



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

ASESOR:

ING. ÁNGEL SEÍN PÉREZ RODRÍGUEZ

RESIDENTE:

ARCOS MONTEJO ARMANDO FREDDY

PROYECTO:

TRANSMISOR Y RECEPTOR DE AUDIO EN FM DE 100MHZ -120 MHZ

REPORTE FINAL

SEMESTRE:

10 SEMESTRE

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS. A 05 DE DICIEMBRE DE 2008

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.1 OBJETIVO	3
CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	4
2.1 MISIÓN DE LA EMPRESA.....	4
2.2 VISIÓN DE LA EMPRESA	4
2.3 OBJETIVOS DE LA EMPRESA	5
CAPÍTULO 3. MARCO TEÒRICO	6
3.1 LAS SEÑALES DE AM Y FM.....	6
3.2 FRECUENCIA MODULADA	8
3.3 APLICACIONES EN RADIO	10
3.4 OTRAS APLICACIONES.....	12
3.5 MODULADOR DE FM.....	12
3.6 DEMODULADOR DE FM	13
3.7 ECUACIÓN CARACTERÍSTICA.....	14
3.8 ANCHO DE BANDA	14
CAPÍTULO 4. PROCEDIMIENTO Y DESARROLLO DEL PROYECTO	15
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	15
4.2 TRANSMISOR	15
4.3 TRANSMISOR DE MODULACIÓN EN FRECUENCIA	16
4.4 CÁLCULO Y ANÁLISIS DEL CIRCUITO TRANSMISOR A UTILIZAR	17
4.5 ANÁLISIS DE CA ETAPA MODULADORA.....	20
4.6 EQUIVALENTE DE CD ETAPA MODULADORA.....	22
4.7 PRUEBA Y CALIBRACIÓN DEL CIRCUITO.....	23
4.8 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL TRANSMISOR	24
4.9 MATERIALES A UTILIZAR EN EL TRANSMISOR.....	24

4.10 CONSTRUCCIÓN DE LA BOBINA	25
CAPÍTULO 5. RECEPTOR	26
5.1 EL RECEPTOR DE FM	27
5.2 ETAPA LIMITADORA DE FM.....	27
5.3 ANTENAS UTILIZADAS	28
5.4 RECEPTOR FM CON UN TDA 7000	28
CONCLUSIÓN.....	30
ANEXOS.....	32
BIBLIOGRAFÍA.....	37

INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios el hombre ha tenido la necesidad de comunicarse. Con el paso del tiempo dicha necesidad se fue incrementando de manera considerable, a tal grado que la comunicación a distancia pasó a formar parte de las necesidades fundamentales de los pueblos; sin embargo, junto a la comunicación a distancia surge la necesidad de mejorar los métodos de comunicación empleados, para lo cual el tiempo de entrega de la información y la pérdida de ésta debían reducirse en la mayor proporción posible. Actualmente existen un gran número de formas de comunicación (oral, escrita, señas, imágenes, etc.), sin embargo con la comunicación electrónica, se logra que las señales eléctricas se puedan transmitir a distancias mucho mayores, a velocidades sumamente altas y con menores pérdidas.

Por comunicaciones electrónicas puede entenderse el proceso de transmisión, recepción y procesamiento de información con ayuda de circuitos electrónicos. Dicha comunicación puede ser de tres tipos: *simplex* (en una sola dirección), *half-duplex* (en ambas direcciones pero no al mismo tiempo) o *duplex* (en ambas direcciones simultáneamente). Dado que para el desarrollo del proyecto no es necesario establecer comunicación en ambas direcciones. Dependiendo del tipo de información a transmitir, los sistemas de comunicaciones electrónicas pueden ser clasificados en dos grupos: analógicos y digitales.

En un sistema de comunicaciones analógico, como el empleado en este proyecto que se presenta, la energía electromagnética se transmite y recibe como una señal que se encuentra variando continuamente. Por otro lado, hay que tomar en cuenta cuando la energía electromagnética se transmite y recibe como niveles discretos entonces se dice que se trata de un sistema digital.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se realizará con el fin de solucionar el problema de audio con un transmisor y receptor de medio alcance funcionando en frecuencia de 100- 120 MHz en FM sin provocar interferencias en las frecuencias comerciales, que se manejan en nuestro país.

Este transmisor y receptor que realizaremos va poseer todas las características que pueda tener estos aparatos como son los que se encuentra en la venta, podrá usarse en cualquier cosa o información que se desea transmitir en cualquier lugar que se encuentre y no obstante mencionar que este prototipo es de alcance medio.

1.1 OBJETIVO

Cubrir y resolver las necesidades de dicha institución en el departamento de televisión en audio para tener mejor comunicación entre conductor y productor por mencionar un ejemplo. Dado que en estos casos necesitan de una comunicación inalámbrica para comunicarse sin problemas entre ellos.

Con este proyecto se solucionara el problema que se ha venido suscitando desde hace tiempo con los transmisores y receptores de esta institución, debido a los altos costos en el mercado, se desea construir un modelo ideal que cubra los mismos propósitos que los comerciales pero este caso trataremos de reducir los costos y de la mejor manera hacerlo más simple.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.1 MISIÓN DE LA EMPRESA

Ser un organismo descentralizado del gobierno del estado, responsable de desarrollar programas de corte educativo, cultural, informativo y de entretenimiento; donde confluyan las voces de los sectores que conviven en Chiapas, fomentando la pluralidad, apertura, libertad de expresión y difusión de los programas gubernamentales para ponerlos al alcance de la población, a través de la radio y televisión estatal.

2.2 VISIÓN DE LA EMPRESA

Ser el Sistema de Comunicación audiovisual más importante y confiable del Sureste Mexicano, que mediante el uso de tecnología de vanguardia y el manejo innovador de contenidos en los programas de Radio y Televisión, promuevan la cultura, generen valores de convivencia y sirvan como una herramienta para fomentar una sociedad informada, crítica y participativa.

2.3 OBJETIVOS DE LA EMPRESA

Diseñar y producir programas de radio y televisión, con calidad en su contenido y presentación, donde confluyan las voces de todos los sectores que conviven en Chiapas, especialmente los niños, jóvenes, mujeres, personas de la tercera edad y los pueblos indios.

Desarrollar programas noticiosos donde se fomente la pluralidad, apertura y libertad de expresión en el ejercicio informativo responsable, comprometido con el desarrollo de Chiapas.

Aprovechar los medios de comunicación para lograr intensificar la promoción y difusión de los programas gubernamentales que coadyuve al desarrollo social y económico de la ciudadanía Chiapaneca.

Modernizar y actualizar la infraestructura de la radio y televisión para garantizar la calidad en la producción y transmisión; así como, ampliar la señal de radio y televisión; así como, ampliar la señal de radio y televisión estatal.

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

3.1 LAS SEÑALES DE AM Y FM

Las primeras transmisiones radiales comerciales se efectuaban con el sistema denominado "modulación en amplitud" (AM) donde la información de baja frecuencia varía la amplitud de una señal "portadora" de frecuencia bastante superior.

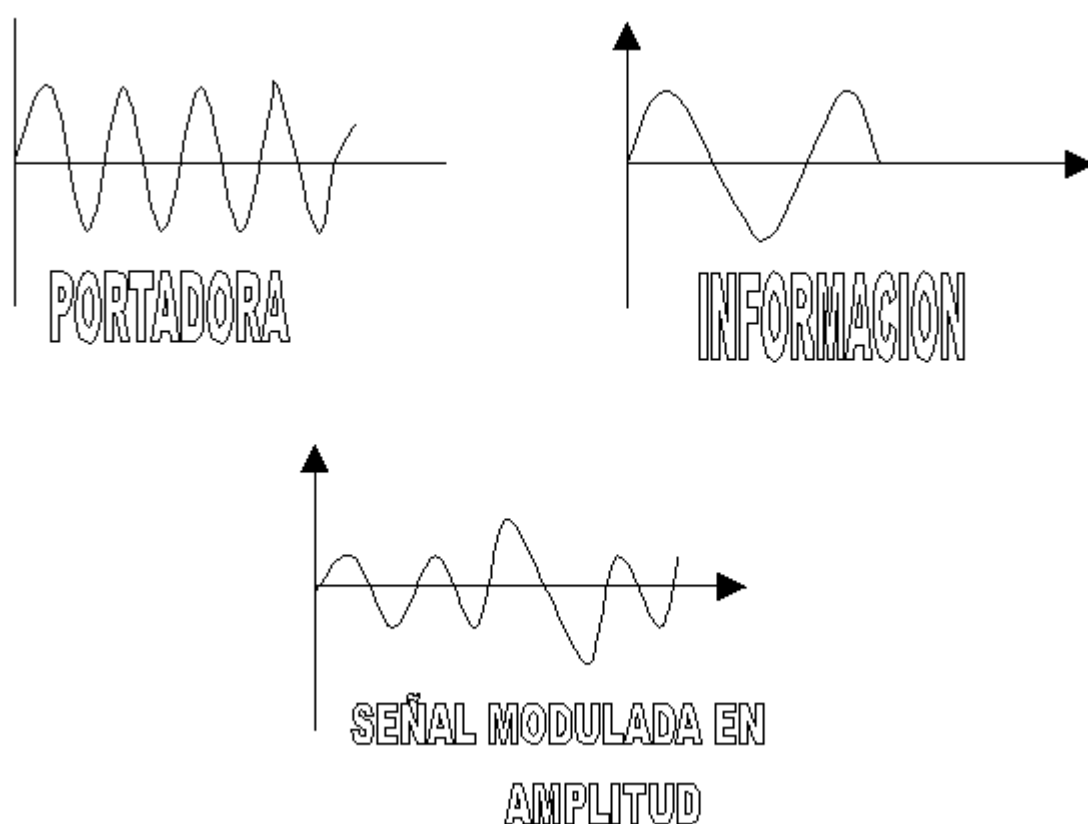


Figura 3.1. Señales de am y FM.

A la modulación en amplitud no se puede considerar como un sistema de alta fidelidad ya que existen limitaciones en el ancho de banda de la información que se puede transmitir, lo que atenta con la calidad sonora que se persigue. También existirán limitaciones en el rango dinámico de la señal.

Un inconveniente bastante apreciable en las señales es el ruido que generalmente produce modulación superpuesta a la portadora que se confunde con la información, sin poder separarla de esta.

Gran parte de estas señales de ruido pueden eliminarse si se colocan con el receptor filtro supresores de ruido cuya misión es silenciar al receptor cuando la portadora presenta variaciones bruscas de nivel o cuando la frecuencia de la información supera un número de KHz (4 KHz) por entenderse que estas señales corresponden a ruido indeseados. El sistema que permite eliminar los problemas que ocasionan las señales que modifican la amplitud de la portadora de transmisión de frecuencia modulada FM, que presenta varias ventajas respecto de las transmisoras de AM.

Una de las principales ventajas radica en la gran reducción de ruidos en la recepción ya que en todo momento la amplitud de la portadora permanece constante durante la transmisión; luego, en el receptor con un circuito limitador de amplitud se evitan las sobre modulaciones que en el ruido provoca la amplitud.

Una señal de AM la frecuencia y fase de la portadora no varían, mientras que la amplitud cambia al ritmo de la información; en cambio, en una señal de FM son la amplitud y la fase del portador las que permanecen inalterables mientras que la frecuencia se modifica con los cambios de información que se desea transmitir.

En este caso, la forma en que consigue la señal de frecuencia modulada consiste en que, de alguna manera, la frecuencia de oscilación de un circuito aumenta en forma proporcional al aumento de la amplitud de la señal de audio en un semiciclo positivo. Durante el semiciclo negativo, la frecuencia de oscilación del circuito irá disminuyendo en forma proporcional con la amplitud de información.

Todo sucede en forma tal que a pequeñas amplitudes de la señal de audio corresponden pequeñas variaciones en la frecuencia de la portadora, mientras que las grandes amplitudes de la información provocarían variaciones

considerables de frecuencia. También sabemos que en las señales de audio están formadas por distintas frecuencias en la señal de FM, éstas quedarán evidenciadas en la velocidad con que se producen las variaciones de frecuencia de la señal. En la siguiente figura note que hay corrimientos de frecuencia al ritmo de la frecuencia de la información mientras que el valor de ese corrimiento depende de la amplitud de la señal de audio.

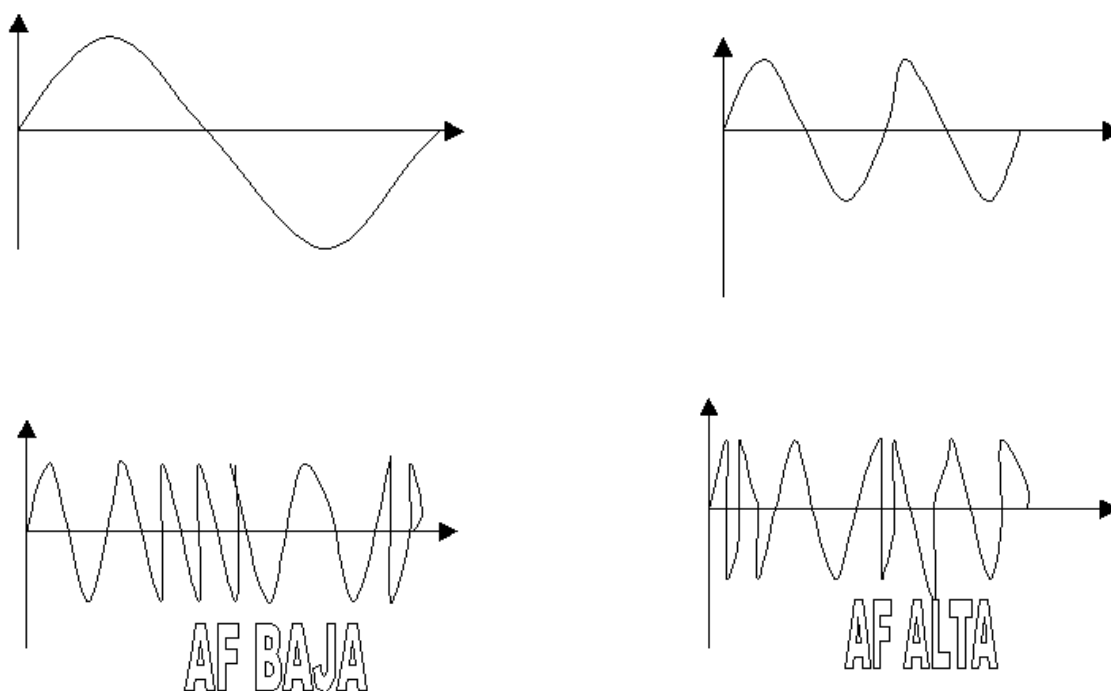


Figura 3.1.1. Señales moduladas

Se observa que las variaciones en la frecuencia de la portadora dependerán de la amplitud de la información.

3.2 FRECUENCIA MODULADA

En telecomunicaciones, la frecuencia modulada (FM) o la modulación de frecuencia es una modulación angular que transmite información a través de una onda portadora variando su frecuencia (contrastando esta con la amplitud modulada o modulación de amplitud (AM), en donde la amplitud de la onda es variada mientras que su frecuencia se mantiene constante). En aplicaciones analógicas, la frecuencia instantánea de la señal modulada es proporcional al valor instantáneo de la señal moduladora. Datos digitales pueden ser enviados

por el desplazamiento de la onda de frecuencia entre un conjunto de valores discretos, una modulación conocida como FSK.

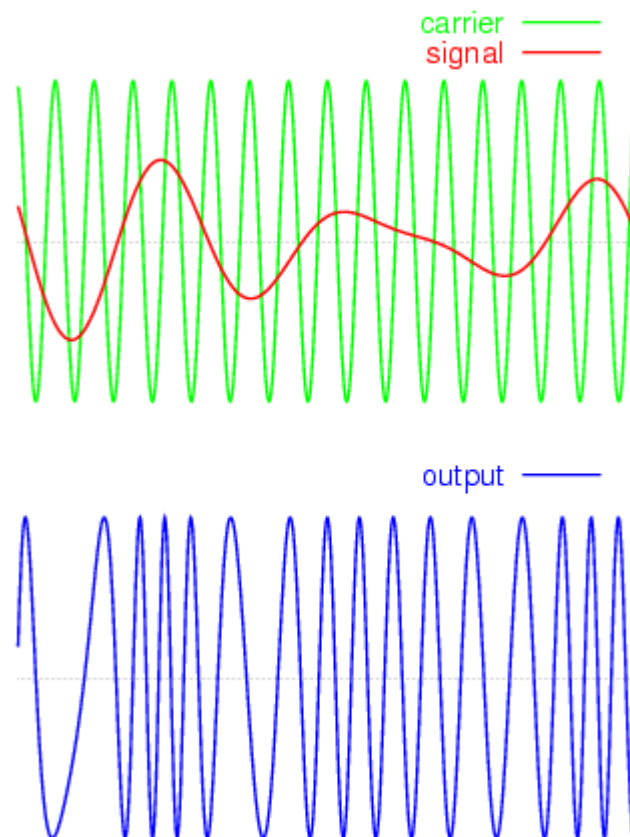
La frecuencia modulada es usada comúnmente en las radiofrecuencias de muy alta frecuencia por la alta fidelidad de la radiodifusión de la música y el habla (véase Radio FM). El sonido de la televisión analógica también es difundido por medio de FM. Un formulario de banda estrecha se utiliza para comunicaciones de voz en la radio comercial y en las configuraciones de aficionados. El tipo usado en la radiodifusión FM es generalmente llamado amplia-FM o W-FM (de la siglas en inglés "*Wide-FM*"). En la radio de dos vías, la banda estrecha o N-FM (de la siglas en inglés "*Narrow-FM*") es utilizada para ahorrar banda estrecha. Además, se utiliza para enviar señales al espacio.

La frecuencia modulada también se utiliza en las frecuencias intermedias de la mayoría de los sistemas de vídeo analógico, incluyendo VHS, para registrar la luminancia (blanco y negro) de la señal de video. La frecuencia modulada es el único método factible para la grabación de video y para recuperar de la cinta magnética sin la distorsión extrema, como las señales de vídeo con una gran variedad de componentes de frecuencia - de unos pocos hercios a varios megahercios, siendo también demasiado amplia para trabajar con ecualizadores con la deuda al ruido electrónico debajo de -60 dB.

La FM también mantiene la cinta en el nivel de saturación, y, por tanto, actúa como una forma de reducción de ruido del audio, y un simple corrector puede enmascarar variaciones en la salida de la reproducción, y que la captura del efecto de FM elimina a través de impresión y pre-eco. Un piloto de tono continuo, si se añade a la señal - que se hizo en V2000 y muchos formatos de alta banda - puede mantener el temblor mecánico bajo control y ayudar al tiempo de corrección.

La frecuencia modulada también se utiliza en las frecuencias de audio para sintetizar sonido. Esta técnica, conocida como síntesis FM, fue popularizada a principios de los sintetizadores digitales y se convirtió en una característica estándar para varias generaciones de tarjetas de sonido de computadoras personales.

Figura 3.2. Ejemplo modulación en frecuencia



3.3 APLICACIONES EN RADIO

Edwin Armstrong presentó su estudio: "Un Método de reducción de Molestias en la Radio Mediante un Sistema de Modulación de Frecuencia", que describió por primera vez a la FM, antes de que la sección neoyorquina del Instituto de Ingenieros de Radio el 6 de noviembre de 1935. El estudio fue publicado en 1936.^[1]

La FM de onda larga (W-FM) requiere un mayor ancho de banda que la modulación de amplitud para una señal moduladora equivalente, pero a su vez hace a la señal más resistente al ruido y la interferencia. La modulación de frecuencia es también más resistente al fenómeno del desvanecimiento, muy común en la AM. Por estas razones, la FM fue escogida como el estándar para la transmisión de radio de alta fidelidad, resultando en el término "Radio FM" (aunque por muchos años la BBC la llamó "Radio VHF", ya que la radiodifusión en FM usa una parte importante de la banda VHF).

Los receptores de radio FM emplean un detector para señales FM y exhiben un fenómeno llamado efecto de captura, donde el sintonizador es capaz de recibir la señal más fuerte de las que transmitan en la misma frecuencia. Sin embargo, la desviación de frecuencia o falta de selectividad puede causar que una estación o señal sea repentinamente tomada por otra en un canal adyacente. La desviación de frecuencia generalmente constituyó un problema en receptores viejos o baratos, mientras que la selectividad inadecuada puede afectar a cualquier aparato.

Una señal FM también puede ser usada para transportar una señal estereofónica (vea FM estéreo) No obstante, esto se hace mediante el uso de multiplexación y demultiplexación antes y después del proceso de la FM. Se compone una señal moduladora (en banda base) con la suma de los dos canales (izquierdo y derecho), y se añade un tono piloto a 19 KHz. Se modula a continuación una señal diferencia de ambos canales a 38 KHz en doble banda lateral, y se le añade a la moduladora anterior. De este modo se consigue compatibilidad con receptores antiguos que no sean estereofónicos, y además la implementación del demodulador es muy sencilla.

Una amplificación de conmutación de frecuencias radiales de alta eficiencia puede ser usada para transmitir señales FM (y otras señales de amplitud constante). Para una fuerza de señal dada (medida en la antena del receptor), los amplificadores de conmutación utilizan menos potencia y cuestan menos que un amplificador lineal. Esto le da a la FM otra ventaja sobre otros esquemas de modulación que requieren amplificadores lineales, como la AM y la QAM.

3.4 OTRAS APLICACIONES

La modulación de frecuencia encuentra aplicación en gran cantidad de sistemas de comunicación. Aparte de la FM de radiodifusión, entre 88 y 108 MHz, la separación entre dos canales adyacentes es de 200KHz y la desviación de frecuencia $\Delta f=75\text{KHz}$. la FM se viene utilizando principalmente en las siguientes aplicaciones:

Televisión:

Subportadora de sonido: La información de sonido modula en frecuencia la subportadora de sonido, que posteriormente se une a las restantes componentes de la señal de TV para modular en AM la portadora del canal correspondiente y se filtra para obtener la banda lateral vestigial. El sonido NICAM es digital y no sigue este proceso.

SECAM: El sistema de televisión en color SECAM modula la información de color en FM.

Micrófonos inalámbricos: Debido a la mayor insensibilidad ante las interferencias, los micrófonos inalámbricos han venido utilizando la modulación de frecuencia.

Ayudas a la navegación aérea. Sistemas como el DVOR (*VOR Doppler*), simulan una antena giratoria que, por efecto *Doppler*, modula en frecuencia la señal transmitida.

3.5 MODULADOR DE FM

La modulación de una portadora sobre FM, aunque se puede realizar de varias formas, resulta un problema delicado debido a que se necesitan dos características contrapuestas: estabilidad de frecuencia y que la señal moduladora varíe la frecuencia. Por ello, la solución simple de aplicar la señal moduladora a un oscilador controlado por tensión (VCO) no es satisfactoria.

Modulación del oscilador. En oscilador estable, controlado con un cristal piezoeléctrico, se añade un condensador variable con la señal moduladora (varactor). Eso varía ligeramente la frecuencia del oscilador en función de la señal moduladora. Como la excursión de frecuencia que se consigue no suele ser suficiente, se lleva la señal de salida del oscilador a multiplicadores de frecuencia para alcanzar la frecuencia de radiodifusión elegida.

Moduladores de fase. Un modulador de FM se puede modelar exactamente como un modulador de PM con un integrador a la entrada de la señal moduladora.

Modulador con PLL. Vuelve a ser el VCO, pero ahora su salida se compara con una frecuencia de referencia para obtener una señal de error, de modo que se tiene una realimentación negativa que minimiza dicho error. La señal de error se filtra para que sea insensible a las variaciones dentro del ancho de banda de la señal moduladora, puesto que estas variaciones son las que modulan la salida del VCO. Este método se ha impuesto con la llegada de los PLL integrados ya que ha pasado de ser el más complejo y costoso a ser muy económico. Presenta otras ventajas, como es poder cambiar de frecuencia para pasar de un canal a otro y mantiene coherentes todas las frecuencias del sistema.

3.6 DEMODULADOR DE FM

También es más complejo que el de AM. Se utilizan sobre todo dos métodos:

Discriminador reactivo. Se basa en llevar la señal de FM a una reactancia, normalmente bobinas acopladas, de forma que su impedancia varíe con la frecuencia. La señal de salida aparece, entonces, modulada en amplitud y se detecta con un detector de envolvente. Existían válvulas específicas para esta tarea, consistentes en un doble-diodo-tríodo. Los dos diodos forman el detector de envolvente y el tríodo amplifica la señal, mejorando la relación señal/ruido.

Detector con PLL. La señal del PLL proporciona la señal demodulada. Existen muchas variaciones según la aplicación, pero estos detectores suelen estar en circuitos integrados que, además, contienen los amplificadores de RF y frecuencia intermedia. Algunos son una radio de FM completa (TDA7000).

3.7 ECUACIÓN CARACTERÍSTICA

$$F_{fm} = A * \cos[w_c * t + \alpha + k_f \int f(t) dt]$$

3.8 ANCHO DE BANDA

Al contrario que en el caso de Amplitud Modulada, que se concentra en la frecuencia portadora y dos bandas laterales, el ancho de banda de una señal de FM se extiende indefinidamente, cancelándose solamente en ciertos valores de frecuencia discretos. Su espectro responde a la J_0 de Bessel.

A través de la regla de Carson es posible determinar el ancho de banda que se requiere para transmitir una señal modulada en FM (o PM).

CAPÍTULO 4. PROCEDIMIENTO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

A continuación haremos una descripción de cada parte del circuito: R1 establece la polarización del micrófono. C1 acopla la señal del micrófono al transistor Q1. Como vemos el circuito cuenta con dos etapas una de amplificación y otra de modulación. A continuación para mayor entendimiento del circuito explicaremos cada una de las etapas.

4.2 TRANSMISOR

El transmisor es el encargado de modificar la información original de tal manera que pueda ser adecuada para su transmisión. El medio de transmisión es aquel por el que viaja la información del transmisor al receptor, por lo que bien puede considerarse como una conexión entre ambos elementos. Finalmente, el receptor cumple con la tarea de convertir a su forma original la información recibida para posteriormente transferirla a su destino y donde será procesada. A continuación se presenta en diagrama a bloques la estructura básica que será implementado en este proyecto, que son transmisor y receptor y un medio de para transmitir en este caso por ondas electromagnéticas.

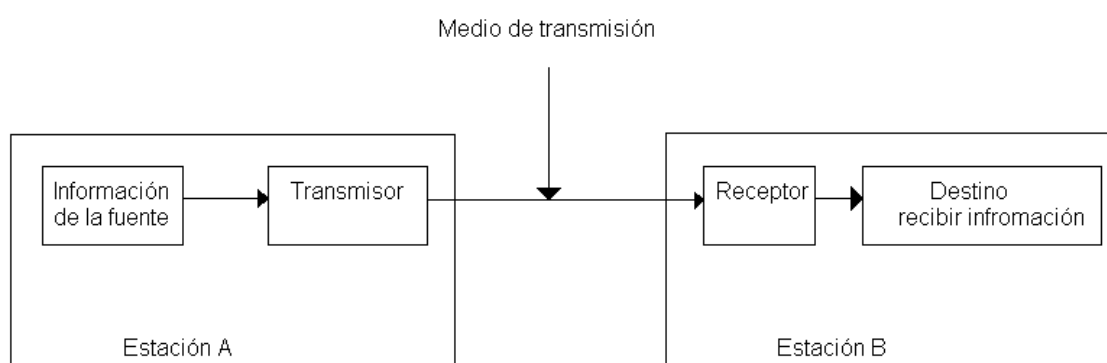


Figura 4.2. Diagrama a bloques simplificado de un sistema de comunicaciones en una sola dirección

4.3 TRANSMISOR DE MODULACIÓN EN FRECUENCIA

A continuación se presenta el circuito transmisor a ser implementado en el proyecto (figura 2). Como puede observarse, el transmisor únicamente se encuentra integrado por resistencias, capacitores, dos transistores y un inductor, lo cual lo convierte en un circuito relativamente sencillo.

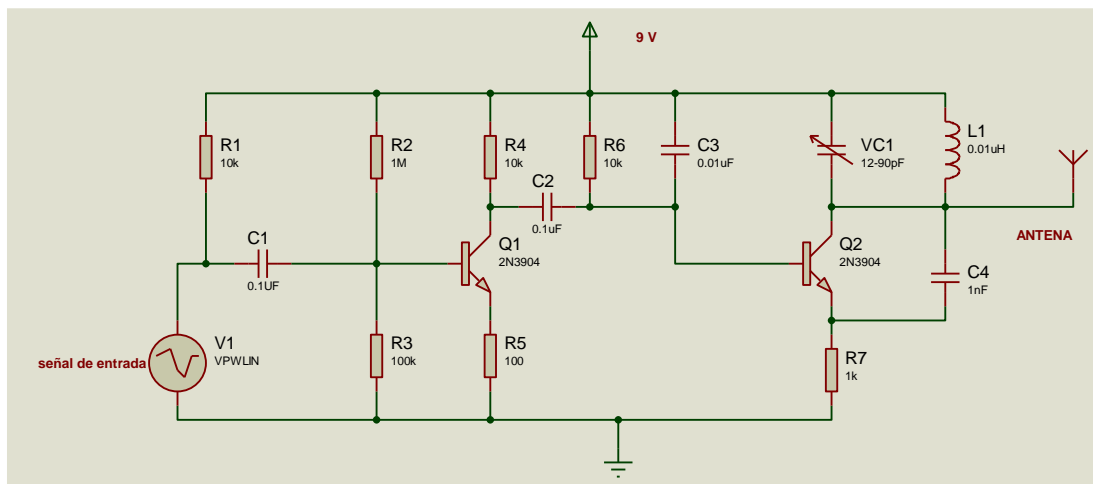


Figura 4.3. Circuito transmisor de FM

Con respecto a los valores de los componentes que lo integran, cabe mencionar que a excepción del capacitor C_4 y el inductor L_1 , todos poseen un valor fijo, es decir, no hace falta modificarlos para que se adecuen a las necesidades del proyecto. Sin embargo, el capacitor C_4 y el inductor L_1 , forma lo que se conoce como circuito tanque, el cual no es más que un oscilador. Por lo tanto, la frecuencia de oscilación del circuito tanque depende de los valores que se le asignen a dichos componentes. La importancia de dichos valores radica en que la frecuencia de oscilación corresponde a la frecuencia de transmisión.

La frecuencia de transmisión deseada se encuentra comprendida dentro del rango de los 88 a los 108 MHz, perteneciente a la banda de FM comercial. En este caso es necesario destacar, que para poder transmitir dentro de este rango de frecuencias hace falta pedir permiso correspondiente a la Secretaría de

Comunicaciones y transportes (SCT). Sin embargo, como la potencia de de trasmisión del circuito es muy pequeña, ésta no ocasiona interferencia alguna y por lo tanto esto no será necesario. Por otro lado, para evitar este problema se recomienda transmitir a frecuencias que se encuentran comprendidas dentro de los rangos asignados como banda civil o radio aficionados; el más usado para este tipo de comunicaciones corresponde a servicios atribuidos a los aficionados y abarca de los 462.55625 MHz a los 467.71875 MHz.

4.4 CÁLCULO Y ANÁLISIS DEL CIRCUITO TRANSMISOR A UTILIZAR

Como se puede observar en la figura, el circuito transmisor de FM consta de tres etapas básicas. Cada una de ellas separada de la otra por medio de capacitores de acoplamiento C_1 y C_2 ; dichos capacitores cumple con la función de aislar las distintas etapas del circuito en CD, y caso contrario, de conectarlas en CA.

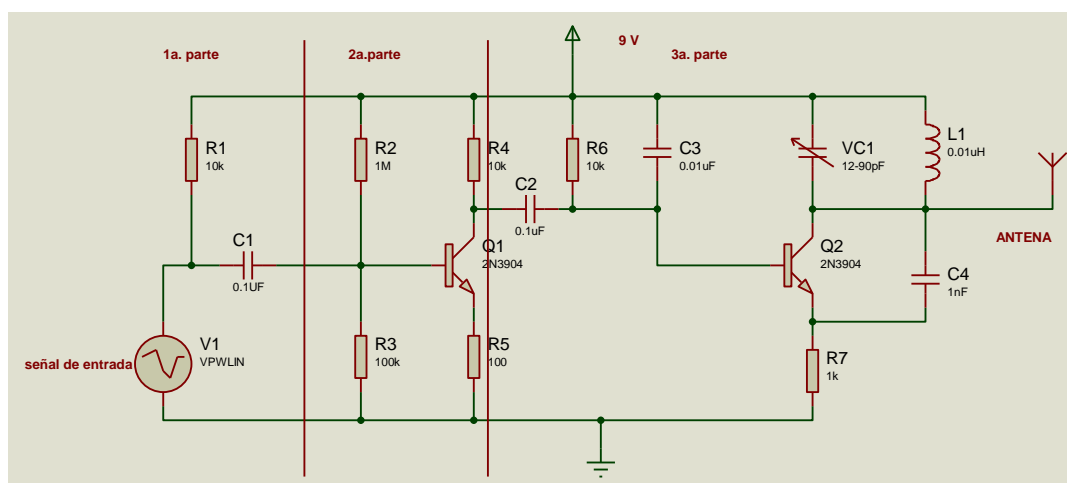


Figura 4.4. Etapas de un transmisor

La primera etapa del circuito se encuentra integrada por la resistencia R_1 y el capacitor C_1 , los cuales cumplen con la función de acoplar la señal de entrada al resto del circuito. En este caso, la información transmitida consiste en una señal senoidal con una amplitud de 5 V y una frecuencia de 1.5 KHZ.

El audio para la modulación de la portadora la hacemos con un preamplificador que tiene como base un transistor 2N2222 las resistencias R2, R3, R4 y R5 establecen los voltajes de polarización del transistor Q1, C3 ayuda a establecer la ganancia de CA de Q1. C2 y R6 proporcionan la comunicación entre las dos etapas, el capacitor C2 ayuda a bloquear la componente de CD de la señal y acopla la señal de AC para la siguiente etapa, R6 limita la corriente que llega a la base de Q2. .

La segunda etapa corresponde a una etapa de amplificación de la información. Dicha etapa se encuentra formada por un amplificador con polarización por divisor de voltaje como se muestra en la siguiente figura.

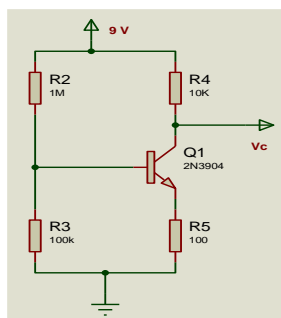


Figura 4.4.1. Amplificador con polarización por divisor de voltaje.

Para el análisis de dicha configuración es necesario, encontrar en primer lugar el equivalente para el divisor de voltaje conectado a la base del transistor. El análisis se presenta a continuación.

$$V_{BB} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} V_{CC} = \frac{100K}{1M + 100K} (9) = 0.8182 V \quad \text{ECUACIÓN 1}$$

$$R_{BB} = (R_2 \parallel R_3) = \frac{(100K)(1M)}{1M + 100K} = 90.91 KOHM \quad \text{ECUACIÓN 2}$$

Por lo tanto, el amplificador con polarización por divisor de voltaje de la figura anterior se puede representar como se muestra a continuación.

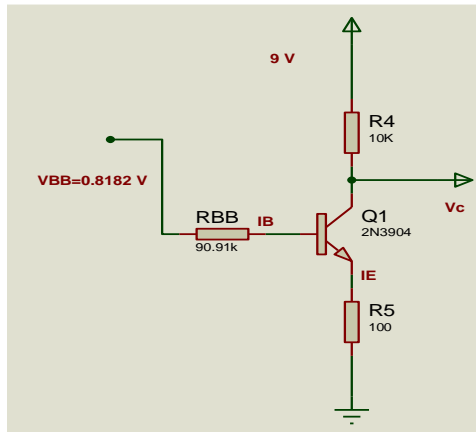


Figura 4.4.2. Equivalente del amplificador con polarización por divisor de voltaje.

Aplicando la ley de voltaje de kirchoff, a la base y emisor de la figura anterior se obtiene la siguiente ecuación:

$$V_{BB} = R_{BB}I_B + V_{BE} + R_5I_E \quad \text{ECUACIÓN 3}$$

Si se sabe que,

$$I_B = \frac{I_E}{\beta+1} \quad \text{ECUACIÓN 4}$$

Sustituyendo la ecuación 4 en la ecuación 3, con $\beta=100$ y despejando I_E , se obtiene

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_{BB}}{\beta+1}} = \frac{0.8182 - 0.7}{100 + \frac{90.91K}{101}} = 0.1192 \text{ mA} \quad \text{ECUACIÓN 5}$$

De la ecuación 4 y 3 se obtiene el valor de la corriente en la base, y con los datos obtenidos hasta el momento se pueden calcular los valores de las corrientes y voltajes restantes.

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{0.1182 \text{ mA}}{101} = 1.1703 \mu\text{A}$$

$$V_B = V_{BE} + R_4 I_E = 0.7 + (100)(0.1182 \text{ mA}) = 0.71182 \text{ V}$$

$$I_C = \beta I_E = (100)(1.1703 \mu\text{A})$$

$$V_E = R_4 I_E = (100)(0.1182 \text{ mA}) = 11.82 \text{ mV}$$

$$V_C = V_{CC} - R_C I_C = 9 \text{ V} - (10 \text{ K})(0.11703 \text{ mA})$$

De los resultados obtenidos puede observarse que el voltaje en el colector es mayor que el voltaje en la base por aproximadamente 7.118 V, lo que quiere decir que el transistor se encuentra operando en modo activo.

4.5 ANÁLISIS DE CA ETAPA MODULADORA

Esta etapa está encargada también por un transistor 2N2222, configurado en un oscilador controlado por voltaje, el cual es modulado por el voltaje de audio que es amplificado por Q1, la frecuencia de oscilación la determina la bobina L1(ANT) y el capacitor de 5-60 pF(variable), con lo cual podemos ajustar entre 88 y 108 Mhz. Los resistores de R7 y R8 son los encargados de polarizar la base del transistor Q2, el capacitor C6 conectado entre el colector y el emisor se encarga de la realimentación para que el transistor oscile. El resistor R9 limita la corriente a través del transistor y el condensador C8 actúa como condensador de filtro.

Para el análisis en CA es necesario obtener el parámetro r_e , el cual se obtiene a partir del valor del voltaje térmico de la corriente del emisor I_E del análisis de CD.

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{25\text{mV}}{0.1182\text{mA}} = 211.5 \approx 212 \text{ OHM} \quad \text{ECUACIÓN 6}$$

La ganancia de un amplificador por divisor de voltaje se encuentra determinada por la formula:

$$A = - \frac{R_4}{r_e + R_5} \quad \text{ECUACIÓN 7}$$

Por la tanto, sustituyendo el valor de r_e obtenido de la ecuación d la ecuación 6 se puede calcular la ganancia del amplificador.

$$A = - \frac{R_4}{r_e + R_5} = - \frac{10K}{212 + 100} = -32.05$$

Dicho valor que se trata de un amplificador inversor con una ganancia considerable, por lo tanto si no hubiera una carga conectada al amplificador se esperarí que la señal de salida fuera 32 veces mayor que la señal de entrada.

Finalmente, la tercera etapa del circuito puede considerarse como la etapa moduladora. Como podrá observarse su análisis resulta un poco más complicado que el de las etapas anteriores.

4.6 EQUIVALENTE DE CD ETAPA MODULADORA

El circuito equivalente de CD de la etapa moduladora se presenta en la figura siguiente. En ella se puede observar, que dicho circuito equivalente únicamente polariza al transistor en la región activa. Así mismo, la resistencia R_7 proporciona mayor estabilidad al circuito al fungir como retroalimentación.

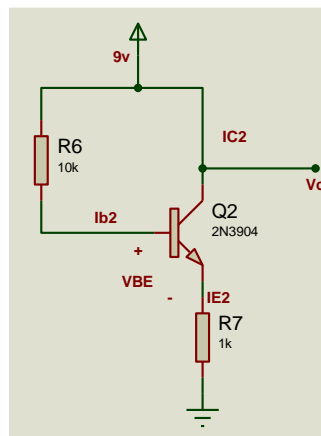


Figura 4.6. Circuito de CD equivalente para la etapa moduladora.

A continuación se presenta el análisis en CD para esta etapa. Si al igual que en el análisis de la etapa anterior suponemos que $\beta=100$, sustituyendo los valores de la ecuación 5, se obtiene el valor de la corriente del emisor.

$$I_{E2} = \frac{V_{B2} - V_{BE2}}{R_{E2} + \frac{R_{B2}}{\beta + 1}} = \frac{9 - 0.7}{1k + \frac{10k}{101}} = 7.552 \text{ mA}$$

Ya con este valor, se pueden calcular los valores restantes.

$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{\beta + 1} = \frac{7.552 \text{ mA}}{101} = 74.772 \text{ } \mu\text{A}$$

$$V_{B2} = V_{BE2} + R_7 I_{E2} = 0.7 + (1K)(7.552 \text{ mA}) = 8.252 \text{ V}$$

$$I_{C2} = \beta I_{B2} = (100)(74.772 \text{ } \mu\text{A}) = 7.477 \text{ mA}$$

$$V_{E2} = R_7 I_{E2} = (1K)(7.552 \text{ mA}) = 7.552 \text{ V}$$

$$V_{C2} = V_{CC} = 9V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 9V - 7.552V = 1.448V$$

En base a los resultados anteriores, es posible calcular la potencia de salida del circuito. Dicho dato es importante, ya que éste determina el alcance del transmisor.

$$P = I_{C2}V_{CE} = (7.477mA)(1.488V) = 10.827 \text{ mW} \quad \text{ECUACION 8}$$

4.7 PRUEBA Y CALIBRACIÓN DEL CIRCUITO

Una vez que todos los componentes han sido ensamblados se puede proceder a la prueba y calibración del circuito.

Para ello, se ubica una radio de FM cerca del circuito, se busca en el dial un punto en silencio (sin emisoras) y se sube el volumen del receptor hasta un punto en el que se puedan oír las interferencias. Lentamente y con la ayuda de un destornillador pequeño, de plástico preferiblemente, se ajusta el condensador (*trimmer* C5) hasta que en el receptor se escuche un silbido o sonido similar, lo cuál quiere decir que en dicho punto se ha sintonizado en el transmisor la frecuencia dial.

En ese momento se puede hablar por el micrófono y se debe escuchar en la radio lo que se habla.

Si en la frecuencia seleccionada, no se logra una buena recepción, puede repetirse el proceso en otro punto de la banda de FM. Si se prefiere, en vez de variar el capacitor, se sintoniza la radio hasta hallar el punto donde se encuentre mejor recepción (silencio). Si después de hacer esto, no se consigue sintonizar el transmisor, se puede ajustar la bobina que conforma el circuito oscilador juntando sus espiras para

elevar la frecuencia, o separando las mismas si lo que se desea es reducirla un poco.

4.8 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL TRANSMISOR

Este pequeño proyecto como podemos ver es de bajo alcance y podrá trabajar en las frecuencias de 88 mhz-108 MHZ, que es realmente conocida como la banda comercial de FM, el proyecto que están presentes a continuación fueron ajustados en la frecuencia 99.7 MHZ de la banda comercial, como mencionamos arriba es de alcance medio se trabajo con ello en la pruebas recibiendo señales de no mas de 100 mts, y 20-25 metros en casa o departamento, solo una recomendación hay que tomar muy en cuenta la topología del terreno donde se desee instalar o probar dicho prototipo.

4.9 MATERIALES A UTILIZAR EN EL TRANSMISOR

- Q₁ Y Q₂, Transistor 2N2222
- 1 Micrófono Electreto
- C₁ y C₃, Condensadores Electrolíticos 10uF/25v
- C₂ Condensador Electrolítico de 2.2uF/25V
- C₄ y C₈, Condensadores Cerámicos de 0.1uF/50v
- C₆ y C₇, Condensadores Cerámicos de 2.7pF/50v
- C₅, Condensador ajustable de 5-60pF (*trimmer*)
- R₁ y R₆ Resistencias 1k
- R₂, Resistencia 1.5 K
- R₃, Resistencia 6.8k
- R₄, Resistencias 10K
- R₅ y R₇, Resistencias 4.7K
- R₈, Resistencia 2.2K
- R₉, Resistencia 220 Ohm
- 50 cm. Alambre para puentes

4.10 CONSTRUCCIÓN DE LA BOBINA

Para fabricar la bobina de núcleo de aire, se tomo el alambre para puentes y se corto por la mitad, los 2 trozos resultantes son enrollados en un lapicero común dando 6 vueltas alrededor del mismo. Una vez hecho esto, se retira el lapicero y se separan las bobinas teniendo especial cuidado en no deformarlas, luego aquella que sea más uniforme se coloca en el circuito. Tanto como la bobina y la antena se utilizó alambre esmaltado calibre # 24.

La otra, puede ser utilizada como antena.

CAPÍTULO 5. RECEPTOR

El receptor de FM se parece mucho al de AM en varios aspectos. En la banda comercial ocupa el espectro entre 88 MHz y 108 MHz; es decir, opera con frecuencias superiores a los receptores de AM, lo que obliga a una construcción más crítica con cables cortos y componentes en su mayoría pequeños.

Los bloques que difieren en el receptor de FM son el limitador, el demodulador (también conocido como detector de FM o discriminador) y el circuito de énfasis. Recordemos el diagrama en bloques de un receptor de FM monoaural

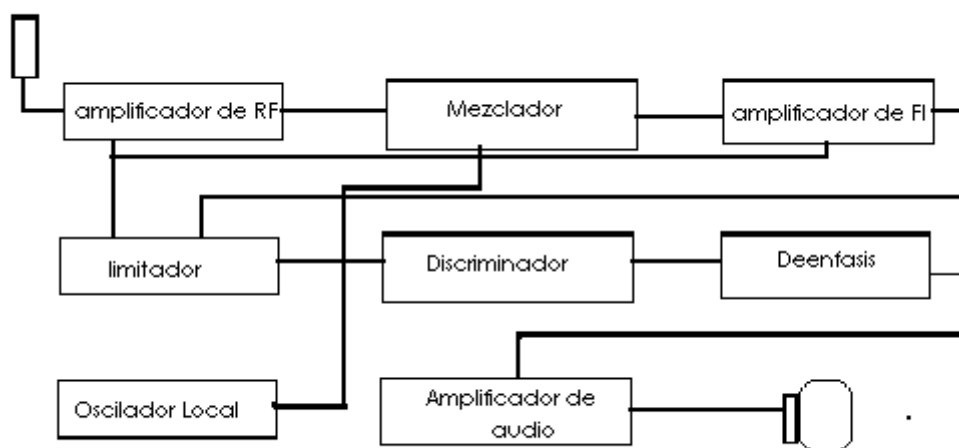


Figura 5. Diagrama a bloques del receptor

El limitador recorta los picos de la señal de FM amplificada con el fin de presentar al discriminador una señal de amplitud constante. El discriminador convierte la señal de FM en una señal de audio y la función bloque de énfasis es compensar el preénfasis introducido en el transmisor de FM.

5.1 EL RECEPTOR DE FM

Básicamente un receptor de FM se compone de la mismas etapas que un receptor comercial de ondas medias, solo varia la banda de frecuencias de trabajo (y por ende las disposiciones circuitales) y la forma en que se detecta la señal de audio.

Debemos aclarar que, antes de demodular la información, se agrega un circuito limitador que permite que la señal RF llegue al detector con amplitud constante. Por lo tanto un receptor de FM posee el siguiente diagrama de bloques:

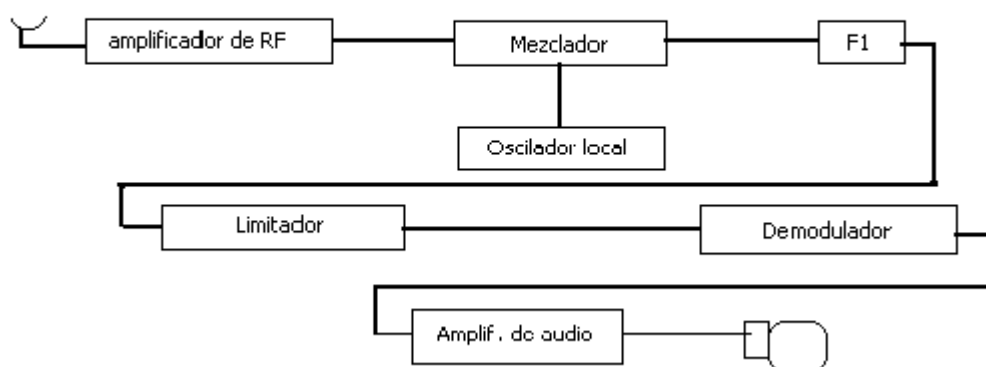


Figura 8. Diagrama a bloques del receptor sin el limitador

La banda asignada para los canales de FM se halla ubicada entre 88 MHz y 108 MHz como ya se ha mencionado, entre los canales bajos de TV y los canales altos en la banda de VHF.

5.2 ETAPA LIMITADORA DE FM

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, el bloque limitador cumple la función de recortar o suprimir dicha señal interferente (el ruido impulsivo se debe a cambios o perturbaciones atmosféricas y ruidos introducidos por el hombre).

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 éstas 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.

5.3 ANTENAS UTILIZADAS

La función de las antenas en las plantas trasmisoras es convertir la corriente correspondiente a la señal modulada en frecuencia en una onda electromagnética que pueda viajar por el espacio.

Por el contrario, la antena del receptor convierte la onda electromagnética emitida por la antena transmisora en una corriente de radiofrecuencia que será conducida hacia el sintonizador.

Por supuesto, de la eficiencia de la antenas trasmisoras y receptora dependerá la calidad de trasmisión, La antena transmisora determinar el porcentaje de señal producido por la emisora que se convirtiera en campo electromagnético mientras que la antena receptora determina el porcentaje de señal que llega al sintonizador.

5.4 RECEPTOR FM CON UN TDA 7000

El TDA7000 es un circuito integrado monolítico de mono FM para radios portátiles, donde el mínimo de componentes periféricos es importante y tomarlos en cuenta (pequeñas dimensiones y bajo coste). La única función de las necesidades de adaptación es el circuito resonante para el oscilador, con lo que la recepción depende de la selección de la frecuencia.

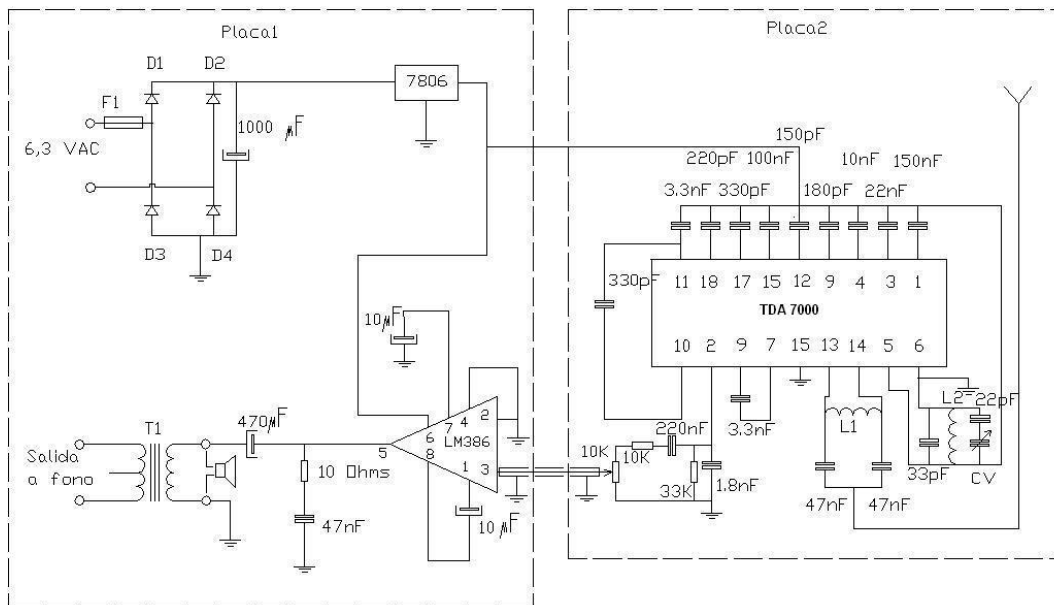
El integrado TDA 7000 contiene todas las funciones necesarias para proporcionar un completo receptor monofónico de radio FM. Sólo se requieren unos pocos componentes adicionales, como proporcionar sintonía LC y salida de audio, para construir un receptor compacto de bajo coste.

Este integrado es ideal para uso en radio, radiocontroles, buscapersonas y otras aplicaciones. Recibir una señal en AM es relativamente fácil, con un simple receptor de galena ya se consigue y no son más que una bobina y un diodo. Pero la FM es más complicada para el principiante, pues para su detección hace falta algo más que un diodo. Los primeros receptores usaban circuitos resonantes desintonizados de tal manera que la variación de la frecuencia en la señal de RF a medida que se acercaba a la frecuencia de resonancia del circuito LC , a su salida variaba en amplitud la señal. Ahora se utilizan otros tipos de circuitos siendo el más común el detector de relación.

Lo que propongo aquí no es nada nuevo, el circuito integrado TDA7000 es más el mas común y antiguo que se maneja y muy conocido y hace años que circula por este mundo. Pero para la sencillez que requiere su montaje los resultados son francamente buenos.

Se puede encontrar fácilmente información y varios esquemas por internet. Este es el primer prototipo que he realizado a modo de prueba al cual he añadido un amplificador, el LM386 ya que la señal de salida del TDA7000 es de 75 mV con una carga de 22 K a 5V.

Figura 5.4. Diagrama final del circuito transmisor a emplear



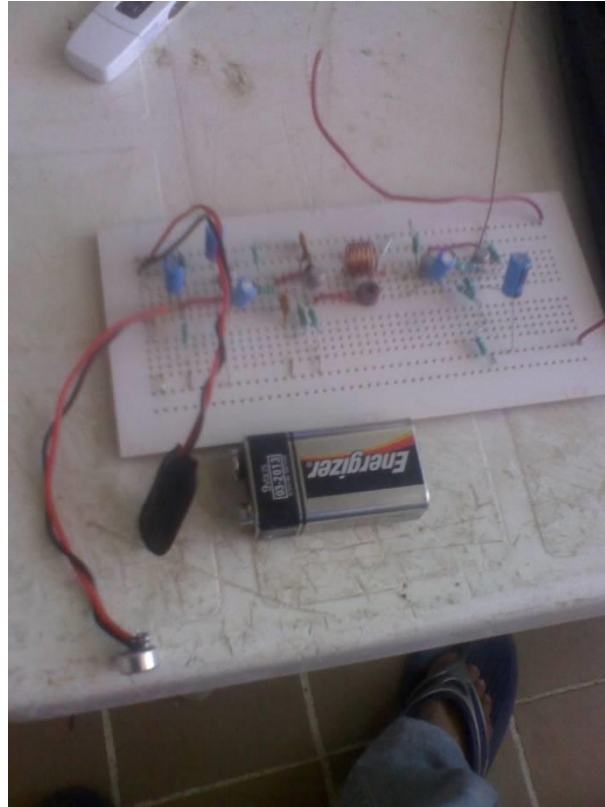
- L1 = 5 espiras de 5mm diámetro
- L2 = 4 espiras de 5mm diámetro
- CV = Condensador variable de un radiotransistor
- D1 a D4= 1N4001
- T1 = Transformador push-pull

CONCLUSIÓN

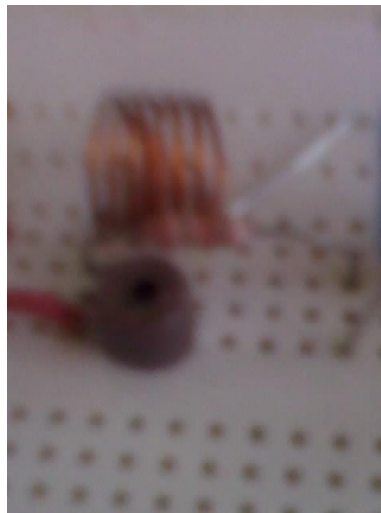
Tomando en cuenta los datos que plasmamos en este trabajo podremos construir un buen transmisor y receptor de audio en FM en cualquier frecuencia que nosotros deseamos tomando muy en cuenta los parámetros y análisis que se mencionaron, otro aspecto importante que tomar es la topología del terreno o lugar donde se desee instalar estos dispositivos que se realizaron para una transmisión y recepción de señales adecuadas para su posterior uso.

Es recomendable que los transmisores deben probarse fuera del aire, siempre que sea posible, con la finalidad de evitar la formación de interferencia, también cuando la carga del transmisor es una antena verdadera, la medición de la potencia se complica. La antena podría verse como algo que se aproxima a una resistencia pura, pero no siempre es así. Como último comentario los receptores de FM tienen dos métodos para medir la sensibilidad que tienen gran aceptación, uno de ellos, conocido como sensibilidad útil (*usable sensitivity*) o sensibilidad SINAD, también puede emplearse en los receptores de AM y en ocasiones así se hace. El otro se llama sensibilidad o umbral de silenciamiento (*quieting sensitivity*) y es adecuado solo para receptores de FM.

ANEXOS



Circuito transmisor haciendo pruebas

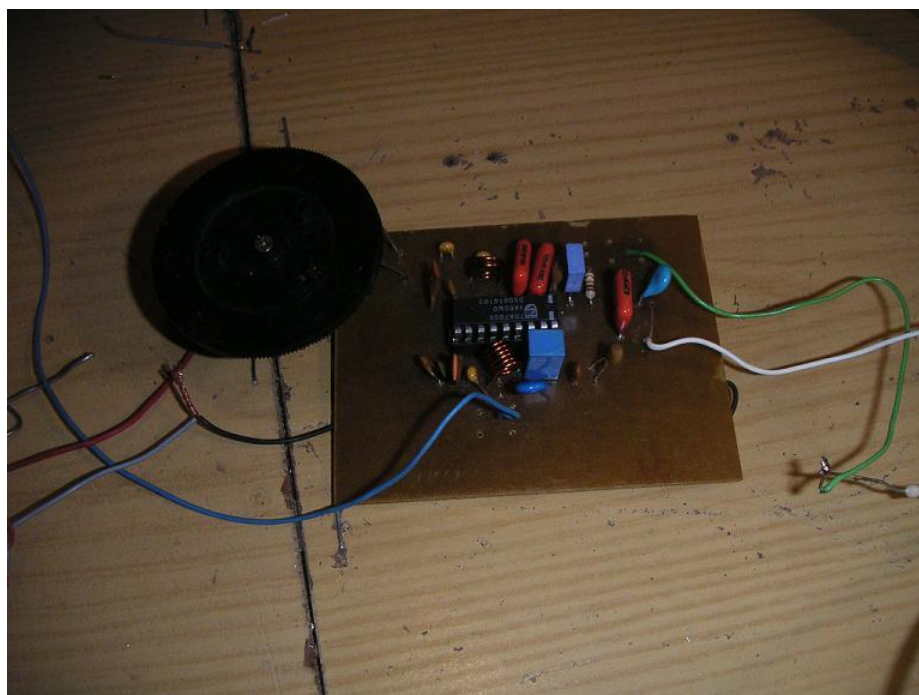


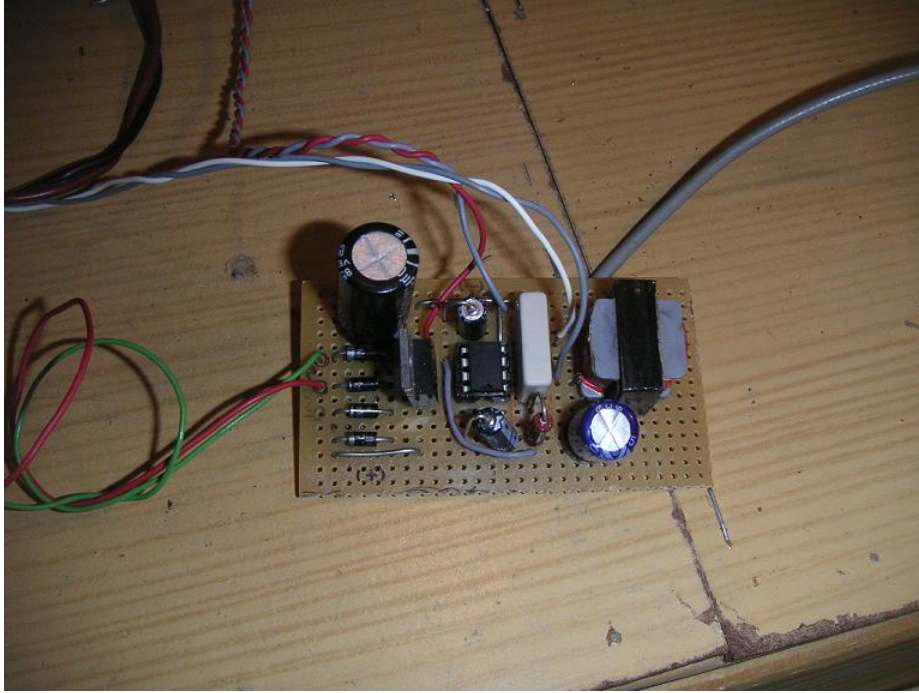
Circuito tanque, es la encargada de sintonizar la frecuencia que deseamos



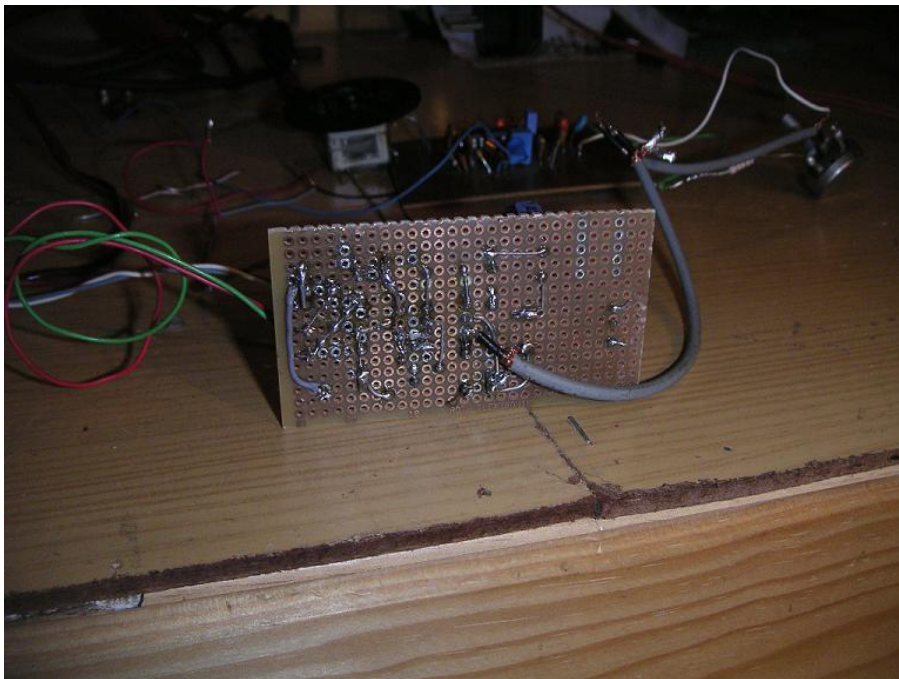
Circuito transmisor con su etapa de potencia

La antena de nuestro transmisor alambre esmaltada calibre 24





Fotos de montaje experimental de pruebas de nuestro receptor



Soldadura de nuestro receptor

BIBLIOGRAFÍAS

BIBLIOGRAFÍA DIDÁCTICA

Blake, Roy; Sistemas de Electrónicos de Comunicación; editorial Thomson, segunda edición.

Armstrong, E. H. (Mayo de 1936). "A Method of Reducing Disturbances in Radio Signaling by a System of Frequency Modulation". *Proceedings of the IRE* **24** (5): 689-740.

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

Modulación en frecuencia

http://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia_Modulada

<http://www.electronica2000.com/transmisores/transmfm.htm>

<http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/TL03703M.pdf>