



**TRANSMISOR / RECEPTOR INALÁMBRICO DE CUATRO CANALES PARA
INSTRUMENTOS MUSICALES.**

MIGUEL ANGEL SUAREZ SIERRA

**UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACION
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
BUCARAMANGA
2008**



**TRANSMISOR / RECEPTOR INALÁMBRICO DE CUATRO CANALES PARA
INSTRUMENTOS MUSICALES.**

MIGUEL ÁNGEL SUÁREZ SIERRA

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico

Director

Ing. Raúl Restrepo Agudelo

**UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERIA Y ADMINISTRACION
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA
BUCARAMANGA
2008**

Nota de aceptación:

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Ciudad y fecha:

Esto se lo dedico a Dios, a mis Padres, hermanos, amigos, y profesores, que han aportado mucho en mi formación y son los gestores de mis metas alcanzadas.

AGRADECIMIENTOS

De manera muy especial le agradezco al Ing. Raúl Restrepo Agudelo por su tiempo, amabilidad y confianza que deposito en mí para el desarrollo del presente proyecto.

Le agradezco a Dios, a mi familia y a mi novia que siempre estuvieron apoyándome en los tiempos difíciles y animándome para seguir adelante con este proyecto, siendo ellos principalmente los motores de todos mi éxitos alcanzados.

También agradezco a todo el personal de la Universidad Pontificia Bolivariana que con su amabilidad hicieron posible el desarrollo de este proyecto.

RESUMEN

La modulación en amplitud fue la primera que se utilizó y, debido a los problemas de ruido que esta presentaba en la recepción apareció, la modulación en frecuencia que garantizaba una mayor fidelidad de la transmisión. Al hablar de transmisión de información la preocupación mayor de los diseñadores es el ruido y al tratar de mejorar este, aparecen otros tipos de modulación como la digital a pesar de ello, en la actualidad la modulación en frecuencia sigue siendo muy importante y puede ser implementada para diseños de audio de buena fidelidad como el propuesto en este proyecto.

El Transmisor/Receptor inalámbrico de cuatro canales para instrumento musical es una herramienta para ser utilizada con cualquier equipo de audio (instrumentos musicales, MP3, micrófono), pero principalmente para una agrupación musical, que debe conectar diferentes instrumentos y realizar su presentación en un escenario definido. En estos casos, la utilidad del equipo es más evidente si los músicos poseen instrumentos electrónicos que requieren movilidad y que para hacerlo se deben conectar con cables extensos que permitan su desplazamiento por todo el escenario.

El trabajo central es el diseño de cuatro transmisores FM analógicos que envían la información (voz y música) de manera inalámbrica utilizando modulación en frecuencia. Estas señales serán enviadas de manera simultánea hacia un receptor capaz de recibir, mezclar y amplificar las señales para poder ser conectadas a un amplificador de audio o a cualquier parlante.

El diseño de los transmisores y receptores se realizó con los circuitos integrados BA1404 y TDA 7000 que manejan internamente módulos analógicos para la transmisión/recepción, mejorando la potencia de consumo, fidelidad del audio y los costos de material. Los integrados fueron elegidos de acuerdo con las especificaciones planteadas, etapas requeridas del dispositivo y ventajas que serán descritas detalladamente en el transcurso del documento.

Dado que es un prototipo, su robustez a un no es comercial pero es la base para el desarrollo de equipos similares, trabajo que se pueda ir perfeccionando con investigaciones posteriores por estudiantes del programa de Ingeniería Electrónica de la UPB.

ABSTRACT

The amplitude modulation was the first in using and, because of the noisy problems that this one presented in the reception, it appeared the frequency modulation guaranteeing more fidelity of the broadcast. When we speak about information transmission, the principal worry of the designers is the noise, and when they wish to improve it, other types of modulation appear, such as the digital modulation. Frequency modulation at the present time continues being very important, and can be implemented in designs of audio in high fidelity as the one proposed in this work.

The 4-channel wireless transmitter/receiver for musical instrument is a tool for being used with any audio device (musical instruments, MP3, microphone), but mainly for a musical group that must connect different instruments and make its show in a specific auditorium. In these cases, the profit of device is more evident if musicians have electronic instruments that require mobility and for getting it, they must connect their instruments to long cables that restrict their movement along the auditorium.

The central work of this project is the design of four analogic FM transmitters that send information (voice and music) through a wireless medium using frequency modulation. These signals will be sent simultaneously towards a receiver capable of receiving, mixing and amplifying the signals so that they can be connected to an audio amplifier or to another loudspeaker.

The design of the transmitters and receivers was made using the BA1404 and TDA7000 integrated circuits that have internally analogic modules for the transmission and reception, improving the power waste, fidelity of audio and the costs of material. The integrated circuits were chosen for reach the proposed specifications, looking for to reduce the design stages and other advantages that will be described in detail through of the document.

Like it is a prototype, its bigness is not so commercial yet; but it is foundation for the develop of similar device, work to be improved with investigations in the future by students of the Electronical Engineering Program.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar y construir un sistema Transmisor/Receptor inalámbrico análogo de cuatro canales y salidas para instrumentos musicales.

Objetivos específicos

- Diseñar y construir cuatro transmisores con un alcance de 60 m, que puedan ser alimentados con baterías, y la transmisión se realice por modulación en frecuencia (FM) con una frecuencia de portadora ajustable para cada canal (entre 72 a 80 MHz).
- Diseñar y construir un receptor de cuatro canales con un ancho de banda de radio frecuencia (RF) de 200KHz por canal.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	17
1. MARCO TEORICO	18
1.1 GENERALIDADES DE LA ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	18
1.2 RUIDO PRESENTE EN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN	19
1.3 TRANSMISOR FM	20
1.3.1 Señal moduladora	21
1.3.2 Preamplificador de audio	21
1.3.3 Red de preénfasis	22
1.3.4 Modulador FM	23
1.2.5 Oscilador local o de RF	29
1.3.6 Amplificadores RF	30
1.3.7 Antena	30
1.4 RECEPTOR FM	31
1.4.1 Sección de RF	33
1.4.2 Sección mezclador/Convertidor	33
1.4.3 Sección de IF	35
1.4.4 Demodulador FM	36
1.4.5 Sección de audio	37
1.5 Sistema semejantes en el mercado	37
2. DESARROLLO DEL PROYECTO	39

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	39
2.2 SELECCIÓN DE FRECUENCIA DE PORTADORA PARA LAS TRANSMISIONES FM.....	40
2.3 DISEÑO DE TRANSMISOR FM.....	41
2.3.1 BA1404 como modulador FM.....	42
2.3.2 Entrada, acondicionamiento y acople de señales de audio L Y R.....	42
2.3.2.1 Etapa n 1. Limitador de voltaje de entrada.....	43
2.3.2.2 Etapa n 2. Circuito preénfasis.....	44
2.3.2.3 Etapa n 3. Filtros de audio.....	49
2.3.3 circuito generador de señal compuesta (MPX).....	51
2.3.4 Circuito modulador FM.....	53
2.3.5 Circuito amplificador de RF.....	55
2.3.6 Antena.....	60
2.3.7 Circuito de alimentación.....	61
2.3.8 Señales de salida de los transmisores FM.....	62
2.3.10 Fotografía de los transmisores.....	64
2.4 Diseños de los receptores FM.....	64
2.4.1 Circuito de antena.....	66
2.4.2 Oscilador local.....	67
2.4.3 Circuito mezclador.....	67
2.4.4 Circuito filtro de FI.....	67
2.4.5 Circuito demodulador.....	68

2.5 DISEÑOS DE PREAMPLIFICADORES Y CIRCUITOS MEZCLADORES.....	69
2.6 RESPUESTA EN FRECUENCIA DE LA TRANSMISIÓN EN LA SALIDA DEL RECEPTOR.....	70
2.7 RECOMENDACIÓN PARA DISEÑAR UN SISTEMA INALÁMBRICO ANÁLOGO PARA AUDIO.....	73
2.8 DISEÑOS DE LOS CIRCUITOS IMPRESOS.....	75
3. MANUAL DE USUARIO.....	77
3.1 CARACTERISTICAS TECNICAS.....	77
3.2 CONEXIONES.....	78
3.3 ACCESORIOS.....	80
5. CONCLUSIONES. Y RECOMENDACIONES.....	81
GLOSARIO.....	83
BIBLIOGRAFIA.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro de frecuencias electromagnéticas.....	19
Figura 2. Transmisor FM.....	20
Figura 3. Preamplificador de audio.....	21
Figura 4. Red de preénfasis.....	23
Figura 5. Modulador FM.....	24
Figura 6 Sensibilidad de la desviación.....	25
Figura 7. Espectro de frecuencia de una señal.....	26
Figura 8. Oscilador generalizado.....	29
Figura 9. Diagrama de bloques de un receptor FM	32
Figura 10. Mezclador/Convertor.....	34
Figura 11. Limitador FM.....	35
Figura12. Curvas características de detectores FM.....	36
Figura 13. EQUIPO VHF4800.....	37
Figura 14. EQUIPO UHF5800.....	38
Figura 15. Diagrama de bloques del Transmisor/Receptor inalámbrico de cuatro canales para instrumentos musicales.....	40
Figura 16. Diagrama de bloques interno del BA1404.....	41
Figura 17. Circuito completo del transmisor FM.....	42
Figura 18. Circuito de entrada.	43
Figura 19. Circuito limitador de voltaje de entrada.....	43

Figura 20. Circuito Preénfasis.....	45
Figura 21. Salida del circuito preénfasis con señal de entrada a 30Hz a 1Vpp.....	46
Figura 22. Salida del circuito preénfasis con señal de entrada a 300Hz a 1Vpp...	46
Figura 23. Salida del circuito preénfasis con señal de entrada a 3kHz a 1Vpp.....	47
Figura 24. Salida del circuito preénfasis con señal de entrada a 6kHz a 1Vpp.....	47
Figura 25. Salida del circuito preénfasis con señal de entrada a 15KHz a 1Vpp...	48
Figura 26. Salida del circuito preénfasis con señal de entrada a 30kHz a 1Vpp...	48
Figura 27. Circuito equivalente para la señal de audio y filtros pasa altos.....	49
Figura 28. Circuito generador de la señal compuesta.....	51
Figura 29. Diagrama de bloque del espectro de la señal MPX.....	52
Figura 30: Señal piloto de 19KHz en pin 13 del BA1404 vista con osciloscopio...	52
Figura 31. Pasos para generar señal MPX.....	53
Figura 32. Circuito modulador FM interno del BA1404.....	53
Figura 33. Fotografía de bobina variable entre 65 y 79 nF.....	55
Figura 34. Etapa amplificadora RF.....	56
Figura 35. Análisis en DC.....	57
Figura 36. Punto de operación del primer amplificador RF.....	58
Figura 37. Punto de operación del segundo amplificador RF.....	59
Figura 38. Circuito de alimentación.....	61
Figura 39. Transmisor N.1.....	62
Figura 40. Transmisor N.2.....	62
Figura 41. Transmisor N.3.....	63

Figura 42. Transmisor N.4.....	63
Figura 43. Transmisores ensamblados.....	64
Figura 44. Diagrama de bloques de un receptor tipo FMFB.....	65
Figura 45. Diagrama de bloques interno del TDA7000.....	65
Figura 46. Etapa del circuito receptor con el TDA 7000.....	66
Figura 47. Diagrama de bloques de un de modulador en cuadratura.....	68
Figura 48. Etapa del circuito Mezclador/amplificador con el LM386.....	68
Figura 49. Grafica de respuesta en frecuencia en la salida del receptor.....	72
Figura 50. Cara superior e inferior del circuito impreso (Circuito transmisor con el BA1404).	75
Figura 51. Cara superior e inferior del circuito impreso (Circuito Receptor TDA7000).....	76
Figura 52. Cara Superior e inferior del circuito impreso (etapa mezclador/ amplificador LM 386.).....	76
Figura 53. Conexiones de los transmisores.....	78
Figura 54. Conexiones del receptor.....	79

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1. Amplitudes de la portadora y bandas laterales para diferentes índices de modulación de señales de FM, según las funciones de Bessel.....	28
Tabla 2. Respuesta en frecuencia en la salida del receptor.....	71
Tabla 3. Características del Transmisor/Receptor.....	77
Tabla 4. Tabla de funciones de las Partes del Transmisor FM.....	78
Tabla 5. Tabla de funciones de las Partes del receptor.....	79

ANEXOS

A.1 Resolución numero 000797 de 8 de junio de 2001 del Ministerio de Comunicaciones (República de Colombia).....	89
A.2 Datasheet del BA1404.....	100
A.3 Datasheet del TDA 7000.....	104
A.4 Datasheet LM386.....	109
A.5 Datasheet MRF 586.....	110
A.6 Datasheet T9018.....	111

INTRODUCCION

En muchos ambientes se hace imprescindible el uso de dispositivos que permitan la comunicación de señales de audio de forma inalámbrica. Gran parte de estos casos se presentan en los campus universitarios, clubes, hospitales o sitios en general donde se requiera la movilidad del punto transmisión, lo que con medios cableados es difícil obtener.

En el mercado existen dispositivos digitales que tienen buena transmisión de señales de audio en cuanto a ruido se refiere. Estos dispositivos digitales no se ven tan afectados por efectos perjudiciales (ruido interno y ruido externo), lo que hace que la señal recibida sea de alta calidad. Sin embargo el usuario debe sortear con unos costos elevados si quiere una señal más pura.

Por otro lado, cuando el usuario se inclina por un dispositivo analógico, se enfrenta con un aparato más robusto, con mayor requerimiento de potencia y tratamiento del ruido.

En este orden de ideas, se combinaron las diferentes técnicas y prácticos conocimientos en el campo de las comunicaciones, dando una solución al tema con el aporte de un dispositivo prototipo basado en un transmisor/ receptor inalámbricos que utilizan modulación FM (Modulación en Frecuencia). Dicho dispositivo cuenta con características que lo hacen fiable, con un alcance máximo de 60m, con una fidelidad aceptable, utilizando una sola batería y con el valor agregado de tener cuatro canales de entrada diferentes y la posibilidad de mezclar las señales de esos mismos canales. Esto último le da una particular ventaja en el momento de requerir varias transmisiones.

Cabe decir que la anterior idea fue resultado de un exhaustivo levantamiento de información que contiene temas relacionados con los sistemas de comunicaciones, haciendo énfasis en los sistemas FM (Modulación en Frecuencia). Posteriormente se presenta un diseño preliminar para así poder abordar las características de los circuitos integrados, cálculos de diseño (Frecuencias, ganancias y elementos pasivos y activos), circuitos diseñados y datos arrojados en las diferentes etapas. Todo lo anterior sin dejar de lado los aspectos técnicos y legales que se deben tener en cuenta al momento de realizar un transmisor/receptor inalámbrico de acuerdo con la asignación de frecuencias en el espectro electromagnético.

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 GENERALIDADES DE LA ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.

Las ondas de radio son ondas electromagnéticas que poseen una componente eléctrica y una componente magnética que viaja por el aire recorriendo grandes distancias y llevando, ocasionalmente, alguna señal de información montada sobre ellas. Al igual que todas las señales, éstas tienen amplitud y frecuencia: La amplitud determina hasta qué punto la señal está oscilando; el nivel se puede medir en Voltios (V). La frecuencia indica qué tan rápido la señal está oscilando de un extremo al otro, invirtiendo permanentemente su polaridad; este cambio es medido en ciclos por segundo o Hertz.

Las señales de radio también son conocidas como señales de RF (Radio frecuencia). Una señal de RF sin información se llama Portadora; una señal de radio con información se le llama Portadora Modulada y equivale a una señal que transporta alguna información que puede ser datos, voz, música, video, etc.

La energía electromagnética está distribuida a través de un rango de frecuencias casi infinito. El espectro de frecuencias electromagnéticas está dividido en subsectores o bandas. Cada banda tiene un nombre y límites como se muestra en la figura 1.

En esta figura, puede verse que el espectro de frecuencia se extiende desde las frecuencias subsónicas (extremadamente bajas) a los rayos cósmicos, (10^{23} Hz). Cada banda de frecuencias tiene una característica única que las hace diferentes de las otras bandas. Cada frecuencia tiene una longitud de onda λ relacionada por la siguiente expresión:

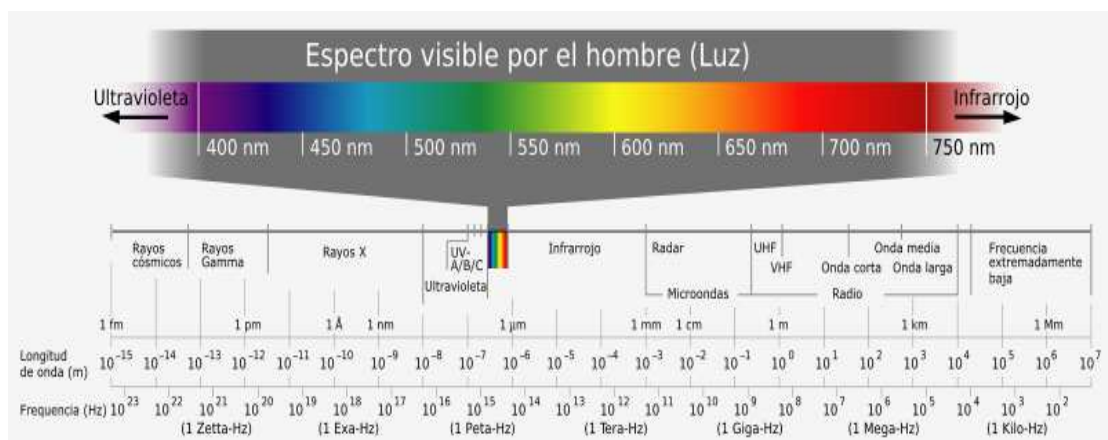
$$\lambda = \frac{C}{f} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde:
 λ = Longitud de onda en metros
 c = Velocidad de la luz = 3×10^8 m/s.
 f = Frecuencia de la onda en Hz.

Una onda de radio de FM con una frecuencia 100 MHz, tiene una longitud de tres metros, $\lambda = 3$ metros. La longitud de onda es utilizada en el cálculo de las antenas y en las líneas de transmisión.

La división del espectro de frecuencias fue establecida por el consejo consultivo internacional de las comunicaciones de radio (CCIR) en el año 1953. Normalmente, las denominaciones de las divisiones se encuentran en idioma inglés y de allí las abreviaturas tal cual las conocemos adoptadas en la convención de radio celebrada en Atlantic City. Las convenciones internacionales de telecomunicaciones se reúnen cada diez años para decidir la división del espectro de frecuencias totalmente utilizables.

Figura 1. Espectro de frecuencias electromagnéticas



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Electromagnetic_spectrum-es.svg

1.2 RUIDO PRESENTE EN UN SISTEMA DE COMUNICACION

El ruido es la energía aleatoria que interfiere con la señal de información. El ruido constituye un problema simplemente por lo reducida que es la amplitud de las señales recibidas. Por lo tanto, si el nivel de ruido es demasiado alto o la señal es muy débil, el ruido puede predominar y hacer que la recepción no sea confiable.

En la mayoría de los sistemas de comunicaciones, las señales débiles son normales, por lo que el ruido se convierte en un factor importante en el diseño del equipo de comunicaciones. El ruido es más problemático en el receptor, ya que este tiene la función de amplificar las señales débiles y de recuperar la información de manera confiable.

En cualquier análisis de sistema de comunicaciones, se emplea el concepto de la relación señal a ruido (S/N, signal to noise), que es una cifra que da una indicación relativa de las intensidades de la señal y el ruido. Cuanto más intensa sea la señal y más bajo sea el ruido, más alta será la relación S/N.

Es útil clasificar el ruido en dos tipos: Ruido interno, el cual se origina dentro del equipo de comunicación y el ruido externo, que se origina en el canal de propagación. Ambos tipos afectan la relación S/N.

El ruido externo suele provenir de fuentes industriales, atmosféricas y espaciales. El ruido industrial lo producen equipos y sistemas como la ignición de un automóvil y los motores y generadores eléctricos.

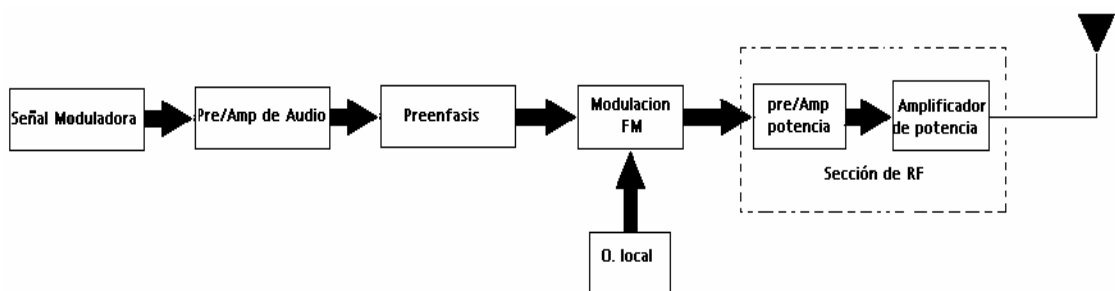
El ruido atmosférico proviene de las perturbaciones eléctricas que ocurren de manera natural, como es el caso de las descargas atmosféricas.

En general, no es posible evitar por completo el ruido, pero sí se pueden reducir sus efectos por diversos medios, como disminuir el ancho de banda de la señal, aumentar la potencia del transmisor y utilizar amplificadores de bajo ruido para señales débiles.

1.3 TRANSMISOR FM

Un transmisor es un dispositivo electrónico que, con la ayuda de una antena, irradia ondas electromagnéticas que contienen información y que encuentra aplicaciones en radiodifusión, televisión, telefonía móvil entre otros. En la figura 2 se muestra las etapas que debe tener un transmisor FM.

Figura 2. Transmisor FM



Fuente: Autor

Este diagrama de bloques representa un transmisor FM y muestra las etapas que debe tener un transmisor de radio análogo en general.

La modulación análoga puede ser de varios tipos: modulación en amplitud (AM), modulación de fase (PM) o modulación en frecuencia (FM). Cualquier transmisor

debe generar una señal con algún tipo de modulación, con suficiente potencia, ubicada en la frecuencia de portadora correcta y con razonable eficiencia. La señal de salida tiene que estar acoplada a una antena. Es conveniente aclarar que el diseñador no tiene que estar completamente sujeto a lo mostrado en el diagrama de bloques, y puede agregar o variar el sistema de transmisión, si cumple con los requisitos de este.

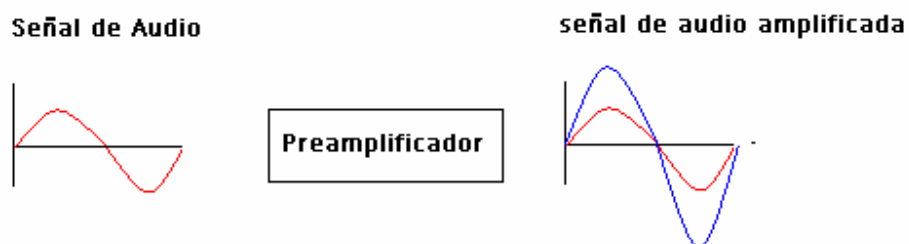
A Continuación se explicará detalladamente cada proceso de un sistema de transmisión FM; eso incluye los diversos tipos de configuraciones de circuitos de cada sección.

1.3.1 Señal moduladora

La señal moduladora 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 (voz y música) que están entre los 20Hz y los 20kHz, 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 (un micrófono) que convierte las ondas de presión de aire (ondas sonoras) en señales eléctricas (señales analógicas).

1.3.2 Preamplificadores de audio

Figura 3. Preamplificador de Audio



Fuente: Autor

El Preamplificador de la figura 3 tiene por objetivo nivelar la tensión eléctrica que le llega de las distintas fuentes de audio (cada equipo tiene una tensión de salida diferente), para enviar esas señales una vez amplificadas como señal de entrada a otro equipo o etapa. Bajo ciertas circunstancias de altos niveles de señal podría prescindirse del preamplificador, pero si se trata de lugares y condiciones en las que el nivel de señal de entrada es muy pobre, es importante aumentar la

sensibilidad del sistema y el preamplificador se hace indispensable. Las características a tener en cuenta para la selección de un preamplificador son:

- **Ganancia**, Un valor típico es 12 dB.
- **Figura de Ruido**, Es mejor disponer de un bajo ruido ($< 1\text{db}$) que mucha ganancias.
- **Selectividad**, Es muy importante este parámetro para evitar amplificar señales indeseadas, a veces es necesario realizar un buen filtro de entrada.

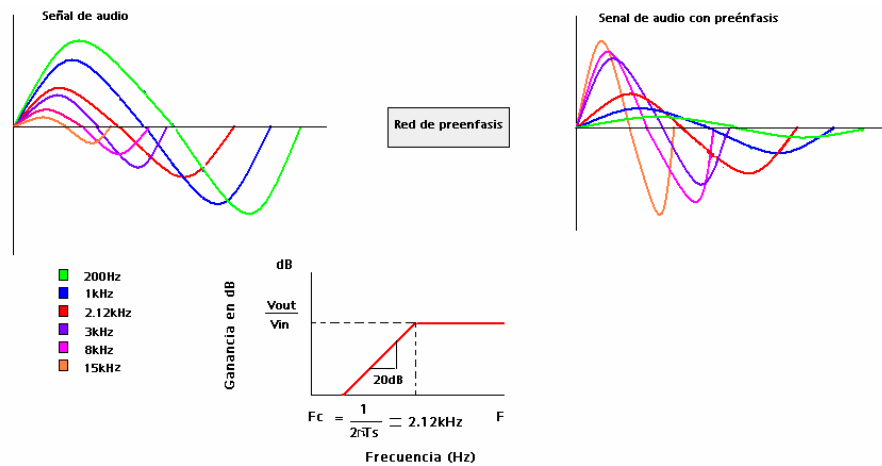
Muchas veces será necesario incorporar un filtro pasa banda a la entrada del mismo con la finalidad de atenuar todas las señales que estén fuera del rango de frecuencias que queremos detectar.

Los preamplificadores pueden ser de cualquier tipo discreto, monolítico, o un simple transistor y su elección se deja a criterio del diseñador. Desde el punto de vista del tipo de elemento semiconductor utilizado en la construcción del preamplificador, es importante tener presente el comportamiento de cada dispositivo frente al ruido, ya que normalmente los transistores bipolares tienen menos ruido de voltaje y mayor ruido de corriente que los JFET, mientras que los Mosfet tienen un ruido de corriente bajo, pero un ruido de voltaje bastante elevado.

1.3.3 Red de preénfasis

El ruido en las frecuencias modulantes superiores es inherentemente mayor en amplitud que el ruido en las frecuencias inferiores. En esencia, la red de preénfasis permite que las señales modulantes de alta frecuencia modulen a la portadora a un nivel más alto y por lo tanto, causen más desviación de frecuencia que las que sus amplitudes originales hubieran producido. Por lo tanto, las bandas laterales aumentan y se transmiten con mayor potencia mejorando la relación S/N (Señal a ruido).

Figura 4. Red de preénfasis.



Fuente: Autor

En la figura 4 podemos observar cómo la red de preénfasis le proporciona un incremento constante en la amplitud de la señal de audio con un incremento en la frecuencia. Con FM se logran aproximadamente 12 dB de mejoría en el rendimiento del ruido. La frecuencia de corte (F_c), donde el preénfasis comienza, se determina por la constante de tiempo (T_s) de circuitos RC o RL (activos o pasivos) de la red. Matemáticamente la frecuencia de corte es:

$$F_c = \frac{1}{2\pi T_s} = 2.12\text{kHz} \quad (\text{Ecuación 2})$$

En la radiodifusión de FM, el circuito preénfasis es un filtro pasa altas que utiliza una frecuencia de corte de 2.12kHz equivalente a una constante de tiempo estándar de $75\mu\text{s}$ que manejan todas las estaciones de radio comercial y a los que están sujetos los receptores FM en su diseño.

1.3.4 Modulador FM

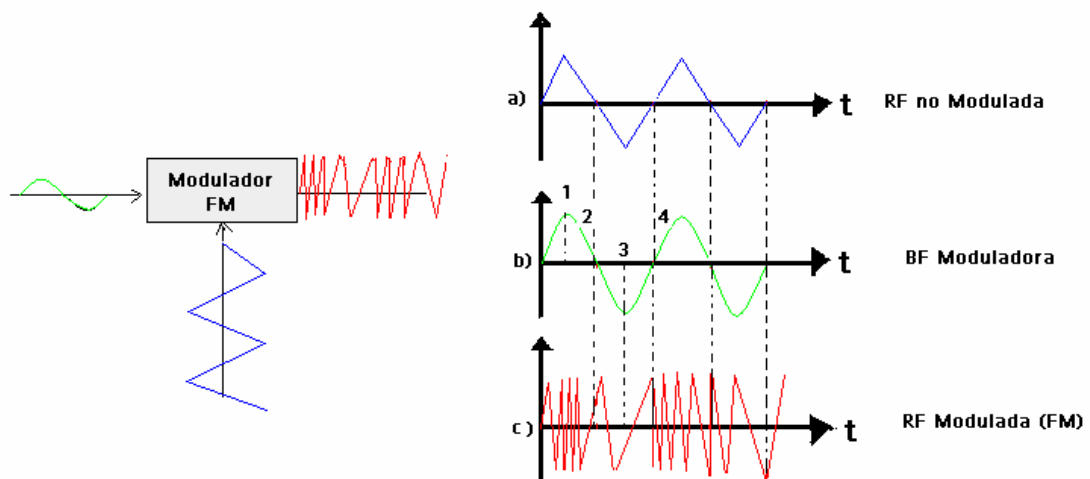
La función del modulador FM es variar o cambiar la frecuencia de la portadora analógica de acuerdo con la información original de la fuente. Al hacer esto, se producen los siguientes efectos: Modulación FM, Desviación de frecuencia,

variación del índice de modulación, aparición de bandas laterales, modificación del ancho de banda de la señal. Estos términos serán explicados a continuación.

Modulación FM

La modulación en frecuencia (FM) y la modulación en fase (PM) son dos de los métodos utilizados para cambiar las características (modular) de una portadora de radio frecuencia (RF). En la modulación de frecuencia la señal moduladora hace que varíe la frecuencia de un oscilador de RF a cada lado de su frecuencia no modulada o de reposo, mientras la amplitud de la señal de RF se mantiene constante. En la figura 5 se muestra un diagrama de bloques de una etapa del transmisor FM donde se establece la relación entre la portadora no modulada de RF (a), la señal moduladora (b), y la portadora resultante de FM (c).

Figura 5. Modulador FM



Fuente: Autor

Obsérvese que las crestas de la señal moduladora producen la mayor variación de la frecuencia, separándose de la frecuencia de reposo o frecuencia inicial. La cresta positiva hace que la frecuencia portadora aumente hasta el máximo, mientras que la cresta negativa hace que la frecuencia portadora disminuya la misma cantidad, entonces la frecuencia será mínima. La figura 9c) muestra los efectos sobre la portadora de RF de la señal moduladora. Es evidente que la amplitud de la señal moduladora determina la desviación de la frecuencia portadora. La frecuencia de la señal moduladora determina la modulación o intervalo de tiempo en que la portadora de RF hace una variación completa de frecuencia como se representaba en la figura c). Como la desviación de frecuencia es proporcional a la amplitud de la señal moduladora, dos señales moduladoras de

la misma frecuencia pero de distintas amplitudes harán que la frecuencia portadora se desvíe en cantidades diferentes pero en el mismo intervalo de tiempo.

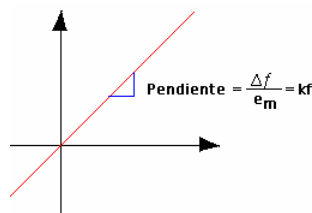
La ventaja más importante de la FM sobre la AM es la posibilidad de una relación señal a ruido bastante mejorada. En contraposición a lo que ocurre en AM, la amplitud y la potencia de una señal FM no cambian con la modulación. Por consiguiente, la señal FM no tiene una envolvente que reproduzca la modulación. Esto en realidad es una ventaja por que un receptor FM no tiene que responder ante las variaciones de amplitud y, por lo tanto, ignora el ruido hasta cierto grado. En el análisis de AM se encontró que el cambio en la amplitud de una onda seno genera frecuencias extras llamadas frecuencias laterales o bandas laterales. Lo anterior también sucede en FM. De hecho, para una señal de FM la cantidad de conjuntos de bandas laterales es, en teoría, infinita.

Desviación de frecuencia

Según lo anteriormente dicho, la modulación causará que la frecuencia de la portadora varíe o se desvíe de su valor original en forma proporcional a la amplitud de la señal moduladora; a esto se le llama desviación de frecuencia. La FM puede llamarse lineal sólo en el sentido en que la gráfica que relaciona la amplitud instantánea de la señal moduladora e_m con la desviación de frecuencia instantánea Δf , es una recta. La pendiente de esta recta (véase la figura 6) es la relación $\Delta f / e_m$ y representa la sensibilidad de desviación del modulador (k_f) en unidades de Hertz por voltio. La sensibilidad está expresada como:

$$k_f = \frac{\Delta f}{e_m} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Figura 6. Sensibilidad de la desviación.



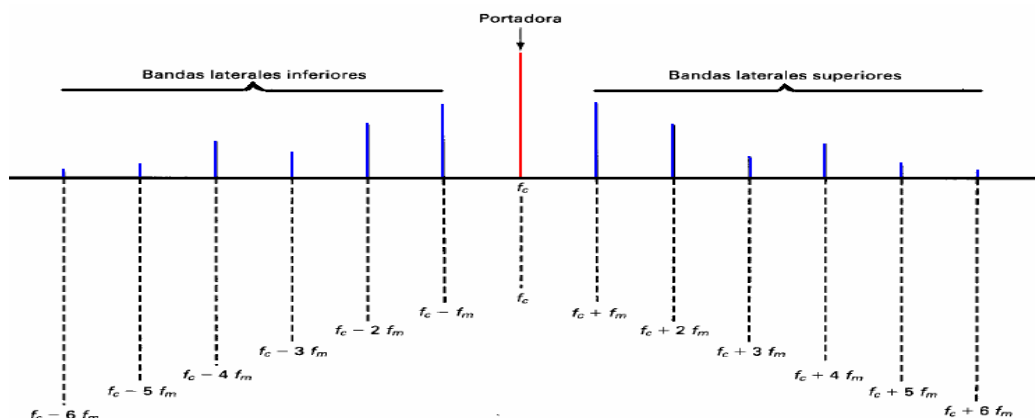
Fuente: Roy Blake, Sistemas electrónicos de comunicaciones, Segunda Edición, publicado por Thomson learning ibero, año 2004.

Para la transmisión por FM, la máxima desviación de frecuencia permitida por la FCC (comisión federal de comunicaciones) para obtener una música de alta calidad y confiable es de 75KHz con una frecuencia máxima de señal moduladora de 15kHz.

Bandas laterales e índice de modulación

Todo proceso de modulación produce bandas laterales. Al igual que la modulación de amplitud (AM), en la FM también se producen las frecuencias de bandas laterales de suma y diferencia que, a diferencia de la AM que solo produce dos bandas, ésta genera teóricamente un número infinito de pares de bandas laterales superiores e inferiores. Como resultado, el espectro de una señal de FM suele ser más amplio que el de una señal de AM equivalente. La figura 7 muestra un ejemplo del espectro de una señal de FM típica producida modulando una portadora con una onda senoidal de frecuencia única.

Figura 7. Espectro de frecuencias de una señal de FM.



Fuente: Tomasi, Wayne Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Ediciones Prentice Hall. Publicado 2003

Observe que las bandas laterales están separadas de la frecuencia de la portadora, f_c , y espaciadas entre sí por una frecuencia igual a la frecuencia moduladora. Así mismo, las amplitudes de las bandas laterales varían. El número de bandas laterales producidas, su amplitud y su separación, dependen de la desviación de frecuencia y de la frecuencia moduladora. Es necesario tener presente que una señal de FM tiene una amplitud constante. Si dicha señal es la suma de frecuencias de las bandas laterales, entonces podrá verse que las amplitudes de las bandas laterales deben variar con la desviación de frecuencia y

la frecuencia moduladora y su suma debe producir una señal de FM de amplitud fija.

Como ya se señaló, 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 y está dado por

$$m_f = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde Δf es la desviación de frecuencia y f_m , la frecuencia moduladora. Con la relación del índice de modulación se pueden determinar las bandas laterales del espectro de frecuencia de la señal FM. Las bandas con amplitudes más grandes son significativas para transmitir información. Por lo común, cualquier banda lateral con una amplitud menor que 1 % de la portadora no modulada se considera no significativa.

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 Tabla 1 muestra los coeficientes de las funciones de Bessel. En la columna izquierda está el índice de modulación y en las columnas restantes las amplitudes relativas de la portadora y los diversos pares de bandas laterales. Normalmente, no se tienen en cuenta las bandas laterales con una amplitud relativa menores que 1% (0.01) de la amplitud de la portadora. Obsérvese que algunas de las amplitudes de la portadora y las bandas laterales tienen signo negativo, lo cual significa que la señal representada por esa amplitud tiene un desfase de 180° (inversión de fase).

Tabla 1. Amplitudes de la portadora y bandas laterales para diferentes índices de modulación de señales de FM, según 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: Roy Blake, Sistemas electrónicos de comunicaciones, Segunda Edición, publicado por Thomson learning ibero, año 2004

El ancho de banda total de una señal de FM puede determinarse conociendo el índice de modulación y con la Tabla 1. Por ejemplo, supongamos que el índice de modulación es 2. Según la tabla, esto produce cuatro pares de bandas laterales significativas. El ancho de banda puede determinarse entonces con la fórmula

$$B W = 2Nf_m \text{ máx} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde N es el número de bandas laterales significativas.

Por ejemplo, para radiodifusión FM con un máximo de desviación de frecuencia de 75 KHz y una frecuencia de 15 kHz, se obtiene un índice de modulación de 5 y, mediante la tabla de Bessel y con la Ecuación 5, se ve que hay un ancho de banda de 240KHz, de la siguiente manera:

$$n = 8 \text{ Tomados de la tabla de Bessel}$$

$$BW = 2(8)(15\text{kHz}) = 240\text{kHz}$$

Este ancho de banda calculado según las funciones de Bessel representa el número real de bandas laterales significativas y además es el estipulado por la FCC. Hay, sin embargo, otro método para calcular el ancho de banda y se conoce como la Regla de Carson. Esta regla es una aproximación del ancho de banda mínimo necesario y esta expresado así:

$$B = 2(\Delta f + f_m) = 2(75\text{kHz} + 15\text{kHz}) = 180\text{ kHz} \quad (\text{Ecuación 6})$$

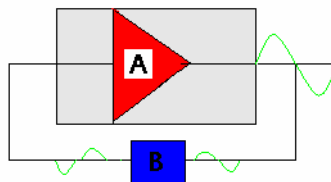
La modulación FM se clasifica en dos categorías, de acuerdo con el ancho de banda utilizado para la transmisión, o sea, dependiendo al índice de modulación de la señal. Estas dos categorías son: FM de banda ancha (WBFM) y FM de banda angosta (NBFM). La diferencia entre ellas radica en la máxima desviación de frecuencia aceptable de la portadora cuando el transmisor se modula totalmente.

1.3.5 Oscilador local o de radiofrecuencia

Este es el circuito que genera la señal de alta frecuencia llamada portadora, la cual se ubica en el espectro en 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 8, 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 entero de 360° . La sección de frecuencia se determina con circuitos LC llamados circuitos tanque o con un oscilador con cristal.

Figura 8. Oscilador generalizado



Fuente: Autor

Los diagramas de circuitos mostrados en esta sección se han utilizado durante muchos años y se han puesto en práctica con tubos al vacío, transistores bipolares y de efecto de campo y circuitos integrados. Estos tipos de osciladores pueden ser; oscilador Hartley, oscilador Colpitts, oscilador Clapp, osciladores sintonizados por Varactor u oscilador controlado por cristal. En cualquier caso, la frecuencia de resonancia es la del circuito sintonizado y se expresa de la siguiente manera:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde f_o = frecuencia de oscilación en Hz
L = Inductancia de la bobina completa en henrios
C = Capacitancia a través de la bobina en faradios.

1.3.6 Amplificadores de RF

La función de estos amplificadores es aumentar nivel de la señal de comunicaciones en la banda de radio frecuencia. Éstos, además de amplificar, pueden restringir las señales a un intervalo de frecuencia relativamente ancho o angosto. Posen 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 (transistores, o Amplificadores Operacionales) de diversa índole, dependiendo del ancho de banda y la frecuencia con la que se necesitan operar.

1.3.7 Antena

Una antena se utiliza como la interfaz entre un transmisor y el espacio libre o el espacio libre y el receptor. Una línea de transmisión se utiliza sólo para interconectar eficientemente una antena con el transmisor o el receptor.

Una antena acopla energía de la salida de un transmisor a la atmósfera terrestre, o de la atmósfera a un receptor y es un dispositivo recíproco pasivo. Pasivo porque no puede amplificar una señal y recíproco porque las características de transmisión y recepción de una antena son idénticas.

Existen muchas formas y diseño de antenas, cada una con características de propagación y ganancia específicas. El mismo sitio de transmisión afecta la forma de radiación. Dependiendo del área que se tenga que cubrir se debe elegir un patrón de radiación que, por lo general, puede ser bidireccional, omnidireccional o unidireccional.

Para elegir la antena hay que tener en cuenta su ganancia, su impedancia, la frecuencia de transmisión, la potencia y su longitud, la cual debe ser, al menos, la cuarta parte del tamaño de la longitud de onda de la señal que es transmitida. Para FM se recomiendan las antenas telescópicas ya que su longitud varía con la frecuencia de transmisión. Por ejemplo, si se desea transmitir una señal con una frecuencia 108 MHz y saber aproximadamente la longitud mínima que debe tener la antena, primero se calcula la longitud de onda de la señal y luego la longitud de la antena así:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{108 \times 10^6 \text{ 1/s}} = 2.788 \text{ m} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$l_{\text{antena}} = \frac{\lambda}{4} = \frac{2.778 \text{ m}}{4} = 69.45 \text{ cm} \quad (\text{Ecuación 9})$$

1.4 RECEPTOR FM

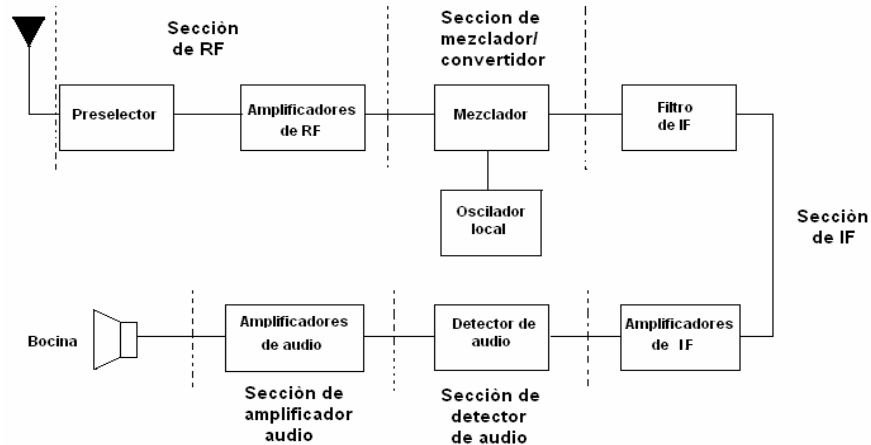
La función primordial de un receptor, es la de demodular la señal de RF, es decir, convertir esas señales moduladas en variaciones de amplitud (señal de información). Por lo tanto, el propósito básico del receptor se puede resumir de la siguiente manera:

Captar la señal RF, amplificarla, filtrarla para eliminar las señales no deseadas y recuperar la información en la banda base deseada.

Cuando la señal de RF es captada por la antena, presenta una amplitud muy pequeña, incluso en el orden de los microvoltios, el receptor debe ser capaz de amplificarla a niveles de voltajes utilizables o por lo menos que se puedan procesar, llegando así hasta varios voltios.

La antena no es capaz de discriminar las señales que realmente son necesarias o son de interés. Por lo tanto el receptor debe seleccionar la señal de interés para después amplificarla y procesarla. Por tal motivo, el receptor debe tener varias características muy importantes: La sensibilidad, la selectividad, estabilidad y buen rango dinámico. En la figura 9 se muestra un diagrama de bloques con las etapas de un receptor FM que cumple con los parámetros dichos anteriormente.

Figura 9. Diagrama de bloques de un Receptor FM



Fuente: Autor

Independientemente del tipo de receptor que sea, se observa en la figura un sistema superheterodino, que se encarga de mezclar dos frecuencias juntas en un dispositivo no lineal o trasladar una frecuencia a otra utilizando mezclas no lineales. Este sistema con respecto a los antiguos receptores proporciona más sensibilidad, selectividad, estabilidad y rango dinámico. Esencialmente, hay cinco secciones para un receptor superheterodino: la sección de RF, la sección de mezclador/convertidor la sección de IF, la sección de detector de audio y la sección de amplificador de audio. El receptor superheterodino de FM de la figura es casi idéntico al receptor superheterodino AM en las etapas de RF mezclador y en los amplificadores de frecuencias intermedia, pero diferente en la etapa del detector de audio.

Como ya se mencionó, la ventaja de FM con respecto a AM es la resistencia al ruido. En AM el ruido produce cambio en la amplitud de la envolvente y no puede eliminarse de la forma de onda compuesta sin también eliminar una parte de la señal de información. En FM, en cambio, las variaciones de amplitud causadas por el ruido pueden eliminarse de la forma de onda compuesta simplemente limitando los picos de la señal RF antes de la detección. Además, con la modulación FM se logra una mejor relación de señal/ruido durante el proceso de modulación. A continuación se explicará el funcionamiento de detallado de cada etapa del receptor superheterodino FM y, antes de eso, se definirán los parámetros para evaluar la habilidad de un receptor para demodular con éxito una señal de RF.

Selectividad: La selectividad se define como la capacidad de un receptor de diferenciar entre las señales de información deseadas y las perturbaciones o señales de información en otras frecuencias.

Sensitividad: La sensibilidad es el nivel mínimo de la señal RF que puede detectarse en la entrada del receptor y todavía producir una señal de información demodulada utilizable.

Rango dinámico: El rango dinámico se define como la diferencia en decibeles entre el nivel mínimo de entrada necesario para discernir una señal y el nivel de entrada que sobre carga al receptor y produce una distorsión.

Fidelidad: La fidelidad es la medida de la habilidad de un sistema de comunicación para producir, en la salida del receptor, una réplica exacta de la información de la fuente original.

1.4.1 Sección de RF

Esta sección es una de las más importantes; es la parte en donde se efectúa el acoplamiento de la antena; a través de un filtro pasa banda, se sintoniza la frecuencia portadora deseada y se determina la sensibilidad a través de un amplificador RF. El amplificador RF es el primer dispositivo activo que encuentra la señal recibida, generando varias ventajas como son: mayor ganancia, por lo tanto mayor sensibilidad, mejor relación de señal a ruido y mejor selectividad.

1.4.2 Sección de Mezclador/Convertidor

Esta sección incluye una etapa de oscilador de radio frecuencia (llamada comúnmente oscilador local) y una etapa de convertidor mezclador (llamada comúnmente primer detector). La etapa del mezclador es un dispositivo no lineal y su propósito 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 salida del mezclador/convertidor contiene un número infinito de frecuencias armónicas y de producto cruzado que incluyen las frecuencias de suma y diferencia entre la frecuencia de la portadora de RF deseada y la del oscilador local. Los filtros IF se sintonizan con la frecuencia de diferencia. El oscilador local está diseñado de tal forma que su frecuencia de oscilación siempre esté por

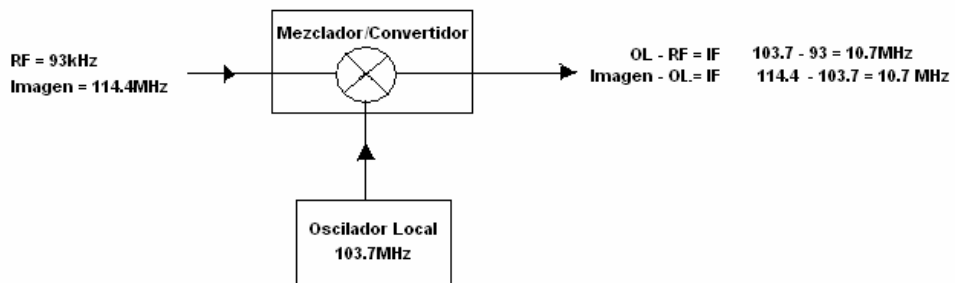
encima o por debajo de la portadora de RF deseada en una cantidad igual a la frecuencia de IF. Cuando la frecuencia del oscilador local se sintoniza por encima de la frecuencia de RF, se llama inyección lateral superior y cuando la frecuencia del oscilador local se sintoniza por debajo de la frecuencia de RF, se llama inyección lateral inferior. Matemáticamente la frecuencia del oscilador local esta expresado de la siguiente forma:

$$\text{Para la inyección lateral superior: } F_{ol} = F_{rf} + F_{if}$$

$$\text{Para la inyección lateral inferior: } F_{lo} = F_{fr} - F_{if}$$

A la hora de hacer este procedimiento hay que tener en cuenta la frecuencia imagen. Ésta es una frecuencia que puede encontrarse en el espectro y que podría entrar al receptor en el momento de sintonizar el oscilador local, ya sea utilizando la inyección lateral superior o inyección lateral inferior. La razón por la cual esta nueva frecuencia, que es diferente a la que se desea sintonizar, puede resultar siendo demodulada es que, al mezclarse con la del oscilador local, produce una frecuencia de suma o diferencia igual a la FI del receptor. Si esto llegar a ocurrir, el problema consistiría en que, después de hacer la conversión descendente, no puede removerse. Por lo tanto, para rechazar la frecuencia de imagen hay que bloqueada antes de la etapa del mezclado/convertidor. Este rechazo de la frecuencia de imagen se puede hacer utilizando un preselector de RF. Por ejemplo si se quiere sintonizar una señal RF de 93MHz sería necesario sintonizar un oscilador local a 103.7MHz para obtener una frecuencia IF de 10.7MHz y poder captar la señal; pero esto generaría una frecuencia de imagen RF de 114.4MHz que se puede rechazar utilizando un filtro pasa banda que se sintonice con una frecuencia central de 93MHz. La figura 10 ilustra como la filtración de RF y de IF adecuada pueden evitar que una frecuencia de imagen interfiera con la frecuencia deseada.

Figura 10. Mezclador/Convertidor



Fuente: Autor

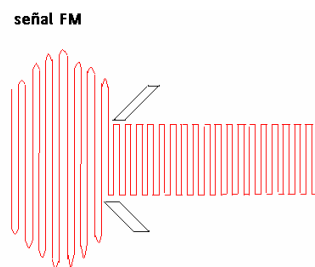
1.4.3 Sección de IF

Esta sección consiste de una serie de amplificadores de IF y filtros pasa banda. La mayor parte de la ganancia y selectividad del receptor se logra en esta sección de IF. La frecuencia central y el ancho de banda de IF son constantes, para todas las estaciones, y se selecciona para que su frecuencia sea menor que cualquiera de las señales de RF que se van a recibir. La IF siempre es inferior en frecuencia a la RF, puesto que es más fácil y menos costoso construir amplificadores estables de alta ganancia para las señales de baja frecuencia. En los receptores FM la frecuencia de RF recibida se disminuye a una frecuencia intermedia normalmente de 10.7MHz.

LIMITADOR

La señal de FM posee la ventaja respecto de una señal de AM, de que no le afecta en gran parte medida el ruido impulsivo que se suma durante la transmisión. Precisamente esta sección consiste en un limitador que cumple la función de recortar o suprimir dicha señal interferente como se muestra en la figura 11. Para realizar su función, el limitador debe estar sobreexcitado; es decir, el nivel de entrada debe ser lo suficientemente alto como para llevar el limitador hasta su saturación y el corte. La acción del limitador se lleva a cabo yendo hasta la saturación en el corte positivo en la alternancia negativa. De esta manera, tanto los picos positivos como negativos de la forma de onda quedan recortados, eliminándose así cualquier variación de amplitud producida por impulsos de ruido. Las variaciones de frecuencia de la señal original no se ven afectadas por esta acción recortadora.

Figura 11. Limitador FM



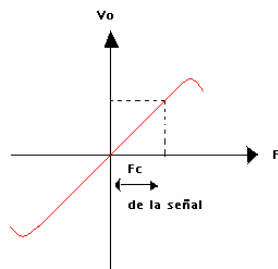
Fuente: Autor

En realidad, el sistema de FM no es totalmente inmune al ruido. Es posible recortar o limitar la mayor parte de las interferencias producidas ya que estas se presentan principalmente como pulsos de ruido en amplitud, Pero en menor proporción también producen desviaciones de fase que se notan parcialmente

como una desviación de frecuencias; este efecto se hace mínimo al permitir una variación grande de frecuencia al modular la portada.

1.4.4 Demodulador de FM

Figura 12. Curva característica de detectores FM



Fuente: Tomasi, Wayne Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Ediciones Prentice Hall. Publicado 2003

El demodulador de FM debe convertir las variaciones de frecuencia de la señal de entrada en variaciones de amplitud en la salida. Para demodular de manera adecuada la FM, la amplitud de la salida debe ser proporcional a la desviación de frecuencia de la entrada. Esto da como resultado una curva S característica para muchos detectores de FM (ver figura 12). El voltaje de salida es proporcional a la desviación de frecuencia en un intervalo por lo menos igual a $2\Delta f$, puesto que la desviación es la distancia que la frecuencia de la señal se mueve arriba y debajo de la frecuencia de portadora. Más allá de eso no importa la forma de la curva. Con este tipo de curva se explica por qué la sintonización es relativamente crítica con receptores de FM.

La sensibilidad de un detector de FM puede darse como

$$kd = \frac{Vo}{\Delta f} \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Donde

Kd = Sensibilidad del detector en voltios por Hertz

Vo = Voltaje de salida

Δf = Desviación de frecuencia requerida para el voltaje de salida.

En esta ecuación 10 se puede observar la similitud con la sensibilidad de un modulador de frecuencia, que está dado en Hz por voltios. La sensibilidad de un receptor es la pendiente de la porción lineal de la curva S de la figura. Se usan varios circuitos para demodular las señales de FM. Los más comunes son el

detector pendiente, discriminador de Foster-Seeley, detector de relación, demodulador de PLL y el detector en cuadratura.

1.4.5 Sección de audio

En esta sección se utilizan amplificadores que se encargan de amplificar la señal banda base de la salida del detector a unos niveles de voltaje considerable para que puedan ser escuchadas por una bocina o por su defecto puedan ser conectadas a una etapa de amplificación de potencia y tener una muy buena calidad de sonido, que es lo que se espera en estos tipos de dispositivo de audio.

1.5 Sistemas semejantes en el mercado.

Figura 13. Equipo VHF- 4800



Fuente: http://www.vocopro.com/p_micw_s.html

Posee 4 micrófonos inalámbricos, trabajando a frecuencia diferentes, con control de volumen por cada canal y banda de operación VHF. El precio en el mercado es de 519 USD.

Figura 14. Equipo UHF – 5800



Fuente: <http://espanol.pssl.com/enes/Vocopro-UHF5800-4-Handheld-Uhf-4Ch-Wirless-System>

Posee 4 micrófonos inalámbricos cada uno en su propia frecuencia UHF-730MHz - 790MHz. El precio en el mercado es 449 USD.

Como podemos observar el precio de este tipo de sistema es muy alto, comparado con los mezcladores de cuatro canales por cable. Uno de los principales objetivos es eliminar esta barrera y lograr un prototipo cuyo precio de producción y posible precio en el mercado sea menor o igual a la inversión que se haría con mezcladores por cable. La desventaja vista de los productos en el mercado es que solo pueden trabajar con los micrófonos entregado junto al receptor, eso hace en caso de daño o perdidas del micrófono sea necesario comprarla al mismo fabricantes para su reemplazo. En el prototipo a diseñar se dispondrá de un puerto de entrada de señal de audio que permitiera conectar cualquier micrófono dinámico y adicional a este puede ser conectado otras fuentes de audio como instrumento musicales con preamplificador interno, ya sea guitarras eléctricas, , reproductores mp3, mp4 o consola mezclador.

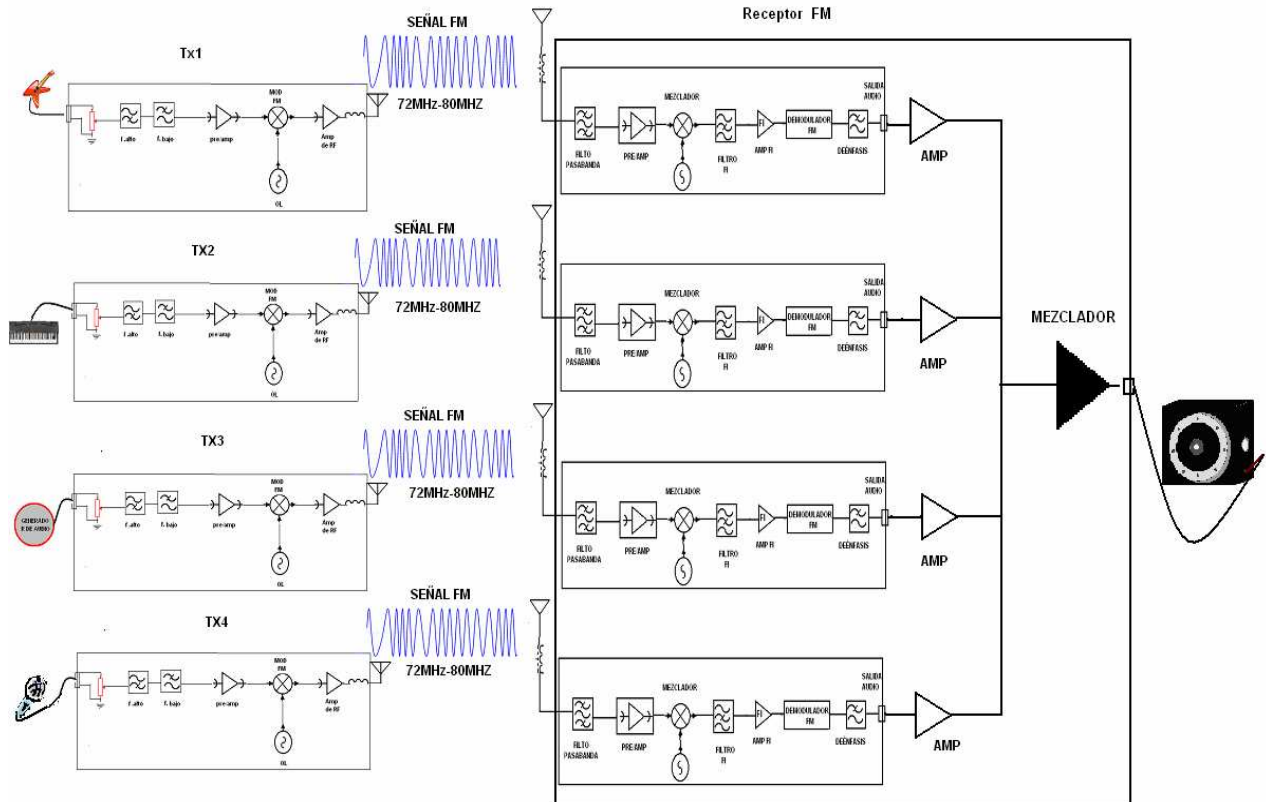
CAPITULO 2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.

El Transmisor/Receptor inalámbrico de cuatro canales para instrumento musical es una herramienta para ser utilizada con cualquier equipo de audio (instrumentos musicales, MP3, micrófono), pero principalmente para una agrupación musical, que debe conectar diferentes instrumentos y realizar su presentación en un escenario definido. En estos casos, la utilidad del equipo es más evidente si los músicos poseen instrumentos electrónicos que requieren movilidad y que para hacerlo se deben conectar con cables extensos que permitan su desplazamiento por todo el escenario.

El Trasmisor/Receptor inalámbrico consta de cuatro transmisores FM conectados independientemente a un generador de audio (Voz o música), cada uno con una frecuencia de portadora diferente entre 72 a 80 MHz, que se modula y se propaga a través del espacio de forma simultánea a un receptor FM . Éste recibe al mismo tiempo las diferentes frecuencias provenientes de los trasmisores, y las demodula recuperando la señal de información (señal producida por los generadores de audio). Las señales demoduladas son enviadas luego hacia un mezclador y preamplificador que proporciona un voltaje de salida de audio aceptable para poder ser conectado a cualquier altavoz, audífonos o amplificador de audio. En la figura 15 se muestra un diagrama del sistema de comunicación inalámbrico.

Figura 15. Diagrama de bloques del transmisor/receptor inalámbrico de cuatro canales para instrumento musicales.



Fuente: Autor

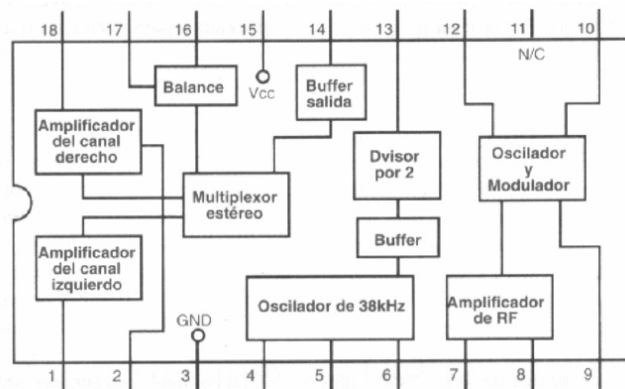
2.2 SELECCIÓN DE FRECUENCIA DE PORTADORA PARA LA TRANSMISIÓN FM.

Para la selección de la frecuencia de transmisión del sistema se ha tenido en cuenta la resolución 000797 del Ministerio de Comunicaciones de Colombia (ver anexo 1), en donde especifica que para sistemas de transmisión de audio por micrófonos en recintos cerrados la banda asignada es la comprendida entre 72 y 108 MHz. Por esta razón, esa misma fue la banda de frecuencias utilizada para el desarrollo de los equipos del presente proyecto.

2.3 DISEÑO DE LOS TRANSMISORES FM.

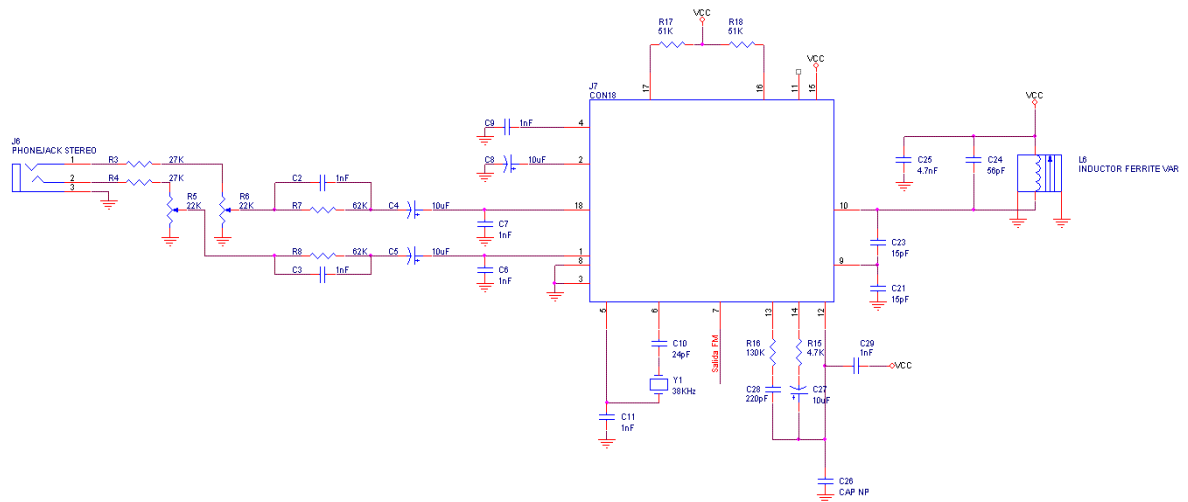
Uno de los objetivos de este proyecto es el de poder transmitir señales de audio provenientes de micrófonos o instrumentos musicales; esto podría ser resumido como transmisión de señales monofónicas o también llamadas monoaurales. Durante el desarrollo del proyecto se pensó en dejar la posibilidad de transmitir señales de audio estéreo, logrando con esto compatibilidad con reproductores de audio MP3, consolas mezcladoras, equipos de sonido, etc. y así aprovechar todo el canal de transmisión de la señal FM transmitida. Es por eso que se ha seleccionado el circuito integrado BA1404 fabricado por la empresa ROHM, el cual permite obtener una señal FM estéreo de alta fidelidad con muy pocos componentes externos y así lograr un trasmisor de pequeñas dimensiones, bajo consumo de potencia específicamente 450mW a una alimentación de 2.5V en el integrado. Su principal características es la alta estabilidad en frecuencia de la señal FM transmitida. En la figura 16 se pueden observar los bloques internos del BA1404.

Figura No 16. Diagrama de bloques interno del BA1404



Fuente: Datasheet BA1404

Figura No 17. Circuito completo de transmisor FM.



Fuente: Autor

2.3.1 BA1404 como modulador FM.

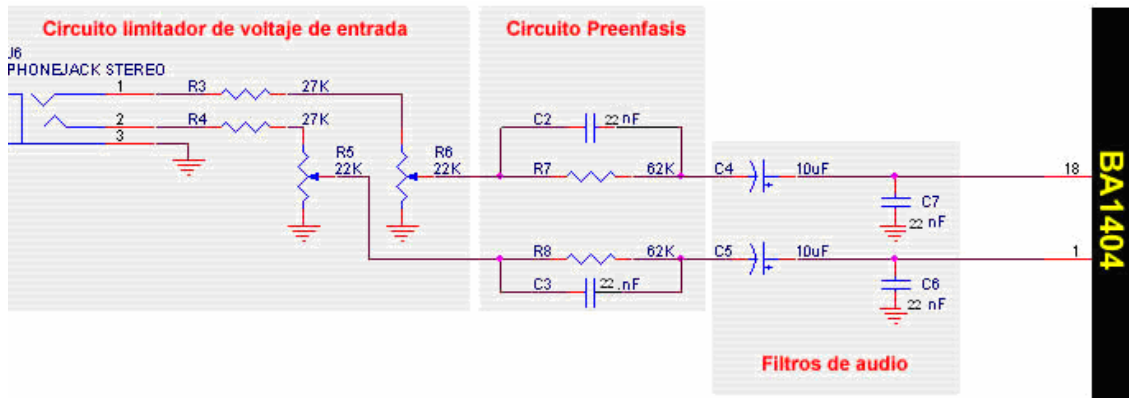
El transmisor FM está diseñado con base en el circuito integrado BA1404. Las principales ventajas de este circuito integrado son su alta estabilidad en frecuencia, necesidad de pocos componentes externos para su sintonización y bajo consumo de energía.

El BA1404 cuenta internamente con un modulador estéreo, un modulador FM y un amplificador RF de baja potencia. Él hace la modulación estéreo y crea una señal estéreo compuesta y la señal piloto y ofrece gran estabilidad de frecuencia por tener como base de tiempo un cristal de 38KHz. El rango de frecuencia en que el BA1404 puede transmitir la señal FM estéreo va desde 76 hasta 108MHz.

2.3.2 Entrada, acondicionamiento y acople de señales de audio L y R.

Los pines 1 y 18 del circuito integrado BA1404 de la figura 15 son los encargados de recibir las señales de audio Derecha (R) e izquierda (L) respectivamente. Antes de aplicarle las señales de audio, ya sea que provengan de un reproductor MP3, un instrumento musical o un micrófono, se hace necesario acondicionarlas para garantizar un buen acoplamiento. Para esto, se utiliza el circuito de entrada que se muestra en la Figura 18.

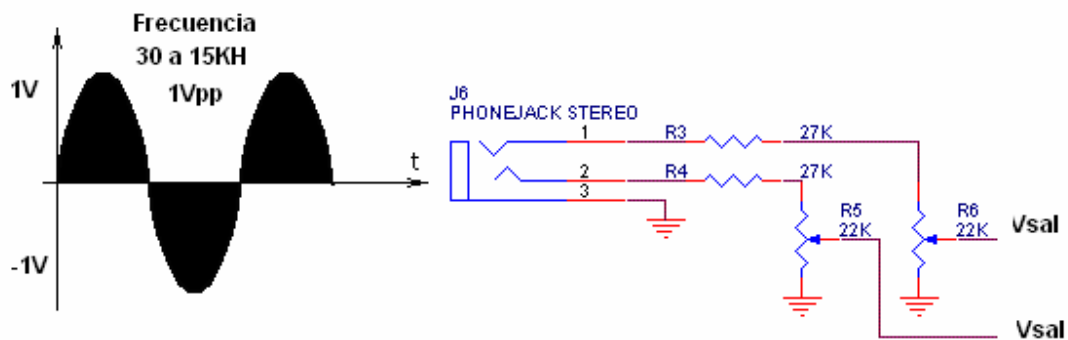
Figura 18. Circuito de entrada.



Fuente: Autor

2.3.2.1 Etapa No1. Limitador de voltaje de entrada.

Figura 19. Circuito limitador de voltaje de entrada.



Se ha dispuesto de una etapa limitadora del voltaje de entrada, logrando de esta forma proteger al circuito integrado de señales que estén por encima de 1Vpp. Los potenciómetros R5 y R6, acompañados de R3 y R4 de la figura 19, permiten ajustar el nivel del voltaje máximo a la entrada del BA1404 que es 0.5mV dados por el datasheet. Los cálculos para el diseño de esta etapa son:

$$V_{sal} = \frac{22k\Omega * 1V_{pp}}{22k\Omega + 27k\Omega} = 448.9V \quad (\text{Ecuación 11})$$

Ese valor de 448.9 V obtenido en la ecuación 11 es ajustado por el potenciómetro R5 y R6 de la figura 19, para obtener un voltaje de 0.5mv de entrada en el BA1404 para que no sature los amplificadores interno que este posee en sus entradas de audio.

2.3.2.2 Etapa No2. Circuito Preénfasis.

La transmisión de audio por modulación FM fue creada por la necesidad de poder tener una reproducción musical que sea fiel reflejo del sonido original, y para poder lograrlo era necesario poder transmitir señales con un ancho de banda de al menos 15Khz.

La modulación FM cubría esa necesidad, pero al transmitir señales de 50Hz – 15Khz apareció un nuevo problema: La intensidad de sonido de los tonos de alta frecuencia (10-15Khz) es muy baja y, si no se procede a realzarlo de algún modo para que el ruido presente en el propio sistema no lo enmascare, su transmisión no tendría valor. Por esa razón es que se hace necesario implementar una etapa de preénfasis, acentuación o precentuación para que las frecuencias mas elevadas no aparezcan tapadas por el soplido de fondo de los amplificadores de audio en el receptor.

También se logra de esta forma un máximo aprovechamiento de la potencia en la señal FM transmitida, pues esta etapa aumenta linealmente la amplitud de la banda base y así logra transmitir las bandas laterales con mayor energía a medida que aumenta la frecuencia de la señal de entrada, representando esto una mayor inmunidad al ruido de la señal modulada

Lo anterior significa que la señal moduladora sufrirá cambios de amplitud según sea la frecuencia del tono y que esta etapa de preénfasis debe ser aplicada a los canales de audio derecho e izquierdo de forma independiente.

Diseño del circuito y selección de componentes

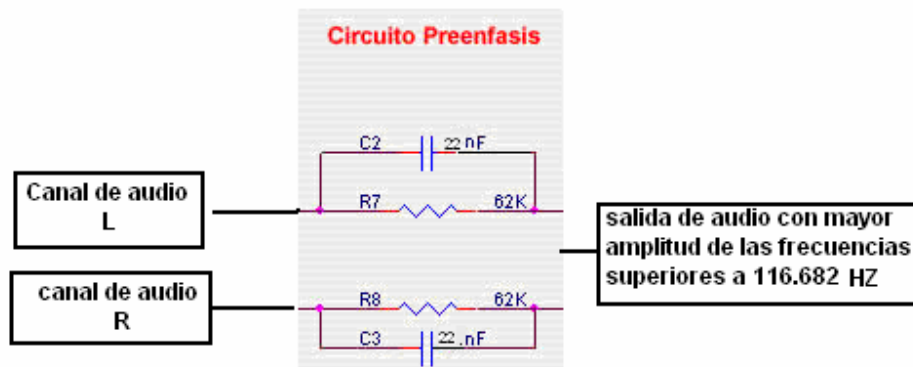
Teniendo en cuenta lo anterior se calculó un circuito preénfasis con una frecuencia de corte de 116.682 HZ con una constante de tiempo de 1364µS con la siguiente formula:

$$C_t = R_8 \times C_3 = 22 \text{ nF} \times 62K\Omega = 1364\mu\text{S} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$F_c = \frac{1}{2 \times \pi \times 1364 \mu S} = 116.682 \text{ Hz} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Como el circuito preénfasis es un filtro pasa alta, se estableció una frecuencia de corte de 116.68 Hz dada por la ecuación 13 para evitar demasiada atenuación de las bajas frecuencias y así aumentar a un nivel considerable las de altas frecuencia causando mas desviación a la señal portadora. Este valor se escogido y no otro, por que fue el que mejor resultado se obtuvo en la transmisión. El circuito diseñado es el que se muestra en la figura 20.

Figura 20. Circuito Preénfasis



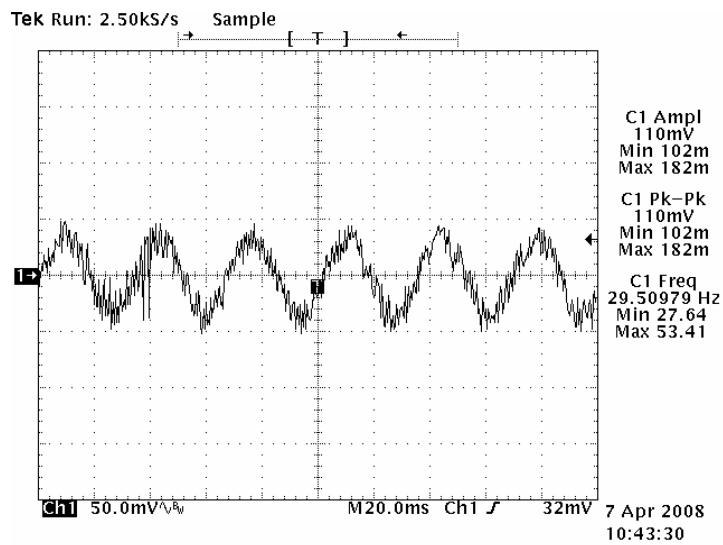
Fuente: Autor

Al acoplarse con los demás circuitos, como se muestra en la figura 18, el circuito de preénfasis presenta una respuesta diferente a la calculada, por lo que se hicieron las siguientes pruebas para su ajuste:

1. Se utilizó una señal seno con una amplitud de 1Vpp para garantizar que la entrada máxima de voltaje de la señal sea esta.
2. Se realizó un barrido de frecuencia entre 30Hz y 30kHz (rango de frecuencias audibles) con un generador para observar si el circuito preénfasis estaba aumentando la señal a frecuencias altas y en que punto saturaba al preamplificador interno del BA1404. Los resultados obtenidos Se muestran en las figuras 21, 22, 23,24, 25, 26. En él se observará que a frecuencias más altas, tendrá un mayor nivel de voltaje de salida y

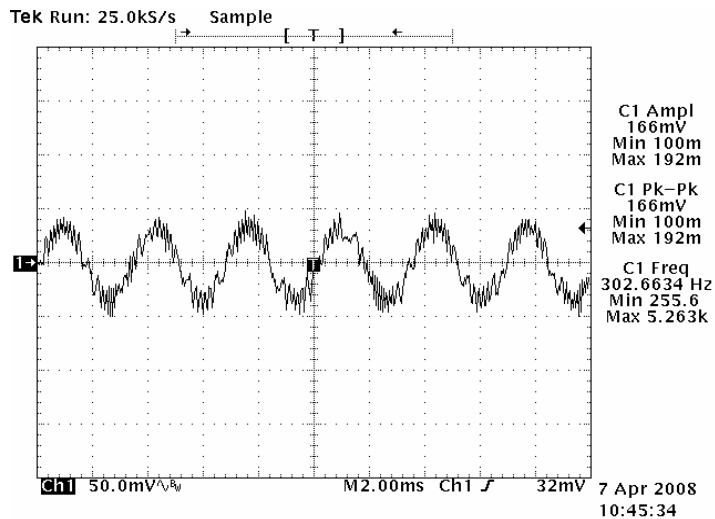
exactamente en 30KHz se satura el preamplificador interno del BA1404 por lo que, por medio de los potenciómetros R5 y R6 de la figura 18 se ajustan los niveles de la señal de audio de entrada hasta observar que no se saturara el BA1404..

Figura 21. Salida del circuito preénfasis con una señal de entrada de 30Hz a 1vpp.



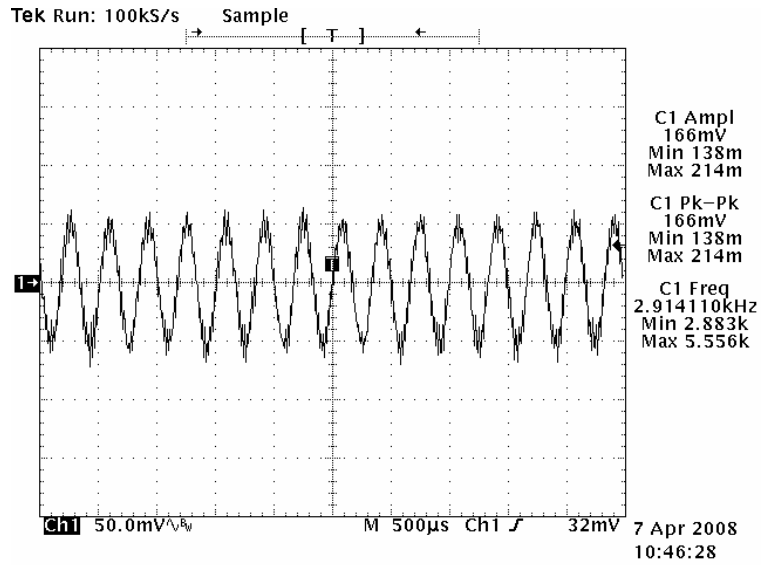
Fuente: Autor

Figura No 22. Salida del circuito preénfasis con una señal de entrada de 300Hz a 1vpp.



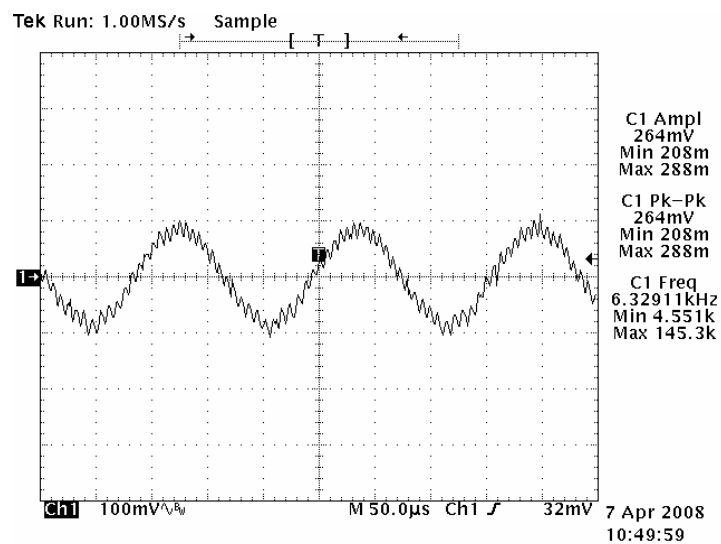
Fuente: Autor

Figura No 23. Salida del circuito preénfasis con una señal de entrada de 3KHz a 1vpp.



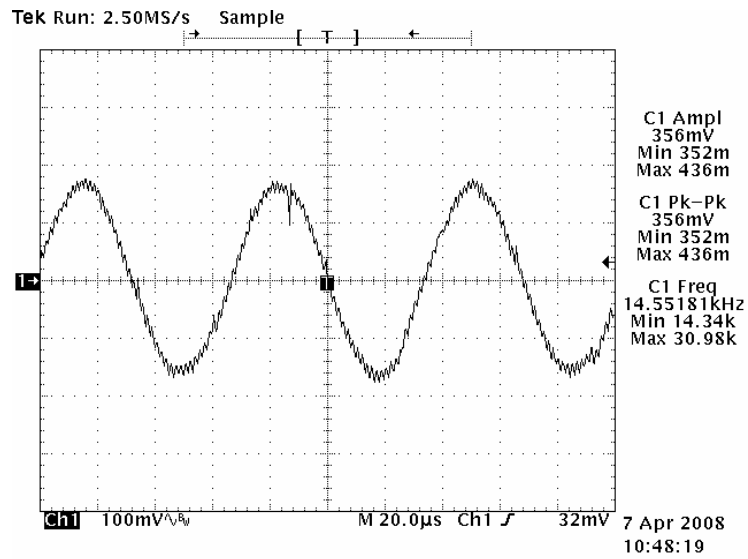
Fuente: Autor

Figura 24. Salida del circuito preénfasis con una señal de entrada de 6KHz a 1vpp.



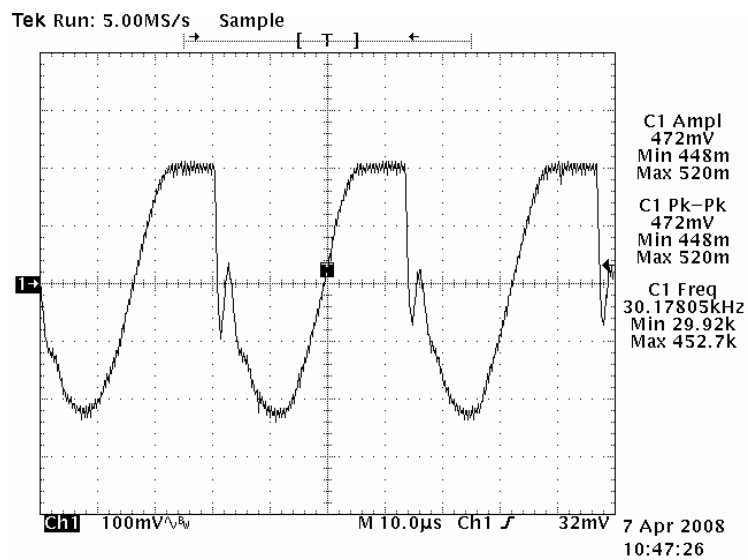
Fuente: Autor

Figura 25. Salida del circuito preénfasis con una señal de entrada de 15KHz a 1vpp.



Fuente: Autor

Figura No 26. Salida del circuito preénfasis con una señal de entrada de 30KHz a 1vpp.



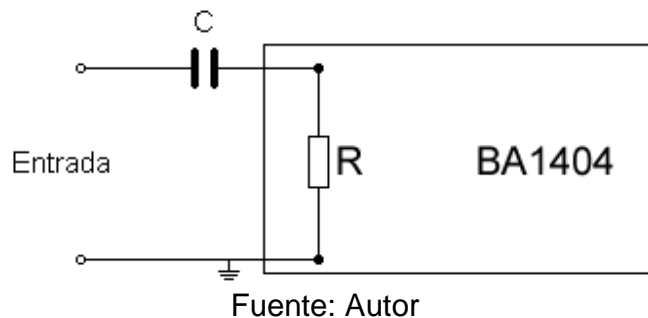
Fuente: Autor

2.3.2.3 Etapa No3. Filtros de audio

Los condensadores C6 y C7 de la figura 18, cumplen la función de filtros pasa bajos, y están encargados de eliminar todas las señales cuya frecuencia estén por encima de los 15KHz.

Los capacitores C4 y C5 de la figura18, cumplen la función de filtro pasa altos, permitiendo el paso de las señales de audio y evitando el paso a cualquier componente de DC que pueda tener esta. Para conocer el valor del capacitor a colocar, es necesario tener en cuenta, que las señales de audio a transmitir están entre 30Hz y 15KHz que son los valores fijados por el estándar internacional para transmisores FM. Como en este caso se necesita un filtro pasa altos, nuestra frecuencia de corte será la mínima a transmitir, es decir, 30Hz. También se debe tener en cuenta que la resistencia de carga para el filtro pasa altos será la impedancia de entrada del BA1404. Esta impedancia es dada por el fabricante y es de 540Ω .

Figura 27. Circuito equivalente para la señal de audio y el filtro pasa altos.



Para este filtro pasa altos, la reactancia de C4, C5 (X_c) debe ser igual a la impedancia de carga (540Ω) lo que da $X_c=540$.

Con lo anterior y aplicando la ecuación:

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times F_c \times X_c} = \frac{1}{2\pi(30\text{Hz})(540\Omega)} = 9.89\mu\text{F} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Se obtiene que $C = 9.89\mu\text{F}$. Se elige el valor comercial más cercano, que es de $10\mu\text{F}$, obteniendo el funcionamiento esperado en la transmisión.

Para el cálculo del filtro pasa bajo, la reactancia de C_6 , C_7 (X_c) debe ser igual a la impedancia de carga (540Ω) lo que da $X_c=540$.

Con lo anterior y aplicando la ecuación:

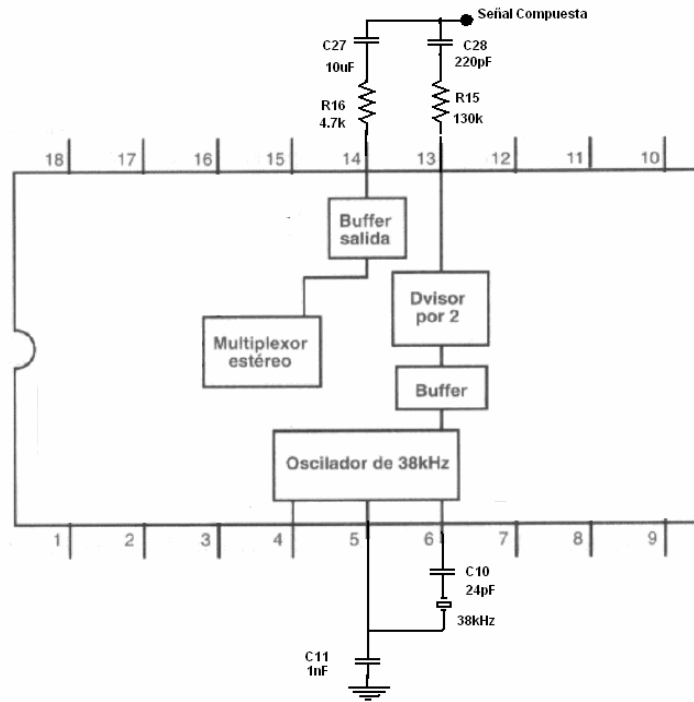
$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times F_c \times X_c} = \frac{1}{2\pi(15\text{kHz})(540\Omega)} = 19.89\text{nF} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Se obtiene que $C = 19.89\text{nF}$. Se elige el valor comercial más cercano, que es de 22nF , obteniendo el funcionamiento esperado en la transmisión.

Las señales de audio ya filtradas y acondicionadas, ingresan al BA1404 y son amplificadas internamente para así poder usarlas en el proceso de generación de señal compuesta.

2.3.3 Circuito generador de señal compuesta (MPX) .

Figura 28. Circuito generador de la señal compuesta

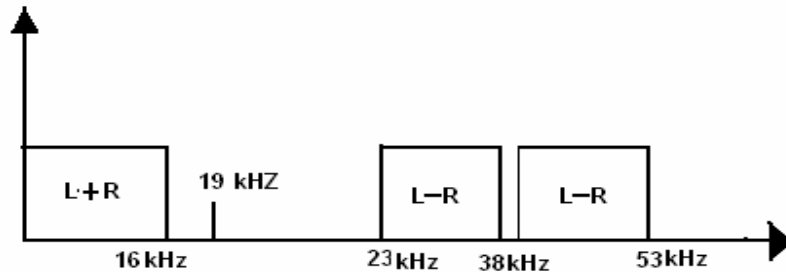


Fuente: Dataste BA1404

Para que en un receptor estéreo puedan reproducirse de forma independiente los canales de audio L y R y además se cumpla con la condición de compatibilidad, es decir, que en receptores monofónicos se pueda reproducir la señal L+R, se hace necesario que en el transmisor sean procesadas estas señales L y R antes de modular la señal portadora. El resultado de este proceso previo es una señal llamada SEÑAL COMPUESTA (MPX).

Generar una señal MPX como en la figura consiste en sumar los canales (L+R), que será la que se recuperaría en un receptor monofónico, pero también se transmitirá (L-R) desplazada en frecuencia dentro de su espectro. Para esto, se modula en AM sobre una subportadora de 38KHz la señal (L-R), apareciendo como consecuencia una señal con dos bandas laterales, ambas con la misma información (L-R) y la subportadora de 38KHz como se muestra en el diagrama de bloque del espectro de la figura 29.

Figura 29. Diagrama de bloque del espectro de la señal MPX.

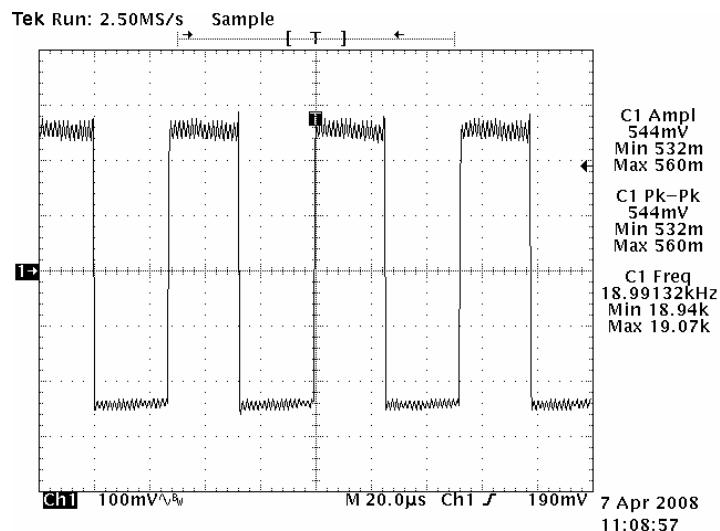


Fuente: Autor

Esta subportadora de 38KHz es suprimida con un filtro rechaza banda interno al BA1404. La razón de suprimir esta señal de 38KHz es que no lleva ninguna información y sí consumiría energía si se transmitiera. En su lugar es agregada una señal que sirva de referencia de fase para los receptores FM estéreo. Esta señal de referencia es de 19KHz y es llamada señal piloto como se muestra en el espectro de frecuencia de la figura 30.

La señal piloto se logra dividiendo en 2 la señal generada por el cristal de 38KHz conectado en los pines 5 y 6 del BA1404. Esta división es realizada internamente por el BA1404 y puede ser vista en el pin 13 del BA1404. (Ver figura 30).

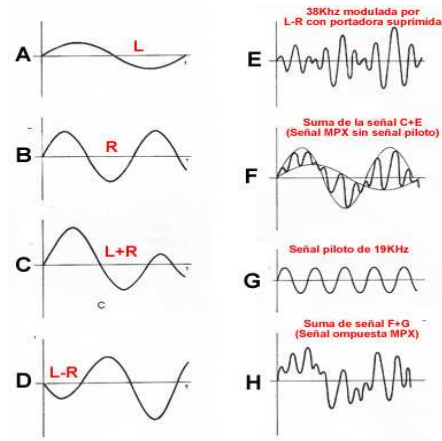
Figura No 30: Señal piloto de 19KHz en pin 13 del BA1404 vista con osciloscopio.



Fuente: Autor

El proceso de generación de la señal MPX, se puede seguir en la figura 31 donde se muestra gráficamente paso a paso como se genera esta.

Figura 31. Pasos para generar señal MPX

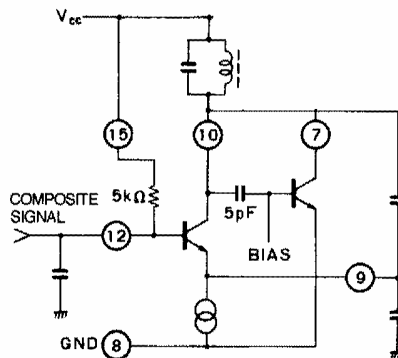


Fuente: Autor

2.3.4 Circuito Modulador FM.

El BA1404, internamente tiene un transistor NPN especial para trabajar con señales RF. (Ver figura 32).

Figura 32. Circuito modulador FM interno del BA1404.



Fuente: Datasheet BA1404

Este transistor será el encargado de modular en frecuencia a una señal portadora. Esta señal portadora es generada por un oscilador tanque LC conformado por C24 y L6 en la figura 17. La frecuencia de este oscilador es la que determinará la frecuencia a la que será transmitida la información. Por lo tanto, es en este circuito en donde se calibran las cuatro frecuencias a las que estarán trabajando cada uno de los transmisores. Para ajustar esta frecuencia, se decidió colocar una bobina con núcleo de ferrita variable de forma que, al variar la posición del núcleo de ferrita, cambian las características de inductancia de la bobina afectando directamente la oscilación del circuito tanque y por ende la señal portadora. La razón por la que se seleccionó una bobina variable y no un capacitor variable, es por su alta estabilidad en la señal generada. El capacitor es afectado muy fácilmente por la temperatura ambiente; además ofrece poca precisión al momento de cambiar de frecuencia; estos problemas son solucionados totalmente si se deja el capacitor de valor fijo y se utiliza una bobina variable una bobina variable.

La señal moduladora (señal MPX) ingresa por el pin 12 del BA1404, excita la base del transistor modulador, quien a su vez convierte esos cambios de corriente en la base a cambios de corriente en colector, afectando directamente la oscilación del circuito tanque LC, logrando de esta forma cambiar la frecuencia de la señal portadora en cada cambio en el tiempo del nivel de voltaje de la señal moduladora. Todo lo anterior da como resultado una señal portadora modulada en frecuencia por la señal moduladora (señal compuesta MPX).

Para conocer el valor de la bobina variable, que será la encargada de ajustar la frecuencia de la portadora, se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

El valor de C24 se define previamente y es de 56pF. La frecuencia mínima a transmitir es de 72MHz y máxima de 80MHz, y con la fórmula:

$$F_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 F_o^2 C} \quad (\text{Ecuación 17})$$

A frecuencia mínima de 72MHz obtenemos un valor de inductancia 87.2nH. A frecuencia máxima de 80MHz obtenemos un valor de inductancia 70.6nH.

Con estos valores obtenidos, se ha seleccionado una bobina para RF con núcleo de ferrita variable entre 65 y 79nH como la de la figura 33.



Figura 33. Fotografía de bobina variable entre 65 y 79nH.

Conociendo de antemano cuál es el rango de frecuencia entre los que trabajaran los transmisores FM, se procede a sintonizar cada uno de estos y, con la ayuda de un analizador de espectro, se ajusta cada una de las bobinas hasta obtener;

TX1= 80MHz

TX2= 79MHz

TX3= 78MHz

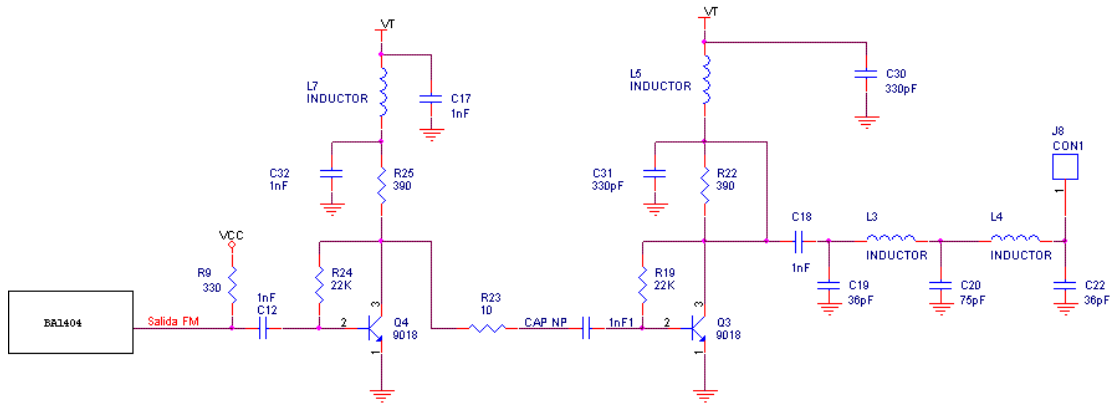
TX4= 77MHz

2.3.5 Circuito Amplificador de RF.

El resultado de la modulación es la señal FM. Antes de ser transmitida esta señal, se hace necesario amplificarla para lograr mayor distancia entre el transmisor y el receptor.

El BA1404 realiza una preamplificación interna y la salida de esta señal está disponible en el pin 7 del BA1404 ve figura 18. El transistor preamplificador es tipo colector abierto, con lo que se hace necesario colocar una resistencia de polarización entre colector (Pin7) y VCC. Si esta señal fuera aplicada a la antena se lograría una distancia máxima de dos metros, lo que se hace insuficiente para el proyecto. Para lograr mayor alcance, se implementaron dos etapas de amplificación RF con base en transistores en configuración CLASE A. (ver figura 34).

Figura 34. Etapa amplificadora RF.



Fuente: Autor

Para el diseño de la etapa de potencia se tuvo en cuenta lo siguiente:

Las frecuencias a trabajar son señales RF por lo tanto, fue necesario utilizar los transistores 9018 y el MRF 586 dispositivos que responden bien a muy alta frecuencias (ver anexo A5, A6).

Se utilizó un amplificador clase A por que proporciona una señal de salida que es una replica idéntica y aumentada de la entrada. El inconveniente de esta etapa es que éste presenta una eficiencia del 50%, es decir, que sólo la mitad de la potencia de CC se convierte en RF y la otra se disipa en el transistor.

Se calculó una aproximación de la potencia necesaria para obtener una distancia de 60 metros por medio de la ecuación 18 teniendo en cuenta que la mayoría de los receptores poseen una sensibilidad mínima de potencia de recepción de 0.01mW.

$$D = \sqrt{\frac{P_t}{P_r}} \quad (\text{Ecuación 18})$$

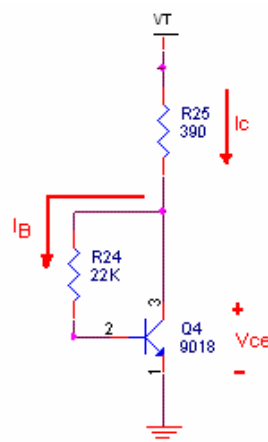
D = Alcance de transmisión
 Pt = Potencia de transmisión.
 Pr = potencia de recepción

La potencia aproximada para un alcance de 60m es de 36mW obtenida despejando la ecuación 18.

A partir de este análisis anterior se propone el circuito de la figura 34 y se realizan los siguientes cálculos:

Los circuitos de la figura 34 son amplificadores de clase A con polarización por retroalimentación del colector. Para calcular su punto de operación se hace un análisis en dc como se muestra en la figura 35.

Figura 35. Análisis en DC



Fuente: Autor

$$I_C \times R_{25} + V_{CE} = V_T \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$V_{CE} = I_B \times R_{24} + 0.7 \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$I_C = I_B \times \beta \quad (\text{Ecuación 21})$$

Remplazando la ecuación 20 y 21 en la ecuación 19 podemos obtener I_B a partir de la ecuación 22 con un $\beta = 104$

$$I_B \times \beta \times R_{25} + I_B \times R_{24} + 0.7 = V_T \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$I_B = 122.05 \mu\text{A}$$

Con la ecuación 21 se obtiene:

$$I_C = 12.6 \text{mA}$$

Sabiendo I_C se despeja la ecuación 19 y se obtiene:

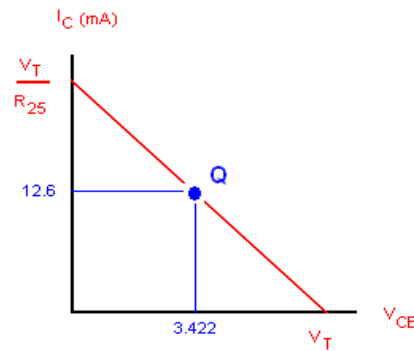
$$V_{CE} = 3.422$$

Sabiendo la corriente de I_C y el V_{CE} se dice que la máxima potencia del circuito es:

$$P = 3.422 * 12.6mA = 43.1mW$$

Este circuito establece un punto Q o de operación como se muestra en la figura36.

Figura 36. Punto de operación del primer amplificador RF



Fuente: Autor

Para la última etapa de amplificador de RF de la figura 34 son las mismas ecuaciones 19, 20, 21, 22 utilizadas anteriormente pero con un voltaje de alimentación de 9V por la cual se obtiene:

$$I_C = 14.06mA$$

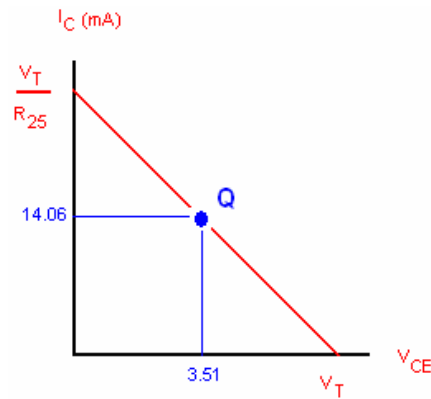
$$V_{CE} = 3.51$$

$$I_B = 127.88 \mu A$$

$$P = 49.35mW$$

Esta última etapa presenta un punto de operación como se muestra en la figura 37.

Figura 37. Punto de operación del segundo amplificador RF.



Fuente: Autor

La potencia 49.35mW obtenida de la segunda etapa RF, será la máxima potencia de transmisión entregada por el circuito y con la cual se obtiene una distancia teóricamente de 70.24 m por medio de la ecuación 18. Como se puede observar, se suministró más potencia con el fin de superar las pérdidas de esta y alcanzar la distancia deseada de 60m.

Las bobinas de choque L_7 y L_5 conectadas en el colector de la figura 34 se encargan de aislar las señales de RF de la fuente de alimentación. Estas fueron construidas con 5 vueltas de cobre esmaltado, sobre un núcleo de aire de 0.4 cm de diámetro y 0.3cm de largo. Su valor se puede calcular aproximadamente con la fórmula de Wheeler así:

$$L = 0.394 \frac{a^2 N^2}{9a + 10l} \mu H \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde

- L: Valor de la bobina.
- a: Mitad del diámetro.
- l: Longitud de la bobina.

El valor de las bobinas es de $0.082\mu H$ aproximadamente obtenida de la ecuación 23.

El circuito acoplado entre la última etapa RF y la antena de la figura 34 conformado por C19, C20, C22, L3 y L4 es un filtro π o filtro pasa bajas que reduce o elimina los productos de la señal portadora llamados armónicos de la señal que se irradia. Las armónicas son producidas por el transmisor y son múltiplos de la frecuencia fundamental a la que se está sintonizando, que si no se eliminan puede causar interferencia con equipos móviles, servicio de emergencia por radio o la parte alta de la banda de TV VHF. Para la elección de los capacitores se utilizó el analizador de espectro para visualizar la frecuencia de transmisión y sus armónicos con el fin de encontrar el valor en el punto donde estos se atenúan totalmente.

2.3.6 Antena.

La antena es un dispositivo que, alimentado con energía de alta frecuencia, irradia esta al espacio en forma de ondas electromagnéticas, lo que la hace la parte más importante del transmisor; por consiguiente se utilizó una antena telescópica de un cuarto de longitud de onda sintonizada a la frecuencia de transmisión; es decir, que sabiendo la frecuencia de la señal se puede establecer la longitud de dicha antena con la siguiente ecuación:

$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{F4} = \frac{300000\text{km/s}}{80\text{Mhz} * 4} = 93.7\text{cm.} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde:

L: Longitud de la antena (m).

C: Velocidad de propagación de la onda (m/s)

λ : Longitud de onda de la frecuencia de trabajo (m).

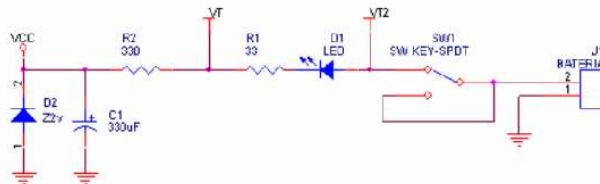
F: Frecuencia de transmisión. (Hz)

La longitud de la antena para nuestro transmisor es de aproximadamente 93.7 cm, que fue calculada con la ecuación 24 utilizando el rango de frecuencia más alta de 80MHz a trabajar.

A la hora de la verificación práctica, dicha ecuación presenta un comportamiento diferente al que previamente se supone, por lo que es necesario ajustarle la longitud y observar en qué punto ofrece mayor rendimiento. Las impedancias de la antena y la línea de transmisión deben ser iguales para conseguir la máxima transferencia de energía y no ocasionar pérdidas. Para lograr esto, se implementó un circuito π de la figura 34 cumpliendo con el propósito nombrado anteriormente y adicionalmente sirve como filtro pasa bajo para aquellas señales que estén por encima de la señal a transmitir.

2.3.7 Circuito de alimentación

Figura 38. Circuito de alimentación



Fuente: Autor

La alimentación se hace mediante una batería de nueve voltios que, con la ayuda de un diodo zener, proporciona un voltaje de regulación de 2 V para el BA1404, como se muestra en la figura 38. El consumo de corriente de todo el circuito transmisor es de 30mA, que utilizando una batería de 9V recargable de 200mAH se obtiene aproximadamente 6 horas de duración en operación continua sin ninguna distorsión. Los nueve voltios se utilizan para alimentar la etapa de potencia RF y proporcionar la suficiente energía a la antena. Los cálculos de este circuito son los siguientes:

$$I = \frac{VT_2 - 2}{33 + 330} = 19.2mA \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$V_{R2} = 330\Omega * 19.2mA = 6.336V$$

$$VT = 2V + 6.336V = 8.336V$$

De acuerdo con esto, la máxima corriente que va pasar por el diodo zener para evitar que se dañe es igual a 19.2 mA, y el voltaje del primer amplificador de RF que se disminuye para que la señal de salida sea un poco más baja y no sature la segunda etapa de potencia RF es igual a 6.336V. El condensador C1 se encarga de oponerse a cambios bruscos de voltaje manteniendo constante la regulación del zener.

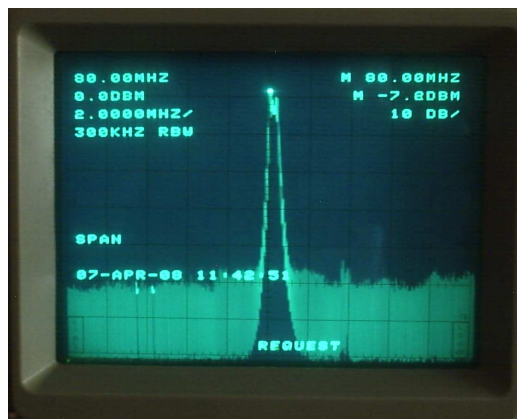
2.3.8 Señales de salida de los transmisores FM.

Ya analizadas cada una de las etapas del transmisor FM, se procede a verificar la frecuencia de transmisión, y la potencia de la señal transmitida con la ayuda de un analizador de espectro. Las señales obtenidas fueron las siguientes:

Frecuencia de transmisión 80MHz.

Potencia de señal transmitida: -7.8DBM

Figura 39. Transmisor No 1:



Fuente: Autor

Frecuencia de transmisión 79MHz.

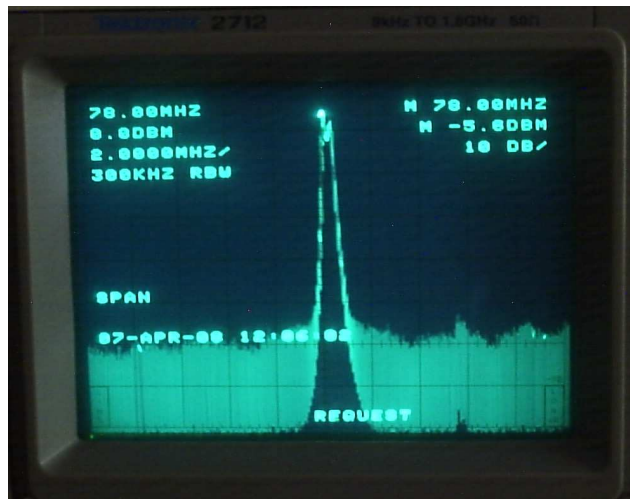
Potencia de señal transmitida: -6.3DBM

Figura 40. Transmisor No 2:



Fuente: Autor

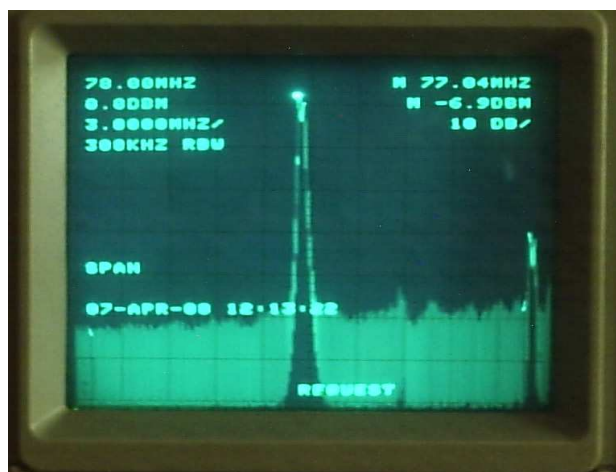
Frecuencia de transmisión 78MHz.
Potencia de señal transmitida: -5.6DBM
Figura 41. Transmisor No3



Fuente: Autor

Frecuencia de transmisión 77MHz.
Potencia de señal transmitida: -6.9DBM

Figura 42. Transmisor No 4



Fuente: Autor

2.3.9 Fotografía de los transmisores

Figura 43. Transmisores ensamblados



Fuente: Autor

2.4 DISEÑO DE LOS RECEPTORES FM.

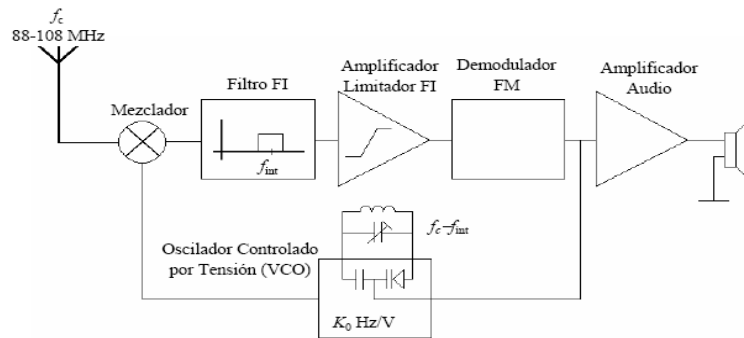
Cada uno de los transmisores estará transmitiendo a una frecuencia diferente, lo que implica que se requieren cuatro receptores perfectamente sintonizados a esas frecuencias; estos receptores deben reproducir de forma clara el sonido enviado. Se opta por tomar como circuito demodulador el chip TDA7000, fabricado por la empresa PHILIPS, el cual ha sido desarrollado para implementar de forma práctica y fácil un receptor FM con realimentación negativa (FMFB-FM Feedback), también llamados demoduladores con extensión de umbral.

Los demoduladores con arquitectura FMFB son muy utilizados por reducir el umbral de ruido, de modo que el demodulador puede trabajar con señales con frecuencias de FI más bajas.

Un demodulador FMFB consiste en modular en frecuencia al oscilador local por la señal de audio demodulada. Esta realimentación comprime el ancho de banda original de la señal

En la figura 44, se puede observar el diagrama de bloques que conforma a un receptor de tipo FMFB.

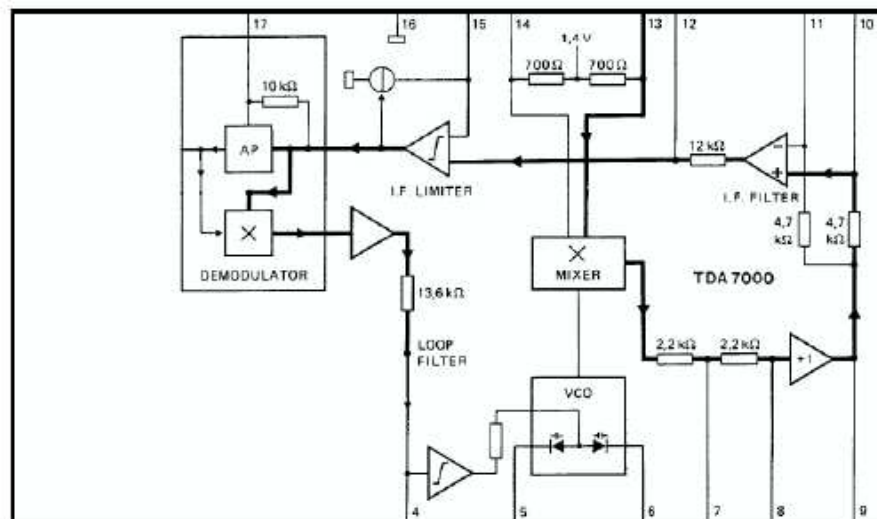
Figura 44. Diagrama de bloques de un receptor tipo FMFB.



Fuente: Autor

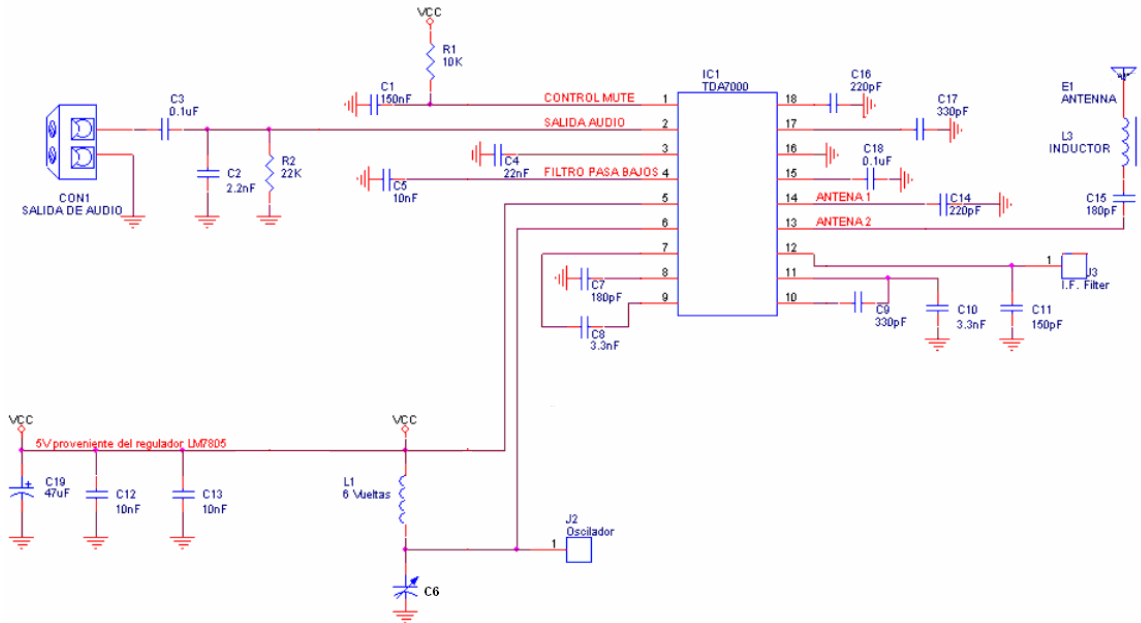
El TDA7000 internamente está constituido por un receptor superheterodino, con control automático de sintonía y detección de sintonía para enmudecer la salida cuando no hay presencia de señal. En la figura 45, se pueden observar los bloques internos que conforman al receptor FM TDA7000.

Figura 45. Diagrama de bloques interno del TDA7000.



Fuente: Datasheet TDA7000

Figura 46. Etapa del circuito receptor con el TDA7000



Fuente: Autor

El TDA7000 tiene la gran ventaja de necesitar pocos componentes externos para lograr un buen rendimiento. En la figura 46 se puede observar el circuito receptor FM completo, y en él se pueden diferenciar todas las etapas externas.

2.4.1 Circuito de ANTENA.

El TDA7000 tiene entrada de señal RF tipo diferencial; este tipo de entrada da mayor sensibilidad y mayor inmunidad a ruido, pero la sensibilidad de este circuito integrado es lo suficientemente alta como para poder usar una entrada sencilla con una antena telescópica. Para lograr que el TDA7000 funcione con entrada sencilla y no diferencial, basta con deshabilitar una de las entradas y para esto se conecta el capacitor C14 entre el pin 14 y GND, capacitor que se comportará como cortocircuito a frecuencias por encima de los 70MHz. La antena telescópica es conectada al pin 12 por medio del capacitor C15 (ver figura 45). Este último capacitor se encarga de evitar cualquier cortocircuito que pueda presentarse entre la antena y GND. De no colocar este capacitor, el circuito mezclador del TD7000 se daña instantáneamente.

2.4.2 Oscilador local.

El TDA7000 incorpora un oscilador modulable en frecuencia mediante un par de diodos varicap conectados en serie, necesitando únicamente un circuito tanque LC para así generar la señal que determina la frecuencia de sintonía. Este circuito tanque lo conforman L1 y C6 de la figura 46. El capacitor C13 que debe estar lo mas cerca posible del oscilador, será el encargado de comportarse como cortocircuito a altas frecuencias (señales RF), logrando de esta forma la oscilación del circuito tanque.

La bobina L1 es fabricada con 5 vueltas de cable esmaltado calibre 18 sobre un núcleo de aire con 1cm de diámetro. El capacitor C6 es variable y es con este circuito que se sintoniza cada uno de los receptores con cada uno de los transmisores, logrando de esta forma el enlace RF de cuatro canales.

2.4.3 Circuito Mezclador.

El TDA7000 lleva a cabo casi toda la amplificación de RF, utilizando una frecuencia fija, con lo que se consiguen ajustes más precisos. Esta frecuencia constante se denomina Frecuencia intermedia, o *FI*, y tiene un valor de 70KHz.

Este mezclador mezcla o heterodina la señal generada por el oscilador local con la señal de la antena. Del resultado de este proceso se obtiene ($F_{\text{local}} + A_{\text{antena}}$) y también ($F_{\text{local}} - A_{\text{antena}}$); esta última es la que se selecciona como frecuencia intermedia.

2.4.4 Circuito Filtro de FI.

A la salida del mezclador la señal encuentra una serie de resistencias y amplificadores operacionales, encargados de conformar el filtro de FI. Este filtro puede ser ajustado conectando capacitores en los pines del 7 al 12. Este filtro deberá estar centrado en 70KHz y un ancho de banda de 60KHz. Este filtro de FI será el encargado de asegurar la adecuada selectividad del receptor y ha de tener una respuesta en frecuencia plana entre 40 y 100KHz.

La primera etapa del filtro de FI es implementar un filtro pasivo pasa bajos de segundo orden, conformado por el capacitor C7 de 180pF, C8 de 3.3nF y las resistencias de 2.2K internas del TDA7000. Estos valores de C8 y C7, son dados por el fabricante teniendo en cuenta la impedancia de entrada de los amplificadores operacionales.

La segunda etapa del filtro, corresponde a un filtro pasa banda, conformado por C9 de 330pF, C10 de 3.3nF y las 2 resistencias de 4.7K internas del TDA7000. Estos dos valores de capacitores también son dados por fabricante del TDA7000.

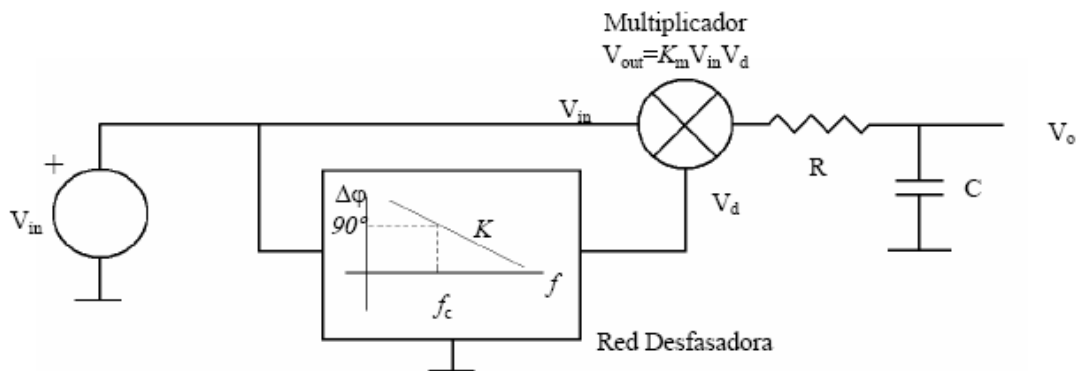
Y, por último, un filtro pasa bajos conformado por C11 de 150pF conectado ya a la salida de la señal FI en el pin 10. Esta señal se aplica internamente a un amplificador limitador, quien entrega una señal FM con amplitud constante pero totalmente en fase con la señal original, con la que ya se puede excitar al circuito demodulador.

2.4.5 Circuito demodulador.

Un demodulador FM debe proporcionar a su salida una tensión proporcional a la desviación en frecuencia que experimenta la señal de entrada con respecto a la señal frecuencia central. La frecuencia de la señal portadora es idéntica a la frecuencia del oscilador local del demodulador

El TDA7000 cuenta con un circuito demodulador en cuadratura. Este tipo de demoduladores, también llamados (detector de coincidencia) están constituidos por una red desfasadora, un mezclador y un filtro pasa bajos. Ver figura 47.

Figura 47. Diagrama de bloques un demodulador en cuadratura.



Fuente: Autor

A la salida del circuito demodulador, ya podemos tener la señal de audio para pasarla al preamplificador de audio y circuito mezclador para obtener una sola señal monofónica correspondiente a los cuatro canales de transmisión.

2.5 Diseño de preamplificadores y circuito Mezclador.

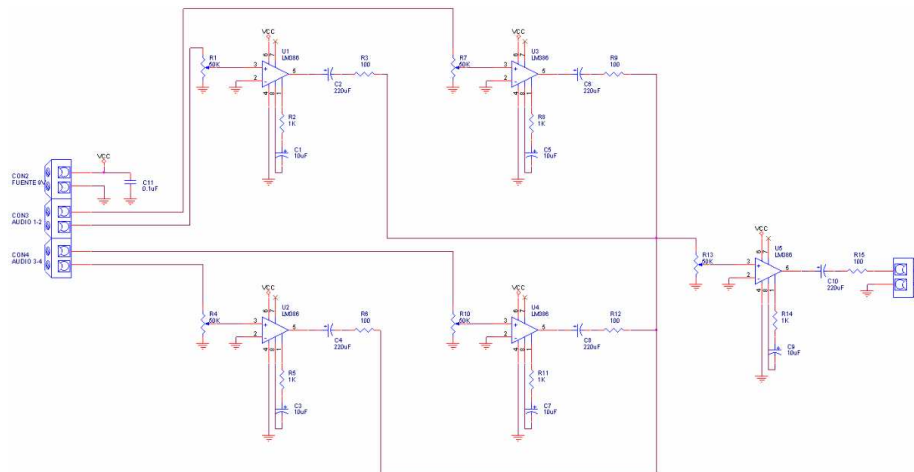
La función de esta etapa es la de recoger toda las señales, amplificarlas y mezclarlas sobre un único canal de manera que, que estas se puedan modificar de forma independiente. Para tal objetivo se utiliza un amplificador operacional de audio como el LM 386 que es un dispositivo especialmente utilizado para señales de audio. El LM386 es aplicado para tareas de bajo consumo de energía. Internamente, sin ningún componente externo, posee una ganancia de 20, pero con la adición de un resistor y condensador entre el pin 1 y el 8 se puede incrementar su ganancia hasta 200.

Una de las entradas va referenciada a tierra y su máxima salida AC depende del voltaje de alimentación del integrado. Al alimentar el integrado con 6 voltios, es capaz de suministrar una potencia de 24mW, lo que lo hace ideal para trabajar con baterías. En resumen, el LM 386 posee las siguientes características:

- Puede operar con baterías
- Necesita pocos componentes externos
- Voltaje de alimentación entre 4 y 18 V
- Baja corriente de drenaje (4mA)
- Entrada referenciada a tierra
- Opera sin fuente dual
- Posee baja distorsión.

En la figura 48. Se muestra el esquema circuital del mezclador diseñado con los circuitos integrados LM386.

Figura 48. Etapa circuito mezclador /amplificador con el LM386



Fuente: Autor

Como se puede observar, en el diseño de la figura 47 se utilizaron cinco integrados LM 386 de la siguiente forma: cada salida de receptor antes de ser mezclada, primero es amplificada para aumentar el nivel de las señales de audio. Los LM386 están configurados con una resistencia de 1 K Ω y un condensador de 10 μ F entre el pin1 y 8 para obtener una ganancia de 50. Los condensadores de salida C₂, C₆, C₄, C₈, y C₁₀ funcionan para desacoplar la señal DC de AC. Después de amplificadas las salidas todas las señales se llevan hacia la entrada del Lm386 por medio de las resistencias R₃, R₈, R₉, R₁₂ para ser mezcladas y así obtener control independiente de cada canal. Los potenciómetros utilizados se encargan de ajustar el nivel de audio de entrada de cada canal.

En conclusión, la etapa mezcladora se encarga de tomar las cuatro señales del receptor para amplificarlas, sumarlas y ejercer un control independiente de cada canal.

2.6 Respuesta en frecuencia de la transmisión en la salida del receptor

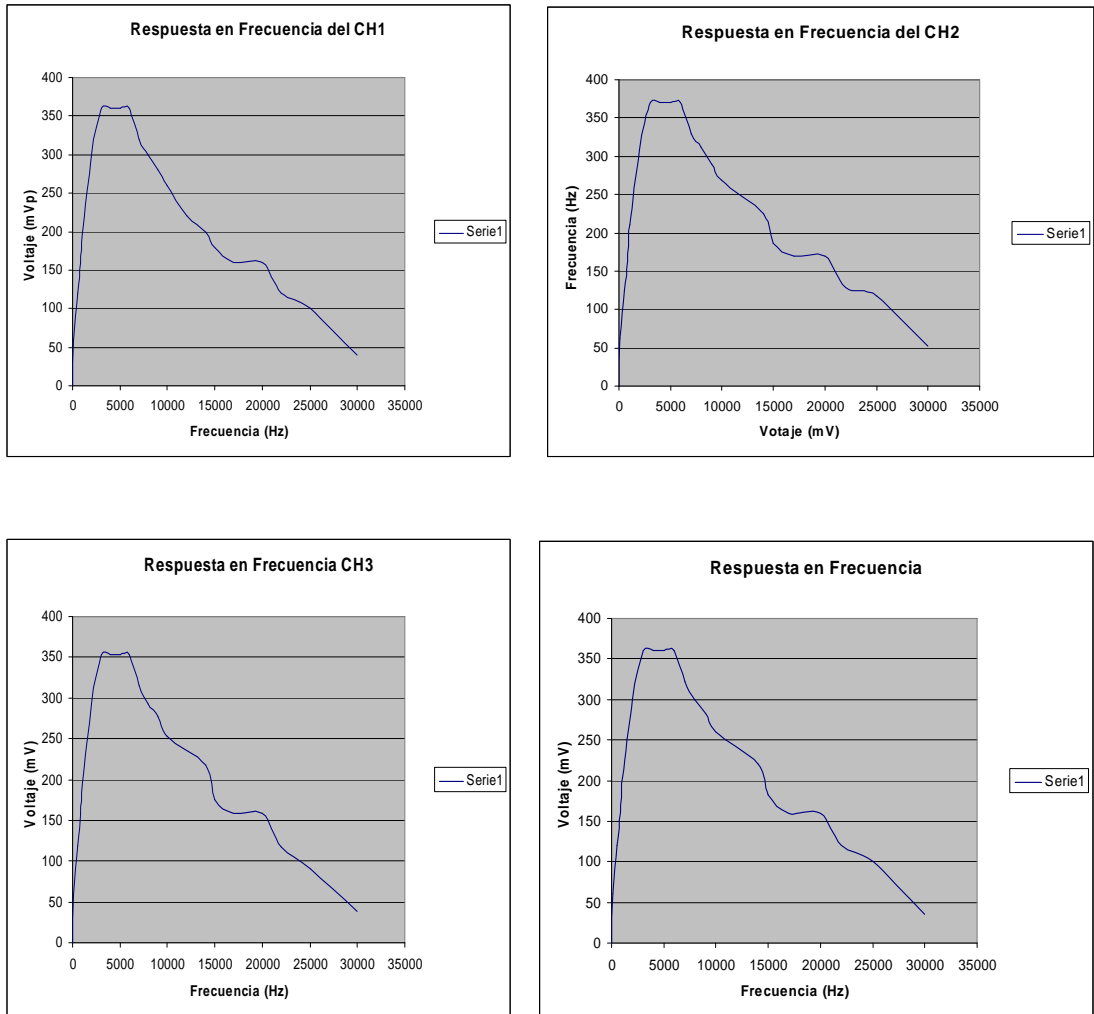
Para obtener la respuesta en frecuencias de todo el sistema se ajustó un nivel con el generador de 1V_{pp} para garantizar este nivel máximo de entrada de la señal de audio en el transmisor. Después se realizó una variación de frecuencia entre 50Hz y 30KHz para cada transmisor como se muestra en la tabla 2 para realizar los

ajustes de relación de señal a ruido (S/N) y obtener una respuesta en la salida del receptor relativamente plana para casi todas las frecuencias como se muestra en la figura 48.

Tabla 2. Respuesta en frecuencias en la salida del receptor

Frecuencia (Hz) Entrada 1Vpp	CH1 Salida (mVp)	CH2 Salida (mVp)	CH3 Salida (mVp)	CH4 Salida (mVp)
50	0	0	0	0
100	60	62	59	61
500	120	125	119	120
800	160	163	158	161
1K	200	210	197	203
2K	300	308	293	300
3K	360	370	354	360
4K	360	370	354	360
5K	360	370	354	360
6K	360	370	354	360
7K	320	329	315	322
8K	300	312	293	300
9K	280	290	277	282
10K	260	269	2530	260
14K	220	225	217	221
15K	180	186	175	183
17K	160	169	158	160
20K	160	169	158	160
22K	120	128	118	120
25K	100	118	91	100
30K	40	52	38	36

Figura 49. Grafica de respuesta en frecuencias en la salida del receptor



Fuente: Autor

En la figura 49 podemos observar una respuesta plana que esta comprendida entre 2KHz y 10KHz aproximadamente, lo que indica que los transmisores están correctamente ajustados para casi todas las frecuencias de audio. Lo ideal seria conseguir una respuesta plana desde 30Hz hasta 30KHz pero en casos reales al aumentar el ancho de banda también aumenta la suma del ruido en la señal.

2.7 RECOMENDACION PARA LA FORMACIÓN DE UN SISTEMA INALÁMBRICO ANÁLOGO PARA AUDIO.

En los sistemas inalámbricos de audio, se usan transmisores/receptores físicamente pequeños, con muy buena funcionalidad, bajo consumo y elevada resistencia a los ruidos indeseables. Pueden estar conectados a cualquier dispositivo de audio como guitarras eléctricas, reproductores, micrófonos, mezcladores etc. y proporcionarles un enlace o comunicación inalámbrica.

Para el diseño de un sistema inalámbrico análogo para audio se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

- 1) Se debe elegir el tipo de modulación a utilizar y establecer las ventajas y desventajas que esta presenta, pues proporciona la manera de cómo llevar la información del transmisor al receptor.
- 2) Se debe averiguar que frecuencias están disponibles o libres para no interferir con alguna señal que pueda causar interferencia.
- 3) Antes de empezar a diseñar el sistema inalámbrico, hay que establecer una distancia considerable pensando en el escenario en que se va a desplazar, siendo este punto fundamental porque a partir de esta especificación se va a establecer la potencia y la antena necesaria para obtener una buena relación S/N.
- 4) Después de haber establecido el tipo de modulación, la distancia y la frecuencia se debe diseñar el transmisor/receptor que se va utilizar de acuerdo con la potencia que se necesite irradiar. Para las señales de audio de entrada muy altas se debe diseñar un control de nivel en el transmisor con el fin de evitar una sobremodulación y permitir ajustar manualmente el nivel de modulación. Los filtros hacen parte del diseño del sistema y se deben utilizar por que tienen la capacidad de reducir o eliminar las armónicas de la señal que se irradia, seleccionar o captar la frecuencia de interés y de rechazar todas señales de interferencia.
- 5) Los amplificadores de RF cumplen una parte fundamental en el diseño de un sistema inalámbrico, por que poseen una buena respuesta a frecuencias altas y proporciona la potencia necesaria que se va irradiar. Estos además de amplificar pueden restringir las señales a un intervalo relativamente ancho y angosto. Por ello, se deben implementar y ajustar correctamente, pues, de no ser así, el transistor de RF puede producir señales laterales anormales tanto dentro como fuera de la banda FM.

- 6) La antena es una etapa importante en un sistema inalámbrico y se debe definir muy bien porque es la encargada de irradiar la señal moduladora desde el transmisor al receptor. Para lograr esto, la antena debe estar sintonizada con la frecuencia que se transmite. Subsiguientemente se debe instalar y orientar adecuadamente.

Hay varias clases de antenas y estas pueden ser desde un simple conductor. Muchos diseños de antenas se basan o derivan de lo que se denomina un dipolo, dos radiantes cuya longitud es aproximadamente $\frac{1}{4}$ de la longitud de onda de la frecuencia de transmisión deseada. Además no hay que olvidar que, la antena receptora recibirá mejor la información si su polarización es igual a la de la antena transmisora.

En el mercado hay una gran cantidad de empresas que se dedican a la fabricación de antenas, con parámetros claros y bien establecidos. Por ello, es conveniente elegir la antena de algunos de estos proveedores y escoger la que mejor se ajuste a las condiciones de frecuencia, ganancia y potencia establecida de acuerdo a la distancia que se desea transmitir la información.

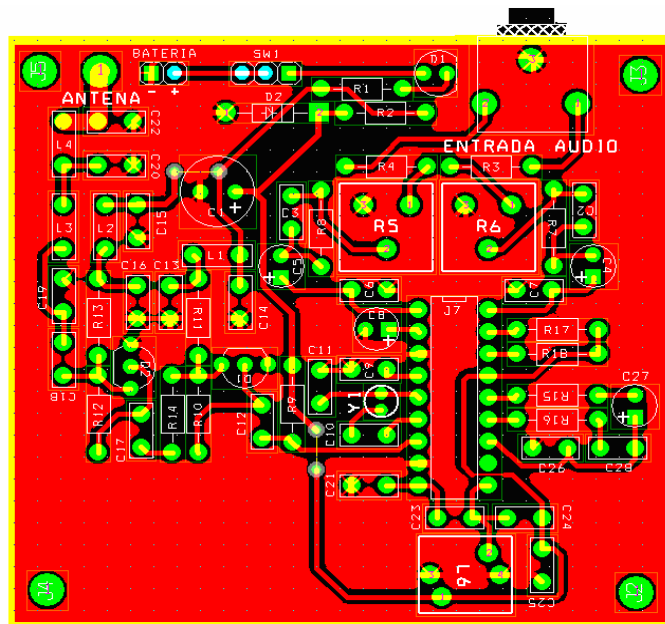
- 7) Los dispositivos transmisor y receptor deben sincronizarse a la frecuencia establecida de tal manera que haya completa supresión del ruido y se obtenga una fiel reproducción de la señal de audio.
- 8) El consumo de potencia debe ser mínimo en la transmisión y hay que diseñar bajo estas condiciones. La fuente de alimentación debe ser con baterías y la durabilidad de estas deber ser amplia para lograr un sistema óptimo, confiable y pequeño. Por lo tanto, es aconsejable construir estos sistemas inalámbricos con circuitos integrados que generan poco consumo y son más confiables en la sintonización o sincronización.

2.8 Diseños de los Circuitos Impresos.

Con la herramienta de diseño de Eagle 4.1 [11] se procedió a diseñar los Transmisores, receptores y la etapa mezcladora.

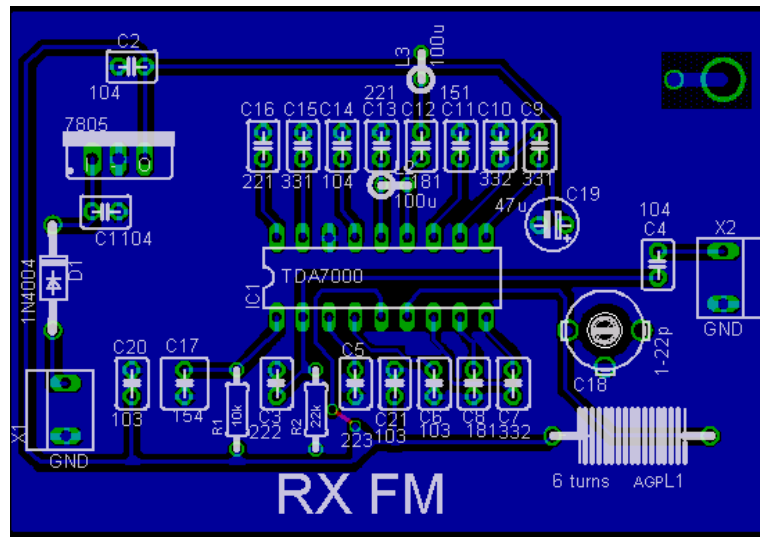
A continuación se muestran los diseños de los circuitos impresos de cada dispositivo.

Figura 50. Cara superior e inferior del circuito impreso (Circuito transmisor con el BA1404).



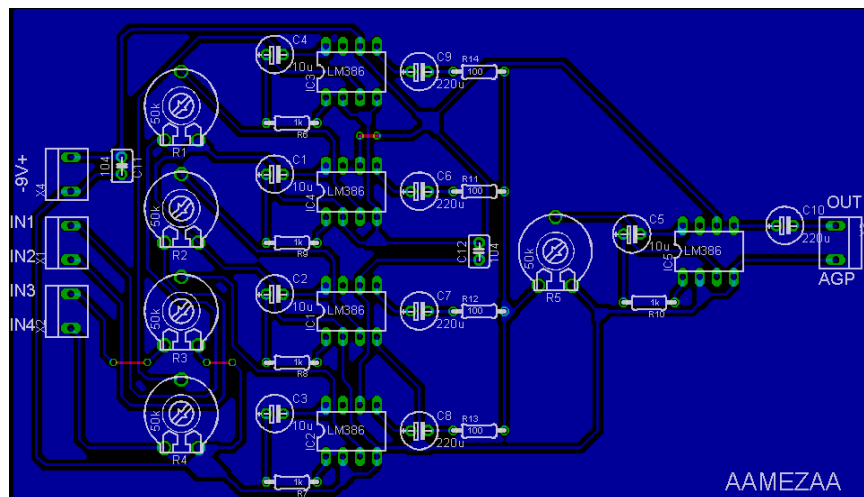
Fuente: Autor

Figura 51. Cara superior e inferior del circuito impreso (Circuito Receptor TDA7000).



Fuente: Autor

Figura 52. Cara superior e inferior del circuito impreso (Etapa Mezclador / Amplificador LM386).



Fuente: Autor

CAPÍTULO 3. MANUAL DEL USUARIO

El transmisor/receptor inalámbrico de cuatro canales para instrumentos musicales es un completo sistema de comunicación que está ajustado según las normas de frecuencias establecidas por el gobierno (ver anexo A1). Se recomienda examinar muy bien las características y conexiones del equipo antes de ser utilizado por primera vez y así evitar errores que puedan causar daños al equipo. Por lo tanto, se muestran a continuación las características técnicas, accesorios y conexiones del equipo.

3.1 Características técnicas transmisor/receptor

TABLA 3. Características del Transmisor/Receptor

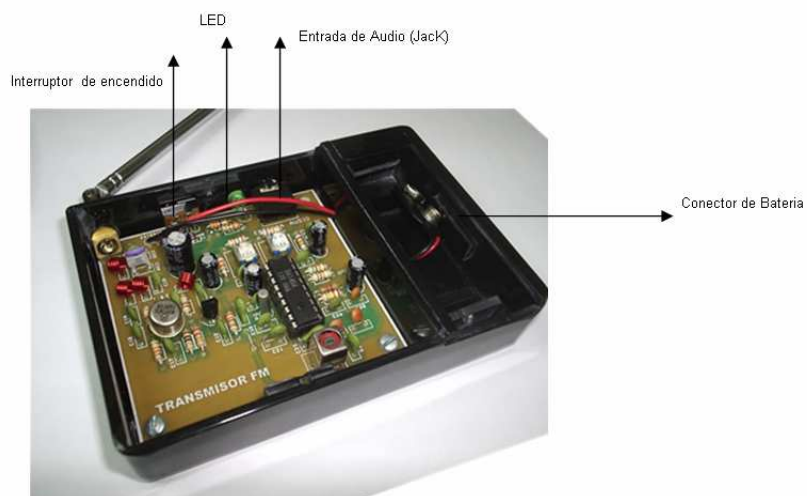
Frecuencia 1	80MHZ
Frecuencia 2	79MHZ
Frecuencia 3	78MHZ
Frecuencia 4	77MHZ
Tipos de Modulación	FM con desviación máxima de ± 75 KHz.
Alimentación	Batería recargable de 9 v a 200mAH
Corriente de consumo	30mA
Duración de la Baterías	6 horas aproximadamente
Distancia	Mínimo 35m y máximo 60m
Receptores	Rango de sintonía 70 a 110MHz
Sensibilidad	-3dB
Alimentación	Adaptador de 9 voltios.
Frecuencia de FI	70kHz.
Números de canales	4
Consumo de corriente	90mA

Nota: Las pruebas de funcionamiento del sistema de transmisión /recepción se realizaron en un recinto cerrado donde se obtuvo una distancia a aproximada de 60metros, pero en campo abierto los resultados de distancia fueron aproximadamente de 35metros por lo que se establece que el equipo tiene un rango de distancia de 35m a 60m aproximadamente.

3.2 Conexiones

En este punto se muestra las fotografías de los Transmisores /Receptores con las funciones de las partes de operación.

Figura 53. Conexiones de los Transmisores.

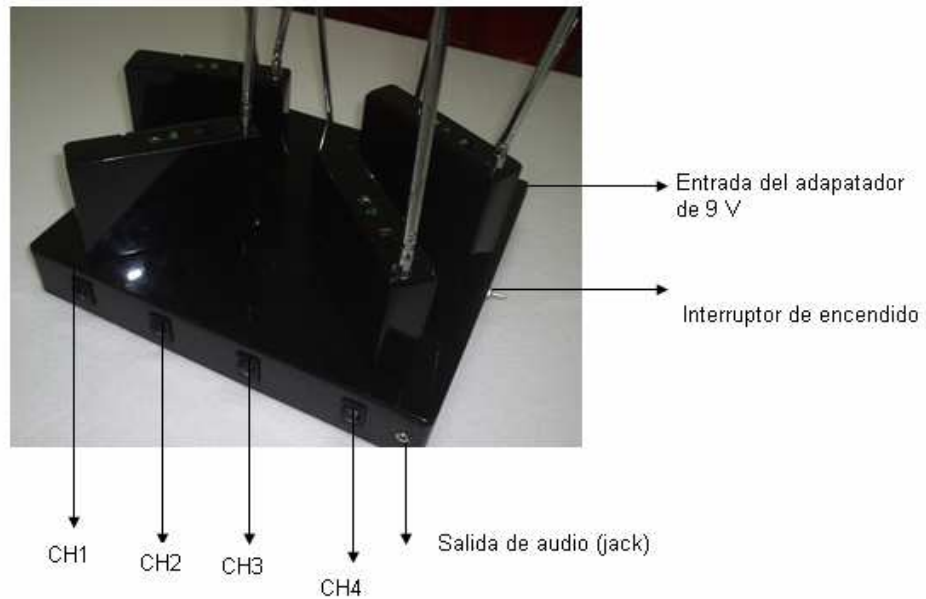


Fuente: Autor

Tabla 4. Tabla de funciones de las Partes del Transmisor FM.

LED	indicador que el transmisor esta encendido
JACK	Entrada de la señal de audio
CONECTOR DE BATERÍAS	Conector para baterías de 9 voltios
INTERRUPTOR	Lugar de encendido del transmisor

Figura 54. Conexiones del Receptor.



Fuente: Autor

Tabla 5. Tabla de funciones de las Partes del Receptor FM.

CH1, CH2, CH3, CH4	Interruptor Habilitador del canal
JACK	Salidas de la señal de Audio
Interruptor de Encendido	Habilita el receptor FM
Entrada de Adaptador 9V	Alimenta el receptor FM

3.3 Accesorios.

- Micrófono.
- Pila de 9 voltios.
- Cable estereofónico.
- Conector de mono a estéreo.
- Adaptador 9 voltios.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se desarrolló un transmisor/receptor de cuatro canales para instrumentos musicales que permite transmitir el sonido de cuatro instrumentos de forma inalámbrica por modulación en frecuencia.
- Para lograr transmisiones inalámbricas análogas múltiples se debe transmitir cada canal a una frecuencia diferente, correctamente espaciada. Las diferentes frecuencias pueden ser recibidas simultáneamente por receptores sintonizados a cada frecuencia. Una etapa de mezcla genera combina las señales y la señal combinada queda adecuada para ser llevada a una etapa de amplificación de potencia.
- Para el transmisor se utilizó una placa de fibra de vidrio para el circuito impreso debido a que es un material que responde bien a las altas frecuencias, evita la distorsión de la señal, no es tan costoso y se considera de buena calidad.
- El amplificador de RF de potencia tipo A resultó aceptable para cubrir una gran distancia en la transmisión; pero al mismo tiempo se pudo comprobar que presenta una eficiencia del 50% lo que quiere decir que sólo la mitad de la potencia se convierte en RF. Por ello, se recomienda utilizar para obtener mayor distancia amplificadores de RF tipo C que poseen una eficiencia de hasta 85%.
- En un sistema de comunicación inalámbrico que se implemente para música o instrumentos musicales donde las exigencias del sonido son enormes es mejor pensar en digitalizar las señales de audio (voz y música), ya que estas son mucho más inmunes al ruido en el proceso de transmisión; es decir no la afectan las interferencias atmosféricas (estática) ni otro tipo cuando se transmite por vía inalámbrica, como ocurre con las transmisiones analógicas.
- Como resultado de este sistema análogo es conveniente señalar lo fundamental que tiene este proyecto para exponer y aplicar las bases de una aplicación en comunicaciones. Por consiguiente, el proyecto ayuda a encaminarse a través de esta rama de las telecomunicaciones y a seguir explorando nuevas tecnologías que proponen el mejoramiento de estas.

- La antena telescópica de un cuarto de longitud de onda es la recomendable porque irradia con igual intensidad en cualquier dirección perpendicular a ella, lo que quiere decir que su comportamiento es omnidireccional.
- El cálculo de una antena es muy importante por que esta debe estar sintonizada a la frecuencia de transmisión. Pero en materia de antena todo cálculo, por más exacto que sea, necesita de la verificación posterior en campo; es decir, que la antena puede estar muy bien calculada pero al estar conectada definitivamente presenta un comportamiento diferente al que previamente se suponía, debido a las diferentes pérdidas.
- Un factor muy importante para que existiera una buena transmisión de energía entre las diferentes etapas del circuito fue el correcto acople de impedancias entre los puntos de interconexión. Esto se logró cuando se presentaba la mayor potencia y distancia en la transmisión, obedeciendo a la teoría de máxima transferencia de potencia.
- Se debió utilizar un filtro pasa bajos al final de la transmisión, para eliminar los efectos de armónicos por fuera de la frecuencia de transmisión que son generados por este tipo de modulación. Lo cual puede repercutir en problemas legales por interferir en otras frecuencias.

GLOSARIO

ANTENA: Es un elemento pasivo capaz emitir o recibir ondas electromagnéticas. Esta constituida por un conjunto de conductores diseñados para irradiar un campo electromagnético cuando se le aplica una fuerza electromotriz alterna

ANCHO DE BANDA: Para un sistema analógico es la mínima banda de paso o la anchura, requerida para propagar la información de la fuente a través del sistema. Para un sistema digital es la cantidad de datos que se puede transmitir por el sistema por unidad de tiempo.

AGC: Control automático de ganancia que se encarga de mantener un nivel de voltaje en la salida de un receptor.

BANDAS LATERALES: Son frecuencias de suma y de diferencia desplazada de la portadora que se generan por la modulación de una señal banda base (Información) y una señal portadora.

CCIR: Significa Consejo consultivo internacional de las comunicaciones de radio y fue el que estableció la división del espectro en frecuencia.

DESVIACIÓN DE FRECUENCIA: Es el desplazamiento o cambio de la frecuencia de una señal con amplitud y frecuencia constante.

dB : Es una unidad logarítmica que se utiliza en acústica y telecomunicaciones para expresar el nivel de potencia y la intensidad del sonido.

DEMODULADOR FM: Tipo de demodulación utilizada en los receptores FM, que se encarga de convertir las variaciones de frecuencia de la señal de entrada (portadora modulada) en variaciones de amplitud en la salida (Señal moduladora).

DEENFASIS: Procedimiento para reducir la amplitud de las frecuencias altas después de su detección en los receptores, con el objetivo de restituir el nivel relativo original de la banda de transmisión.

ELEMENTOS PASIVOS: Los elementos pasivos, son aquellos, que al circular corriente producen una diferencia de potencial entre sus bornes y disipan potencia en forma de calor (consumen energía).

ELEMENTOS ACTIVOS: Los elementos activos, son dispositivos capaces de generar una tensión o una corriente (en forma más general un campo eléctrico) y suministrar potencia a una carga dada (entregan energía).

FIDELIDAD: Es el comportamiento de un sistema de comunicación para producir en la salida del receptor una replica exacta de la fuente original de información.

FRECUENCIA DE IMAGEN: Es cualquier otra frecuencia que es diferente a la portadora o la frecuencia de radio seleccionada que si se le permite entrar a un receptor y mezclarse con el oscilador local, producirá una frecuencia de productos cruzados que es igual a la frecuencias intermedias.

FRECUENCIA IF: Son frecuencia que por lo general son inferiores a la señal portadora o RF y se obtienen al mezclar la frecuencia de la portadora con la frecuencia de un oscilador local.

FCC: Significa Comisión Federal de Comunicaciones (Federal Communications Comision) y es la encargada de la regulación (incluyendo censura) de telecomunicaciones interestatales e internacionales por radio, televisión, redes inalámbricas, satélite y cable.

FM ESTÉREOFÓNICA: Sistema de comunicación en estereofonía en las que dos canales de sonido se transmiten simultáneamente con modulación de frecuencia sobre una onda de radio.

FILTROS: la función principal de un filtro es dejar pasar o rechazar un rango determinado de frecuencia de una señal eléctrica que pasa por el, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase.

FUNCIONES DE BESSEL: Se utilizan en la modulación FM para determinar el número de bandas laterales significativas, a partir del índice de modulación.

FRECUENCIA CENTRAL: es la frecuencia de resonancia que se encuentra en el centro de dos frecuencias de corte que se encuentran geométricamente simétrica a esta.

GENERADOR DE FUNCIONES: Generador de señal cuya salida es una de las diversas formas de onda seleccionables.

HETERODINAJE: Es mezclar dos frecuencias junta en un dispositivo no lineal o trasladar una frecuencia a otra utilizando mezclas no lineales.

IMPEDANCIA: Es la oposición que presenta un dispositivo al paso de la corriente alterna. La impedancia esta compuesta por una parte resistiva mas una reactiva inductiva o capacitiva.

INFORMACIÓN: La información puede ser de manera análoga y digital.

INDUCTANCIA DE CHOQUE: Bobina utilizada para crear una elevada impedancia a frecuencias superiores a una banda determinada, sin atenuación apreciables de las componentes de corriente continua.

LIMITADOR FM: Su función es recortar o suprimir las amplitudes de una señal FM con el objetivo de rechazar la mayor cantidad de interferencia producidas en la señal, que se presentan como pulso de ruido en la amplitud.

MODULACIÓN FM: Este es un tipo de modulación que se utiliza en las transmisiones inalámbricas y radiodifusión, y su objetivo es cambiar una señal de alta frecuencia llamada portadora a partir de la amplitud de una onda de baja frecuencia llamada señal moduladora o señal de información que luego serán transmitidas a grandes distancias.

ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS: Son ondas compuestas por una energía eléctrica y magnética que viajan por el aire recorriendo grandes distancias y llevando una información impresa sobre ella a una velocidad igual a la de la luz y que al igual que todas señales esta posee amplitud y frecuencia.

PERDIDAS POR INSERCIÓN: Es la relación de la potencia de salida de un filtro con la potencia de entrada para las frecuencias que caen dentro de la banda de paso del filtro.

PREÉNFASIS: Es el Aumento del nivel de las frecuencias altas respecto a las bajas antes de la transmisión con el objetivo de mejorar la relación S/N de la misma. Suele estar formado por un filtro paso-alto.

RUIDO TÉRMICO: Es causado por el movimiento aleatorio de los átomos y electrones de un componente electrónico producido por el calor.

RUIDO INDUSTRIAL: Es el Ruido producido por equipos manufacturados.

RECEPTOR: Es un dispositivo que capta la señal proveniente de una fuente y procesa con el fin de obtener una replica exacta de la fuente.

Transmisor: Es un dispositivo capaz de enviar la información modulada y propagarla por un canal así el destino.

RUIDO ATMOSFÉRICO: Es producido por las perturbaciones eléctricas que ocurren de manera natural por la Atmósfera terrestre.

REACTANCIA: es la oposición que tiene un condensador o inductor al paso de la corriente alterna, expresada en ohmios.

RADIOFRECUENCIA: Frecuencia a la cual es posible la radiación de energía electromagnética con el propósito de comunicación

Radiodifusión: Son transmisiones simultanea que se hacen desde una estación o fuente de servicio comercial hacia varios destinatarios.

REGLA DE CARSON: es un valor aproximado para encontrar el ancho de banda que causa la modulación en frecuencia y que es dos veces la desviación de frecuencia y la frecuencia moduladora.

Relación S/N: Es un número cociente que indica las intensidades relativas de la señal y del ruido. En un sistema de comunicaciones el objetivo es que la relación S/N a ruido sea lo mas alta posible.

SEÑAL DE INFORMACIÓN: estas señales pueden ser de tipo análogo o digital y es el tipo de señal que se desea enviar hacia un destino muy lejano que lo requiera.

SEÑAL PORTADORA: es una señal de muy alta frecuencia y potencia que tiene como objetivo modularse con la señal moduladora (la señal que contiene la información), y proporcionar suficiente energía para su transmisión.

SENSIBILIDAD: Es el nivel mínimo de señal de RF que puede detectarse en la entrada de un receptor y todavía producir una señal de información remodulada utilizable.

SELECTIVIDAD: Es la habilidad que tiene un filtro de dejar pasar un rango determinado de frecuencia y rechazar las otra. La selectividad se hace mayor a medida que sus frecuencias de corte están mas cerca de la frecuencia central.

Rango dinámico: Es el rango dinámico de potencia de entrada sobre el cual el receptor es útil.

SEÑALES ESPURIAS: Son señales añadidas a las normales, generadas por defectos en el proceso de modulación.

SINTONIZAR: Es Seleccionar la frecuencia deseada a la que se va transmitir o recibir y rechazar las que no.

TRANSMISIÓN MONOFÓNICA: es aquella que solo utiliza un canal de transmisión de audiofrecuencia.

UMBRAL DE AUDIO: Es la mínima intensidad de sonido necesaria que puede ser escuchado por el ser humano.

VCO: Es un dispositivo que hace parte de un circuito oscilador que al experimentar variaciones de amplitud de voltaje realiza cambios en la frecuencia de oscilación o de resonancia, que comúnmente se le llama oscilador controlado por voltaje.

BIBLIOGRAFÍA

- Blake, Roy Sistemas Electrónicos de Comunicaciones. Ediciones Thompson, Publicado 2004.
- ROHM Electronics. Stereo Transmitter BA1404. [En línea]. <www.datasheetarchive.com/preview/813634.html> [Citado 15 de Octubre del 2007].
- Tomasi, Wayne Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Ediciones Prentice Hall. Publicado 2003
- Ministerio de comunicaciones republica de Colombia. Resolución 00797 de 8 de junio del 2001.[En línea]. <www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user_docs/Archivos/normatividad/2001/Resolucion/R00797d2001.pdf> [Citado 12 de junio del 2007]
- ADVANCED POWER TECHNOLOGY RF. RF & Microwave Discrete low Power Transistors MRF586. [En línea]. <www.microsemi.com/datasheets/MRF586_REV-.PDF> [Citado en 30 de enero 2008]
- FAIRCHILD. AM/FM Amplifier, Local Oscillator of FM/VHF tuner [En línea]. <www.fairchildsemi.com/ds/SS%2FSS9018.pdf> [Citado 19 de octubre del 2007]
- MARK N. HORENSTEIN MICROELECTRONICA: CIRCUITOS Y DISPOSITIVOS. Ediciones pHH Prentice Hall. Publicado 1997.
- Capitulo V. Ondas Electromagnéticas, Antenas y Propagación. [En línea]. <www.frc.co.cu/academia/pdf/capitulo5.pdf> [Citado 3 de julio del 2007].
- PHILIPS. **TDA7000** FM radio circuit. [En línea]. <www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/T/D/A/7/TDA7000.shtml> [Citado 16 de octubre del 2007].
- National Semiconductor. LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier. [En línea]. <www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/L/M/3/8/LM386.shtml> [Citado 20 de octubre].

ANEXOS

A.1 Resolución numero 000797 de 8 de junio de 2001 del ministerio de comunicaciones (republica de Colombia) .

LA MINISTRA DE COMUNICACIONES

En el ejercicio de sus facultades legales y en especial de las que le confiere la Ley 72 de 1989, el Decreto Ley 1900 de 1990, el Decreto 1130 de 1999, los Decretos 2041 y 555 de 1.998 y 1705 de 1.999 y,

CONSIDERANDO

1. Que el artículo 18 del Decreto 1900 de 1990 establece que el espectro electromagnético es de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, in enajenable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponden al Ministerio de Comunicaciones.
2. Que según lo dispuesto en el artículo 19 del Decreto 1900 de 1990, las facultades de gestión, administración y control del espectro electromagnético comprenden, entre otras, las actividades de planeación y coordinación, la fijación del cuadro de frecuencias, la asignación y verificación de frecuencias, el otorgamiento de permisos para su utilización, la protección y defensa del espectro radioeléctrico, la comprobación técnica de emisiones radioeléctricas, el establecimiento de condiciones técnicas de equipos terminales y redes que utilicen en cualquier forma el espectro radioeléctrico, la detección de irregularidades y perturbaciones, y la adopción de medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico, y a restablecerlo en caso de perturbación o irregularidades.
3. Que el Comité Consultivo Permanente CCPIII de 1.996 de la CITELE recomendó el uso libre de algunas porciones del espectro radioeléctrico en aplicaciones de radios de operación itinerante, como una herramienta para la optimización del espectro radioeléctrico, en razón a la ocupación del mismo y a la demanda creciente de servicios y actividades de telecomunicaciones en los países americanos.
4. Que el numeral 33.8 del artículo 2º del Decreto 1705 de 1999 “Por el cual se modifica el Decreto 2041 de 1.998”, establece que: VALOR DE LA CONTRAPRESTACIÓN POR EL USO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO QUE SE AUTORICE DE MANERA GENERAL. El uso del espectro radioeléctrico para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM) y para aplicaciones en

recinto cerrado que se autoricen de manera general y expresa por parte del Ministerio de Comunicaciones, es libre.

5. Que el Ministerio de Comunicaciones considera necesario acoger los estudios adelantados por el Centro de Investigación de las Telecomunicaciones CINTEL para que se adopte por vía reglamentaria el uso libre del espectro radioeléctrico en aplicaciones industriales, científicas y médicas ICM y dispositivos electrónicos que por su baja potencia y corto alcance pueden ser operados en determinadas bandas de frecuencias sin que logren causar interferencia perjudicial a servicios de telecomunicaciones primarios o secundarios.

6. Que en razón de los adelantos tecnológicos se hace necesario designar y atribuir unas frecuencias y bandas de frecuencias radioeléctricas para su uso libre por parte del público en general.

RESUELVE:

Artículo 1o. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN. La presente Resolución tiene por objeto atribuir frecuencias y bandas de frecuencias radioeléctricas para su uso libre por parte del público en general y definir las características técnicas de operación para su uso, en las condiciones que se establecen en la presente Resolución.

Artículo 2o. DEFINICIONES. Para los efectos de la presente Resolución se establecen las siguientes definiciones:

TELECOMUNICACIÓN. Se entiende por telecomunicación toda emisión, transmisión o recepción de señales, escritura, imágenes, signos, sonidos, datos o información de cualquier naturaleza, por hilo, radio, u otros sistemas ópticos o electromagnéticos.

RADIOCOMUNICACIÓN: Toda telecomunicación transmitida por medio de las ondas radioeléctricas.

TELEMANDO, TELECOMANDO: Utilización de las telecomunicaciones para la transmisión de señales destinadas a iniciar, modificar o detener a distancia el funcionamiento de los dispositivos de un equipo.

TELEMEDIDA (Telemetría): Aplicación de las telecomunicaciones que permite indicar o registrar automáticamente medidas a cierta distancia del instrumento de medida.

TELEALARMA: Alarma remota. El alertamiento en un punto central vía radio de la ocurrencia de una situación o evento deseado o indeseado en un punto remoto.

TELECONTROL: Control de equipos operacionales a distancia usando una combinación de telemetría y telecomando.

DISPOSITIVO DE TELEMETRÍA BIOMÉDICA. Aparato de radiocomunicaciones usado para transmitir medidas de fenómenos biomédicos tanto de humanos como de animales a un receptor.

DISPOSITIVO PARA AYUDA DE AUDITORIO. Aparato de radiocomunicaciones usado para proveer ayuda auditiva a personas normales o minusválidas. El dispositivo puede ser usado para entrenamiento auricular en instituciones educativas, para asistencia en lugares de reuniones públicas, tales como iglesias, teatros o auditorios y para asistencia a individuos minusválidos o impedidos.

SENSOR DE DISTURBANCIA DE CAMPO. Aparato de radiocomunicaciones que establece un campo de radio frecuencia en su vecindad y detecta cambios en el campo resultado del movimiento de personas u objetos dentro de su rango.

DISPOSITIVO PERIFÉRICO. Dispositivo de entrada y salida de un sistema que alimenta y/o recibe datos de una unidad central de procesos digital

DISPOSITIVOS DE OPERACIÓN MOMENTÁNEA. Dispositivos que emplean únicamente señales de control, para aplicaciones en sistemas de telealarmas como apertura de puertas y switches remotos. Pueden ser activados manual o automáticamente y su periodo de transmisión máximo debe ser de 5 segundos. Se exceptúan de esta limitación los dispositivos empleados en los sistemas de detección de fuego, seguridad y salvamento, los sistemas de radio control para modelos y juguetes o de transmisión continua, tales como de voz o video y las transmisiones de datos.

RADIOS DE OPERACIÓN ITINERANTE: Aparatos transreceptores portátiles, monocanales de voz, para la transmisión y recepción de señales radioeléctricas en operaciones itinerantes y de tránsito, radio a radio, que operan con niveles de potencia nominal menor a dos (2) vatios, según las especificaciones técnicas establecidas en la presente Resolución.

OPERACIÓN ITINERANTE: Operación de radiocomunicación entre aparatos transreceptores portátiles, sin necesidad de estaciones de base o repetidoras, en sitios o lugares geográficos no especificados dentro del territorio nacional, por periodos variables u ocasionales de tiempo, con las características técnicas y dentro de las frecuencias radioeléctricas, determinadas por el Ministerio de Comunicaciones.

INTERFERENCIA PERJUDICIAL. Cualquier emisión, radiación o inducción que pone en peligro el funcionamiento de un servicio de radionavegación o de servicios de seguridad o que degrada seriamente, impide o interrumpe repetidamente un servicio de radiocomunicaciones explotado de acuerdo con el reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

Artículo 3o. FRECUENCIAS Y BANDAS DE FRECUENCIAS. Las frecuencias y bandas de frecuencias radioeléctricas relacionadas a continuación, podrán ser utilizadas libremente por el público en general, en aplicaciones de: telemetría, telecomando, telealarmas, telecontrol vehicular, dispositivos de operación momentánea, microfonía inalámbrica y transreceptores de voz y datos, y radios portátiles de operación itinerante, que posean bajos niveles de potencia o de intensidad de campo, con las características técnicas particulares descritas en los siguientes casos:

TABLA No. 3.1

**FRECUENCIAS Y BANDAS DE FRECUENCIAS PARA APLICACIONES DE
TELEMETRÍA Y TELECONTROL CON BAJOS NIVELES DE POTENCIA
O DE INTENSIDAD DE CAMPO.**

FRECUENCIAS (MHz)	LÍMITE DE POTENCIA O DE INTENSIDAD DE CAMPO	APLICACIÓN
0,045 a 0,490	1mW	Localizadores de cables
0,535 a 1,705	100 mW	Telemetría Biomédica
26,957 a 27,283	300 mW	Controles remotos para modelos
29,72 a 30,0	300 mW	
36,0 a 36,6	300 mW	
72,0 a 74,8	300 mW	
174 a 216	700 nW	Telemetría Biomédica
433 a 434,79	10 mW	Telecomando, Telecontrol, Controles remotos para modelos
433,0 a 434,79 451,025 a 451,675	1 mW	Medidores de agua
426,0250 a 426,1375	1 mW	Telemetría, Telecontrol
426,0375 a 426,1125	1 mW	
429,2500 a 429,2375	10 mW	
429,8125 a 429,9250	10 mW	
433,0 a 434,79	10 mW	
449,8375 a 469,9250	10 mW	
469,4375 a 469,4875	10 mW	

894 a 896	500 uV /m (a 3 m)	Medición de características de materiales
897,125 a 897,500	500 uV /m (a 3 m)	
905 a 908	500 uV /m (a 3 m)	
915 a 924	500 uV /m (a 3 m)	
924 a 928	500 uV /m (a 3 m)	
928 a 929	500 uV /m (a 3 m)	
932 a 935	500 uV /m (a 3 m)	
936,125 – 940,000	500 uV /m (a 3 m)	

TABLA No. 3.2

BANDAS DE FRECUENCIAS PARA DISPOSITIVOS DE OPERACIÓN MOMENTÁNEA

BANDAS DE FRECUENCIAS (MHZ)	LÍMITE DE POTENCIA O DE INTENSIDAD DE CAMPO (a 3 metros)
40,66 a 40,70	10 mV/m
70 a 108	1250 uV/m (470 nW)
138 a 149,9	1250 a 3750 uV/m
150,5 a 156,5	1250 a 3750 uV/m
156,9 a 174	1250 a 3750 uV/m
174 a 260	1250 a 3750 uV/m
260 a 328,6	3750 a 12500 uV/m
335,4 399,9	3750 a 12500 uV/m
406 a 470	3750 a 12500 uV/m
470 a 960	12500 uV/m (47 uW)
Mayor a 1427	12500 uV/m (47 uW)

TABLA No. 3.3

**BANDAS DE FRECUENCIAS SUPERIORES A 1000 MHZ PROHIBIDAS
PARA DISPOSITIVOS DE OPERACIÓN MOMENTÁNEA**

BANDAS DE FRECUENCIAS (MHZ)	BANDAS DE FRECUENCIAS (MHZ)
1660 a 1710	13250 a 13400
2655 a 3400	14470 a 14500
4200 a 4400	15350 a 16200
5000 a 5220	17700 a 21400
5350 a 5470	22010 a 23120
7450 a 7550	23600 a 24000
8025 a 8500	31200 a 31800
9000 a 9200	36430 a 36500
9300 a 9500	Por encima de 38600
10600 a 12700	

TABLA No. 3.4

**FRECUENCIAS Y BANDAS DE FRECUENCIAS PARA LA
TRANSMISIÓN DE VOZ CON BAJOS NIVELES DE POTENCIA
INTENSIDAD DE CAMPO.**

FRECUENCIAS O BANDAS DE FRECUENCIAS (MHZ)	LÍMITE DE POTENCIA O DE INTENSIDAD DE CAMPO	APLICACIÓN
Cualquier frecuencia	6 nW	Transmisores menores a 6 nW
0,535 a 1,705	2 mW	Sistemas de comunicación para Autocines
3,175 3,225 3,275 3,325	38 nW	Sistemas de comunicación para personas con audición deficiente (Sistemas radioeléctricos de campo de inducción).
27,5 a 28 29,7 a 39	50 mW	Sistemas de comunicación para personas con audición deficiente (Sistemas radioeléctricos por ondas métricas). Micrófonos inalámbricos.
72,0 a 73,0	2 mW	Micrófonos inalámbricos para

74,6 a 74,8 75,2 a 76,0		Auditorios. Sistemas de traducción simultánea
72,0 a 74,8 75,2 a 76,0	1,2 mW	Sistemas de comunicación para personas con audición deficiente (Sistemas radioeléctricos por ondas métricas).
88 - 108	0,011 uW	
173,2 a 174,0	2 mW	
88 - 108	2 mW	Micrófonos inalámbricos y Autocines.
216,0125 a 216,9875	2 mW	Sistemas de comunicación para personas con audición deficiente. Sistemas de traducción simultánea.

TABLA No. 3.5

FRECUENCIAS PARA APLICACIONES DE TELEMETRÍA, TELEALARMAS Y TELECONTROL VEHICULAR CON BAJOS NIVELES DE POTENCIA O DE INTENSIDAD DE CAMPO.

FRECUENCIAS (MHz)	LÍMITE DE POTENCIA O DE INTENSIDAD DE CAMPO	APLICACIÓN
Cualquier frecuencia	6 nW	Transmisores menores a 6 nW
0,1250 0,1232 0,1342	ND	Alarmas, sensores y desmobilizadores para vehículos
285 a 322	100 mW	
433 a 434,79	1 mW	
902 a 928	1 mW	
2900 a 3100	2,7 uV (a 3 m)	Identificación automática de vehículos
3267 a 3332	2,7 uV (a 3 m)	
3339,0 a 3345,8	2,7 uV (a 3 m)	
3358 a 3400	2,7 uV (a 3 m)	
5785 a 5815	0,75 mW	Sensores de disturbancia de campo,
13400 a 13750	30 mW	Sensores para vehículos
24050 a 24250	1 W	Sensores de disturbancia de campo, empleados en sistemas
34600 (Banda Ka)	1 W	

76000 a 77000	1 W	de radar de vehículos
---------------	-----	-----------------------

TABLA No. 3.6

**BANDA DE FRECUENCIAS RADIOELÉCTRICAS PARA APARATOS
TRANSRECEPTORES CON BAJOS NIVELES DE POTENCIA
O DE INTENSIDAD DE CAMPO**

BANDA DE FRECUENCIAS (MHz)	LÍMITE DE POTENCIA O DE INTENSIDAD DE CAMPO	APLICACIÓN
2400,0 a 2483,5	50 mV/m a 3 metros máximo 100 mW	Tecnología BLUETOOTH. Aparatos de telecomunicación inalámbricos para enlaces radioelétricos punto a punto entre equipos electrónicos, dispositivos periféricos, computadoras y redes LAN.
915 a 924 y 5150 a 5250	50 mV/m a 3 metros máximo 100 mW	Aparatos de telecomunicación inalámbricos para enlaces radioelétricos punto a punto entre equipos electrónicos, dispositivos periféricos, computadoras y redes LAN.

TABLA No. 3.7

**FRECUENCIAS RADIOELÉCTRICAS PARA RADIOS PORTÁTILES
DE OPERACIÓN ITINERANTE**

FRECUENCIAS RADIOELÉCTRICAS (MHz)	LÍMITE DE POTENCIA (m W)	ANCHO DE BANDA DE CANAL (KHz)	APLICACIÓN
462,5625	500	12,5	
462,5875	500	12,5	
462,6125	500	12,5	

462,6375	500	12,5	Radios portátiles de operación itinerante, con potencia menor a 0,5 vatios.
462,6625	500	12,5	
462,6875	500	12,5	
462,7125	500	12,5	
467,5625	500	12,5	
467,5875	500	12,5	
467,6125	500	12,5	
467,6375	500	12,5	
467,6625	500	12,5	
467,6875	500	12,5	
467,7125	500	12,5	
151,6125	2000	12,5	Radios portátiles, de operación itinerante, con potencia menor a 2 vatios.
153,0125	2000	12,5	
467,7625	2000	12,5	
467,8125	2000	12,5	

Artículo 4o. DE LOS RADIOS PORTÁTILES ITINERANTES. Los radios portátiles de operación itinerante descritos en la Tabla 3.7 del artículo 3º de la presente Resolución deberán operar dentro de las características técnicas especificadas y cumplir con las siguientes condiciones:

4.1 COORDINACIÓN. Las frecuencias radioeléctricas atribuidas para la operación itinerante no requieren coordinación en frecuencia. Las frecuencias podrán ser utilizadas y compartidas por múltiples usuarios, en un mismo instante de tiempo, mediante codificación programada de canal o de clave de usuario, sin que éstos lleguen a reclamar interferencia perjudicial o privacidad en la comunicación.

4.2 MODO DE OPERACIÓN. Los radios portátiles de operación itinerante, deberán operar exclusivamente en modo de operación radio a radio. Queda prohibido el uso de estaciones de base o de repetidoras de enlace o cubrimiento, así como el acceso a la red telefónica pública conmutada RTPC o a otras redes privadas o públicas de telecomunicaciones.

4.3 REGISTRO. Los fabricantes, proveedores y distribuidores de radios portátiles de operación itinerante que utilicen las frecuencias y bandas de frecuencias radioeléctricas atribuidas por la presente Resolución, deberán registrarlos por marca y modelo ante el Ministerio de Comunicaciones, para lo cual deberán suministrar y cumplir con los siguientes documentos y requisitos:

1. Nombre y domicilio del solicitante.
2. Normas con las que cumple el aparato(s).
3. Marca y modelo del aparato(s).
4. Catálogos que contengan las características técnicas de cada uno de los equipos, donde se especifique: frecuencia, potencia, alcance y ancho de banda.

No podrán ser utilizados por el público en general los radios portátiles de operación itinerante que no estén debidamente registrados por el Ministerio de Comunicaciones. El registro amparará el uso de dichos aparatos en todo el territorio nacional.

4.4 TARJETA DISTINTIVA DE SUSCRIPTOR. El uso de radios portátiles de operación itinerante requiere de tarjeta distintiva de suscriptor.

Así mismo, los proveedores deberán elaborar y mantener un registro de suscriptores y de personas autorizadas, el cual deberá contener la siguiente información:

Nombre, documento de identidad, dirección, teléfono, huella digital y las demás que señale la Dirección de Policía Judicial, Dijin, mediante resolución.

Con base en la información suministrada, los proveedores expedirán una tarjeta distintiva al suscriptor al momento de vender estos radios.

Esta información deberá ser remitida por los proveedores a la Policía Nacional – Dijin.

Es obligación de los proveedores de estos radios, informar a las personas que adquieren dichos equipos, lo establecido en la presente resolución, indicándoles que para el uso de los mismos deben portar la tarjeta distintiva de suscriptor.

Artículo 5o. INTERFERENCIAS PERJUDICIALES. Los sistemas, equipos, aparatos y dispositivos que utilicen para su operación las frecuencias y bandas de frecuencias previstas en la presente Resolución, no deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario o secundario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro, ni tampoco podrán reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario o secundario.

Artículo 6o. INFRACCIONES Y SANCIONES EN MATERIA DE TELECOMUNICACIONES. Los usuarios de las frecuencias y bandas de frecuencias de que trata la presente Resolución, que utilicen libremente el espectro radioeléctrico para su telecomunicación, deberán operar sus aparatos exclusivamente en las frecuencias radioeléctricas atribuidas y dentro de los parámetros técnicos establecidos.

La contravención a la presente disposición dará lugar a las sanciones de orden administrativo a que hubiere lugar, acorde con el Decreto Ley 1900 de 1990 y conforme a las normas legales vigentes.

Artículo 7o. VIGENCIA. Esta Resolución rige a partir de su publicación y deroga las normas que le sean contrarias.

A.2 Datasheet del BA1404

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

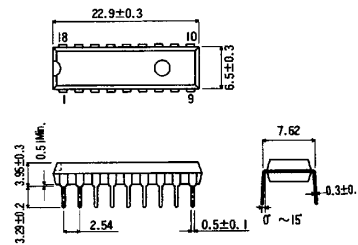
- available in DIP18 and SOP18 packages
- low operating voltage range (1.0 V ~ 2.0 V)
- low power consumption, typically 3 mA
- requires few external components

Applications

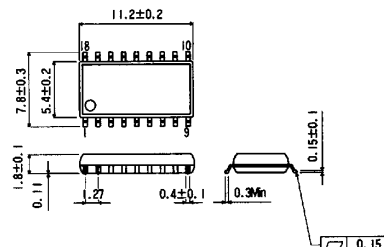
- FM stereo transmitters
- Wireless microphones

Dimensions (Units : mm)

BA1404 (DIP18)



BA1404F (SOP18)



BA1404, BA1404F FM transmitters

Block diagram

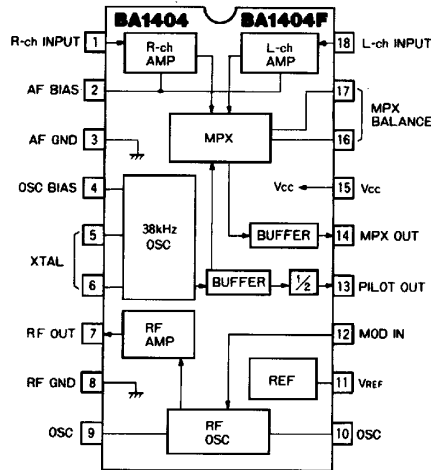


Table 1 Pin description

Pin no.	Pin name	Description
1	R-ch audio input	Connects to the pre-emphasis circuit
2	Input amplifier bypass	Connects to the bypass capacitor
3	GND	Low frequencies
4	38 kHz oscillator bypass	Connects to bypass capacitor
5	38 kHz oscillator	Connects to 38 kHz crystal oscillators
6	38 kHz OSC	Connects to load capacitor of crystal oscillator
7	RF output	Connects to LC resonator
8	GND	High frequency
9	RF oscillator	Connects to bypass capacitor
10	RF oscillator	Connects to capacitor and LC resonator
11	Voltage supply	Connects to variable capacitor
12	Modulation signal input	Connects to bypass capacitor and modulated signal source
13	Pilot signal output	Connects to RC mixer circuit
14	Multiplexer signal output	Connects to RC mixer circuit
15	V _{CC}	Power supply
16	Multiplexer modulator balance	Connects to trimpot resistor
17	Multiplexer modulator balance	Connects to trimpot resistor
18	L-ch audio input	Connects to pre-emphasis circuit

BA1404, BA1404F FM transmitters

Figure 1 Test circuit

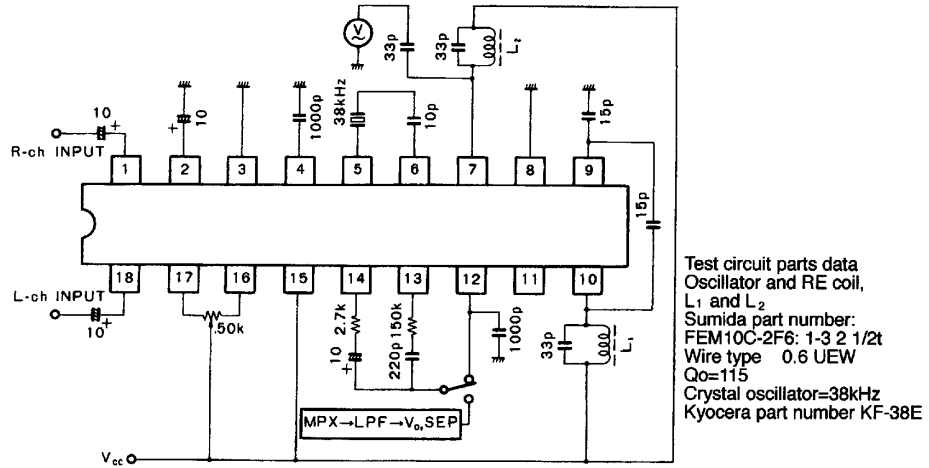
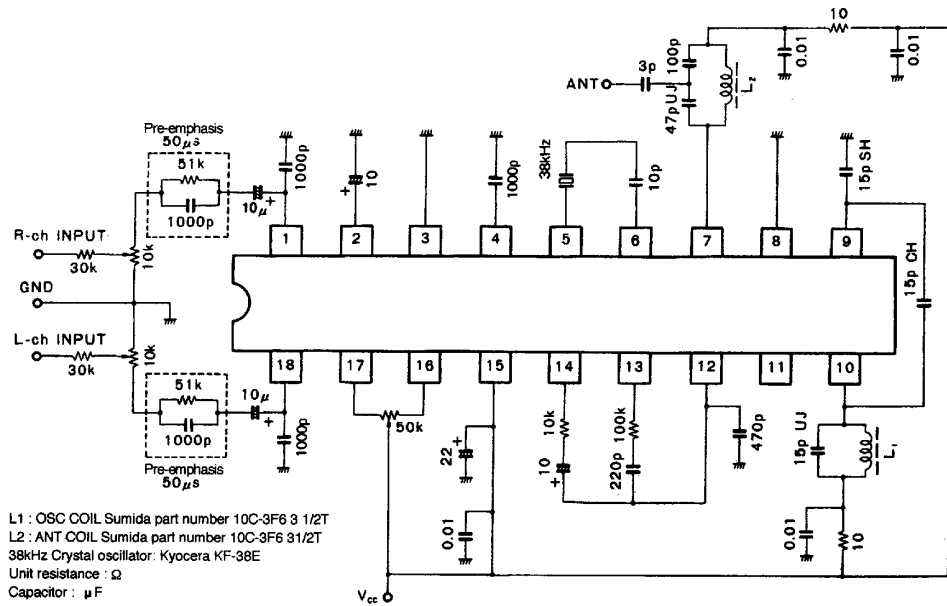


Figure 2 Application example



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.

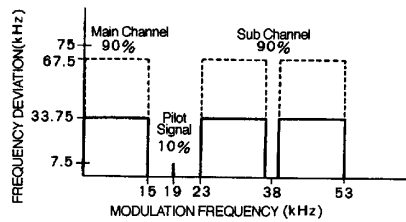


Figure 3 Modulation spectrum of pilot tone

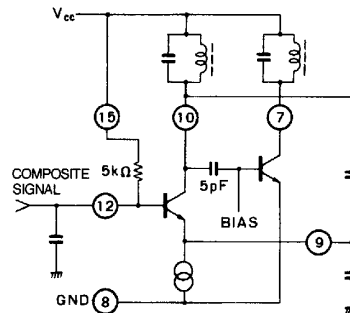


Figure 4 FM modulator

FM modulator

The high-frequency oscillator is a collector tuning-type or Collpits 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.

A.3 Datasheet del TDA7000

Philips Semiconductors

Product specification

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_P	2,7 to 10 V
Supply current at $V_P = 4,5$ V	I_P	typ. 8 mA
R.F. input frequency range	f_{if}	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); SOT102-1; 1996 July 24.

FM radio circuit

TDA7000

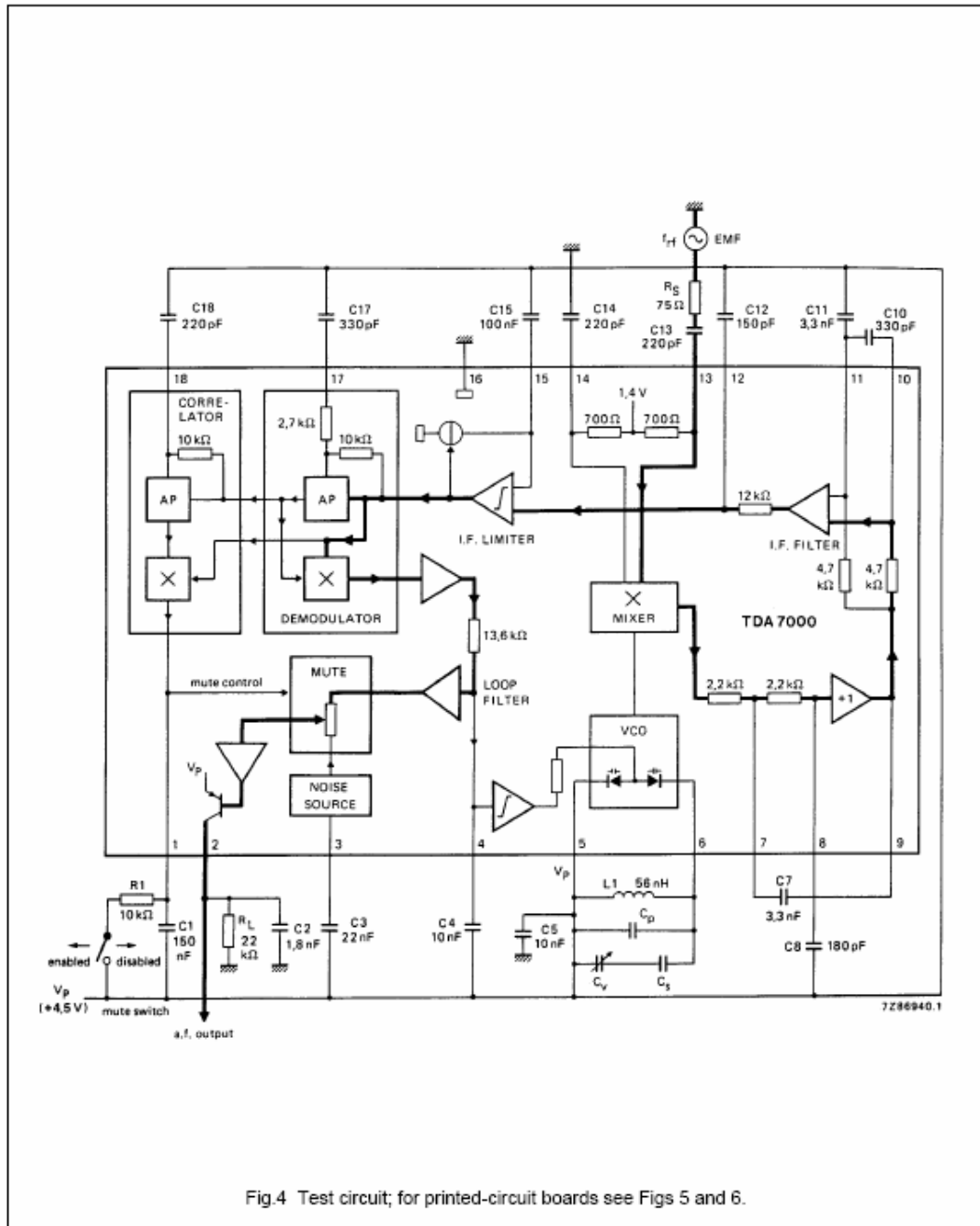


Fig.4 Test circuit; for printed-circuit boards see Figs 5 and 6.

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_{6-5}	$V_P - 0,5$ 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

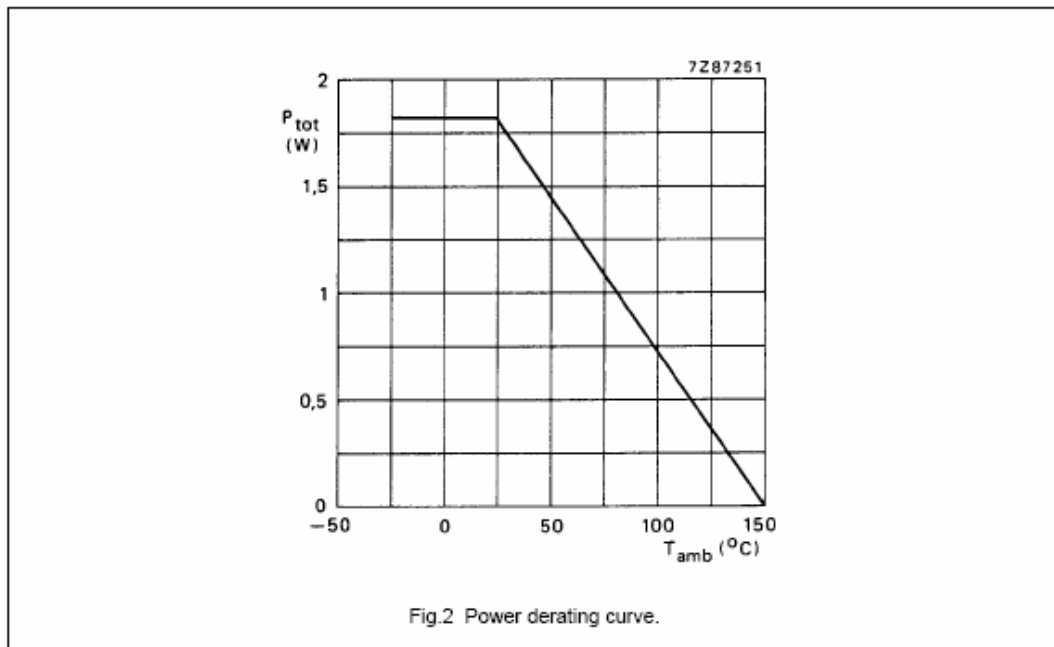


Fig.2 Power derating curve.

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

A.C. CHARACTERISTICS

$V_P = 4,5 \text{ V}$; $T_{\text{amb}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; measured in Fig.4 (mute switch open, enabled); $f_{\text{ff}} = 96 \text{ MHz}$ (tuned to max. signal at $5 \text{ } \mu\text{V}$ e.m.f.) modulated with $\Delta f = \pm 22,5 \text{ kHz}$; $f_m = 1 \text{ kHz}$; EMF = $0,2 \text{ mV}$ (e.m.f. voltage at a source impedance of $75 \text{ } \Omega$); r.m.s. noise voltage measured unweighted ($f = 300 \text{ Hz}$ 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	–	μV
for -3 dB muting	EMF	–	6	–	μV
for $S/N = 26 \text{ dB}$	EMF	–	5,5	–	μV
Signal handling (e.m.f. voltage) for $\text{THD} < 10\%$; $\Delta f = \pm 75 \text{ kHz}$	EMF	–	200	–	mV
Signal-to-noise ratio	S/N	–	60	–	dB
Total harmonic distortion at $\Delta f = \pm 22,5 \text{ kHz}$	THD	–	0,7	–	%
at $\Delta f = \pm 75 \text{ kHz}$	THD	–	2,3	–	%
AM suppression of output voltage (ratio of the AM output signal referred to the FM output signal) FM signal: $f_m = 1 \text{ kHz}$; $\Delta f = \pm 75 \text{ kHz}$ AM signal: $f_m = 1 \text{ kHz}$; $m = 80\%$	AMS	–	50	–	dB
Ripple rejection ($\Delta V_P = 100 \text{ mV}$; $f = 1 \text{ kHz}$)	RR	–	10	–	dB
Oscillator voltage (r.m.s. value) at pin 6	$V_{6-5(\text{rms})}$	–	250	–	mV
Variation of oscillator frequency with supply voltage ($\Delta V_P = 1 \text{ V}$)	Δf_{osc}	–	60	–	kHz/V
Selectivity	S_{+300}	–	45	–	dB
	S_{-300}	–	35	–	dB
A.F.C. range	Δf_{ff}	–	± 300	–	kHz
Audio bandwidth at $\Delta V_o = 3 \text{ dB}$ measured with pre-emphasis ($t = 50 \text{ } \mu\text{s}$)	B	–	10	–	kHz
A.F. output voltage (r.m.s. value) at $R_L = 22 \text{ k}\Omega$	$V_{o(\text{rms})}$	–	75	–	mV
Load resistance at $V_P = 4,5 \text{ V}$	R_L	–	–	22	$\text{k}\Omega$
at $V_P = 9,0 \text{ V}$	R_L	–	–	47	$\text{k}\Omega$

SOLDERING**Introduction**

There is no soldering method that is ideal for all IC packages. Wave soldering is often preferred when through-hole and surface mounted components are mixed on one printed-circuit board. However, wave soldering is not always suitable for surface mounted ICs, or for printed-circuits with high population densities. In these situations reflow soldering is often used.

This text gives a very brief insight to a complex technology. A more in-depth account of soldering ICs can be found in our "IC Package Databook" (order code 9398 652 90011).

Soldering by dipping or by wave

The maximum permissible temperature of the solder is 260 °C; solder at this temperature must not be in contact with the joint for more than 5 seconds. The total contact time of successive solder waves must not exceed 5 seconds.

The device may be mounted up to the seating plane, but the temperature of the plastic body must not exceed the specified maximum storage temperature ($T_{stg\ max}$). If the printed-circuit board has been pre-heated, forced cooling may be necessary immediately after soldering to keep the temperature within the permissible limit.

Repairing soldered joints

Apply a low voltage soldering iron (less than 24 V) to the lead(s) of the package, below the seating plane or not more than 2 mm above it. If the temperature of the soldering iron bit is less than 300 °C it may remain in contact for up to 10 seconds. If the bit temperature is between 300 and 400 °C, contact may be up to 5 seconds.

DEFINITIONS

Data sheet status	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
Limiting values	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
Application information	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

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.

- Voltage gains from 20 to 200
- Ground referenced input
- Self-centering output quiescent voltage
- Low distortion
- Eight pin dual-in-line package

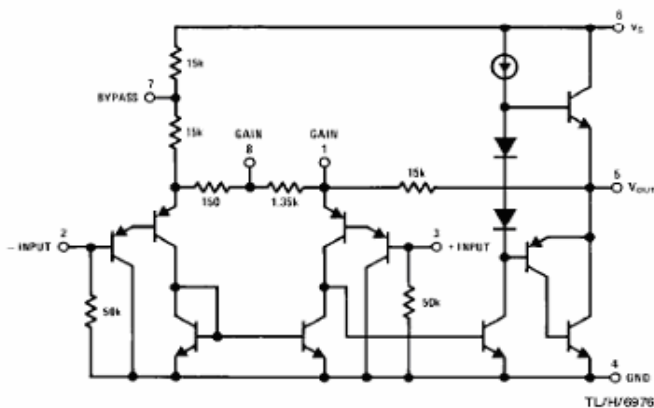
Features

- Battery operation
- Minimum external parts
- Wide supply voltage range 4V–12V or 5V–18V
- Low quiescent current drain 4 mA

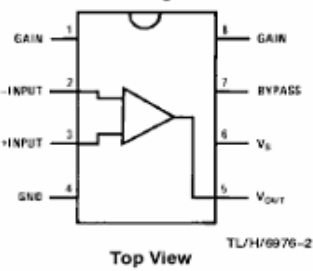
Applications

- 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

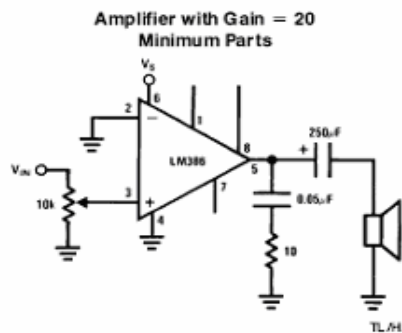


Dual-In-Line and Small Outline Packages

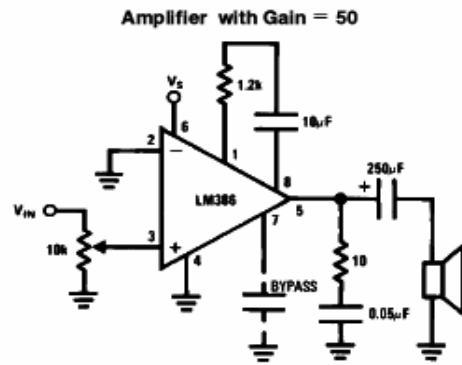


Order Number LM386M-1, LM386N-1, LM386N-3 or LM386N-4
See NS Package Number M08A or N08E

Typical Applications



TL/H/6976-3



TL/H/6976-6

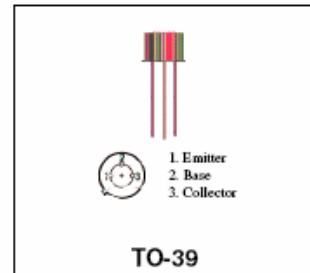
A.5 Datasheet MRF 586

MRF586

**RF & MICROWAVE DISCRETE
LOW POWER TRANSISTORS**

Features

- Silicon NPN, TO-39 packaged VHF/UHF Transistor
- $F_T = 3.0 \text{ GHz (typ) @ 300MHz, 14v, 90mA}$,
- $G_{U \text{ max}} = 12.5\text{dB (typ) @ 300 MHz, 15v, 40mA}$
- $|S_{21}|^2 = 12.5\text{dB (typ) @ 300 MHz, 15v, 40mA}$



DESCRIPTION:

The MRF586 is a silicon NPN transistor, designed for VHF and UHF equipment. Applications include amplifier, pre-driver, driver, and output stages. It is also suitable for oscillator and frequency-multiplier functions.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_{case} = 25°C)

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CEO}	Collector-Emitter	17	V
V _{CBO}	Collector-Base Voltage	35	V
V _{EBO}	Emitter-Base Voltage	3.0	V
P _D	Total Device Dissipation	1.0	W
I _C	Collector Current	200	mA

Thermal Data

P _D	Total Device Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C	1.0 5.71	Watts mW/°C
----------------	---	-------------	----------------

A.6 Datasheet T9018

		<h1>SS9018</h1>				
<p>AM/FM Amplifier, Local Oscillator of FM/VHF Tuner</p> <ul style="list-style-type: none"> High Current Gain Bandwidth Product $f_T=1.1$ GHz (Typ) 		 <p>TO-92 1. Emitter 2. Base 3. Collector</p>				
<p>NPN Epitaxial Silicon Transistor</p>						
<p>Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted</p>						
Symbol	Parameter	Ratings	Units			
V_{CB0}	Collector-Base Voltage	30	V			
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage	15	V			
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage	5	V			
I_C	Collector Current	50	mA			
P_C	Collector Power Dissipation	400	mW			
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$			
T_{STG}	Storage Temperature	-55 ~ 150	$^\circ\text{C}$			
<p>Electrical Characteristics $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted</p>						
Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
BV_{CB0}	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C=100\mu\text{A}, I_E=0$	30			V
BV_{CE0}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C=1.0\text{mA}, I_B=0$	15			V
BV_{EB0}	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E=100\mu\text{A}, I_C=0$	5			V
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=12\text{V}, I_E=0$			50	nA
I_{FE}	Emitter Cut-off Current	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=1.0\text{mA}$	28	100	198	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10\text{mA}, I_B=1\text{mA}$			0.5	V
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=10\text{V}, I_E=0$ $f=1\text{MHz}$		1.3	1.7	pF
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5\text{V}, I_C=5\text{mA}$	700	1100		MHz
<p>h_{FE} Classification</p>						
Classification	D	E	F	G	H	I
h_{FE}	28 ~ 45	39 ~ 60	54 ~ 80	72 ~ 108	97 ~ 146	132 ~ 198