pilot signal with the same phase but delayed by a 1/2 cycle.

The audio signals and the 38 kHz subcarrier are balanced and modulated in the multiplexer. The L + R signal and the 38 kHz subcarrier, which are a DSB-modulated signal at L-R, are added to create the main carrier, which is output from pin 14.

The potentiometer between pins 16 and 17 can be used to lessen the subcarrier leakage due to unbalance in the multiplexer.

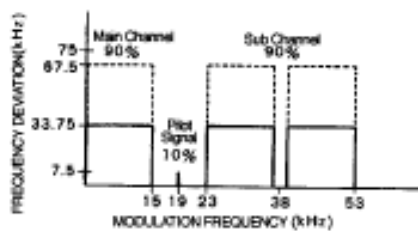


Figure 3 Modulation spectrum of pilot tone

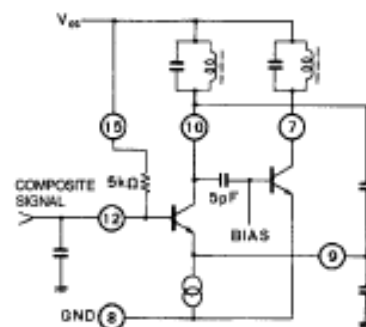


Figure 4 FM modulator

FM modulator

The high-frequency oscillator is a collector tuning-type or Colpits oscillator as shown in Figure 4. The composite signal is input from pin 12 to the base of the transistor. By adding the audio signal to the base, the reactance of the transistor changes. By changing the time constant of the tuning circuit in the oscillator, the frequency is modulated.

The oscillation frequency is determined by the LC resonator that is connected between pin 10 and the V_{CC} . Because this oscillator does not compensate for V_{CC} fluctuation and temperature changes, the frequency changes are large, and, when the receiver is part of a synthesizer (digital tuning) system, tuning should be separated from V_{CC} .

It is suggested that you use a variable capacitor (AFC) system, or an external FM modulator when frequency stability is required.

ANEXO C3:

FM radio circuit

TDA7000

GENERAL DESCRIPTION

The TDA7000 is a monolithic integrated circuit for mono FM portable radios, where a minimum on peripheral components is important (small dimensions and low costs).

The IC has an FLL (Frequency-Locked-Loop) system with an intermediate frequency of 70 kHz. The i.f. selectivity is obtained by active RC filters. The only function which needs alignment is the resonant circuit for the oscillator, thus selecting the reception frequency. Spurious reception is avoided by means of a mute circuit, which also eliminates too noisy input signals. Special precautions are taken to meet the radiation requirements.

The TDA7000 includes the following functions:

- R.F. input stage
- Mixer
- Local oscillator
- I.F. amplifier/limiter
- Phase demodulator
- Mute detector
- Mute switch

QUICK REFERENCE DATA

Supply voltage range (pin 5)	V_{PS}	2,7 to 10 V
Supply current at $V_{PS} = 4,5$ V	I_P	typ. 8 mA
R.F. input frequency range	f_H	1,5 to 110 MHz
Sensitivity for -3 dB limiting (e.m.f. voltage) (source impedance: 75 Ω ; mute disabled)	EMF	typ. 1,5 μ V
Signal handling (e.m.f. voltage) (source impedance: 75 Ω)	EMF	typ. 200 mV
A.F. output voltage at $R_L = 22$ k Ω	V_o	typ. 75 mV

PACKAGE OUTLINE

18-lead DIL; plastic (SOT102HE); SOT 102-1; 1996 July 24.

FM radio circuit

TDA7000

RATINGS

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

Supply voltage (pin 5)	V_P	max.	12 V
Oscillator voltage (pin 6)	V_{6-8}	$V_P - 0,5$ to $V_P + 0,5$ V	
Total power dissipation	see derating curve Fig.2		
Storage temperature range	T_{stg}		-55 to +150 °C
Operating ambient temperature range	T_{amb}		0 to +60 °C

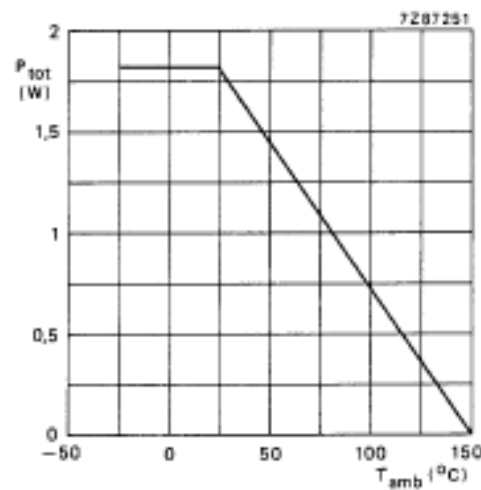


Fig.2 Power derating curve.

D.C. CHARACTERISTICS

 $V_P = 4,5$ V; $T_{amb} = 25$ °C; measured in Fig.4; unless otherwise specified

PARAMETER	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply voltage (pin 5)	V_P	2,7	4,5	10	V
Supply current at $V_P = 4,5$ V	I_P	—	8	—	mA
Oscillator current (pin 6)	I_6	—	280	—	μ A
Voltage at pin 14	V_{14-16}	—	1,35	—	V
Output current at pin 2	I_2	—	60	—	μ A
Voltage at pin 2; $R_L = 22$ k Ω	V_{2-16}	—	1,3	—	V

FM radio circuit

TDA7000

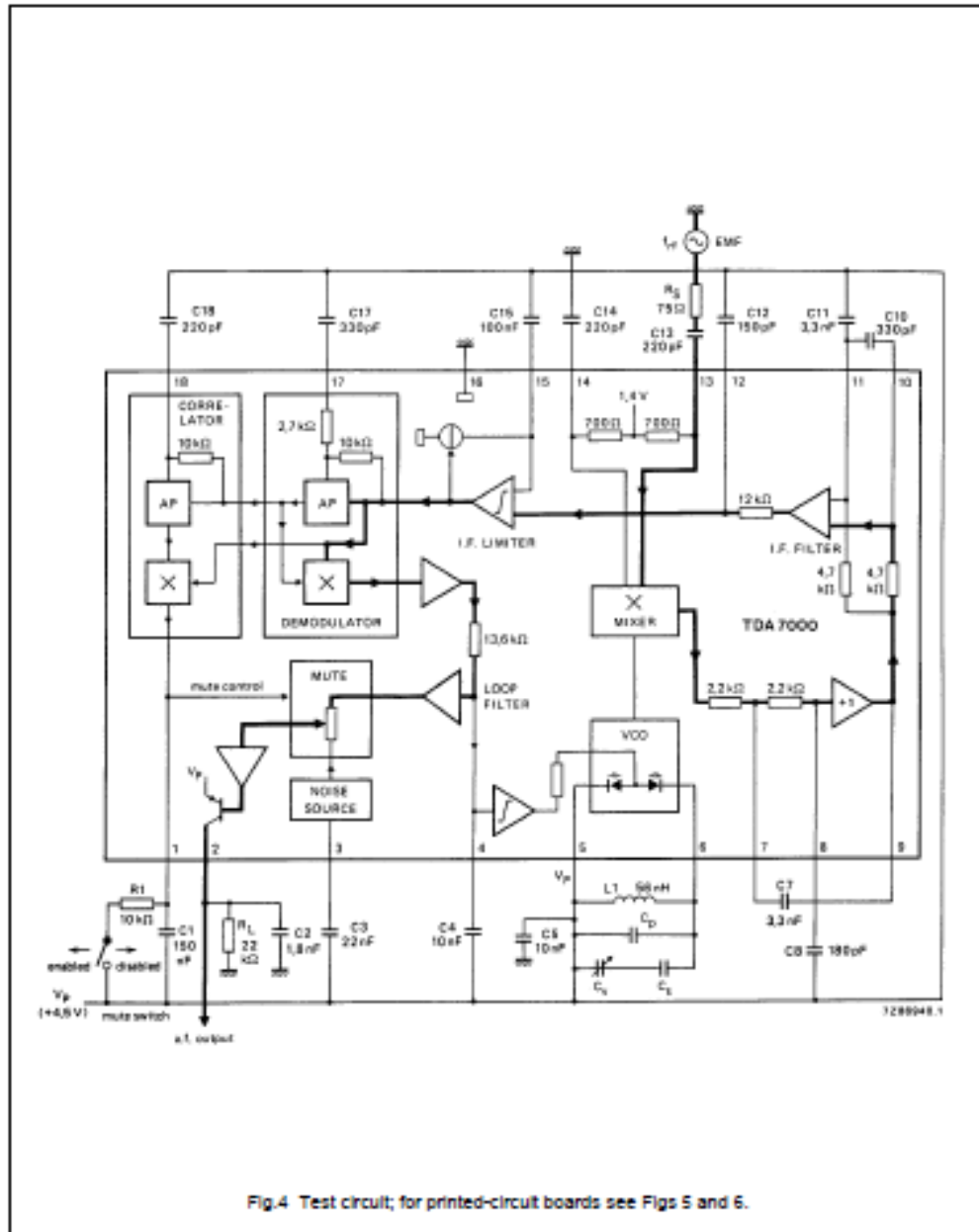
A.C. CHARACTERISTICS

$V_p = 4,5$ V; $T_{amb} = 25$ °C; measured in Fig.4 (mute switch open, enabled); $f_{cf} = 96$ MHz (tuned to max. signal at 5μ V e.m.f.) modulated with $\Delta f = \pm 22,5$ kHz; $f_m = 1$ kHz; EMF = 0,2 mV (e.m.f. voltage at a source impedance of 75 Ω); r.m.s. noise voltage measured unweighted ($f = 300$ Hz to 20 kHz); unless otherwise specified.


PARAMETER	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Sensitivity (see Fig.3) (e.m.f. voltage) for -3 dB limiting; muting disabled	EMF	—	1,5	—	μ V
for -3 dB muting	EMF	—	6	—	μ V
for S/N = 26 dB	EMF	—	5,5	—	μ V
Signal handling (e.m.f. voltage) for THD < 10%; $\Delta f = \pm 75$ kHz	EMF	—	200	—	mV
Signal-to-noise ratio	S/N	—	60	—	dB
Total harmonic distortion at $\Delta f = \pm 22,5$ kHz	THD	—	0,7	—	%
at $\Delta f = \pm 75$ kHz	THD	—	2,3	—	%
AM suppression of output voltage (ratio of the AM output signal referred to the FM output signal) FM signal: $f_m = 1$ kHz; $\Delta f = \pm 75$ kHz AM signal: $f_m = 1$ kHz; $m = 80\%$	AMB	—	50	—	dB
Ripple rejection ($\Delta V_p = 100$ mV; $f = 1$ kHz)	RR	—	10	—	dB
Oscillator voltage (r.m.s. value) at pin 6	V_{6-RMS}	—	250	—	mV
Variation of oscillator frequency with supply voltage ($\Delta V_p = 1$ V)	Δf_{osc}	—	60	—	kHz/V
Selectivity	S_{-300}	—	45	—	dB
	S_{-300}	—	35	—	dB
A.F.C. range	Δf_{cf}	—	± 300	—	kHz
Audio bandwidth at $\Delta V_p = 3$ dB measured with pre-emphasis ($t = 50 \mu$ s)	B	—	10	—	kHz
A.F. output voltage (r.m.s. value) at $R_L = 22$ k Ω	$V_{O(RMS)}$	—	75	—	mV
Load resistance at $V_p = 4,5$ V	R_L	—	—	22	k Ω
at $V_p = 9,0$ V	R_L	—	—	47	k Ω

FM radio circuit

TDA7000



ANEXO C4:



National Semiconductor

April 1987

LM1800 Phase-Locked Loop FM Stereo Demodulator

General Description

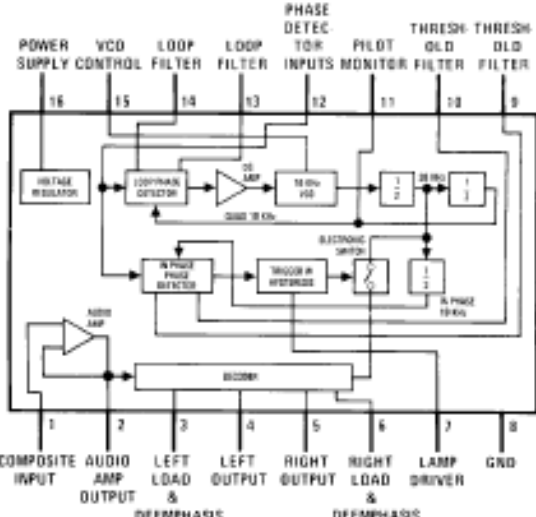
The LM1800 is a second generation integrated FM stereo demodulator using phase locked loop techniques to regenerate the 38 kHz subcarrier. The numerous features integrated on the die make possible a system delivering high fidelity sound while still meeting the cost requirements of inexpensive stereo receivers. More information available in AN-81.

Features

- Automatic stereo/monaural switching
- 45 dB power supply rejection
- No coils, all tuning performed with single potentiometer
- Wide operating supply voltage range
- Excellent channel separation
- Emitter follower output buffers

Connection Diagram

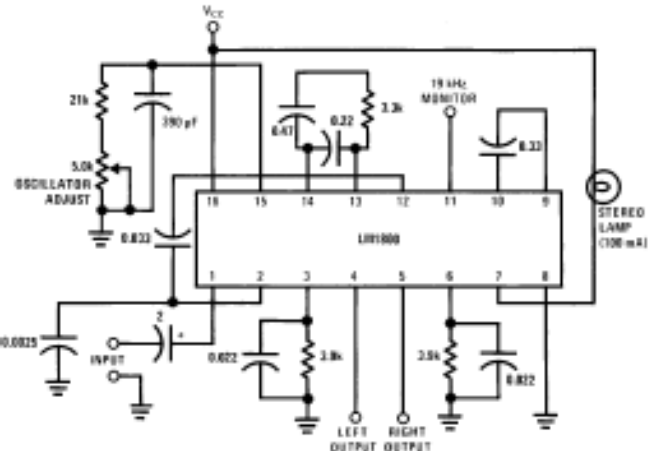
Order Number LM1800N
See NS Package Number N 16A



TL147688-1

Top View

Typical Application



TL147688-2

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage 18V
Power Dissipation (Note 3) 1500 mW

Operating Temperature Range 0°C to +70°C
Operating Supply Voltage Range +10V to +18V
Storage Temperature Range -65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec) 260°C

Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Supply Current	Lamp "OFF"		21	30	mA
Lamp Driver Saturation	100 mA Lamp Current		1.3	1.8	V
Lamp Driver Leakage			1.0		nA
Pilot Level for Lamp "ON"	Pin 11 Adjusted to 19.00 kHz		15	20	mVrms
Pilot Level for Lamp "OFF"	Pin 11 Adjusted to 19.00 kHz	3.0	7.0		mVrms
Stereo Lamp Hysteresis		3.0	6.0		dB
Stereo Channel Separation	100 Hz (Note 2)		40		dB
	1000 Hz (Note 2)	30	45		dB
	10000 Hz (Note 2)		45		dB
Monaural Channel Unbalance	200 mVrms, 1000 Hz Input		0.3	1.5	dB
Monaural Voltage Gain	200 mVrms, 400 Hz Input	140	200	260	mVrms
Total Harmonic Distortion	500 mVrms, 1000 Hz Input		0.4	1.0	%
Total Harmonic Distortion	500 mVrms, 1000 Hz Input, 1800A Only		0.1	0.3	%
Capture Range	25 mVrms of Pilot	±2.0		±6.0	% of f_p
Supply Ripple Rejection	200 mVrms of 200 Hz Ripple	35	45		dB
Dynamic Input Resistance		20	45		k Ω
Dynamic Output Resistance		900	1300	2000	Ω
SCA Rejection	(Note 4)		70		dB
Ultrasonic Freq. Rejection	Combined 19 and 38 kHz, Ref. to Output		33		dB

Note 1: $T_A = 25^\circ\text{C}$ and $V^+ = 12\text{V}$ unless otherwise stated.

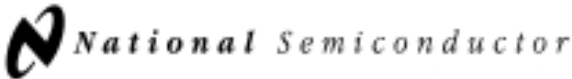
Note 2: The stereo input signal is made by summing 1.23 mVrms LEFT or RIGHT modulated signal with 25 mVrms of 19 kHz pilot tone, measuring all voltages with an average responding meter calibrated in rms. The resulting waveform is about 800 mVp-p.

Note 3: For operation in ambient temperatures above 25°C , the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 0.0°C/W (junction to ambient).

Note 4: Measured with a stereo composite signal consisting of 80% stereo, 10% pilot and 10% SCA as defined in the FCC Rules on Broadcasting.

Note 5: VCO "OFF" curve represents the distortion obtainable using good 19 kHz and 38 kHz filters.

ANEXO C5:


January 2000

LM386

Low Voltage Audio Power Amplifier

General Description

The LM386 is a power amplifier designed for use in low voltage consumer applications. The gain is internally set to 20 to keep external part count low, but the addition of an external resistor and capacitor between pins 1 and 8 will increase the gain to any value up to 200.

The inputs are ground referenced while the output is automatically biased to one half the supply voltage. The quiescent power drain is only 24 milliwatts when operating from a 6 volt supply, making the LM386 ideal for battery operation.

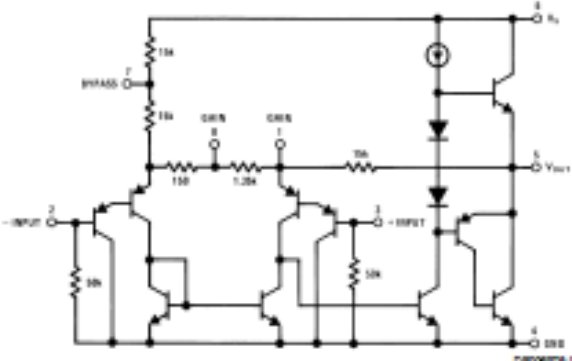
Features

- Battery operation
- Minimum external parts
- Wide supply voltage range: 4V–12V or 5V–18V
- Low quiescent current drain: 4 mA
- Voltage gains from 20 to 200
- Ground referenced input
- Self-centering output quiescent voltage
- Low distortion
- Available in 8 pin MSOP package

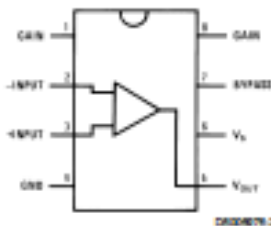
Applications

- AM-FM radio amplifiers
- Portable tape player amplifiers
- Intercoms
- TV sound systems
- Line drivers
- Ultrasonic drivers
- Small servo drivers
- Power converters

Equivalent Schematic and Connection Diagrams



Small Outline, Molded Mini Small Outline, and Dual-In-Line Packages



Top View
Order Number LM386M-1, LM386MM-1, LM386N-1, LM386N-3 or LM386N-4
See NS Package Number M08A, MUA08A or N08E

© 2000 National Semiconductor Corporation D5000978

www.national.com

41

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage (LM386N-1, -3, LM386M-1)	15V
Supply Voltage (LM386N-4)	22V
Package Dissipation (Note 3)	
(LM386N)	1.25W
(LM386M)	0.73W
(LM386MM-1)	0.595W
Input Voltage	±0.4V
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Operating Temperature	0°C to +70°C
Junction Temperature	+150°C
Soldering Information	

Dual-In-Line Package

Soldering (10 sec) +260°C

Small Outline Package

(SOIC and MSOP)

Vapor Phase (60 sec) +215°C

Infrared (15 sec) +220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Thermal Resistance

θ_{JC} (DIP) 37°C/W

θ_{JA} (DIP) 107°C/W

θ_{JC} (SO Package) 35°C/W

θ_{JA} (SO Package) 172°C/W

θ_{JA} (MSOP) 210°C/W

θ_{JC} (MSOP) 56°C/W

Electrical Characteristics (Notes 1, 2)

$T_A = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Operating Supply Voltage (V_{OH})					
LM386N-1, -3, LM386M-1, LM386MM-1		4		12	V
LM386N-4		5		18	V
Quiescent Current (I_Q)	$V_{OH} = 5V, V_{IN} = 0$		4	8	mA
Output Power (P_{OUT})					
LM386N-1, LM386M-1, LM386MM-1	$V_{OH} = 5V, R_L = 8\Omega, THD = 10\%$	250	325		mW
LM386N-3	$V_{OH} = 9V, R_L = 8\Omega, THD = 10\%$	500	700		mW
LM386N-4	$V_{OH} = 16V, R_L = 32\Omega, THD = 10\%$	700	1000		mW
Voltage Gain (A_V)	$V_{OH} = 5V, f = 1\text{ kHz}$ 10 μF from Pin 1 to 8		26 46		dB dB
Bandwidth (BW)	$V_{OH} = 5V$, Pins 1 and 8 Open		300		kHz
Total Harmonic Distortion (THD)	$V_{OH} = 5V, R_L = 8\Omega, P_{OUT} = 125\text{ mW}$ $f = 1\text{ kHz}$, Pins 1 and 8 Open		0.2		%
Power Supply Rejection Ratio (PSRR)	$V_{OH} = 5V, f = 1\text{ kHz}, C_{BYPASS} = 10\ \mu\text{F}$ Pins 1 and 8 Open, Referred to Output		50		dB
Input Resistance (R_{IN})			50		k Ω
Input Bias Current (I_{BIAS})	$V_{OH} = 5V$, Pins 2 and 3 Open		250		nA

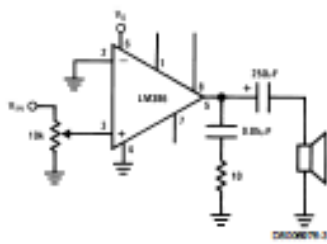
Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.

Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

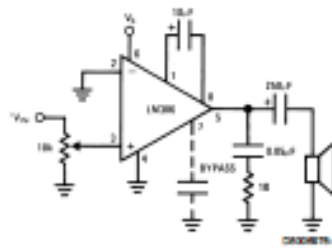
Note 3: For operation in ambient temperatures above 25°C, the device must be derated based on a 150°C maximum junction temperature and 1) a thermal resistance of 107°C/W junction to ambient for the dual-in-line package and 2) a thermal resistance of 170°C/W for the small outline package.

Typical Applications

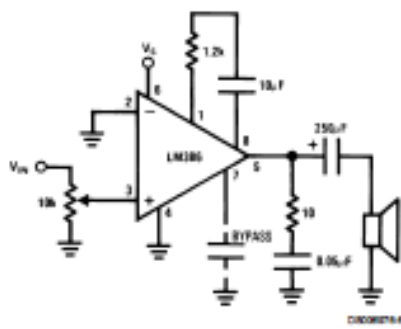
Amplifier with Gain = 20
Minimum Parts



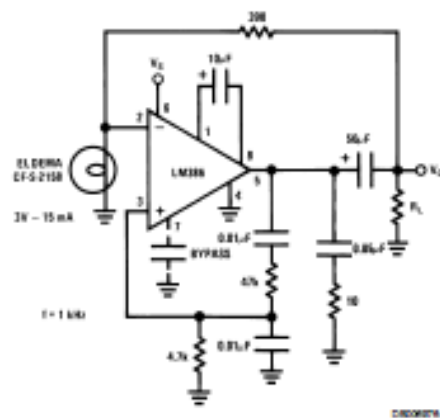
Amplifier with Gain = 200



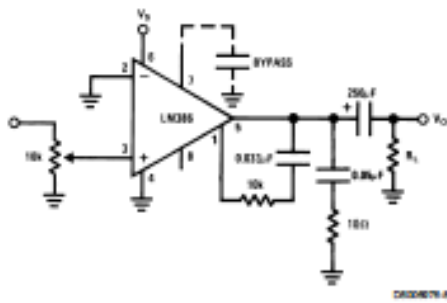
Amplifier with Gain = 60



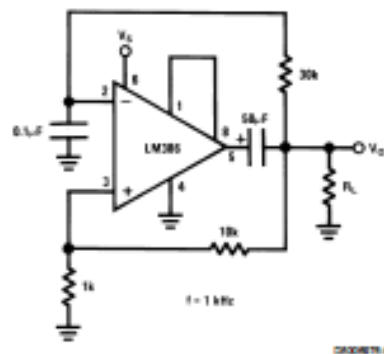
Low Distortion Power Wienbridge Oscillator



Amplifier with Bass Boost



Square Wave Oscillator



LM117/LM317A/LM317 3-Terminal Adjustable Regulator

General Description

The LM117 series of adjustable 3-terminal positive voltage regulators is capable of supplying in excess of 1.5A over a 1.2V to 37V output range. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, both line and load regulation are better than standard fixed regulators. Also, the LM117 is packaged in standard transistor packages which are easily mounted and handled.

In addition to higher performance than fixed regulators, the LM117 series offers full overload protection available only in IC's. Included on the chip are current limit, thermal overload protection and safe area protection. All overload protection circuitry remains fully functional even if the adjustment terminal is disconnected.

Normally, no capacitors are needed unless the device is situated more than 6 inches from the input filter capacitors in which case an input bypass is needed. An optional output capacitor can be added to improve transient response. The adjustment terminal can be bypassed to achieve very high ripple rejection ratios which are difficult to achieve with standard 3-terminal regulators.

Besides replacing fixed regulators, the LM117 is useful in a wide variety of other applications. Since the regulator is "floating" and sees only the input-to-output differential voltage, supplies of several hundred volts can be regulated as long as the maximum input to output differential is not exceeded, i.e., avoid short-circuiting the output.

Also, it makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment pin and output, the LM117 can be used as a precision current regulator. Supplies with electronic shutdown can be achieved by clamping

the adjustment terminal to ground which programs the output to 1.2V where most loads draw little current.

For applications requiring greater output current, see LM150 series (3A) and LM138 series (5A) data sheets. For the negative complement, see LM137 series data sheet.

LM117 Series Packages and Power Capability

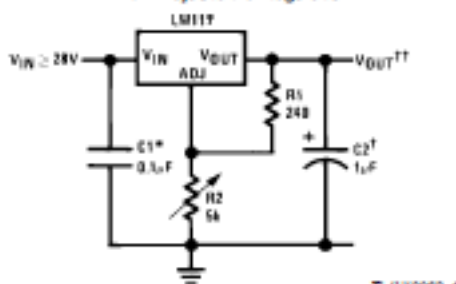
Part Number Suffix	Package	Rated Power Dissipation	Design Load Current
K	TO-3	20W	1.5A
H	TO-39	2W	0.5A
T	TO-220	20W	1.5A
E	LCC	2W	0.5A
S	TO-263	4W	1.5A

Features

- Guaranteed 1% output voltage tolerance (LM317A)
- Guaranteed max. 0.01%/V line regulation (LM317A)
- Guaranteed max. 0.3% load regulation (LM117)
- Guaranteed 1.5A output current
- Adjustable output down to 1.2V
- Current limit constant with temperature
- P+ Product Enhancement tested
- 80 dB ripple rejection
- Output is short-circuit protected

Typical Applications

1.2V-25V Adjustable Regulator

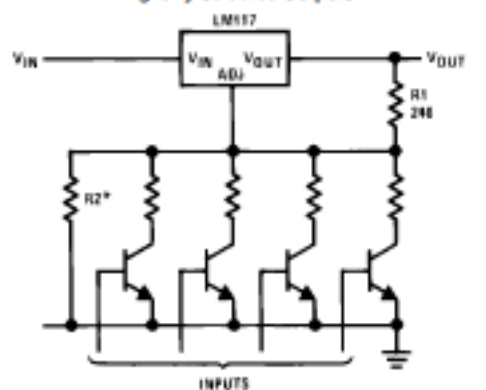


TL117900-1

Full output current not available at high input-output voltages.
 *Needed if device is more than 6 inches from filter capacitors.
 †Optional—Improves transient response. Output capacitors in the range of 1 μF to 1000 μF of aluminum or tantalum electrolytic are commonly used to provide improved output impedance and rejection of transients.

$$V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ}(R2)$$

Digitally Selected Outputs



TL117900-2

*Sets maximum VOUT

Electrical Characteristics (Continued)

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, $V_{IN} - V_{OUT} = 5\text{V}$, and $I_{OUT} = 10\text{mA}$. (Note 3)

Parameter	Conditions	LM317A			LM317			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Reference Voltage		1.236	1.250	1.262				V	
	$3\text{V} < (V_{IN} - V_{OUT}) < 40\text{V}$, $10\text{mA} < I_{OUT} < I_{MAX}$, $P < P_{MAX}$	1.225	1.250	1.270	1.20	1.25	1.30	V	
Line Regulation	$3\text{V} < (V_{IN} - V_{OUT}) < 40\text{V}$ (Note 4)		0.005	0.01		0.01	0.04	%/V	
			0.01	0.02		0.02	0.07	%/V	
Load Regulation	$10\text{mA} < I_{OUT} < I_{MAX}$ (Note 4)		0.1	0.5		0.1	0.5	%	
			0.3	1		0.3	1.5	%	
Thermal Regulation	20 ms Pulse		0.04	0.07		0.04	0.07	%/W	
Adjustment Pin Current			50	100		50	100	μA	
Adjustment Pin Current Change	$10\text{mA} < I_{OUT} < I_{MAX}$, $3\text{V} < (V_{IN} - V_{OUT}) < 40\text{V}$		0.2	5		0.2	5	μA	
Temperature Stability	$T_{MIN} < T_J < T_{MAX}$		1			1		%	
Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$		3.5	10		3.5	10	mA	
Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) < 15\text{V}$ K, T Packages H, P Packages		1.5	2.2	3.4	1.5	2.2	3.4	A
			0.5	0.8	1.8	0.5	0.8	1.8	A
	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40\text{V}$ K, T Packages H, P Packages		0.15	0.4		0.15	0.4		A
			0.075	0.2		0.075	0.2		A
RMS Output Noise, % of V_{OUT}	$10\text{Hz} < f < 10\text{kHz}$		0.003			0.003		%	
Ripple Rejection Ratio	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{Hz}$, $C_{ADJ} = 0\mu\text{F}$		65			65		dB	
	$V_{OUT} = 10\text{V}$, $f = 120\text{Hz}$, $C_{ADJ} = 10\mu\text{F}$		66	80		66	80	dB	
Long-Term Stability	$T_J = 125^\circ\text{C}$, 1000 hrs		0.3	1		0.3	1	%	
Thermal Resistance, Junction-to-Case	K Package					2.3	3	$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		12	15		12	15	$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		4	5		4		$^\circ\text{C/W}$	
	P Package							$^\circ\text{C/W}$	
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (No Heat Sink)	K Package		35			35		$^\circ\text{C/W}$	
	H Package		140			140		$^\circ\text{C/W}$	
	T Package		50			50		$^\circ\text{C/W}$	
	P Package (Note 6)					50		$^\circ\text{C/W}$	

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics. The guaranteed specifications apply only for the test conditions listed.

Note 2: Refer to RETS117H drawing for the LM117H, or the RETS117K to the LM117K military specifications.

Note 3: Although power dissipation is internally limited, these specifications are applicable for maximum power dissipation of 2W for the TO-39 and 20W for the TO-3 and TO-220. I_{MAX} is 1.5A for the TO-3 and TO-220 packages and 0.5A for the TO-39 package. All limits (i.e., the numbers in the Min. and Max. columns) are guaranteed to National's ADQL (Average Output Quality Level).

Note 4: Regulation is measured at a constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects are covered under the specifications for thermal regulation.

Note 5: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Note 6: If the TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PCB area directly connected to the package using 0.5 square inches of copper area, θ_{JA} is 50 $^\circ\text{C/W}$; with 1 square inch of copper area, θ_{JA} is 37 $^\circ\text{C/W}$; and with 1.6 or more square inches of copper area, θ_{JA} is 32 $^\circ\text{C/W}$.

Application Hints

In operation, the LM117 develops a nominal 1.25V reference voltage, V_{REF} , between the output and adjustment terminal. The reference voltage is impressed across program resistor R1 and, since the voltage is constant, a constant current I_1 then flows through the output set resistor R2, giving an output voltage of

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ}R2$$

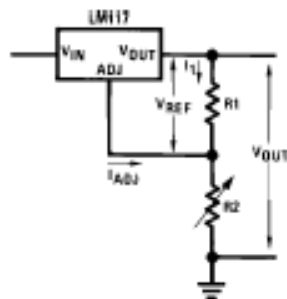


FIGURE 1

TU/H-9069-5

Since the 100 μ A current from the adjustment terminal represents an error term, the LM117 was designed to minimize I_{ADJ} and make it very constant with line and load changes. To do this, all quiescent operating current is returned to the output establishing a minimum load current requirement. If there is insufficient load on the output, the output will rise.

External Capacitors

An input bypass capacitor is recommended. A 0.1 μ F disc or 1 μ F solid tantalum on the input is suitable input bypassing for almost all applications. The device is more sensitive to the absence of input bypassing when adjustment or output capacitors are used but the above values will eliminate the possibility of problems.

The adjustment terminal can be bypassed to ground on the LM117 to improve ripple rejection. This bypass capacitor prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. With a 10 μ F bypass capacitor 80 dB ripple rejection is obtainable at any output level. Increases over 10 μ F do not appreciably improve the ripple rejection at frequencies above 120 Hz. If the bypass capacitor is used, it is sometimes necessary to include protection diodes to prevent the capacitor from discharging through internal low current paths and damaging the device.

In general, the best type of capacitors to use is solid tantalum. Solid tantalum capacitors have low impedance even at high frequencies. Depending upon capacitor construction, it takes about 25 μ F in aluminum electrolytic to equal 1 μ F solid tantalum at high frequencies. Ceramic capacitors are also good at high frequencies; but some types have a large decrease in capacitance at frequencies around 0.5 MHz. For this reason, 0.01 μ F disc may seem to work better than a 0.1 μ F disc as a bypass.

Although the LM117 is stable with no output capacitors, like any feedback circuit, certain values of external capacitance can cause excessive ringing. This occurs with values be-

tween 500 pF and 5000 pF. A 1 μ F solid tantalum (or 25 μ F aluminum electrolytic) on the output swamps this effect and insures stability. Any increase of the load capacitance larger than 10 μ F will merely improve the loop stability and output impedance.

Load Regulation

The LM117 is capable of providing extremely good load regulation but a few precautions are needed to obtain maximum performance. The current set resistor connected between the adjustment terminal and the output terminal (usually 240 Ω) should be tied directly to the output (case) of the regulator rather than near the load. This eliminates line drops from appearing effectively in series with the reference and degrading regulation. For example, a 15V regulator with 0.05 Ω resistance between the regulator and load will have a load regulation due to line resistance of 0.05 Ω \times I_L . If the set resistor is connected near the load the effective line resistance will be 0.05 Ω (1 + R2/R1) or in this case, 11.5 times worse.

Figure 2 shows the effect of resistance between the regulator and 240 Ω set resistor.

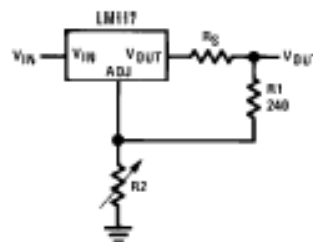


FIGURE 2. Regulator with Line Resistance in Output Lead

TU/H-9069-6

With the TO-3 package, it is easy to minimize the resistance from the case to the set resistor, by using two separate leads to the case. However, with the TO-5 package, care should be taken to minimize the wire length of the output lead. The ground of R2 can be returned near the ground of the load to provide remote ground sensing and improve load regulation.

Protection Diodes

When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator. Most 10 μ F capacitors have low enough internal series resistance to deliver 20A spikes when shorted. Although the surge is short, there is enough energy to damage parts of the IC.

When an output capacitor is connected to a regulator and the input is shorted, the output capacitor will discharge into the output of the regulator. The discharge current depends on the value of the capacitor, the output voltage of the regulator, and the rate of decrease of V_{IN} . In the LM117, this discharge path is through a large junction that is able to sustain 15A surge with no problem. This is not true of other types of positive regulators. For output capacitors of 25 μ F or less, there is no need to use diodes.

Application Hints (Continued)

The bypass capacitor on the adjustment terminal can discharge through a low current junction. Discharge occurs when either the input or output is shorted. Internal to the LM117 is a 50Ω resistor which limits the peak discharge

current. No protection is needed for output voltages of 25V or less and 10 μF capacitance. Figure 3 shows an LM117 with protection diodes included for use with outputs greater than 25V and high values of output capacitance.

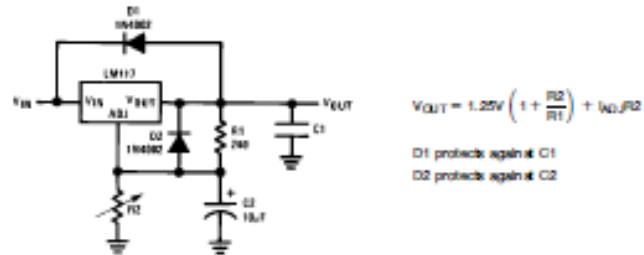
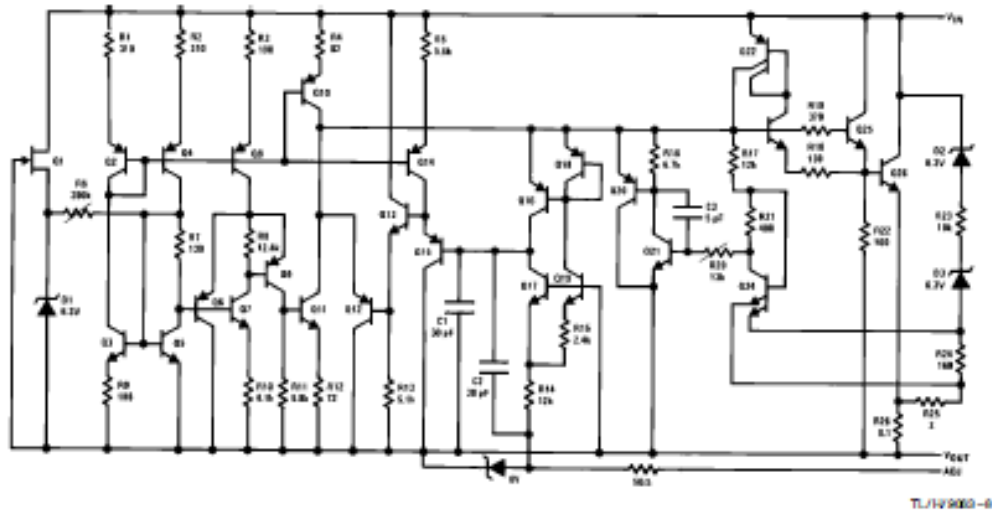


FIGURE 3. Regulator with Protection Diodes

Schematic Diagram



TL117000-6

ANEXO 7:

LM337

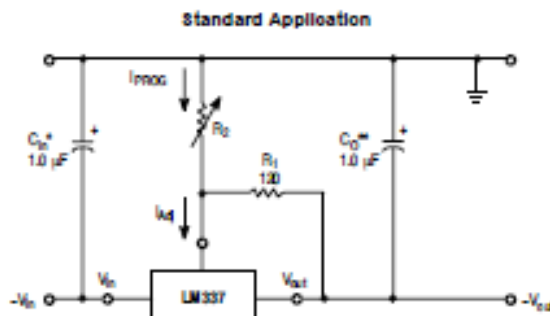
1.5 A, Adjustable Output, Negative Voltage Regulator

The LM337 is an adjustable 3-terminal negative voltage regulator capable of supplying in excess of 1.5 A over an output voltage range of -1.2 V to -37 V. This voltage regulator is exceptionally easy to use and requires only two external resistors to set the output voltage. Further, it employs internal current limiting, thermal shutdown and safe area compensation, making it essentially blow-out proof.

The LM337 serves a wide variety of applications including local, on card regulation. This device can also be used to make a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the LM337 can be used as a precision current regulator.

Features

- Pb-Free Packages are Available
- Output Current in Excess of 1.5 A
- Output Adjustable between -1.2 V and -37 V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting Constant with Temperature
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Floating Operation for High Voltage Applications
- Eliminates Stocking many Fixed Voltages
- Available in Surface Mount D²PAK and Standard 3-Lead Transistor Package



* C_{in} is required if regulator is located more than 4 inches from power supply filter. A 1.0 μ F solid tantalum or 10 μ F aluminum electrolytic is recommended.

** C_{out} is necessary for stability. A 1.0 μ F solid tantalum or 10 μ F aluminum electrolytic is recommended.

$$V_{out} = -1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$



ON Semiconductor[®]

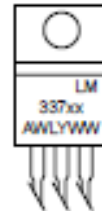
<http://onsemi.com>

THREE-TERMINAL ADJUSTABLE NEGATIVE VOLTAGE REGULATOR

MARKING DIAGRAM



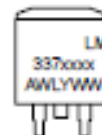
TO-220
T SUFFIX
CASE 221A
Heatink surface
connected to Pin 2.



Pin 1. Adjust
2. V_{in}
3. V_{out}



D²PAK
D2T SUFFIX
CASE 936



Heatink surface (shown as terminal 4 in case outline drawing) is connected to Pin 2.

xxxx = Specific Device Code
A = Assembly Location
WL = Wafer Lot
Y = Year
WW = Work Week

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 23 of this data sheet.

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Input-Output Voltage Differential	$V_I - V_O$	40	Vdc
Power Dissipation Case 221A $T_A = +25^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction-to-Ambient Thermal Resistance, Junction-to-Case Case 936 (DPAK) $T_A = +25^\circ\text{C}$ Thermal Resistance, Junction-to-Ambient Thermal Resistance, Junction-to-Case	P_D θ_{JA} θ_{JC}	Internally Limited 65 5.0	W $^\circ\text{C/W}$ $^\circ\text{C/W}$
Operating Junction Temperature Range	T_J	-40 to +125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_I - V_O = 5.0\text{ V}$, $I_O = 0.5\text{ A}$ for T package; $T_J = T_{\text{low}}$ to T_{high} [Note 1]; I_{max} and P_{max} [Note 2])

Characteristics	Figure	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Line Regulation (Note 3), $T_A = +25^\circ\text{C}$, $3.0\text{ V} \leq [V_I - V_O] \leq 40\text{ V}$	1	Reg_{line}	-	0.01	0.04	%/V
Load Regulation (Note 3), $T_A = +25^\circ\text{C}$, $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{\text{max}}$ $[V_O] \leq 5.0\text{ V}$ $[V_O] \geq 5.0\text{ V}$	2	Reg_{load}	- -	15 0.3	50 1.0	mV % V_O
Thermal Regulation, $T_A = +25^\circ\text{C}$ (Note 6), 10 ms Pulse		$\text{Reg}_{\text{therm}}$	-	0.003	0.04	% V_O /W
Adjustment Pin Current	3	I_{adj}	-	65	100	μA
Adjustment Pin Current Change, $2.5\text{ V} \leq [V_I - V_O] \leq 40\text{ V}$, $10\text{ mA} \leq I_L \leq I_{\text{max}}$, $P_D \leq P_{\text{max}}$, $T_A = +25^\circ\text{C}$	1, 2	ΔI_{adj}	-	2.0	5.0	μA
Reference Voltage, $T_A = +25^\circ\text{C}$, $3.0\text{ V} \leq [V_I - V_O] \leq 40\text{ V}$, $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{\text{max}}$, $P_D \leq P_{\text{max}}$, $T_J = T_{\text{low}}$ to T_{high}	3	V_{ref}	-1.213 -1.20	-1.250 -1.25	-1.287 -1.30	V
Line Regulation (Note 3), $3.0\text{ V} \leq [V_I - V_O] \leq 40\text{ V}$	1	Reg_{line}	-	0.02	0.07	%/V
Load Regulation (Note 3), $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{\text{max}}$ $[V_O] \leq 5.0\text{ V}$ $[V_O] \geq 5.0\text{ V}$	2	Reg_{load}	- -	20 0.3	70 1.5	mV % V_O
Temperature Stability ($T_{\text{low}} \leq T_J \leq T_{\text{high}}$)	3	T_S	-	0.6	-	% V_O
Minimum Load Current to Maintain Regulation ($[V_I - V_O] \leq 10\text{ V}$) ($[V_I - V_O] \leq 40\text{ V}$)	3	I_{min}	- -	1.5 2.5	6.0 10	mA
Maximum Output Current $[V_I - V_O] \leq 15\text{ V}$, $P_D \leq P_{\text{max}}$, T Package $[V_I - V_O] \leq 40\text{ V}$, $P_D \leq P_{\text{max}}$, T Package	3	I_{max}	- -	1.5 0.15	2.2 0.4	A
RMS Noise, % of V_O , $T_A = +25^\circ\text{C}$, $10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$		N	-	0.003	-	% V_O
Ripple Rejection, $V_O = -10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$ (Note 4) Without C_{adj} $C_{\text{adj}} = 10\mu\text{F}$	4	RR	- 66	60 77	- -	dB
Long-Term Stability, $T_J = T_{\text{high}}$ (Note 5), $T_A = +25^\circ\text{C}$ for Endpoint Measurements	3	S	-	0.3	1.0	%/1.0 k Hrs.
Thermal Resistance Junction-to-Case, T Package		$R_{\theta JC}$	-	4.0	-	$^\circ\text{C/W}$

1. T_{low} to $T_{\text{high}} = 0^\circ$ to $+125^\circ\text{C}$, for LM337T, D2T. T_{low} to $T_{\text{high}} = -40^\circ$ to $+125^\circ\text{C}$, for LM337BT, BD2T.

2. $I_{\text{max}} = 1.5\text{ A}$, $P_{\text{max}} = 20\text{ W}$

3. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in V_O because of heating effects is covered under the Thermal Regulation specification. Pulse testing with a low duty cycle is used.

4. C_{adj} , when used, is connected between the adjustment pin and ground.

5. Since Long Term Stability cannot be measured on each device before shipment, this specification is an engineering estimate of average stability from lot to lot.

6. Power dissipation within an IC voltage regulator produces a temperature gradient on the die, affecting individual IC components on the die. These effects can be minimized by proper integrated circuit design and layout techniques. Thermal Regulation is the effect of these temperature gradients on the output voltage and is expressed in percentage of output change per watt of power change in a specified time.

LM337

APPLICATIONS INFORMATION

Basic Circuit Operation

The LM337 is a 3-terminal floating regulator. In operation, the LM337 develops and maintains a nominal -1.25 V reference (V_{ref}) between its output and adjustment terminals. This reference voltage is converted to a programming current (I_{PRG}) by R_1 (see Figure 17), and this constant current flows through R_2 from ground.

The regulated output voltage is given by:

$$V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{Adj} R_2$$

Since the current into the adjustment terminal (I_{Adj}) represents an error term in the equation, the LM337 was designed to control I_{Adj} to less than $100\ \mu\text{A}$ and keep it constant. To do this, all quiescent operating current is returned to the output terminal. This imposes the requirement for a minimum load current. If the load current is less than this minimum, the output voltage will rise.

Since the LM337 is a floating regulator, it is only the voltage differential across the circuit which is important to performance, and operation at high voltages with respect to ground is possible.

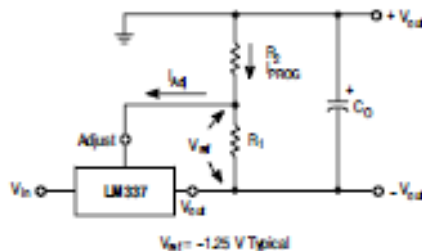


Figure 17. Basic Circuit Configuration

Load Regulation

The LM337 is capable of providing extremely good load regulation, but a few precautions are needed to obtain maximum performance. For best performance, the programming resistor (R_1) should be connected as close to the regulator as possible to minimize line drops which effectively appear in series with the reference, thereby

degrading regulation. The ground end of R_2 can be returned near the load ground to provide remote ground sensing and improve load regulation.

External Capacitors

A $1.0\ \mu\text{F}$ tantalum input bypass capacitor (C_{in}) is recommended to reduce the sensitivity to input line impedance.

The adjustment terminal may be bypassed to ground to improve ripple rejection. This capacitor (C_{Adj}) prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. A $10\ \mu\text{F}$ capacitor should improve ripple rejection about $15\ \text{dB}$ at $120\ \text{Hz}$ in a $10\ \text{V}$ application.

An output capacitance (C_O) in the form of a $1.0\ \mu\text{F}$ tantalum or $10\ \mu\text{F}$ aluminum electrolytic capacitor is required for stability.

Protection Diodes

When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator.

Figure 18 shows the LM337 with the recommended protection diodes for output voltages in excess of $-25\ \text{V}$ or high capacitance values ($C_O > 25\ \mu\text{F}$, $C_{Adj} > 10\ \mu\text{F}$). Diode D_1 prevents C_O from discharging thru the IC during an input short circuit. Diode D_2 protects against capacitor C_{Adj} discharging through the IC during an output short circuit. The combination of diodes D_1 and D_2 prevents C_{Adj} from the discharging through the IC during an input short circuit.

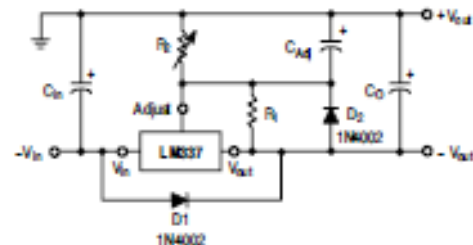


Figure 18. Voltage Regulator with Protection Diodes

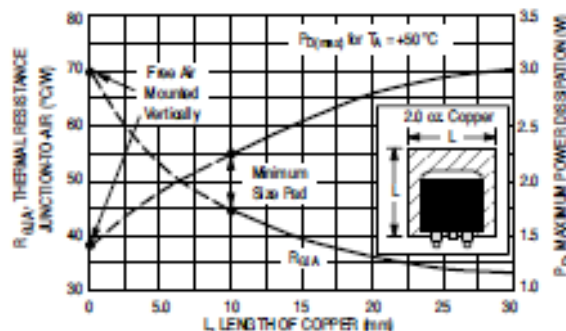


Figure 19. D^2PAK Thermal Resistance and Maximum Power Dissipation versus P.C.B. Copper Length

ANEXO C8:

LM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

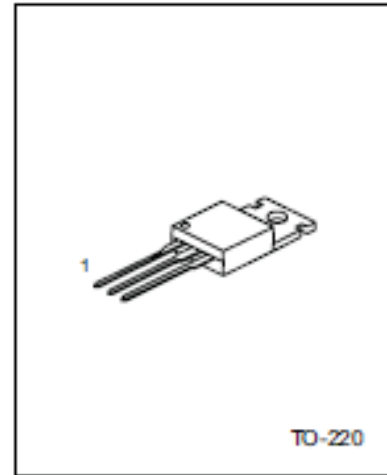
3-TERMINAL 1A POSITIVE VOLTAGE REGULATOR

DESCRIPTION

The Contek 78XX family is monolithic fixed voltage regulator integrated circuit. They are suitable for applications that required supply current up to 1 A.

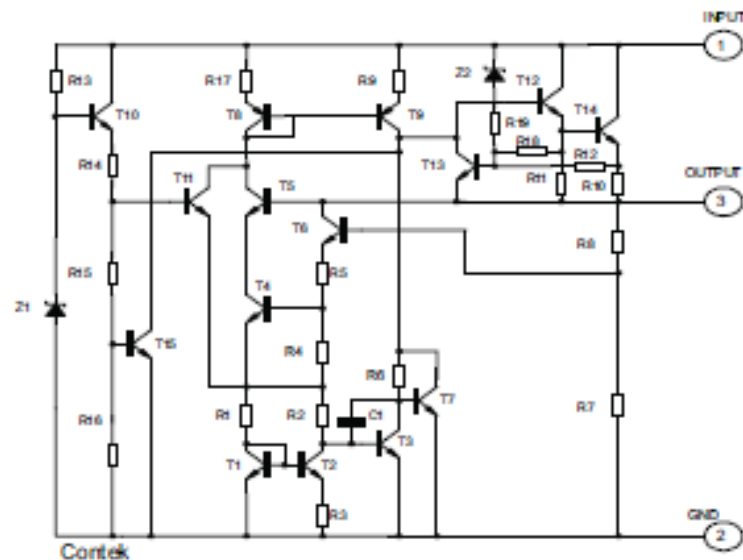
FEATURES

- *Output current up to 1.5 A
- *Fixed output voltage of 5V, 6V, 8V, 9V, 10V, 12V, 15V, 18V and 24V available
- *Thermal overload shutdown protection
- *Short circuit current limiting
- *Output transistor SOA protection



1:Input 2:GND 3:Output

TEST CIRCUIT



LM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Short-Circuit Current	I _{sc}	V _i =35V, T _j =25 C		250		mA
Dropout Voltage	V _d	T _j =25 C		2.0		V

Contek LM7808 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_i=14V, I_o=0.5A, T_j=0 C - 125 C, C₁=0.33μF, C_o=0.1μF, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V _o	T _j =25 C, I _o =5mA - 1.0A	7.7	8.0	8.3	V
		V _i =10.5V to 23V, I _o =5mA - 1.0A, PD<15W	7.6		8.4	V
Load Regulation	ΔV _o	T _j =25 C, I _o =5mA - 1.5A			80	mV
		T _j =25 C, I _o =0.25A - 0.75A			40	mV
Line regulation	ΔV _o	V _i =10.5V to 25V, T _j =25 C			80	mV
		V _i =10.5V to 23V, T _j =25 C, I _o =1A			80	mV
Quiescent Current	I _q	T _j =25 C, I _o <1A			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI _q	V _i =10.5V to 23V			1.0	mA
		I _o =5mA - 1.0A			0.5	mA
Output Noise Voltage	V _n	10Hz < f < 100kHz		58		μV
Temperature coefficient of V _o	ΔV _o /ΔT	I _o =5mA		-0.9		mV/ C
Ripple Rejection	RR	V _i =11.5V to 21.5V, f=120Hz, T _j =25 C	56	72		dB
Peak Output Current	I _{pk}	T _j =25 C		1.8		A
Short-Circuit Current	I _{sc}	V _i =35V, T _j =25 C		250		mA
Dropout Voltage	V _d	T _j =25 C		2.0		V

Contek LM7809 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_i=15V, I_o=0.5A, T_j=0 C - 125 C, C₁=0.33μF, C_o=0.1μF, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V _o	T _j =25 C, I _o =5mA - 1.0A	8.65	9.00	9.35	V
		V _i =11.5V to 24V, I _o =5mA - 1.0A, PD<15W	8.6		9.4	V
Load Regulation	ΔV _o	T _j =25 C, I _o =5mA - 1.5A			90	mV
		T _j =25 C, I _o =0.25A - 0.75A			45	mV
Line regulation	ΔV _o	V _i =11.5V to 25 V, T _j =25 C, PD<15W			90	mV
		V _i =11.5V to 24V, T _j =25 C, I _o <1A			90	mV
Quiescent Current	I _q	T _j =25 C, I _o <1A			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI _q	V _i =11.5V to 24V			1.0	mA
		I _o =5mA - 1.0A			0.5	mA
Output Noise Voltage	V _n	10Hz < f < 100kHz		58		μV
Temperature coefficient of V _o	ΔV _o /ΔT	I _o =5mA		-1.1		mV/ C
Ripple Rejection	RR	V _i =12.5V to 22.5V, f=120Hz, T _j =25 C	56	72		dB
Peak Output Current	I _{pk}	T _j =25 C		1.8		A
Short-Circuit Current	I _{sc}	V _i =35V, T _j =25 C		250		mA
Dropout Voltage	V _d	T _j =25 C		2.0		V

LM78XX LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

Contek LM7824 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

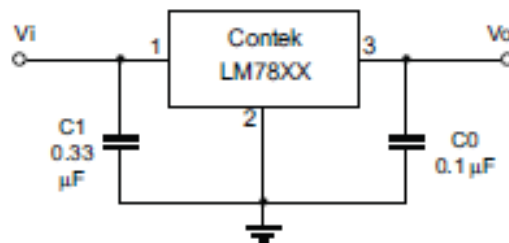
($V_i=33V$, $I_o=0.5A$, $T_j=0\text{ C} - 12\text{ C}$, $C_1=0.33\mu F$, $C_o=0.1\mu F$, unless otherwise specified)(Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Voltage	V_o	$T_j=25\text{ C}$, $I_o=5mA - 1.0A$	23.0	24.0	25.0	V
		$V_i=27V$ to $38V$, $I_o=5mA - 1.0A$	22.8		25.2	V
Load Regulation	ΔV_o	$T_j=25\text{ C}$, $I_o=5mA - 1.5A$			240	mV
		$T_j=25\text{ C}$, $I_o=0.25A - 0.75A$			120	mV
Line regulation	ΔV_o	$V_i=27V$ to $38V$, $T_j=25\text{ C}$			240	mV
		$V_i=27V$ to $38V$, $T_j=25\text{ C}$, $I_o=1A$			240	mV
Quiescent Current	I_q	$T_j=25\text{ C}$, $I_o<1A$			8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_q	$V_i=28V$ to $38V$			1.0	mA
		$I_o=5mA - 1.0A$			0.5	mA
Output Noise Voltage	V_n	$10Hz < f < 100kHz$		170		μV
Temperature coefficient of V_o	$\Delta V_o/\Delta T$	$I_o=5mA$		-2.8		mV/ C
Ripple Rejection	RR	$V_i=28V - 38V$, $f=120Hz$, $T_j=25\text{ C}$	50	66		dB
Peak Output Current	I_{pk}	$T_j=25\text{ C}$		1.8		A
Short-Circuit Current	I_{sc}	$V_i=35V$, $T_j=25\text{ C}$		250		mA
Dropout Voltage	V_d	$T_j=25\text{ C}$		2.0		V

Note 1: The Maximum steady state usable output current are dependent on input voltage, heat sinking, lead length of the package and copper pattern of PCB. The data above represents pulse test conditions with junction temperatures specified at the initiation of test.

Note 2: Power dissipation < 0.5W

APPLICATION CIRCUIT



Note 1: To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX".

Note 2: Bypass capacitors are recommended for optimum stability and transient response and should be located as close as possible to the regulators.