

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR  
AERONÁUTICO**

**ESCUELA DE TELEMÁTICA**

**OPTIMIZACIÓN DEL LABORATORIO DE  
COMUNICACIONES EN EL ITSA MEDIANTE LA  
HABILITACIÓN DE MÓDULOS DE COMUNICACIÓN  
ANALÓGICA Y ELABORACIÓN DE GUÍAS DE  
LABORATORIO.**

**POR:**

**CBOS. MENESES CHALCUALAN EDWIN PATRICIO**

**CBOS. MOSQUERA REINOSO MANUEL ALFONSO**

**Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del Título de:**

**TECNÓLOGO EN TELEMÁTICA**

**2001**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el (los) Sr.(s). Cbos. Meneses Chalcualán Edwin Patricio y Cbos. Mosquera Reinoso Manuel Alfonso, como requerimiento parcial a la obtención del título en **TECNÓLOGOS EN TELEMÁTICA.**

Latacunga, 03 de Diciembre del 2001.

---

Ing. Magdalena Zapata

Profesor Director

## **DEDICATORIA**

Dedicamos nuestro esfuerzo y sacrificio a Dios porque el nos ha ayudado a pasar noches y días concentrados en nuestro proyecto para desarrollarlo con paciencia.

A nuestros padres ya que fueron nuestro pilar fundamental, para culminar esta carrera que demandó de muchos sacrificios. También a nuestra asesora Ing. Magdalena Zapata y otras personas que de una u otra manera nos guiaron por el mejor camino para alcanzar con éxito la finalización de nuestra carrera.

- **Cbos. Meneses Edwin.**
- **Cbos. Mosquera Manuel.**

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento muy especial a Dios, nuestros padres y hermanos por su gran sacrificio, apoyo moral y económico por su gran interés de que no le fallemos en esta larga y esforzada carrera que a futuro nos será de gran provecho y de manera especial a todas esas personas que de una u otra forma nos guiaron y colaboraron al desarrollo de este trabajo.

También agradecemos a todas las personas que de alguna u otra manera nos supieron ayudar y darnos un aliento y una guía para el desenvolvimiento de nuestro trabajo.

- **Cbos. Meneses Edwin.**
- **Cbos. Mosquera Manuel.**

# INDICE

<b>TEMAS</b>	<b>Página</b>
INTRODUCCION	
<b>CAPITULO I: EL TEMA</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivos del proyecto	1
1.2.1 Objetivo General	1
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Justificación	2
<b>CAPITULO II: COMUNICACIÓN ANALÓGICA</b>	<b>3</b>
2.1 Introducción a la Modulación en Amplitud y Modulación Angular	3
2.2 Principios de la Comunicación Analógica	3
2.3 Impedimentos en las Transmisiones	5
2.4 Modulación en Amplitud y Modulación Angular	9
2.4.1 Definición	9
2.4.2 Ventajas de la Modulación en Amplitud y Modulación Angular	12
2.5 Modulación en Amplitud	12
2.5.1 Introducción	12
2.5.2 Moduladores AM y Detectores	14
2.5.3 Receptores de Radio AM	17
2.5.4 Circuito Receptor Superheterodino de AM	22
2.5.5 Transmisión y Recepción de la Onda Portadora	26
2.6 Modulación en Frecuencia	28
2.6.1 Introducción	28

2.6.2	Modulación de Fase y de Frecuencia	28
2.6.3	Moduladores y Detectores de FM	29
2.6.4	Circuitos Receptores de FM Superheterodinos	35
2.7	Circuitos de Comunicación en BLU	37
2.7.1	Introducción	37
2.7.2	El Modulador Balanceado	39
2.7.2.1	Propiedades	44
2.7.3	Modulación de Banda Lateral Unica (BLU)	46
2.7.4	BLU compatible con AM	63
<b>CAPITULO III: REQUERIMIENTOS TÉCNICOS GENERALES</b>		<b>66</b>
3.1	Reparación de Instalaciones Eléctricas	66
3.1.1	Inspección del Estado de las Instalaciones	66
3.1.2	Estadística de la Inspección	67
3.1.3	Requerimientos para la Instalación	68
3.2	Revisión de Instrumentos	68
3.2.1	Inspección y estudio de los instrumentos	68
3.2.2	Estadística de la Inspección	69
3.3	Reparación de las Unidades COM 1,2 y 3	69
3.3.1	Inspección del Estado de las Unidades	70
3.3.2	Estadística de la Inspección	70
3.3.3	Requerimientos de Componentes Eléctricos	70
3.3.4	Sustitución de Elementos	71

<b>CAPITULO IV: PRUEBAS DE OPERABILIDAD.</b>	<b>72</b>
4.1 Unidad COM 1/1	72
4.2 Unidad COM 1/2	73
4.3 Unidad COM 1/3	74
4.4 Unidad COM 2/1	75
4.5 Unidad COM 2/2	76
4.6 Unidad COM 2/3	77
4.7 Unidad COM 3/1	80
4.8 Unidad COM 3/2	82
4.9 Unidad COM 3/3	86
<b>CAPITULO V: ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	<b>88</b>
5.1. Modulación AM	88
5.2. Modulación FM	90
5.3. Modulador Balanceado (BLU)	91
<b>CAPITULO VI: MARCO ADMINISTRATIVO</b>	<b>92</b>
6.1. Cronograma de Actividades	92
6.2. Presupuesto	93
<b>CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>94</b>
7.1. Conclusiones	94
7.2. Recomendaciones	94

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

## GLOSARIO

## ANEXOS

- Guías de Laboratorio
- Diagramas

## INTRODUCCIÓN

El estudio de los circuitos de Comunicación tanto en AM (Amplitud Modulada), como en FM (Frecuencia Modulada), es generalmente los primeros temas de estudio de las Comunicaciones, para posterior entrar al estudio de BLU.

Se tratará de forma específica los principios y fundamentos de las Comunicaciones de AM, FM en BLU, que bien sin duda es la forma de comunicación más popular y comúnmente usada. En la actualidad, una de las formas más usadas en las Radiocomunicaciones de AM-FM.

En el texto trataremos temas como la modulación y sus principios, como empezó la Comunicación Analógica, así como los factores que impiden que las comunicaciones sean eficientes (nítidas). Analizaremos las ventajas y desventajas de la modulación en las comunicaciones.

Se dará importancia al conocimiento de los circuitos que participan en las comunicaciones analógicas como son: receptores de radio AM-FM, circuitos de comunicación AM-FM, circuitos de comunicación en banda lateral única (BLU), el modulador balanceado, como principales elementos de la Comunicación.

Por último daremos una breve información acerca del estado de los componentes existentes en el Laboratorio de Comunicaciones.

## **CAPITULO I: EL PROBLEMA**

### **1.1. Planteamiento del problema.**

En la última década, el tema “Comunicaciones Modernas” se ha desarrollado fuera de los límites de la “Radio” dentro de los campos de la electrónica. Y es difícil imaginar como sería la vida moderna sin el fácil acceso a medios de comunicación confiables, económicos y eficientes.

Por lo cual nuestro plan y meta es encargarnos del arreglo y optimización del laboratorio de comunicaciones del I.T.S.A.

### **1.2. Objetivos del proyecto.**

#### **1.2.1.- Objetivo general:**

Habilitar los módulos de Comunicación Analógica existentes en el Laboratorio de Comunicaciones.

#### **1.2.2. Objetivos específicos:**

- Reparar los elementos y componentes de cada una de las unidades existentes.
- Verificar el funcionamiento óptimo de cada uno de estos módulos.
- Actualizar las Guías de Laboratorio para un mejor entendimiento de cada uno de los experimentos.

### **1.3. Justificación.**

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico actualmente tiene equipos de Comunicación Analógica inhabilitados, consecuentemente sabemos que los equipos de Comunicación nuevos son caros, además tienen impuestas restricciones y normas que no permiten cambios o mejoras revolucionarias en el diseño especialmente respecto al método de modulación.

También podemos considerar que los módulos de Comunicación Analógica con los que cuenta el Instituto, son módulos que en su mayoría son didácticos y que ayudan a que el estudiante desarrolle habilidades en el campo de la Electrónica

## **CAPITULOII: COMUNICACIÓN ANALÓGICA.**

### **2.1. Introducción a la Modulación en Amplitud y Modulación Angular.**

La modulación angular fue introducida primero en 1931, como una alternativa a la modulación en amplitud. Se sugirió que la onda con modulación angular era menos susceptible al ruido que AM y, consecuentemente, podía mejorar el rendimiento de las Comunicaciones de Radio.

Actualmente la modulación angular se usa extensamente para la radiodifusión de radio comercial, transmisión de sonido de TV, radio móvil de dos sentidos, radio celular y los Sistemas de Comunicaciones por Microondas y Satélites.

### **2.2. Principios de la Comunicación Analógica.**

Los Sistemas de Comunicación Analógica, son sistemas en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma analógica (una señal variando continuamente tal como una onda senoidal). Un claro ejemplo de este tipo de comunicación se puede presentar en los sistemas de radio comerciales. Estos sistemas de comunicaciones, fueron los primeros en desarrollarse; sin embargo, en la actualidad los sistemas de comunicación digital se han hecho más comunes.

La comunicación analógica es parte de la comunicación electrónica. En el siglo XIX Maxwell indicó que la electricidad y la luz viajan en forma de ondas electromagnéticas y que estas podían propagarse en el **espacio libre** utilizando descargas eléctricas. Hertz desarrolló el primer transmisor de radio generando radiofrecuencias de 31 MHz y 1.25 GHz.

El primer sistema de comunicaciones analógico fue desarrollado en 1837 por Samuel Morse, que usando la inducción electromagnética, pudo transmitir información en forma de puntos, guiones y espacios por medio de un cable metálico, a su invento lo llamó el “telégrafo”. En 1876, Alexander Graham Bell y Thomas A. Watson, transmitieron exitosamente una conversación humana a través de un **sistema electrónico** funcional usando cables metálicos como medio de transmisión.

En 1899, Guglielmo Marconi envió el primer mensaje inalámbrico por el Canal de la Mancha de Francia a Inglaterra. La emisión de radio regular comenzó en 1920, cuando las estaciones de radio AM (Amplitud Modulada) WWJ en Detroit, y, KDKA en Pittsburg, comenzaron las emisiones comerciales; mientras que las comunicaciones en FM comenzaron en 1936 por el mayor Edwin Howard Armstrong. En 1948, William Shockley, Walter Brattain y John Bardeen inventan el transistor, el mismo que llevó al desarrollo del circuito integrado en la década de 1960.

Aunque los conceptos generales de la comunicación analógica no han cambiado mucho desde su comienzo, los métodos por los cuales se han implantado estos conceptos, han sufrido grandes cambios recientes que nos han llevado a sobrepasar los límites para las comunicaciones del futuro.

### **2.3. Impedimentos de las trasmisiones.**

En las transmisiones analógicas existen impedimentos que comúnmente se los denominan “ruidos”; pero el más común de todos es el **ruido eléctrico**. El ruido eléctrico se define como cualquier energía eléctrica no deseada presente en la pasabanda útil de un

circuito de comunicaciones, por ejemplo en una grabación de audio cualquier señal que cae en la banda de frecuencias entre 0 y 15kHz, es perceptible e interferirá con la información de audio. Consecuentemente para los circuitos de audio, cualquier energía eléctrica no deseada en la banda de frecuencias entre 0 y 15 kHz se considera ruido.

La figura 2.1 muestra el efecto que el ruido tiene sobre una señal eléctrica, en la que se muestra una señal perfecta sin ruido (figura 2.1.a), y la misma señal que ha sido contaminada por el ruido, que es distorsionada y obviamente contiene las frecuencias además de la original (figura 2.1.b).

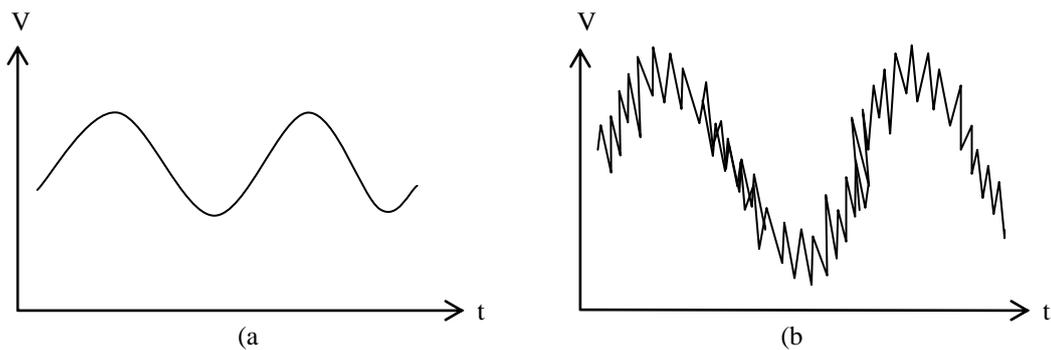


FIGURA 2.1: Los efectos del ruido sobre una señal: (a) señal sin ruido; (b) señal con ruido

Esencialmente el ruido puede dividirse en dos categorías: **correlacionado** y **no correlacionado**. El ruido correlacionado implica una relación entre señal y ruido cuando está presente la señal. En tanto que el ruido **no correlacionado** está presente en la ausencia de cualquier señal (esté presente o no).

### 2.3.1. Ruido correlacionado:

Es una energía eléctrica no deseada que está presente como un resultado directo de una señal, tales como las distorsiones armónicas y de intermodulación. Las distorsiones

armónicas y de intermodulación son formas de distorsión no lineal. El ruido no correlacionado no puede estar presente en un circuito a menos que exista una señal de entrada. Simplemente dicho, no hay señal, ¡no hay ruido!.

### **2.3.2. Ruido no correlacionado:**

Se divide en dos categorías generales: externo e interno.

#### **Ruido externo:**

Es generado externamente a un circuito y se introduce al circuito, las señales externamente generadas se consideran ruido, sólo si sus frecuencias caen dentro de la banda útil del filtro de entrada del circuito. Existen 3 tipos de ruidos externos: atmosférico, extraterrestre y hecho por el hombre.

#### **Ruido atmosférico.**

Es la energía eléctrica que ocurre naturalmente, se origina dentro de la atmósfera de la Tierra que es llamado **electricidad estática**. La fuente de la mayoría de la electricidad estática son perturbaciones eléctricas naturales, tales como relámpagos. El ruido atmosférico se propaga por medio de la Atmósfera de la Tierra de la misma manera que las ondas de radio. Por lo tanto, la magnitud del ruido estático recibido depende de las condiciones de propagación en el tiempo. El ruido atmosférico es el tronido, la estática, etc., familiar que se escucha en un receptor de radio; y es relativamente insignificante comparado con las otras fuentes de ruido.

### **Ruido extraterrestre.**

Se origina fuera de la atmósfera de la Tierra y a veces es llamado ruido del espacio profundo que se origina de la vía láctea, otras galaxias y el sol. El ruido extraterrestre puede ser: solar y cósmico (galáctico).

El **ruido solar** se genera del calor del sol en la que hay dos componentes de este ruido: Una condición **tranquila** cuando una radiación relativamente constante existe, y **alta densidad** que son perturbaciones esporádicas ocasionadas por una actividad de **manchas del sol** y **explosiones solares**. Las perturbaciones esporádicas se ubican en la superficie del sol y su magnitud causada por las manchas del sol sigue un patrón cíclico que se repite cada 11 años.

Las fuentes de **ruido cósmico** son continuamente distribuidas a través de nuestra galaxia y de otras galaxias. El ruido cósmico frecuentemente se llama **ruido de cuerpo negro** y se distribuye bastante parejo en el cielo.

El ruido **extraterrestre** tiene un rango de frecuencias aproximado de 8 MHz a 1.5 GHz, aunque las frecuencias menores a 20 MHz raramente penetran la atmósfera de la Tierra y por lo tanto son insignificantes.

### **Ruido hecho por el hombre.**

Es simplemente el ruido que se le puede atribuir al hombre. Estas fuentes de ruido incluyen mecanismos que producen chispas tales como los conmutadores en los motores eléctricos, sistemas de ignición de automóviles, equipos de potencias y luces fluorescentes. Dicho ruido también es impulsivo en su naturaleza y por lo tanto

contiene un rango amplio de frecuencias que son propagadas por el espacio de la misma manera que las ondas de radio.

### **Ruido interno:**

Es la interferencia eléctrica generada dentro de un dispositivo. Existen 3 clases de ruido generado internamente: térmico, de disparo y tiempo de tránsito.

### **Ruido térmico.**

Está asociado con la temperatura y el movimiento de los electrones dentro de un conductor. De acuerdo con la teoría cinética de la materia, los electrones dentro de un conductor están en equilibrio térmico con las moléculas y en constante movimiento aleatorio.

### **Ruido de disparo.**

El ruido de disparo es causado por la llegada aleatoria de portadora en el elemento de salida de un dispositivo electrónico, tal como un diodo, transistor de efecto de campo (FET), transistor bipolar o tubo de vacío. El ruido de disparo fue observado por primera vez en la corriente del ánodo de los amplificadores de tubo de vacío. El ruido de disparo, cuando se amplifica, suena como una lluvia de bolitas de metal que caen sobre un techo de estaño. El ruido de disparo es proporcional a la carga de un electrón ( $1.6 * 10^{-19}$ ), corriente directa y ancho de banda del sistema.

### **Ruido de tiempo de tránsito:**

Cualquier modificación a una corriente de portadora conforme pasa desde la entrada hasta la salida de un dispositivo (tal como el emisor al colector de un

transistor) produce una variación aleatoria irregular calificada como **ruido de tránsito**. Cuando el tiempo que toma a la portadora propagarse a través de un dispositivo es una parte apreciable de tiempo de un ciclo de la señal, el ruido se hace notable.

## **2.4. Modulación en amplitud y Modulación Angular**

### **2.4.1. Definición**

La **Modulación en Amplitud** es el proceso de cambiar la amplitud de una portadora de frecuencia relativamente alta de acuerdo con la amplitud de señal modulante (información).

La **Modulación Angular** resulta cuando el ángulo de fase, de una onda sinusoidal varía con respecto al tiempo. La modulación en frecuencia y en fase, son ambas formas de la **modulación angular**. La modulación angular fue introducida primero en 1931, como una alternativa a la modulación en amplitud.

Se sugirió que la onda con modulación angular era menos susceptible al ruido que AM, y que por lo tanto, podía mejorar las comunicaciones de radio.

En esencia, la diferencia entre la modulación en frecuencia y en fase está en cuál propiedad de la portadora (la frecuencia o la fase) está variando directamente por la señal modulante y cuál propiedad está variando indirectamente.

Siempre que la frecuencia de la portadora está variando, la fase también se encuentra variando, y viceversa. Por lo tanto, FM y PM, deben ocurrir cuando se realizan cualquiera de las formas de la modulación angular. Si la frecuencia de la portadora varía directamente de acuerdo con la señal modulante, resulta en una señal PM. Por lo tanto la FM directa es la PM indirecta y la PM directa es la FM indirecta.

La modulación en frecuencia y en fase pueden definirse de la siguiente manera:

**Modulación en frecuencia directa (FM).** Variando la frecuencia de la portadora de amplitud constante directamente proporcional, a la amplitud de la señal modulante, con una relación igual a la frecuencia de la señal modulante.

**Modulación en fase directa (PM).** Variando la fase de una portadora con amplitud constante directamente proporcional, a la amplitud de la señal modulante, con una relación igual a la frecuencia de la señal modulante.

La figura 2.9 muestra la forma de onda para una portadora sinusoidal para la cual la modulación angular está ocurriendo. La frecuencia y la fase de la portadora están cambiando proporcionalmente, con la amplitud de la señal modulante ( $V_m$ ). El cambio en la frecuencia ( $\Delta f$ ) se llama desviación de frecuencia y el cambio en fase ( $\Delta\theta$ ) se llama desviación en fase.

La desviación en frecuencia es el desplazamiento relativo de la frecuencia de la portadora en hertz y la desviación en fase es el desplazamiento angular relativo (en radianes), de la portadora, con respecto a una fase de referencia. La magnitud de la desviación de frecuencia y en fase es proporcional a la amplitud de la señal modulante ( $f_m$ ).

Siempre que el período ( $T$ ) de una portadora sinusoidal cambia, también cambia su frecuencia y, si los cambios son continuos, la onda ya no es una frecuencia sencilla. Se mostrará que la forma de onda resultante abarca la frecuencia de la portadora original; y un número infinito de frecuencias laterales desplazadas en ambos lados de la portadora por un número entero como múltiplo de la frecuencia de la señal modulante.

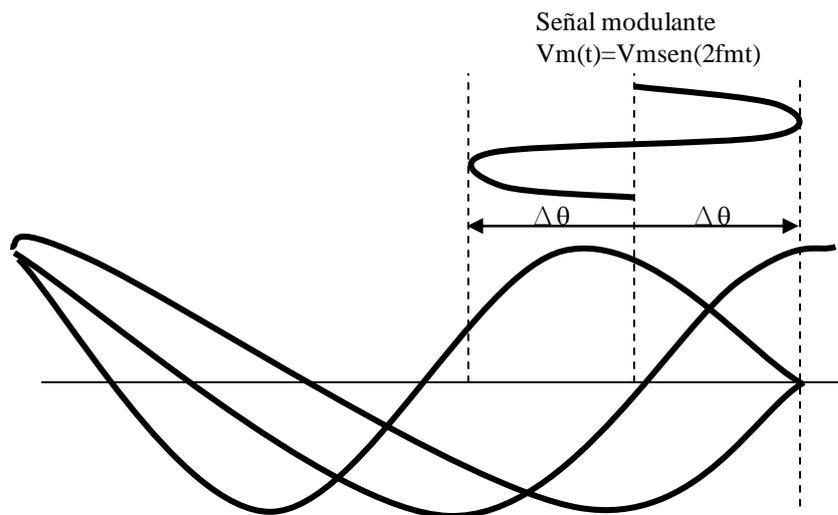


FIGURA 2.2: Frecuencia variante con el tiempo

#### 2.4.2. Ventajas de la Modulación en Amplitud y Modulación Angular

- La **modulación de amplitud** es una forma de modulación relativamente barata y de baja calidad de modulación que se utiliza en la radiodifusión de señales de audio y video.
- La **modulación de amplitud** también se usa para las comunicaciones de radio móvil de dos sentidos tal como una radio de banda civil (CB) (26.965 a 27.405 MHz).
- Existen varias ventajas en utilizar la **modulación angular** en vez de la modulación en amplitud tal como:
  1. La reducción del ruido

2. La fidelidad mejorada del sistema
3. El uso más eficiente de la potencia.

## **2.5.- Modulación en amplitud.**

### **2.5.1.- Introducción**

La información que queremos transmitir en el caso de la palabra o música tiene una frecuencia máxima de 20 kHz que está muy lejos de 1 MHz. Por otro lado, una onda pura de 1 MHz no puede transmitir información, como ya se ha visto. Por lo tanto, debemos de alguna forma “modificar” o modular la onda de 1 MHz para que transporte la información.

Como ya vimos anteriormente, hay tres parámetros que determinan la información transformada por una onda: su amplitud, fase y frecuencia. Si variamos la amplitud de la onda de alta frecuencia en la misma forma que varía la amplitud de la información de baja frecuencia, obtendremos una onda de 1 MHz transportando información en su amplitud. Esto se llama modulación en amplitud.

La figura 2.3 muestra la onda de información, llamada onda de señal, la onda de frecuencia, llamada onda portadora y la onda modulada, llamada onda de amplitud modulada (AM). Puede verse que la onda modulada es en efecto la onda de señal “cabalgando” sobre la onda portadora.

De la figura 2.3 puede verse que la onda de AM contiene la información en su envolvente, que es llevada por la onda portadora de alta frecuencia.

Por lo tanto la onda de AM permite transmitir información de bajas frecuencias a frecuencias muy altas, como fue requerido.

Desarrollaremos ahora las expresiones matemáticas que representan las señales de AM.

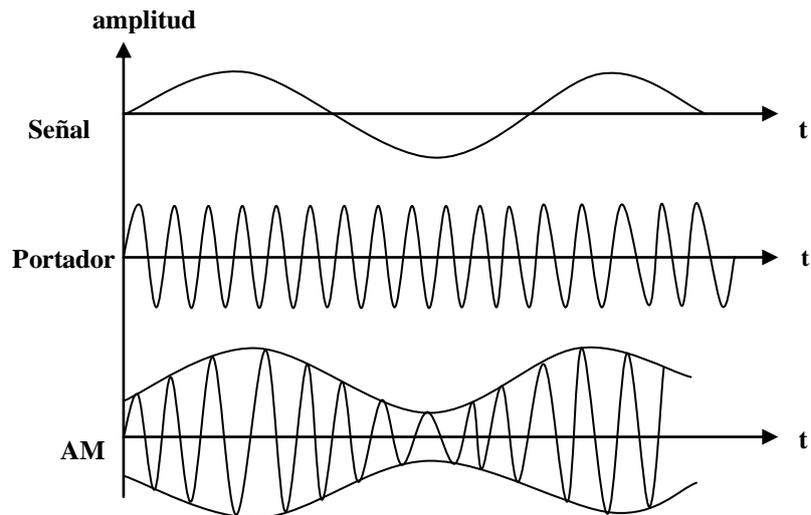


FIGURA 2.3: Ondas de señal, portadora y de AM

Por lo tanto la modulación de amplitud es de hecho un proceso de transmitir la señal de información a 2 frecuencias diferentes igualmente espaciadas alrededor de la frecuencia portadora.

1. Hay simetría respecto de la frecuencia portadora.
2. El ancho de banda requerido para transmitir una señal de AM es exactamente el doble del ancho de banda de la señal de información.

### 2.5.2. Moduladores AM y detectores

En este capítulo veremos como se produce la AM, como se recupera la información de la onda de AM y estudiaremos algunos circuitos prácticos.

Hay 4 métodos básicos para recuperar la amplitud de una onda portadora con una señal de información:

1. Multiplicación analógica
2. Conmutación
3. Modulación con dispositivos alineales

### Modulación de circuitos sintonizados

La información que queremos transmitir en el caso de la palabra o música tiene una frecuencia máxima de 20 kHz que está muy lejos de 1 MHz. Por otro lado la onda pura de 1 MHz no puede transmitir información, como ya se ha visto. Por lo tanto debemos de alguna forma “modificar” o modular la onda de 1 MHz para que transporte información.

Si la señal moduladora es una señal senoidal de frecuencia  $f_m$  y la onda portadora es de frecuencia  $f_p$  la expresión que representa la onda modulada es:

$$V_{AM}(t) = (V_p + V \cos \omega_m t) \cos \omega_p t = A(t) \cos \omega_p t \quad (2.1)$$

Donde:  $V_p$  - amplitud de la onda portadora

$V_m$  - amplitud de la onda de señal

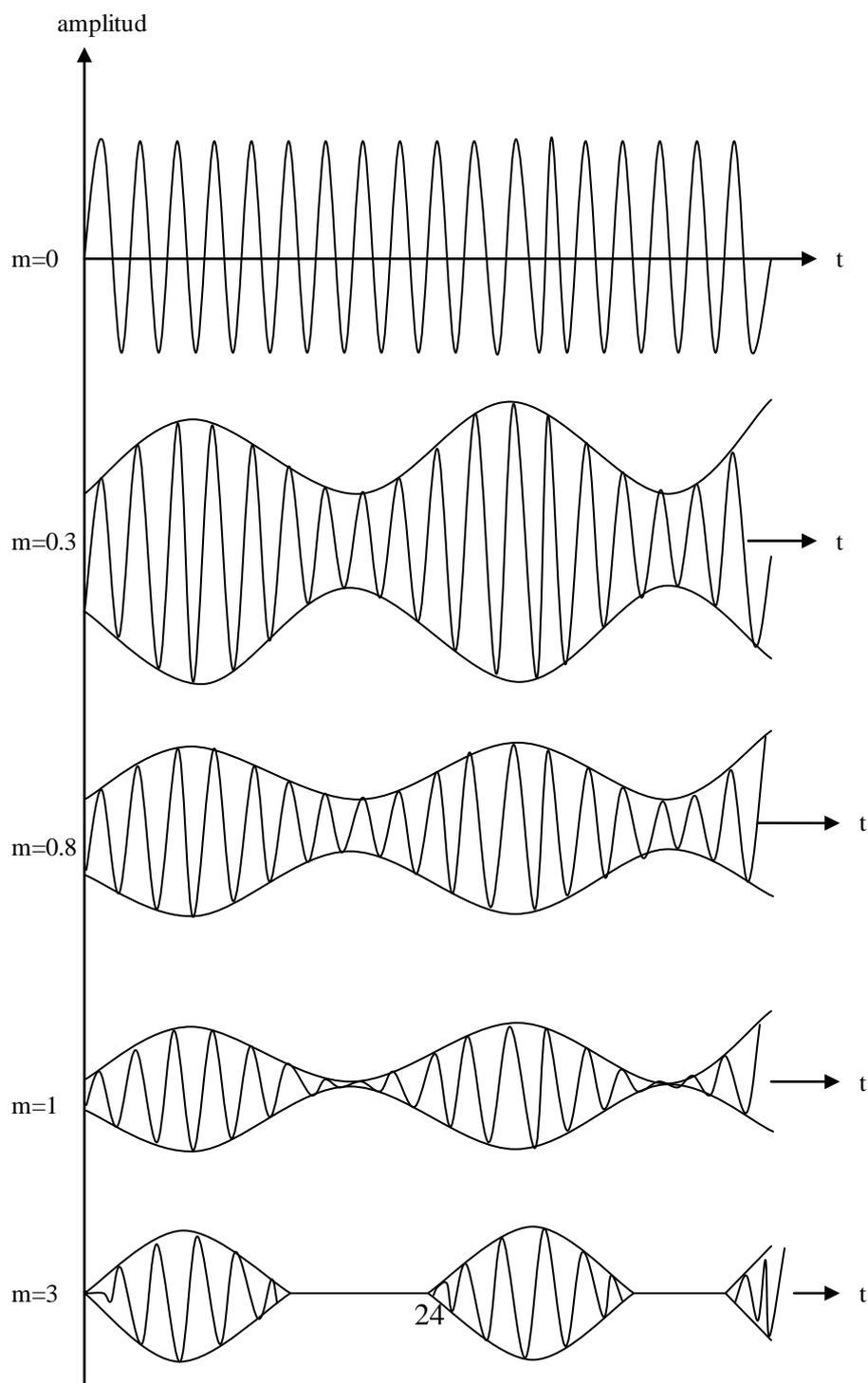
$\omega_p$  -  $2\pi * f_p$

$\omega_m$  -  $2\pi * f_m$

$$V_{AM}(t) = V_p(1 + V_m/V_p \cos \omega_m t) \cos \omega_p t = \underbrace{V_p(1 + m \cos \omega_m t)}_{A(t)} \cos \omega_p t \quad (2.2)$$

Donde:  $m = \frac{V_m}{V_p}$  se llama índice de modulación.

El índice de modulación muestra la relación entre la amplitud de la onda portadora original y la amplitud de la onda de señal. La figura 2.4 muestra ondas de AM con la misma frecuencia portadora y de señal pero con diferentes índices de modulación.



Como puede verse de las formas de onda, realmente son ondas AM aquellas en que  $m$  está entre 0 y 1. Para  $m > 1$  la envolvente de la onda no se parece más a la forma de onda de la señal. Cuando  $m$  se expresa en porcentajes se la llama porcentajes de modulación. Por ejemplo una AM con  $m = 0.3$  es modulada en 30%.

Usa un transistor de efecto de campo (FET) como multiplicador (figura 2.5). La corriente a través del FET es proporcional al producto de  $V_{DS}$  y  $V_{GS}$  y es convertida por el amplificador operacional en una tensión de salida.

La tensión de continua que debe agregarse a la señal [ $V_m(t)$ ] es suministrada por una batería (V).

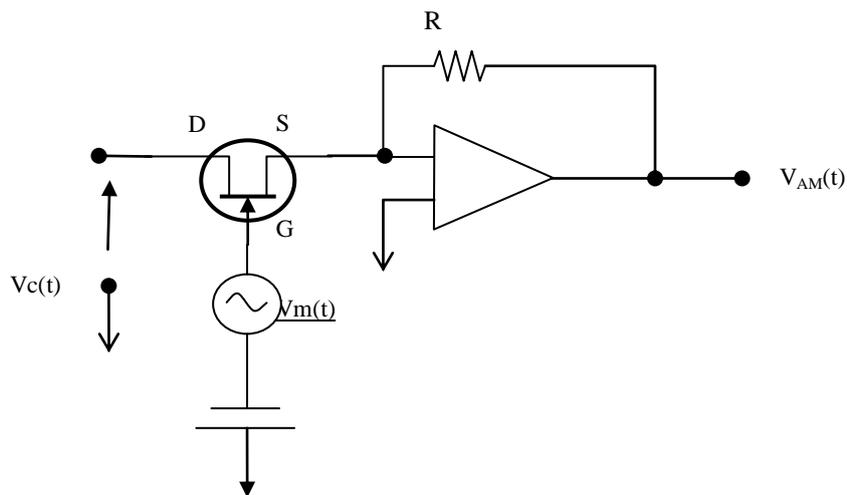


FIGURA 2.5: Multiplicador de FET operando como modulador analógico

### 2.5.3. Receptores de Radio AM.

Hay dos tipos básicos de receptores de radio: coherentes y no coherentes. Con un receptor coherente asíncrono, las frecuencias generadas en el receptor y utilizadas para la

demodulación se sincronizan para oscilar a frecuencias generadas en el transmisor (el receptor debe tener algún medio de recuperar la portadora recibida y de sincronizarse con ella). Los receptores no coherentes o asíncronos, o no se generan frecuencias en el receptor o las frecuencias utilizadas para la demodulación son completamente independientes de la frecuencia de la portadora del transmisor. Que veremos en la figura 2.6.

Hay una cantidad de parámetros que son de gran importancia para especificar receptores de AM. Ellos son:

<b>SENSIBILIDAD</b>	-El nivel de señal de entrada requerido para producir una cierta potencia de audio.
<b>SELECTIVIDAD</b>	- La capacidad del receptor de separar entre estaciones adyacentes
<b>RELACION SEÑAL / RUIDO (S/R)</b>	- La relación de la potencia de la señal a la salida, a la potencia de ruido a la salida.
<b>FIDELIDAD</b>	- La capacidad de reproducir la señal de información precisamente.

Veremos ahora como cada uno de esos parámetros es afectado por las distintas etapas del receptor.

### **2.5.3.1. Sensibilidad**

Básicamente la sensibilidad de un receptor mide la capacidad para recibir señales débiles y está determinada por la ganancia total del receptor, aunque la antena también juega un papel importante. La antena debe apuntarse en la dirección correcta para una recepción óptima de la señal transmitida, de lo contrario la potencia de señal de entrada del receptor será menor que la potencia disponible en el área del receptor.

La impedancia de la antena debe adaptarse a la impedancia de entrada del receptor para una máxima transferencia de potencia.

### **2.5.3.2. Selectividad**

Dado que la selectividad es la capacidad del receptor de diferenciar entre dos frecuencias adyacentes, está determinada por el ancho de banda total del receptor. El ancho de banda del receptor depende de los anchos de banda de los tres circuitos sintonizados del receptor superheterodino: el amplificador de RF, el mezclador y el amplificador de FI.

### **2.5.3.3. Relación S/R**

La relación señal ruido mide la pureza de la señal de salida del receptor, en otras palabras, la cantidad de ruido sumada a la señal de salida deseada. Para obtener un alta relación S/R deben existir 2 condiciones. La ganancia del receptor debe ser suficiente para producir la potencia de señal de salida adecuada, y el ruido introducido por el receptor propiamente dicho debe ser mínimo.

La cantidad de ruido introducido a la señal por el circuito que procesa la señal, se mide por la figura de ruido del circuito.

La figura de ruido (F) se define como:

$$f = \frac{(S/R)_{\text{salida}}}{(S/R)_{\text{entrada}}}$$

donde (S/R) salida es la relación S/R a la salida del circuito, mientras que (S/R) entrada es la relación S/R a la entrada del circuito. Si el circuito no agrega ningún ruido  $(S/R)_{\text{sal}} = (S/R)_{\text{en}}$  y la figura de ruido es igual a 1.

Cuanto más cerca a 1 es la figura de ruido mejor es el circuito y mejor es la relación S/R. Otro factor que afecta la relación S/R del receptor es la distorsión armónica de la señal del oscilador local. Si la señal del OL está distorsionada (no es una onda senoidal pura) la señal de FI será distorsionada y esto bajará la relación S/R.

#### **2.5.3.4. Fidelidad**

La fidelidad del receptor mide cuan cerca está la señal a la salida del receptor de la señal de información original. Depende de dos factores principales: el ancho de banda del receptor y de la linealidad del detector y de los amplificadores. Para obtener buena fidelidad el ancho de banda del receptor debe ser suficientemente ancho para permitir el paso de todas las componentes de frecuencia de la señal de información. Si algunas de las componentes de frecuencia son atenuadas, la fidelidad obviamente se verá reducida.

Como en el procesamiento de cualquier señal de audio la linealidad de los amplificadores es importante, dado que esto es lo que asegura una buena relación entre tonos fuertes y débiles. Puede verse que para obtener buena selectividad y buena fidelidad deben llenarse requisitos contradictorios. La selectividad exige un ancho de banda grande. Obviamente debe llegarse a un compromiso entre estas dos exigencias.

El receptor de radio recibe ondas electromagnéticas, las convierte en corriente eléctrica y luego separa la información de otras componentes (onda portadora, ruido, otras estaciones, etc.). Examinaremos las diferentes funciones que deben existir en un receptor de radio. Ante todo debe haber una antena – para convertir las ondas electromagnéticas en corriente eléctrica. Antenas externas vienen en todo tipo de formas y tamaños dependiendo de la frecuencia a la que tienen que operar y otros parámetros.

En la figura 2.6 se da el diagrama de bloques de un radio, cada bloque representa una función particular.

La antena se acopla al receptor al través del circuito de antena que puede ser simplemente un alambre o un circuito de acople complicado, dependiendo del tipo de receptor. Dado que la antena recibe un gran número de radio-frecuencias es necesario seleccionar la frecuencia deseada. Esto se hace en el sintonizador que puede ser un filtro pasabanda con una frecuencia central variable.

Las señales recibidas por la antena son frecuentemente débiles y deben ser amplificadas, para permitir la separación fácil de la información de la onda modulada. Esta

amplificación puede hacerse antes del sintonizador, después o en ambos lugares. En la figura 2.6 esto se hace después del sintonizador por el amplificador de radiofrecuencia (R.F.).

La información puede ahora ser detectada o en otras palabras la onda de radio puede ser demodulada. La señal resultante, que debe parecerse a la señal moduladora en el transistor se amplifica en un amplificador de audio y luego puede alimentarse con ella un altoparlante. Esta descripción básica es válida no sólo para receptores de AM sino para todos los tipos de receptores de radio (FM, BLU, etc).

#### **2.5.4. Circuito de Receptor superheterodino de AM**

Fue creado cerca de la Primera Guerra Mundial.. Aunque la calidad del receptor superheterodino ha cambiado enormemente, desde su diseño original, su configuración básica no ha cambiado mucho y aun se utiliza actualmente, para una gran variedad de servicios de radio comunicaciones. **Heterodino** significa mezclar dos frecuencias juntas a un dispositivo no lineal o trasladar una frecuencia a otra utilizando mezclas no lineales.

Esencialmente, hay 5 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. La figura 2.7 indica el diagrama en bloques de un receptor superheterodino de AM.

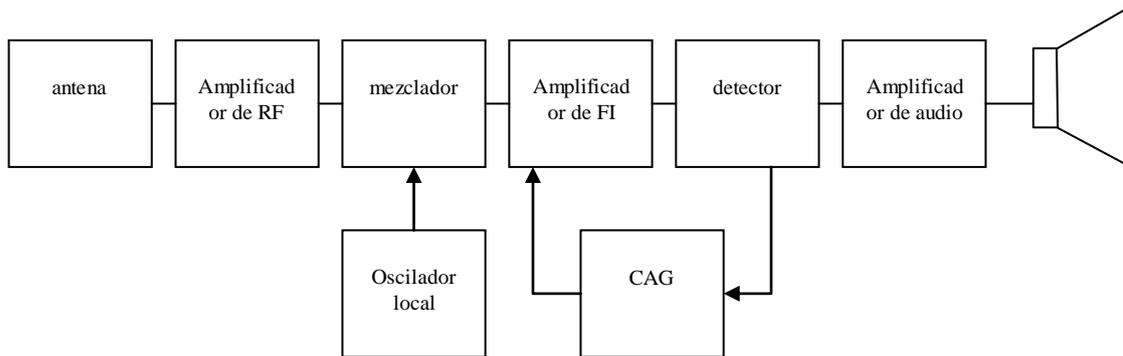


FIGURA 2.7: diagrama en bloques de un receptor superheterodino de AM

**Sección de RF.** Generalmente consiste de un preselector y una etapa de amplificador; pueden ser circuitos separados o un solo circuito combinado. El preselector es un filtro pasabanda de sintonización amplia con una frecuencia central ajustable, que se sintoniza a la frecuencia portadora deseada. El preselector proporciona suficiente limitación inicial de bandas para evitar que una frecuencia específica de radio indeseada, llamada *frecuencia imagen*, entre al receptor. El preselector también reduce el ancho de banda de ruido del receptor y proporciona la etapa inicial, para reducir el ancho de banda general del receptor el ancho de banda mínimo requerido para pasar las señales de información. El amplificador de RF determina la sensibilidad del receptor. Debido a que el amplificador de RF es el primer dispositivo activo que encuentra la señal recibida, es el primer contribuyente de ruido. Un receptor puede tener uno o más amplificadores de RF o puede no tener ninguno, dependiendo de la sensibilidad no deseada. Incluir amplificadores de RF tiene varias ventajas en un receptor que son:

1. Ganancia más grande, por lo tanto mejor sensibilidad
2. Mejor rechazo a la frecuencia imagen
3. Mejor relación de señal a ruido
4. Mejor selectividad

**Sección de mezclador / convertidor.** Incluye una etapa de oscilador de radiofrecuencia (llamada **oscilador local**) y una etapa de mezclador / convertidor (llamada el primer detector). El oscilador local puede ser cualquiera de los tipos de osciladores locales existentes, dependiendo de la estabilidad y la exactitud deseadas.

La etapa del mezclador es un dispositivo no lineal y su propósito es convertir radiofrecuencias a frecuencias intermedias (traslación de frecuencias de RF a IF). El heterodinaje se lleva a cabo en la etapa del mezclador y las radiofrecuencias se convierten a frecuencias intermedias. Es importante observar que, aunque la portadora y las frecuencias laterales superiores e inferiores cambian de frecuencia, el proceso de heterodinaje no cambia el ancho de banda. La frecuencia intermedia más común utilizada en los receptores de la banda de radiodifusión de AM es de 455 kHz.

**Sección de IF.** Es una serie de amplificadores de IF y filtros pasa-bandas a lo que se le llama *banda de IF*. La mayor parte de la ganancia y selectividad del receptor se logra en la sección 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 mayor que la de cualquiera de las señales de RF; la IF es siempre inferior a la frecuencia RF puesto que es más fácil y menos costoso construir amplificadores estables de alta ganancia para las señales de baja frecuencia.

**Sección de detector.** El propósito de esta sección es convertir nuevamente las señales de IF a la información de fuente original. El detector puede ser tan simple como un diodo o tan complejo como un circuito de fase cerrada o un demodulador balanceado.

**Sección de audio.** Abarca varios amplificadores de audio en cascada, y una o más bocinas. El número de amplificadores que se utilizan depende de la potencia deseada para la señal de audio.

#### **2.5.4.1. Operación.**

Durante el proceso de demodulación en un receptor superheterodino, las señales recibidas experimentan dos o más traslaciones de frecuencia: primero la RF se convierte en IF, luego la IF se convierte a la información fuente.

**Conversión de frecuencias.** En la etapa de mezclador / convertidor es idéntica a la conversión de frecuencias en la etapa de un demodulador de transmisor, excepto que en el receptor las frecuencias se convierten a frecuencia menor en lugar de frecuencia mayor. En el mezclador / convertidor, las señales de RF se combinan con la frecuencia del oscilador local en un dispositivo no lineal. La salida del mezclador contiene un número infinito de frecuencias armónicas y de productos cruzados, entre las frecuencias de la portadora de RF deseada y el oscilador local.

Los filtros de IF se sintonizan con las frecuencias de diferencia. El oscilador local está diseñado de tal forma que su frecuencia de oscilación siempre está por encima o por debajo de la portadora de RF deseada, por una cantidad igual a la frecuencia central de IF. Por lo tanto, la diferencia entre RF y la frecuencia del oscilador local es siempre igual a IF. El ajuste para la frecuencia central del preselector y el ajuste para la frecuencia del oscilador local están **sintonizados en banda** (la sintonización en banda significa que los dos ajustes están

mecánicamente unidos, para que un solo ajuste cambie la frecuencia central del pre-selector, y, al mismo tiempo, cambie la frecuencia del oscilador local)

## 2.5.5. Transmisión y Recepción de la Onda Portadora

### 2.5.5.1. Transmisión de onda portadora (CW).

Los puntos y rayas se envían transmitiendo trenes de impulsos de la portadora no modulada de dos diferentes largos; los cortos representan puntos y los largos rayas. De aquí el nombre de transmisiones por onda portadora.

Por lo tanto un transmisor de código Morse necesita solamente una llave y un generador de onda como la muestra la figura 2.8.

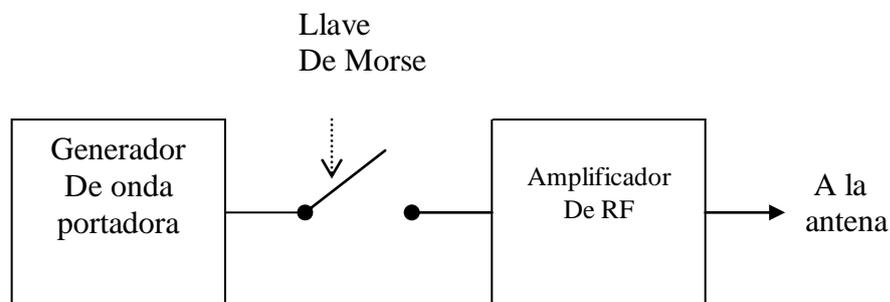


FIGURA 2.8: Diagrama de bloques de un transmisor de onda portadora

### Recepción de onda portadora (CW).

Un receptor superheterodino común con el agregado de un oscilador puede servir de receptor de CW. El principio es el siguiente: cuando se designa una portadora en el receptor,

se produce una onda sinusoidal de 455 kHz a la salida del amplificador de FI. Dado que el receptor es una red alineal, puede ser usado el mezclador, en otras palabras alimentando dos frecuencias distintas en el detector se producirán sus frecuencias suma y diferencia.

Si se alimenta un detector con una señal de 456 kHz además de los 455 kHz se producirá por la señal de CW entre las componentes de frecuencia habrá una de 1 kHz. Dado que el detector contiene un filtro pasabajos, solamente la señal de 1 kHz llegará a la etapa de audio. Esta señal de 1 kHz se producirá solamente cuando se recibe una transmisión de CW, dado que otros momentos no hay señal de 455 kHz a la salida del amplificador de FI.

Un diagrama de bloques del receptor de onda portadora se ve en la figura 2.9.

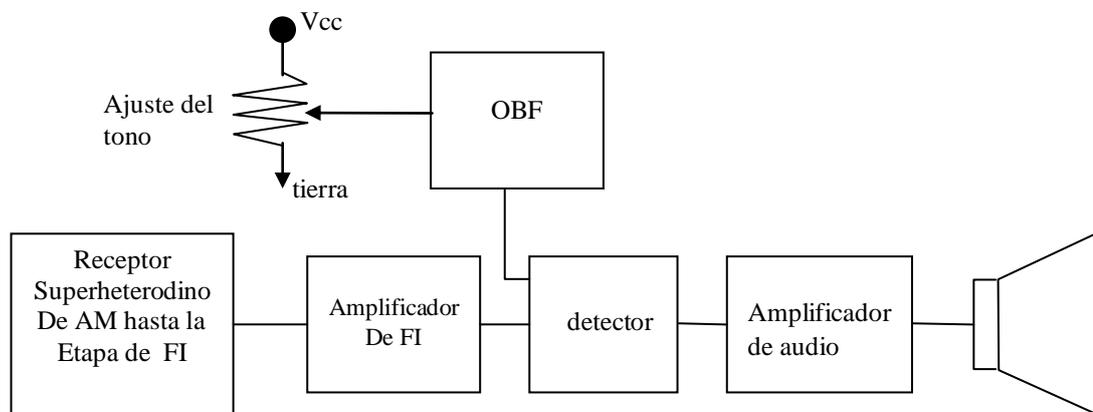


FIGURA 2.9: Diagrama de bloques de un receptor de onda portadora

## 2.6. Modulación en Frecuencia

### 2.6.1. Introducción

La ecuación 2.3 es la expresión general para una onda senoidal variante con el tiempo de voltaje tal como una portadora analógica. Tres propiedades de una onda senoidal pueden ser variadas: La amplitud ( $V$ ), la frecuencia ( $f$ ) y la fase ( $\theta$ ) o cualquier combinación de dos o más de estas propiedades; para este caso, si la frecuencia de la portadora varía proporcionalmente a la información de la fuente, resulta la frecuencia modulada (FM).

$$v(t) = V \text{ sen}(2\pi ft + \theta) \quad (2.3)$$

en donde:  $v(t)$  = onda de voltaje que varía senoidalmente en el tiempo

$V$  = máxima amplitud (volts)

$f$  = frecuencia (hertz)

$\theta$  = fase (radianes)

### 2.6.2. Modulación de Fase y de Frecuencia

La onda tiene otros parámetros fuera de su amplitud, estos son su fase y su frecuencia. En este capítulo trataremos métodos de modulación en los cuales la información está contenida en la fase o en la frecuencia de la onda portadora.

En el caso de la modulación de fase (PM) la fase  $\phi(t)$  es determinada por la señal de información según:

$$\phi(t) = K_P * V_m \cos \omega_m t \quad (2.4)$$

donde:

$V_m \cos \omega_m t$  - señal de información

$K_P$  - constante

### 2.6.3. Moduladores y Detectores de FM

Hay muchos métodos prácticos diferentes de modulación de frecuencia. Algunos son derivados de una ecuación diferencial cuyas soluciones son señales de FM, mientras otros implican la modulación de una onda cuadrada o triangular o el posterior filtrado del resultado a través de un filtro apropiado.

#### **Moduladores de FM.**

Este modulador utiliza el método que usa un oscilador controlado por tensión (VCO).

Un VCO es un circuito oscilatorio cuya frecuencia de oscilación está determinada por una tensión o corriente de cc o ac de baja frecuencia. Un modo de obtener un VCO es reemplazar el condensador en el circuito resonante de un oscilador por un diodo de capacidad variable (VVC) cuya capacidad es una función de la tensión que se aplica.

Si en vez de controlar la frecuencia con una tensión de cc se conecta una señal de baja frecuencia al VVC, la frecuencia del oscilador variará de acuerdo a la señal de baja frecuencia y obtendremos una señal de FM.

## **Limitadores.**

Un detector de AM necesita recuperar la forma de la envolvente de la onda de AM. Un demodulador de FM por otro lado debe recuperar la información de la frecuencia y fase de la onda FM y debe ignorar las variaciones de la amplitud. Por desventaja, la mayoría de los demoduladores de FM demodulan AM a una cierta proporción y dado que la envolvente de una onda de FM es afectada siempre por ruido, alinealidad de etapas amplificadoras, etc., estas variaciones de amplitud pueden ser detectadas y aparecerán en la salida como ruido o distorsión.

La mayoría de los receptores de FM incluyen un circuito que elimina las variaciones de amplitud de la envolvente antes de efectuar la detección misma. Este circuito se llama limitador.

El limitador no es un circuito separado sino que forma parte integral de los amplificadores de FI.

En la figura 2.11 se muestran las características de un limitador ideal. En el limitador ideal, cualquier señal de entrada es convertida en una señal de salida de amplitud constante.

En un limitador real, la amplitud de la señal de entrada debe encontrarse por encima de un cierto nivel – el umbral de limitación..

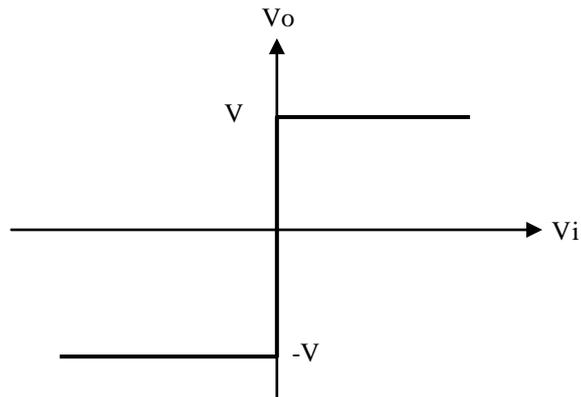


FIGURA 2.11: Características de un limitador ideal

Cuando el voltaje de entrada es menor que el voltaje de saturación del diodo (0.7 V para diodos de silicio) los diodos actúan básicamente como resistencias y el voltaje de salida sigue al voltaje de entrada.

Cuando crece el voltaje de entrada por encima del voltaje de saturación ( $V_D$ ), el voltaje de salida está limitado a  $V_D$ . Entonces este limitador opera bien, sólo para señales de entrada mayores que  $V_D$ .

En la figura 2.12 se muestra un limitador que posee un umbral de limitación mucho menor.

La señal de entrada  $v_e$  conmuta los dos transistores de la etapa diferencial ( $Q_1 - Q_2$ ). Cuando uno de los transistores está saturado, el otro está en corte. Es cuando en este estado el voltaje de salida está determinado por la corriente provista por el transistor fuente  $Q_3$  (el mismo que es constante) y la resistencia  $R_2$ , y no es función del voltaje de entrada. Por lo tanto el circuito funciona como un limitador dinámico y también puede amplificar la señal de entrada.

Ya que el circuito amplifica además de limitar, puede servir como parte del amplificador de FI si es que se agregan circuitos resonantes a la entrada y la salida.

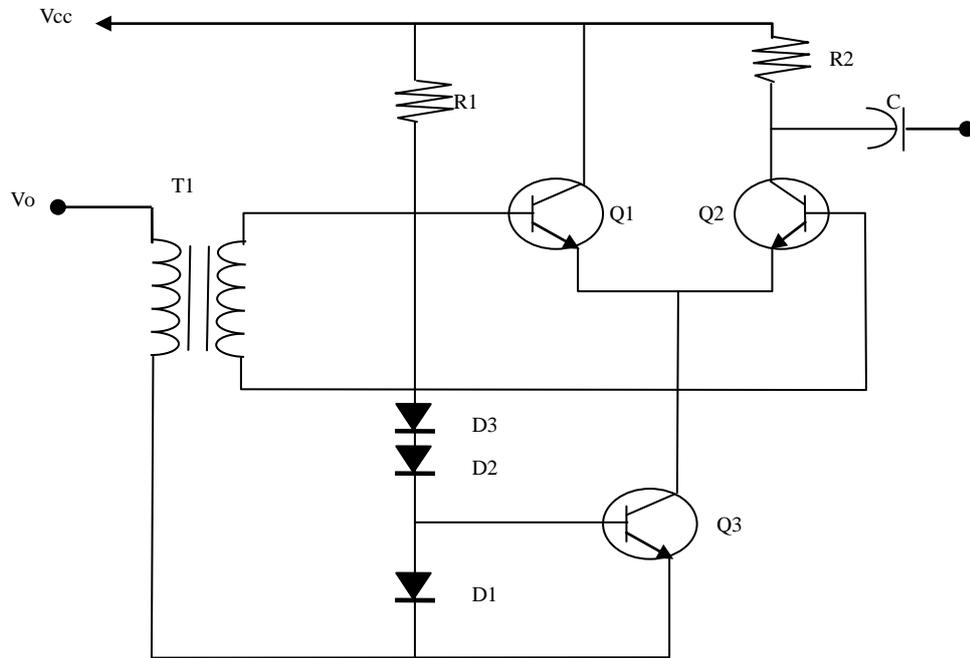


FIGURA 2.12: Circuito limitador mejorado

### Demoduladores de FM.

Estos utilizan en su mayoría una técnica descrita en la figura 2.13. La señal de FM con amplitud limitada es diferenciada y la señal resultante se pasa por un detector de envolvente.

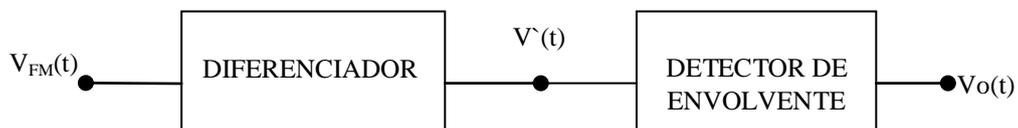


FIGURA 2.13: El principio de demodulación de FM por diferenciación

Existen tres métodos de diferenciación de una señal de FM:

- Diferenciación directa

- Diferenciación en el dominio de frecuencia
- Diferenciación con retardo de tiempo

### Diferenciación directa.

En la figura 2.14 se da un ejemplo de un demodulador de FM que usa diferenciación directa. El condensador  $C_1$  es el elemento de diferenciación. El emisor de  $Q_1$  está conectado a tierra para la c.a. a través del diodo  $D_1$  y la juntura base-emisor del transistor. Sólo cuando  $I_c$  está en la dirección mostrada en la figura 2.14, circula a través del transistor. Este circuito opera como un rectificador de media onda.  $R_1$  y  $C_2$  filtran la onda rectificada y la salida es por lo tanto la señal de información requerida.

Este demodulador tiene la desventaja de distorsionar la señal de salida ya que los diodos ( $D_1$  y B-E de  $Q_1$ ) no son ideales y por lo tanto el condensador  $C_1$  no es un diferenciador ideal.

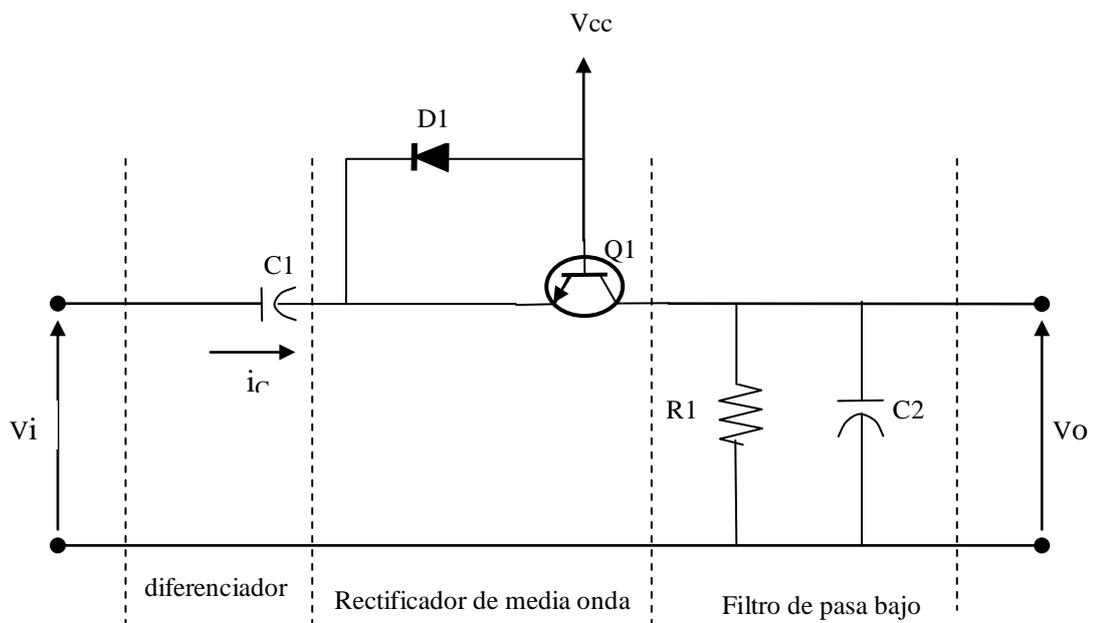


FIGURA 2.14: Demodulador de FM con diferenciación

## Demoduladores de dominio de frecuencia.

Es un circuito lineal, cuya función de transferencia tiene la forma mostrada en la figura 2.15. Se puede demostrar que cualquier circuito con una función de transferencia similar opera como un diferenciador en un rango de frecuencia alrededor del centro de la pendiente lineal. Un ejemplo de esta técnica mostrada en la figura 2.15.

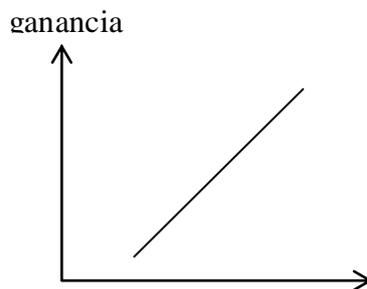


FIGURA 2.15: Función de transferencia de un diferenciador en el dominio de la frecuencia

## Diferenciación con retardo de tiempo.

En la figura 2.16 se muestra el diagrama en bloques del circuito en mención. El retardo  $t_0$  debe ser pequeño en comparación con las variaciones de  $v(t)$ .

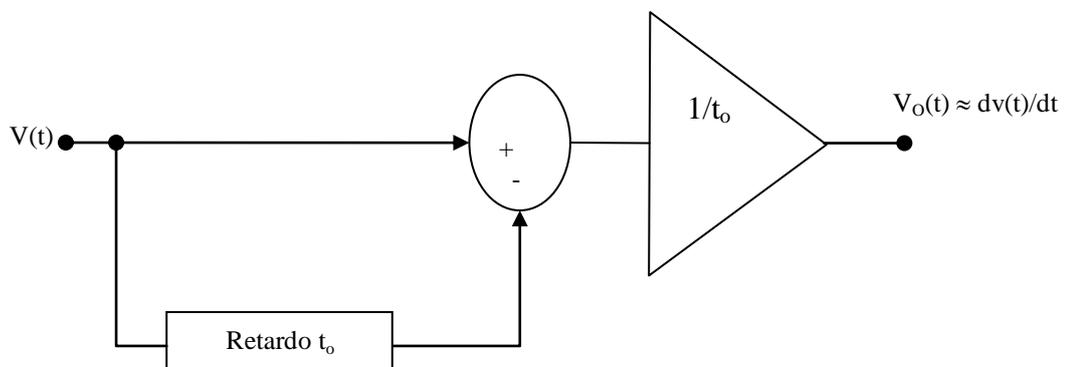


FIGURA 2.16: Diagrama en bloques de un diferenciador con retardo de tiempo

Ya que el retardo de tiempo puede verse como un desplazamiento de fase, la misma operación puede ser ejecutada por un circuito defasador.

#### **2.6.4. Circuitos Receptores de FM Superheterodinos**

Dado que los principios de un receptor superheterodino son los mismos, ya sean en un receptor AM o FM, trataremos sólo aquellos componentes que son distintos a los componentes equivalentes en el receptor de AM superheterodino (figura 2.6).

**Oscilador local y CAF.** El oscilador local es básicamente un oscilador variable. Su diferencia del receptor de AM es que el control de frecuencia automático controla el nivel medio de voltaje de salida del detector, ya que la causa principal de la variación de este nivel es la variación de frecuencia de la estación transmisora o del oscilador local; en tanto que el CAF debe asegurar que el receptor permanezca fijado a la frecuencia transmitida. Por lo tanto el CAF debe controlar la frecuencia del oscilador local.

Esto significa que el oscilador local debe ser un oscilador controlado por algún parámetro preferentemente voltaje (VCO). Ya que un VCO es controlado por un voltaje de c.c., puede ser controlado por el voltaje de CAF del detector.

El circuito que produce el voltaje de control debe permitir la variación de la frecuencia del oscilador local cuando el receptor es sintonizado a una frecuencia particular y cuando el CAF funciona.

En la figura 2.17 se muestra un circuito de control posible. Este es un filtro pasabajos que es necesario para estabilizar el lazo de CAF; que recibe dos voltajes de entrada: del potenciómetro de sintonía  $P_1$  y de la salida del detector.

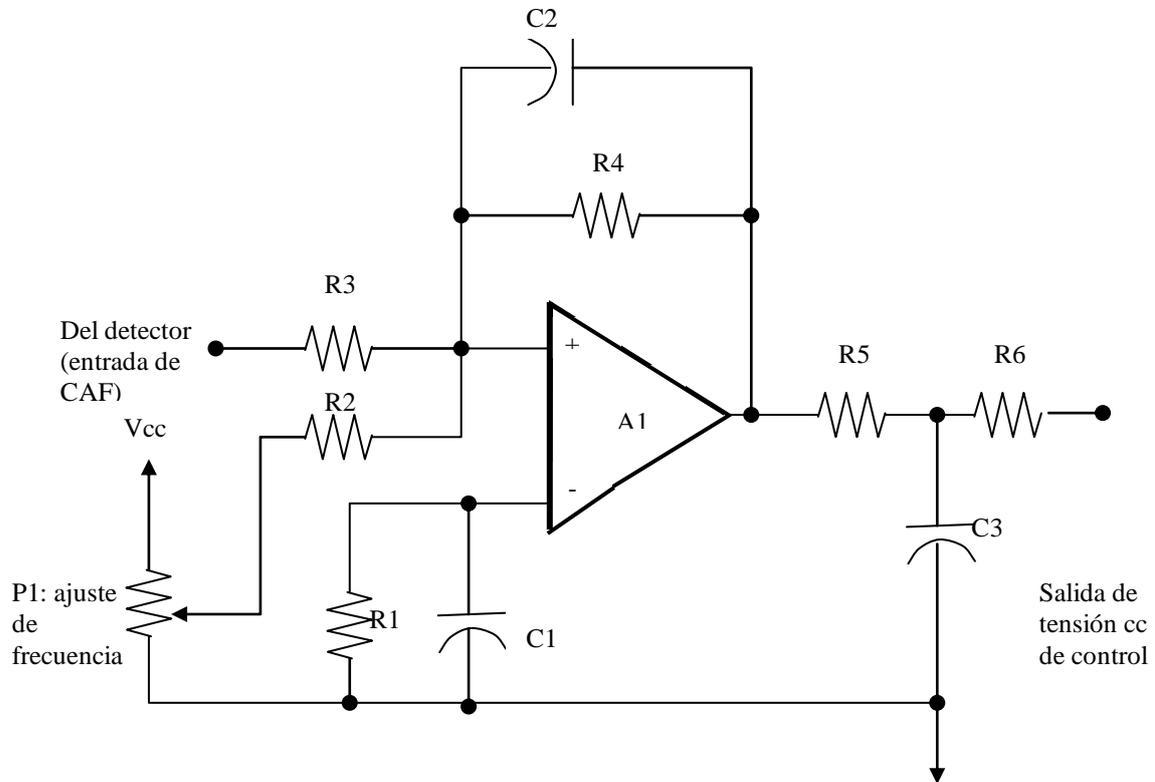


FIGURA 2.17: Circuito de control para el oscilador local

Una de las desventajas del circuito de CAF es que si deseamos sintonizar el receptor a una frecuencia distinta el CAF tratará de mantener el oscilador local a la misma frecuencia y esto puede causar que la sintonía parezca floja.

**Amplificador de FI y limitador.** El amplificador de frecuencia intermedia (FI) en un receptor de FM es fundamentalmente distinto del amplificador de FI de un receptor de AM. Las características del amplificador de FI en lo que respecta a la frecuencia de sintonía y ancho de banda, prácticamente son los mismos que en AM; la diferencia fundamental radica

en la amplificación. El amplificador de FI no necesita ser lineal y en realidad cuando realiza la operación de limitación debe ser no lineal.

Existen muchos tipos de amplificadores de FI en el caso de AM pero nos limitaremos a un ejemplo usando un circuito integrador. En la figura 2.18 se muestra una etapa de FI única.

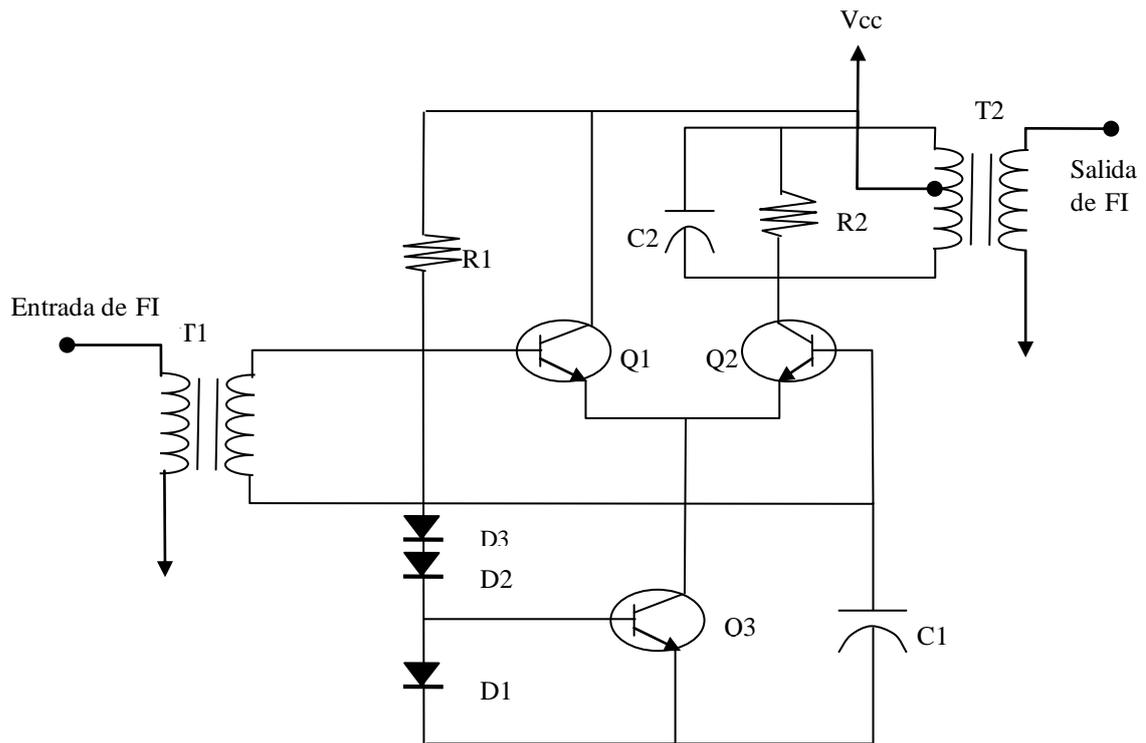


FIGURA 2.18: Etapa de amplificador de FI para FM basada en un circuito integrado.

## 2.7. Circuitos de Comunicación en BLU

### 2.7.1. Introducción

Existen dos tipos básicos de modulación analógica: modulación de amplitud (MA) y modulación de fase (MF). Nos referimos solamente a la primera.

La ventaja más sobresaliente de la MA son los circuitos relativamente simples que se necesitan para producirla y para detectarla. La mayor desventaja de la MA es su pobre rendimiento de potencia, el cual es en el mejor de los casos de 25% de la potencia transmitida que contiene información esencial, mientras que la onda portadora, que no tiene información, posee por lo menos un 50% de la potencia transmitida. Si eliminamos el componente de la onda portadora de la señal de MA mejoramos el rendimiento en un factor de dos. Esto es banda lateral doble (BLD) o modulación con portadora suprimida.

Como su nombre lo indica, BLD contiene dos bandas laterales idénticas desplazadas en frecuencia. Si transmitimos una de las bandas laterales, transmitimos solamente la información deseada y por lo tanto el rendimiento es máximo. Esto es llamado banda lateral única (BLU).

La banda lateral única se reconoció y comprendió matemáticamente a comienzos de 1914, sin embargo, hasta 1923 se otorgó la primera patente y se estableció con éxito un enlace de comunicaciones entre Inglaterra y Estados Unidos. Hay muchos tipos de circuitos de comunicaciones de banda lateral única. Algunos conservan el ancho de banda, algunos conservan la potencia y algunos conservan ambos.

### **2.7.2. El Modulador Balanceado**

#### **El mezclador – fundamentos y circuitos**

El mezclador es un elemento alineal que multiplica las señales de entrada con el objeto de obtener una señal de salida compuesta de

frecuencias distintas de aquellas presentes en la señal de entrada. Esto puede conseguirse mediante cualquier dispositivo alineal. (Un dispositivo alineal es aquel en el que la corriente es una función alineal de la tensión).

Los mezcladores pueden ser clasificados según la relación entre las frecuencias de entrada y de salida.

El mezclador es representado normalmente como un dispositivo de tres puertas. En la mayoría de las aplicaciones el mezclador tiene dos entradas y una salida. Por lo general la señal en una de las entradas es de potencia mucho menor que la señal en la otra entrada. Las frecuencias en las dos entradas se denominan  $f_1$  y  $f_2$  mientras que la frecuencia de salida se llama  $f_s$ , en la figura 2.19 se muestra el símbolo del mezclador.

Algunos de los diferentes nombres asignados al mezclador, según su aplicación particular, y la relación entre las frecuencias en sus puertas.

A. Cuando la frecuencia  $f_1$  es mucho menor que la frecuencia  $f_2$  y  $f_s$  es del mismo orden de magnitud que  $f_2$ , el mezclador es llamado MODULADOR;  $f_1$  es llamada frecuencia moduladora,  $f_2$  es la frecuencia portadora y  $f_s$  es la frecuencia modulada.

B. Cuando tanto  $f_1$  como  $f_2$  son frecuencias mucho mayores que  $f_s$ , el mezclador actúa como conversor de frecuencia. En este caso  $f_1$  es la señal

de RF (Radio Frecuencia),  $f_2$  es la señal de OL (Oscilador local) y  $f_s$  es la señal de FI (Frecuencia intermedia).

C. Cuando las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  están muy cerca una de la otra y la frecuencia  $f_s$  es muy baja, el circuito es llamado generalmente detector o demodulador;  $f_1$  es normalmente FI del receptor,  $f_2$  es la frecuencia de un oscilador cercano a la frecuencia de la FI y  $f_s$  es la señal deseada que ha sido detectada. Este tipo de detector es denominado por lo general “Detector de producto”.

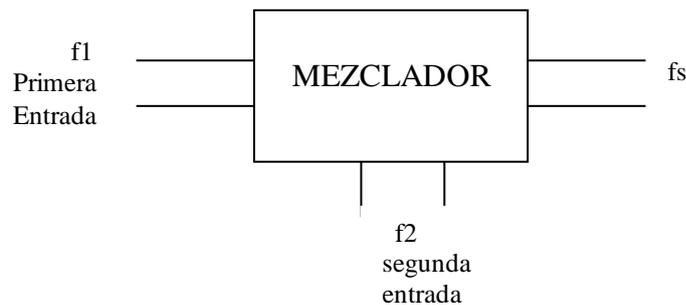


Figura 2.19: Símbolo del mezclador en diagrama en bloque

La clasificación anterior es un poco artificial debido a que las definiciones están basadas en relaciones de frecuencia, las que no siempre son fáciles de determinar.

El modulador balanceado y el detector de producto. En ambos casos  $f_2$  es generado en un circuito interno por lo que es una señal mucho más fuerte que  $f_1$ .

Como se mencionó anteriormente, un mezclador puede realizarse mediante dispositivos alineales, entre los cuales el más común es el diodo. Es así que nos limitaremos a circuitos realizados mediante diodos.

Comenzaremos analizando el funcionamiento del diodo como mezclador, cuando es alimentado con dos señales,  $f_1$  y  $f_2$ .

La señal del oscilador local y la señal de RF pasan por filtros pasa – banda (que aparece en los circuitos sintonizados en la figura 2.20 mientras que la señal de FI sale a través de un circuito sintonizado a la frecuencia  $f_s = f_1 - f_2$ .

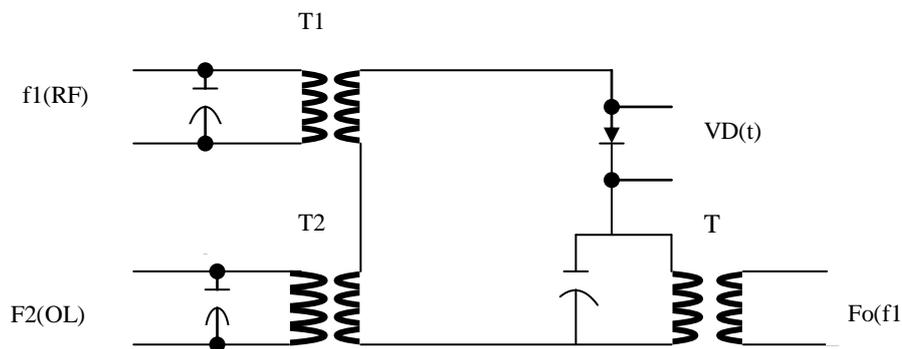


Figura 2.20: Mezclador diódico fundamental.

### Modulador de puente balanceado

La operación del modulador de puente, al igual que el modulador de anillo balanceado, depende completamente de la acción de conmutación de los diodos D1 y D4, bajo la influencia de los voltajes de la portadora y de la señal modulante. De nuevo, el voltaje

de la portadora controla la condición de activado o desactivado de los diodos y, por lo tanto, debe ser de manera apreciable más grande que el voltaje de la señal modulante.

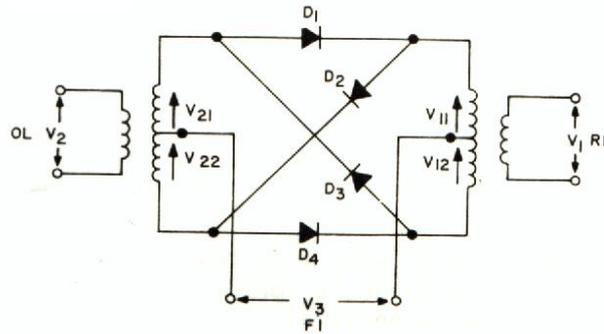


Figura 2.21: El modulador de anillo balanceado.

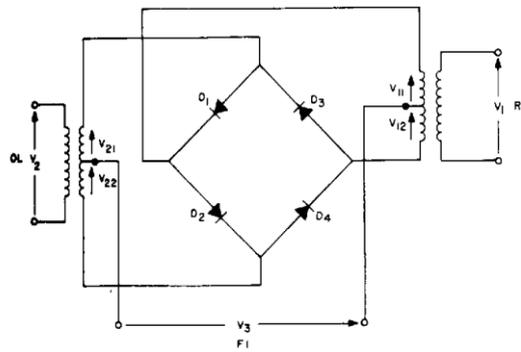


Figura 2.22: El modulador balanceado en una configuración distinta.

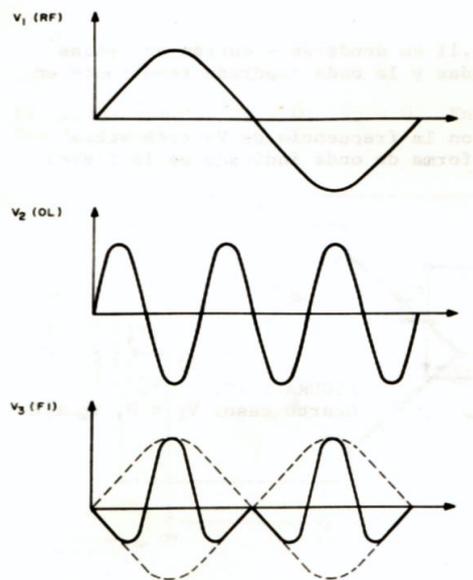


Figura 2.23: Funcionamiento del modulador balanceado con señales de entrada sinusoidales

## **Ventajas del modulador balanceado**

Una de las ventajas del modulador balanceado es la aislación relativa entre la salida y las entradas. Esto es debido a que en ningún momento la salida esta conectada directamente a alguna de las entradas y la corriente que circula a través de la carga (es decir, entre los terminales de salida) se debe a la diferencia de tensiones entre las entradas de RF y del OL y por lo tanto a la diferencia entre sus frecuencias, como se demostró anteriormente. Otro factor que ayuda a la aislación es que las frecuencias de RF y del OL son comúnmente mucho mayores que la frecuencia FI por lo que un circuito sintonizado a la salida de la FI bloqueara la mayoría de las frecuencias de entrada.

### **2.7.2.1. Propiedad del modulador balanceado**

El modulador balanceado, como un tipo de mezclador, en principio debe transformar la potencia de una cierta frecuencia a una potencia de otra frecuencia, utilizando una fuente adicional de potencia. Por esta razón es importante conocer la perdida de conversión del circuito.

La perdida de conversión está definida como la potencia de salida de la FI dividida por la potencia de RF expresada en de Cibeles (dB). En los mezcladores diódicos la ganancia de potencia es siempre menor que uno. En moduladores balanceados de alta calidad la perdida de conversión es de alrededor de 6 dB. Para alcanzar una transferencia de potencia óptima, las impedancias de entrada y de salida del modulador deben tener ciertos valores específicos (en otras palabras, deben estar adaptadas).

La impedancia de un terminal se define como la relación entre la tensión y la corriente en el terminal a una frecuencia particular.

En un modulador real, estas impedancias dependen también de la potencia absorbida del oscilador local. Esta potencia es un parámetro que debe ser conocido a fin de diseñar el circuito del oscilador local. Normalmente, cuando mayor potencia se toma del OL mejor es la pérdida de conversión, aunque también es posible obtener buenos resultados con el modulador funcionando en rangos de potencia menores.

Debido a que el modulador balanceado es un dispositivo alineal que realiza transformaciones de frecuencia, pueden aparecer respuestas espurias. Una respuesta espuria es el resultado de transformar una señal de entrada indeseada a la frecuencia intermedia.

El proceso de producción de frecuencias espurias se llama "Ínter modulación y puede resultar en un exceso de ruido y señales indeseadas a la salida. La ínter modulación sucede cuando los diodos no están apareados como así también debido a que no son interruptores ideales. Es importante usar diodos apareados a fin de balancear perfectamente al modulador, reduciendo consecuentemente la ínter modulación. La única manera de evitar totalmente la ínter modulación es bloquear todas las frecuencias indeseadas. La ínter modulación puede ser reducida utilizando mas de cuatro diodos en el modulador, lo que aumenta el costo y la potencia suministrada por el oscilador local mientras que se agrega mas ruido a la señal de salida.

En un modulador ideal no existe la segunda armónica del OL pero en los circuitos reales sí existe y puede ser bastante fuerte (en la realidad aparece a menudo a la salida del

modulador). La relación de la señal espuria a la señal deseada decrece con el nivel de la señal de entrada pero en muchos casos es necesario tener grandes señales de entrada.

Mientras la potencia del OL sea mucho mayor que la potencia de RF existe poca interferencia en el funcionamiento del modulador, pero si las potencias del OL y de RF tienen magnitudes del mismo orden, el modulador no funciona correctamente. Por lo tanto, en la mayoría de los casos, la máxima potencia de RF permisible para el funcionamiento lineal del modulador balanceado es un parámetro importante.

### **Funcionamiento del modulador balanceado como detector**

Cuando las señales de entrada del modulador tienen frecuencias próximas entre sí, el circuito actúa como detector. La señal de salida es entonces una tensión de C.C. o de una frecuencia igual a la diferencia entre las señales de entrada.

Si las frecuencias de entrada son exactamente iguales, la salida será una tensión de C.C. proporcional a la diferencia de fase entre las dos señales. Si la frecuencia y la fase de las señales de entrada son exactamente iguales, la tensión de salida será proporcional a la amplitud de la tensión de entrada. Esto significa que el modulador balanceado puede funcionar como detector de AM, con ambas entradas alimentadas por la misma señal de AM.

### **2.7.3. Modulación en banda lateral única (BLU)**

Existen dos tipos básicos de modulación analógica: modulación de amplitud (AM) y modulación de fase (FM). Nos referimos solamente a la primera.

La ventaja mas sobresaliente de la AM son los circuitos relativamente simples que se necesitan para producirla y para detectarla. La mayor desventaja de la AM es su pobre rendimiento de potencia, el cual es en el mejor de los casos de 25% de la potencia transmitida que contiene información esencial, mientras que la onda portadora, que no tiene información, posee por lo menos un 50% de la potencia transmitida. Si eliminamos el componente de la onda portadora de la señal de AM mejoramos el rendimiento en un factor de dos. Esto es banda lateral doble (BLD) o modulación con portadora suprimida. Como su nombre lo indica, BLD contiene dos bandas laterales idénticas desplazadas en frecuencia. Si transmitimos una de las bandas laterales, transmitimos solamente la información deseada y por lo tanto el rendimiento es máximo. Esto es llamado banda lateral única (BLU). Otra ventaja de la BLU es que el ancho de banda requerido es menor que la mitad del requerido por AM o por BLD por lo que es posible utilizar filtros de banda pasante más angosta en los circuitos, lo cual reduce la cantidad de ruido y mejora la relación señal a ruido.

La desventaja de la BLU es el hecho de que la frecuencia portadora debe ser reproducida en el receptor a fin de demodular la señal, para lo que es necesario un circuito más caro y medianamente complejo. A fin de contrarrestar esta desventaja, a menudo se transmite una señal piloto a la frecuencia de la portadora, conjuntamente con la señal de BLU.

### **Modulación de BLU**

A fin de obtener BLU debemos suprimir la frecuencia portadora y una de las bandas laterales. En el caso de una onda moduladora exclusivamente sinusoidal, el espectro puede obtenerse de la figura 2.19 y se muestra en la figura 2.24.

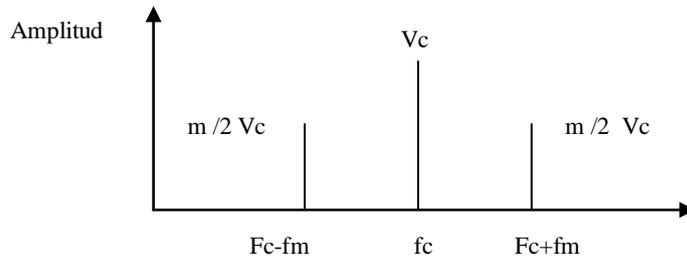


FIGURA 2.24: Espectro de Frecuencias de la onda de AM

En el caso de una señal moduladora compleja, el espectro contiene solamente una de las bandas laterales (inferior o superior) tal como se muestra en la figura 2.25.

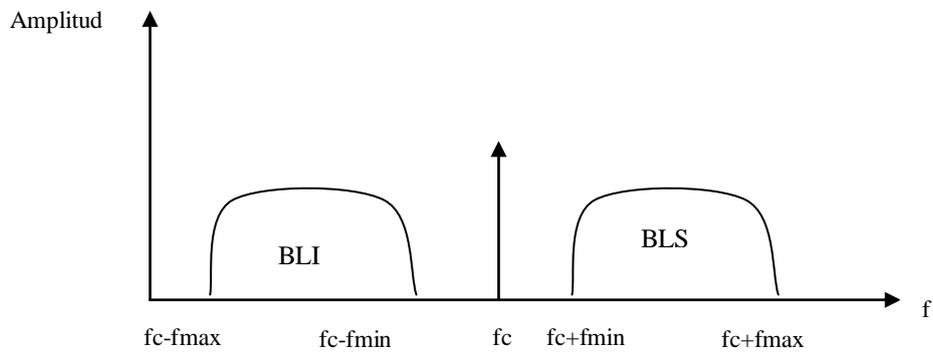


Figura 2.25: Espectro de la onda de AM con señal de modulación compleja

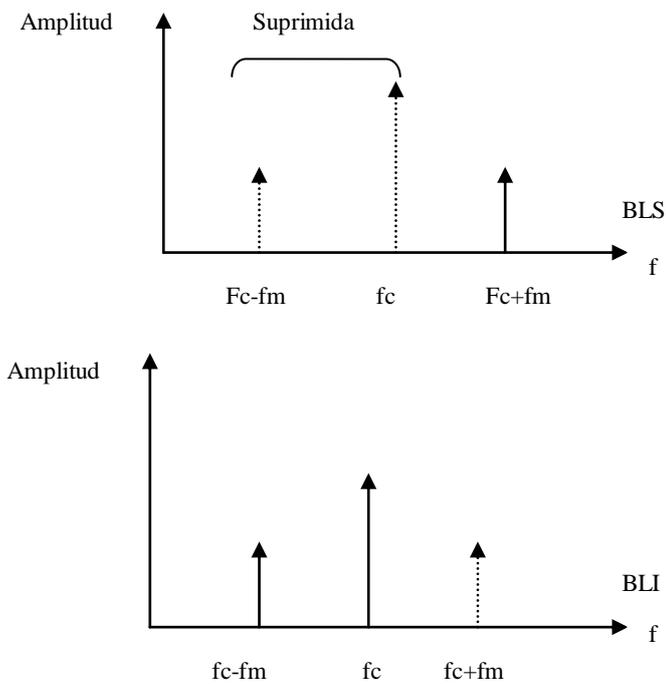


Figura 2.26: Espectro de BLU para una señal moduladora sinusoidal pura.

Existen dos métodos básicos para la obtención de BLU:

1. Método de filtro
2. Método de defasaje

### **Método de filtro**

En este método se utiliza un filtro pasa-banda a fin de suprimir las componentes de frecuencia indeseadas. Si se utiliza un modulador balanceado la señal de salida no contiene el componente de la onda portadora, por lo tanto solo se debe suprimir una banda lateral.

La frecuencia de la portadora,  $f_c$ , y la frecuencia moduladora  $f_m$  son alimentadas en el modulador balanceado de la figura 2.22. La salida del modulador contiene dos frecuencias,  $f_c + f_m$  y  $f_c - f_m$ . El filtro pasa-banda elimina una frecuencia y deja una sola banda lateral. El ancho de banda del filtro debe ser lo suficientemente ancho para contener toda la banda de frecuencias de una banda lateral y debe atenuar fuertemente todas las frecuencias restantes.

La diferencia de frecuencias entre las dos bandas laterales es el doble de la frecuencia moduladora.

La BLU es utilizada principalmente para la transmisión de la voz humana cuyo rango de frecuencias es aproximadamente de 70 Hz a 5000 Hz, pero si se transmite en el rango de 300 Hz a 3400 Hz no hay mayor pérdida de claridad (este es en realidad el rango de frecuencias transmitidas por líneas telefónicas).

Esto facilita el diseño del filtro pasa bandas ya que la banda pasante es de  $f_c + 300$  Hz hasta  $f_c + 3400$  Hz, un ancho de banda de 3100 Hz (el mismo ancho de banda necesario para la banda lateral inferior. En la figura 2.28 se muestra el espectro de las bandas laterales y del filtro pasa banda en el caso de modulación de BLS.

La atenuación requerida fuera de la banda pasante debe ser de por lo menos 40 dB a fin de asegurar una supresión adecuada de la portadora y de la segunda banda lateral. Aunque teóricamente la onda portadora no debe llegar a la salida del modulador balanceado, en la practica aparece una pequeña señal que debe ser atenuada por el filtro.

Los filtros LC no cumplen con estos requisitos por lo que comúnmente son utilizados filtros mecánicos para el rango de frecuencias de 100 a 500 kHz y filtros de cristal para el rango de 100 kHz a 5 MHz.

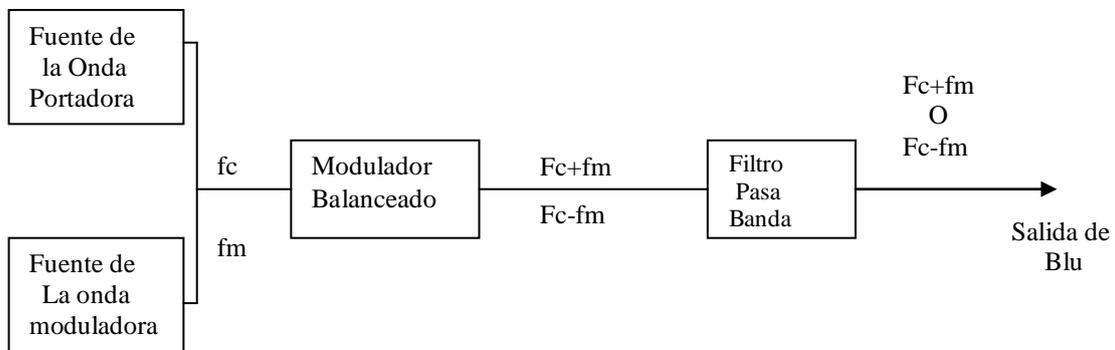


Figura 2.27: método de filtro par la obtención de BLU

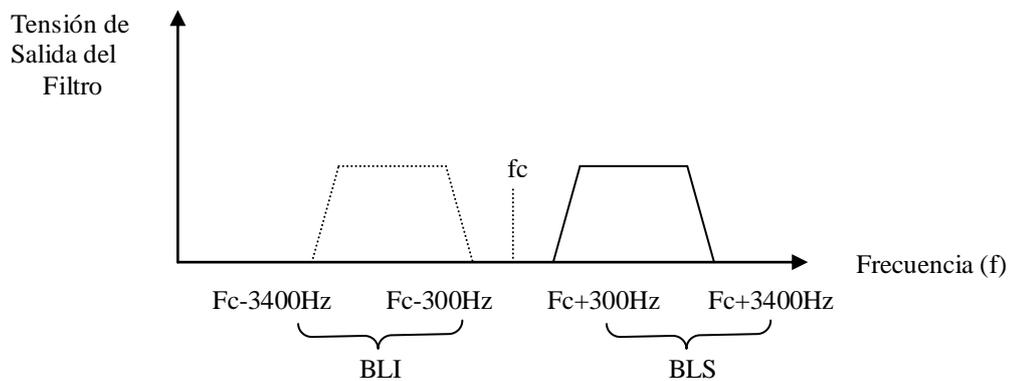


Figura 2.28: Espectros de BLU de banda lateral y filtro para modulación en BLS

## **El filtro mecánico**

Un filtro mecánico trabaja según el principio de resonancia mecánica. Recibe una señal de entrada eléctrica y la convierte en vibraciones mecánicas, que están fuertemente amortiguadas para frecuencias indeseadas y luego convierte las vibraciones nuevamente en señal eléctrica.

El filtro esta compuesto por cuatro partes principales (ver figura 2.29):

1. Transductor de entrada
2. Resonador mecánico
3. Transductor de salida
4. Imanes de polarización de los transductores

El transductor de entrada hace vibrar los discos mientras que el transductor de salida recibe las vibraciones del resonador de discos. Existen dos clases diferentes de transductores: electro-mecánicos y piezoeléctricos\*.

En los transductores electro-mecánicos un campo magnético varía la longitud de una barra, transfiriendo por lo tanto el movimiento a los discos. El campo magnético varía de acuerdo a la señal de entrada la que es alimentada en la bobina del imán. El imán polarizador fija el punto de trabajo del imán (ver figura 2.29).

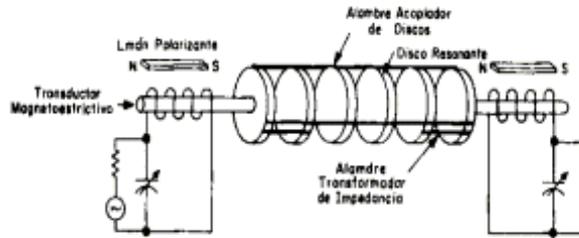


FIGURA 2.29: Filtro mecánico típico

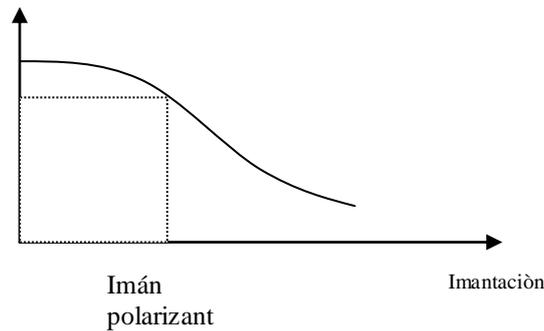


Figura 2.30: longitud de la barra en función de la imantación

El transductor piezoeléctrico funciona de una manera similar. La señal de entrada produce vibraciones mecánicas en el cristal piezoeléctrico, las que son transferidas al disco resonante. El ultimo disco esta conectado a un segundo transductor piezoeléctrico que produce la señal de salida.

Cuanto mayor es el número de discos, mejor es la selectividad del filtro. La selectividad esta expresada por el "factor de forma", definido por la relación del ancho de banda del filtro a 60 dB de atenuación, al ancho de banda a 6 dB de atenuación (esta en la pendiente del filtro en circuitos LC, medida en dB/ década). En los filtros mecánicos se puede obtener un factor de forma de 1,2.

El ancho de banda del filtro ésta determinado por el diámetro de los alambres de acoplamiento y puede variar de 500Hz a 50Hz. La principal desventaja de los filtros

mecánicos, además de su costo relativamente elevado, es que su frecuencia central se fija durante su fabricación y no puede ser cambiado.

El ancho de banda del filtro esta determinado por el diámetro de los alambres de acoplamiento y puede variar de 500 Hz a 50 kHz. La principal desventaja de los filtros mecánicos, además de su costo relativamente elevado, es que su frecuencia central se fija durante su fabricación y no puede ser cambiada.

### **El filtro de cristal**

El filtro de cristal esta compuesto fundamentalmente por cuatro cristales conectados en un puente como se muestra en la figura 2.31. El análisis de este circuito es demasiado complicado como para ser desarrollado aquí, pero el principio básico es que la tensión de salida es cero cuando el puente no esta balanceado. El puente esta balanceado solamente para una estrecha banda de frecuencias. Las señales de estas frecuencias pasaran de la entrada a la salida.

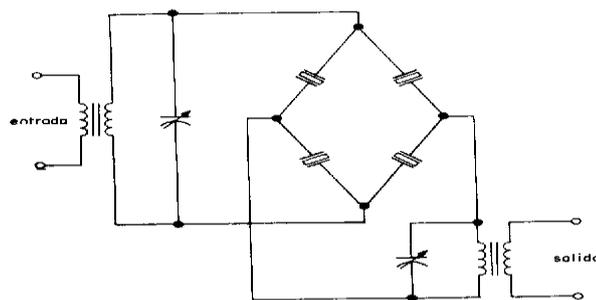


Figura 2.31: Un filtro de cristal típico.

### **Método de defasaje**

En el método anterior la banda lateral indeseada se bloqueaba mediante un filtro. En este método es eliminada mediante un proceso que involucra defasadores y modulador balanceado. (Ver figura 2.32).

Se utilizan dos moduladores balanceados (A y B). Dos señales de onda portadora se defasan en  $90^\circ$  entre ellas mediante la red defasadora C.

Por lo tanto la onda portadora a la entrada del modulador A es:  $V_{CA} = V_1 \cos \omega t$ , mientras que la onda portadora a la entrada del modulador B es:  $V_{CB} = V_1 \sin \omega t$

Con el objeto de simplificar la explicación, la onda moduladora será una onda sinusoidal pura. Por lo tanto la señal moduladora aparecerá a la entrada del modulador B desfasada  $90^\circ$  en relación a la señal moduladora a la entrada del modulador A.

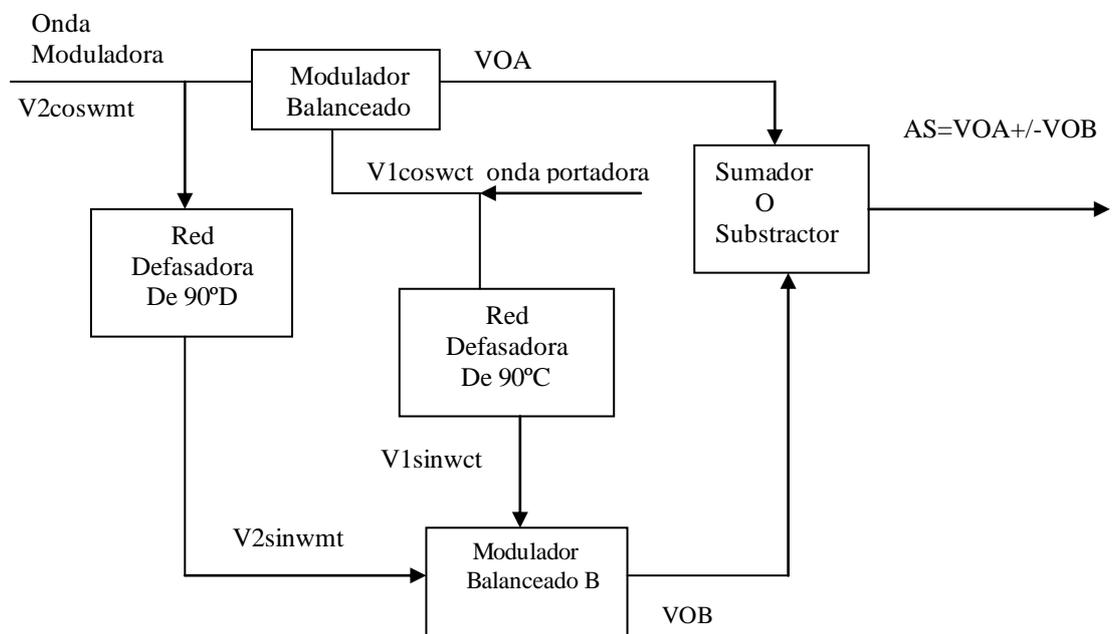


Figura 2.32: Método de desfasaje para producir BLU

Este método no se ... debido a las siguientes razones:

- a. El modulador debe estar perfectamente balanceado a fin de bloquear totalmente la frecuencia portadora.
- b. El defasador debe funcionar dentro de un amplio rango de frecuencias manteniendo constante la atenuación y produciendo un defasaje exacto de  $90^\circ$ . Esto es fácilmente realizable para la onda portadora, cuya frecuencia es constante, pero la onda moduladora varía en frecuencia.
- c. El modulador balanceado debe tener la misma sensibilidad, tanto para la onda portadora como para la moduladora. Esto exige una simetría excepcional en los circuitos.

Para la realización de los circuitos es necesario un diseño muy exacto y muy buena calibración. Debido a cualquier variación en los parámetros de los circuitos, las señales de modulación y la portadora aparecerán a la salida, produciendo la banda lateral indeseada.

Las ventajas del método de defasaje son su costo relativamente bajo comparado con el método de filtro y sus aplicaciones adicionales. Por ejemplo, una onda AM puede ser producida en el circuito si se desconecta un modulador balanceado.

Hemos analizado los dos métodos más comunes para la producción de ondas de BLU. Otra posibilidad es la de hacer pasar la onda portadora en el transmisor a través de dos mezcladores. En primer lugar la onda portadora es modulada con la información y luego la banda lateral superior es atenuada. La onda modulada es nuevamente modulada con la información adicional y luego la banda lateral inferior es atenuada. Si se combina la salida

de los dos mezcladores, la misma portadora tiene dos bandas laterales diferentes y cada una contiene información distinta (por ejemplo dos conversaciones).

Cada banda lateral será detectada separadamente en el receptor y se recuperarán las informaciones de las dos señales. Este sistema de modulación se llama Banda Lateral Independiente (BLI). En este método se necesita solamente un transmisor para ambas bandas laterales y se utiliza el mismo ancho de banda necesario para la transmisión en AM de una sola señal de información.

### **Demodulación de BLU.**

Un receptor de BLU es similar a un receptor común de AM y se diferencia de el solamente en los circuitos detectores. La señal de BLU no puede ser detectada por un detector de envolvente, como el detector diódico. Esto es debido a que la onda de BLU, modulada por una señal sinusoidal pura de frecuencia  $f_m$ , posee una sola frecuencia,  $f_m + f_c$  por lo que un detector diódico producirá una salida constante de c.c. Si se cambia la frecuencia de modulación no habrá variación en la tensión de salida.

En la transmisión de BLU, debido a que no hay onda portadora, es imposible de conocer la diferencia de frecuencia entre la banda lateral y la onda portadora original, es decir, nos falta información sobre la frecuencia de la portadora. Si el receptor capta una señal de BLU a  $f_o = 1010$  kHz, la frecuencia de la portadora puede ser  $f_c = 1000$  kHz y la frecuencia de la moduladora  $f_m = 10$  kHz, o la frecuencia de la portadora puede ser  $f_c = 1005$  kHz y la frecuencia de la moduladora  $f_m = 5$  kHz. En realidad, la única información que tenemos es que  $f_o = f_c + f_m$ .

La detección se realiza matemáticamente multiplicando la señal recibida por la frecuencia original de la portadora. Este tipo de detección se llama detección de producto.

Un detector de producto tiene dos entradas y una salida que da una señal proporcional al producto de las señales de entrada.

Por lo tanto la salida consiste en la suma de dos señales, una es la señal moduladora y la otra es de frecuencia relativamente alta  $2f_c + f_m$ . Haciendo pasar la señal de salida a través de un filtro pasa bajos, la componente de alta frecuencia es atenuada y queda solamente la señal deseada.

Una condición necesaria para este método de detección es la producción exacta de la frecuencia de la portadora. Debido a que la salida del modulador balanceado es básicamente el producto de sus entradas, este es usado en la mayoría de los receptores de BLU.

Luego de filtrada la señal de salida estará desplazada en frecuencia con respecto a la señal de información correcta. Esto es llamado distorsión de frecuencia. Es evidente que si la onda portadora reproducida no es idéntica en frecuencia y en fase a la onda portadora original, la señal de información será distorsionada.

Si hay solamente distorsión de fase, todos los componentes de frecuencia de una onda de información (por ejemplo habla) tendrán el mismo defasamiento. Debido a que el oído humano no es sensible a variaciones de fase, la distorsión de fase no produce inconvenientes en la transmisión del habla en BLU. Si hay distorsión de frecuencia, todas las componentes de frecuencia de la onda de información estarán desplazadas por la misma diferencia de

frecuencia. Si la desviación de frecuencia fuese proporcional a la frecuencia de la componente, producirá solamente un cambio en el tono del sonido. Pero debido a que el desplazamiento de frecuencia es el mismo para todos los componentes de frecuencia, el habla se hace ininteligible. Se sabe por experiencia que un desplazamiento de la frecuencia de hasta 50 Hz no distorsiona demasiado al habla, pero si la frecuencia de la portadora es 1 MHz, a fin de obtener una exactitud de  $\pm 10$  Hz, la estabilidad del oscilador debe ser mejor que 10 partes en un millón. Esto aumenta enormemente el costo del equipo de BLU. En algunos casos se transmite una onda portadora piloto conjuntamente con la señal de BLU a fin de facilitar la reproducción de la frecuencia de la portadora, lo que puede ser realizado con un lazo de fijación de fase (Phase Lock Loop), por ejemplo. La onda piloto esta atenuada 20 dB en relación con la banda lateral. Esto disminuye ligeramente las ventajas de la BLU debido a que "desperdicia" algo de potencia en transmisión sin información, pero simplifica el equipo y reduce su costo.

### **Transmisores de BLU**

El principal componente del transmisor de BLU es el circuito generador de BLU. En la figura 2.33 se muestra el diagrama en bloques del transmisor de BLU según el método básico de filtro.

La señal moduladora se amplifica y se limita a un ancho de banda específico (que es de 300 a 3400 Hz en el caso del habla). La señal es entonces mezclada con la onda portadora en un modulador balanceado. A la salida del mezclador aparecen las dos bandas laterales (las ondas moduladora y portadora son muy atenuadas). La banda lateral deseada es amplificada y transmitida a través de una antena

Como se mencionó anteriormente, la desventaja del método es que la frecuencia central del filtro no puede ser cambiada.

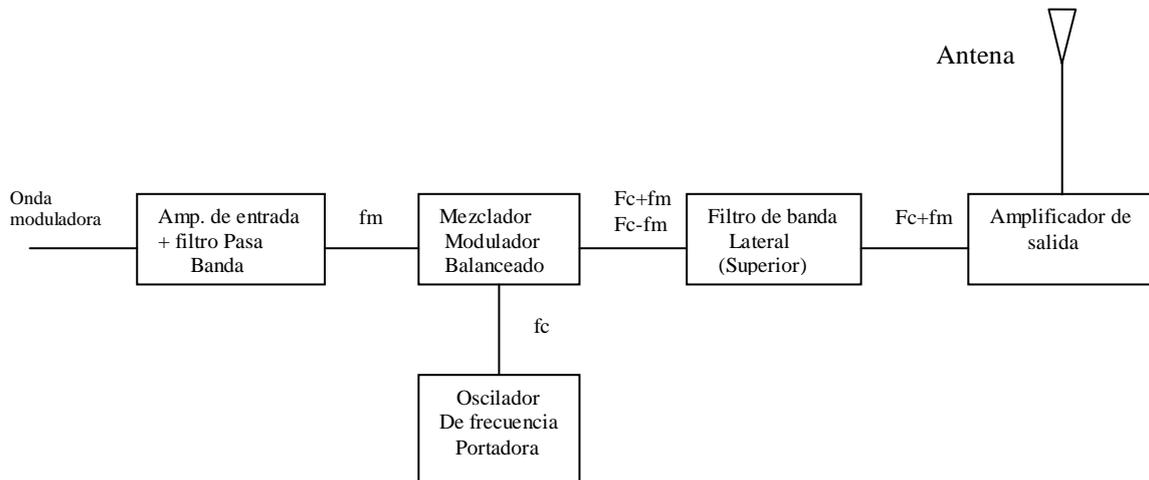


Figura 2.33: diagrama en bloques del transmisor básico de BLU.

### **Ventajas de la transmisión**

Hay cuatro ventajas predominantes de la transmisión de la banda lateral única con portadora suprimida o reducida sobre la transmisión de doble banda lateral con portadora completa.

### **Conservación del ancho de banda**

La transmisión de la banda lateral sencilla requiere de la mitad del ancho de banda, que la transmisión de doble banda lateral de la AM convencional. Esta es especialmente importante, hoy en día, con un espectro de frecuencias de radio que ya está saturado.

## **Conservación de potencia**

Con una transmisión de banda lateral sencilla, solo se transmite una banda lateral y normalmente una portadora suprimida o reducida. Como resultado, se necesita mucho menos potencia total transmitida para reducir esencialmente la misma cantidad de la señal que se logra en la transmisión de doble banda lateral con portadora completa. En consecuencia, se pueden utilizar transmisores más pequeños y más confiables con banda lateral sencilla.

## **Desvanecimiento selectivo**

Con la transmisión de la doble banda lateral, las dos bandas laterales y la portadora pueden propagarse a través del medio de transmisión por diferentes trayectorias y, por lo tanto, pueden experimentar diferentes deterioros en la transmisión. Esta condición se llama desvanecimiento selectivo. Un tipo de desvanecimiento selectivo se llama desvanecimiento de la banda lateral. Con el desvanecimiento de la banda lateral se atenúa significadamente. Esta pérdida resulta en una amplitud de la señal reducida de la salida del demodulador de receptor y consecuentemente una relación de la señal o ruido reducido a -3dB. Esta pérdida causa algo de distorsión, pero no es totalmente perjudicial para la señal, porque las dos bandas laterales contienen la misma información.

La forma más común y más grave de desvanecimiento selectivo es el desvanecimiento de la amplitud de la portadora. La reducción del nivel de la portadora, de una onda 100% modulada, hará que el voltaje de la portadora sea menor que la suma del vector de las dos bandas laterales. En consecuencia, la envolvente asemeja una envolvente sobre modulada, causando una distorsión severa de la señal de modulada.

La tercera causa del desvanecimiento selectivo es un desplazamiento en fase en la banda lateral o de la portadora. Cuando cambian las posiciones relativas de los vectores de la banda lateral o de la portadora de la señal recibida, ocurrirá un cambio definitivo en la forma de la envolvente, causando una señal demodulada severamente distorsionada.

Cuando se transmite sólo una banda lateral y una portadora reducida o totalmente suprimida, el desplazamiento de fase de la portadora y el desvanecimiento de la portadora no pueden ocurrir, y el desvanecimiento de la banda lateral sólo cambia la respuesta de la amplitud y la frecuencia de la señal demodulada. Estos cambios no producen generalmente suficiente distorsión para ocasionar pérdida de inteligibilidad con la señal recibida. Con la transmisión de banda lateral única, no es necesario mantener una relación de amplitud o fase específica entre las señales de la portadora y de la banda lateral.

### **Reducción de ruido**

Debido a que el sistema de banda lateral sencilla utiliza sólo la mitad del ancho de banda que la AM convencional, la potencia de ruido térmico se reduce a la mitad del sistema de doble banda lateral. Tomando en cuenta la reducción del ancho de banda y la inmunidad al desvanecimiento selectivo, los sistemas gozan de una ventaja en la relación de  $s/n$  aproximada a los 12 dB sobre la AM convencional (o sea, un sistema convencional de AM tiene que transmitir una señal más potente que 12dB, para alcanzar el mismo rendimiento que un sistema comparable de banda lateral sencilla).

### **Desventajas de la transmisión de la banda lateral única**

Existen dos desventajas principales de la transmisión de banda lateral única con portadora reducida o suprimida en comparación con transmisión convencional de doble banda lateral con portadora completa.

### Un receptor de BLU

La frecuencia del OL en un receptor de AM no influye en la distancia entre la onda portadora y las bandas laterales. Pero en un receptor de BLU cualquier variación de la frecuencia del OL producirá distorsión de la señal de información. Por esta razón los receptores de BLU poseen sintetizadores de frecuencia para la determinación de la frecuencia del OL. Otra exigencia de los receptores de BLU es la alta selectividad de la etapa de FI, lo que se obtiene comúnmente mediante filtros mecánicos en la primera etapa del amplificador de FI. El diagrama en bloques de la figura 2.34 nos indica un receptor de BLU.

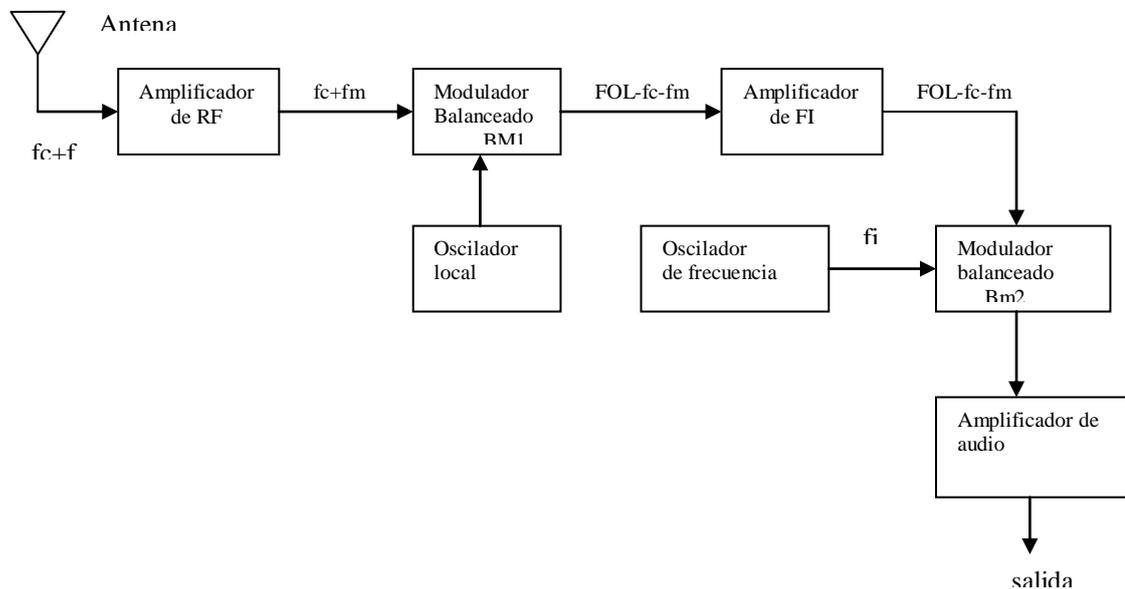


Figura 2.34: diagrama en bloques de un receptor de BLU

### Dificultades de sintonización

Los receptores de banda lateral única requieren una sintonización más compleja y precisa que los receptores de AM convencionales.

Esto es indeseable para el usuario normal. Esta desventaja puede superarse utilizando unos circuitos de sintonización más precisos, complejos y costosos.

#### **2.7.4. BLU compatible con AM**

La modulación en BLU no se utiliza comúnmente en radiodifusión comercial, debido al alto costo del equipo comparado con el usado en AM.

Las principales razones del alto costo son la necesidad de reproducir exactamente la frecuencia portadora en el receptor y los métodos de filtrado relativamente caros (filtros mecánicos). Además el transmisor debe tener una frecuencia muy estable lo cual es otro factor que aumenta el costo.

Los fundamentos principales de la BLU compatible con AM son:

- a. El ancho de banda requerido no es mayor que para BLU. El ancho de banda transmitido es de  $f_c$  a  $f_c + f_{max}$ ; donde  $f_{max}$  es la máxima frecuencia moduladora. Por lo tanto, el ancho de banda del receptor es la mitad del ancho de banda de un receptor de AM. Esto disminuye el ruido en 3 dB (50%) y por lo tanto mejora la relación señal-a-ruido en 3 dB.
- b. La potencia transmitida esta repartida entre la portadora y una banda lateral, contrariamente a AM, donde la potencia esta repartida entre la portadora y las dos bandas laterales. Por lo tanto, la potencia efectiva es mayor que en AM pero menor que en BLU.

- c. Debido a que se transmite una onda portadora, no es necesario reproducirla en el receptor por lo que no son necesarios los circuitos precisos y la estabilización adicional requeridos en el receptor de BLU, reduciendo así el costo del equipo.
- d. Otra ventaja de tener una onda portadora es que se puede utilizar su amplitud para hacer funcionar un control automático de ganancia (CAG).
- e. La BLU compatible con AM puede ser detectada con un detector de envolvente.
- f. La ventaja más importante de la BLU compatible con AM es que puede ser recibida tanto por receptores de BLU como por receptores de AM. Los receptores de AM utilizan detección de envolvente mientras que los detectores de BLU no tienen en cuenta la componente de la portadora, ya que esta fuera de su rango de frecuencia, y detectan la banda lateral remanente.

La BLU compatible con AM puede utilizar la banda lateral superior o la banda lateral inferior, pero la primera es la mas común.

Evidentemente un receptor de BLU compatible con AM puede recibir transmisiones comunes de AM pero entonces la mitad del ancho de banda se desperdicia, desde el punto de vista de la BLU compatible con AM.

## **CAPITULO III**

### **REQUERIMIENTOS TÉCNICOS GENERALES**

#### **3.1. Reparación de Instalaciones Eléctricas**

En el Laboratorio encontramos que las instalaciones eléctricas se encuentran en un mal estado por lo cual hemos tenido que sacar todas las novedades para encontrar una buena solución al problema es decir arreglar todo lo que se encuentra en mal estado para lo cual vamos a publicar detalle a detalle todo lo que hay que reparar a continuación.

##### **3.1.1. Inspección del Estado de las instalación**

De acuerdo a una revisión realizada en cada una de las instalaciones y mesas de trabajo del Laboratorio de Comunicaciones se ha podido establecer los siguientes requerimientos detallados en el siguiente literal.

### 3.1.2. Estadística de la Inspección.

<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>ESTADO</b>	<b>OBSERVACION</b>
<b>Tomacorrientes</b>	36	2 malos	Reparar
<b>Breakers</b>	4	buenos	Sin novedad
<b>Lámparas</b>	4	malas	Instalar
<b>Indicadoras</b>			
<b>Fusibles</b>	50	malos	Instalar
<b>Cable flexible</b>	10m	malos	Instalar
<b>Lagartos</b>	40	malos	Instalar
<b>Cautines</b>	4	inexistentes	Comprar
<b>Focos</b>	2	buenos	Reemplazo por fluorescentes
<b>Puntas de prueba</b>	13	buenos	Sin novedad

TABLA 3.1: Estadística de la inspección del material de trabajo en el Laboratorio

### 3.1.3. Requerimientos para la Instalación.

Luego de haber hecho una estadística se detalla a continuación los requerimientos del Laboratorio:

- 4 lámparas indicadoras de neón 110v.
- 50 fusibles.
- 10 m de cable flexible.
- 40 lagartos.
- 4 cautines.
- 2 lámparas fluorescentes.

## 3.2 Revisión de instrumentos

### 3.2.1 Inspección del Estado de los Instrumentos.

Al realizar la revisión de cada uno de los equipos del Laboratorio de Comunicaciones se puede detallar a continuación los requerimientos necesarios.

### 3.2.2. Estadística de la Inspección.

UNIDAD	CANTIDAD	ESTADO	OBSERVACIÓN
Fuente de poder	4	1 dañado	Reparar
Fuente de alimentación	7	buenas	Sin novedad

<b>Osciloscopio</b>	5	3 dañados	4 de calibrar
<b>Multímetros</b>	7	3 dañados	Reemplazar fusibles
<b>Frecuenciómetros</b>	7	3 dañados	selector
<b>Generador de Frecuencias</b>	7	buenos	Solo cambiar fusibles
<b>COM-1</b>	21 módulos	8 dañados	3 no reparables 1 reparable (2 integrados LM3146N)
<b>COM-2</b>	21 módulos	4 dañados	2 reparables (2 integrados LM3146N)
<b>COM-3</b>	21 módulos	6 dañados	reparables

TABLA 3.2: Estadística de la inspección de los instrumentos de medición y de los módulos COM-1,2 y 3

### 3.3. Reparación de unidades COM 1,2,3

Las unidades COM 1,2,3 en su totalidad necesitan de un Mantenimiento, inspección, y limpieza periódicamente lo que se podría realizar al finalizar cada período de estudio en lo que se disponen de algunos días para realizar estas actividades con el fin de mantener habilitadas todas las unidades de comunicación.

#### 3.3.1. Inspección del estado de las unidades

En base al cronograma de actividades se ha procedido a realizar una inspección de las unidades COM 1,2,3 en lo que respecta a funcionamiento y estructura de cada modulo y comprobado mediante la realización de prácticas de laboratorio encontrando los módulos en un mal estado de funcionamiento como es el COM 1,2,3 .

### 3.3.2 Estadística de la inspección.

Una vez inspeccionado el laboratorio hemos sacado los siguientes requerimientos.

### 3.3.3. Requerimientos de componentes electrónicos

<b>Tenemos como</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>resultado la compra de los siguientes elementos electrónicos una vez inspeccionado los módulos . COM 1,2,3</b>	4 Integrados LM 3146N
	3 Integrados LN741CN
	4 Integrados 7496.
	6 Sintonzadores
	1 Potenciómetros de 1K $\Omega$
	1 Perilla de un condensador variable.

TABLA 3.3: Requerimientos técnicos de los módulos COM-1, 2 y 3

### 3.3.4. Sustitución de Elementos

Como se ha indicado en la inspección y estadística de las unidades COM se ha encontrado en la inspección en mal estado los equipos COM 1,2,3 por lo es necesario la necesidad de realizar la sustitución de los siguientes elementos electrónicos:

En el COM-1/1, una resistencia de 4.5 K, dos capacitores de 0.1  $\mu$ F.

En el COM-1/2, perilla de condensador variable y dos resistencias de 10K.

En el COM-1/3, dos resistencias de 10R3W, un condensador de 100 $\mu$ F.

En el COM-2/1, resistencia de 10K

En el COM-2/2, una resistencia de 4.7K.

En el COM-2/3, un condensador cerámico de 500pF.

En el COM-3/3, integrados 7426.

## CAPITULO IV

### PRUEBAS DE OPERABILIDAD

Las pruebas de operabilidad son hechas en el laboratorio para comprobar su funcionamiento por lo que se toca ir inspeccionando uno por uno los módulos COM 1,2,3.

#### 4.1. Unidad COM-1/1.

##### **Modulador de AM y demodulador sincrónico**

El circuito del módulo de la unidad COM-1/1 se muestra en el diagrama 1 del Anexo.

**Oscilador.** El oscilador tiene un extensión de frecuencia de por lo menos 435 kHz-475 kHz.

La frecuencia se determina por medio de los potenciómetros P1 (sintonización gruesa) y P2 (sintonización fina). La amplitud de salida puede ser regulada por medio del potenciómetro P3 entre 0 y 3 Vpp.

Para sintonizar el oscilador, entre los potenciómetros P1 y P2 y sintonice el transformador  $T_{OSC}$  para obtener una frecuencia de salida de 455 kHz.

**Demodulador sincrónico.** El demodulador está compuesto por el transistor Q2 y la red que contiene las resistencias y los condensadores.

## 4.2. Unidad COM-1/2

### Receptor sintonizador de AM

El circuito del módulo de la unidad COM-1/2 se muestra en el diagrama 2 del Anexo .

**Amplificador de RF.** El amplificador de RF se base en el transistor Q1 con un circuito de resonancia se compone de la bobina del primario del transformador T y del condensador Cant. y está sintonizado a la frecuencia de entrada. La salida del amplificador se obtiene del secundario de T la ganancia de esta etapa para 1000 kHz es aproximadamente 8.

**Oscilador local.** El oscilador local se basa en el circuito integrado CI-B es cual está compuesto por los transistores Q1/B, Q2/B, y en el circuito de resonancia compuesto por el transformador T5 y el condensador  $C_{osc}$ . El potenciómetro P1 controla la corriente que pasa por los transistores y por consiguiente controla la amplitud de las oscilaciones. La salida del oscilador se obtiene a través de un amplificador de aislamiento teniendo una amplitud máxima de por lo menos 6Vpp.

**Mezclador.** El mezclador (CI-A) se compone de los transistores Q1/A, Q2/A y Q3/A . la ventaja de este circuito que está en las señales aparecen muy atenuadas en la salida. La amplitud máxima de la salida es de 2 Vpp.

Para sintonizar el mezclador, es necesario sintonizar las salidas de los transformadores, (T3 está compuesto por dos transformadores conectados en serie), de tal forma que se obtenga una señal máxima de salida en la frecuencia de 455 kHz.

### 4.3. Unidad COM-1/3

#### Amplificadores de audio y de FI

El circuito del módulo de la unidad COM-1/3 se muestra en el diagrama 3 del Anexo .

**Amplificadores de FI.** Los amplificadores de FI se componen de los transistores Q2 y Q3 con acoplamiento de transformador y con circuitos resonantes en sus respectivos colectores.

**El detector.** El detector esta compuesto por el diodo D1 y por una red de filtro. La tensión que aparece sobre C8 se usa para el control automático de volumen (CAV). El condensador C9 actúa como condensador de acoplamiento al amplificador de audio.

**La etapa del CAV.** La etapa del CAV se compone del transistor Q1, el cual controla el punto de trabajo de cc del transistor Q2 de acuerdo a la tensión de entrada provista por el CAV.

La corriente que pasa a través de Q1 ( $I_{c1}$ ) es proporcional a la tensión de entrada provista por el CAV. En la medida de que esta corriente cambia, la corriente que pasa a través de R5 cambia también haciendo que varíe la tensión de la base de Q2.

A medida de que la tensión del CAV se hace más positiva, Q2 se acerca a su estado de no conducción y su ganancia se reduce.

**El amplificador de audio.** El amplificador de audio está compuesto por el CI TCA 940, el cual tiene limitación de temperatura y protección contra corto circuito.

#### 4.4. Unidad COM-2/1

##### Oscilador de FM y Detector de Relación

El circuito del módulo de la unidad COM-2/1 se muestra en el diagrama 4 del Anexo .

**Oscilador de FM.** Este trabaja en dos escalas distintas. Escala A de 800 kHz – 1200 kHz, escala B de 425 – 485 (kHz). La escala se selecciona por una llave conmutadora (selector de escala).

El oscilador está compuesto de dos circuitos distintos, uno para cada nivel. En cada caso la frecuencia está determinada por el voltaje cc en el diodo de capacitancia variable (VVC). La frecuencia central está determinada por el potenciómetro P1.

Para modular la frecuencia del oscilador, es necesario conectar una señal externa en la entrada del modulador. El amplificador de salida es una simple etapa de aislamiento con una ganancia de 10 cuya amplitud de salida es determinada por el potenciómetro P2.

Las especificaciones del oscilador de FM son las siguientes:

Frecuencia central	Banda A:	$950 \pm 150$ (kHz)
	Banda B:	$455 \pm 30$ (kHz)

Máxima amplitud de salida (para 50 Ω):	1 V <sub>pp</sub> mínimo
Máxima amplitud de señal modulada:	12V cc o 12V <sub>pp</sub> ca
Desviación de frecuencia	Banda A: 35 kHz/V
	Banda B: 7 kHz/V
Impedancia de salida:	20 Ω
Impedancia de entrada en el modulador:	500 Ω aproximadamente.

Para ajustar el oscilador para la banda B, centre el potenciómetro P1 y sintonice el transformador T3 para obtener una señal de 455 kHz en la salida, (sin señal en la entrada del modulador). Para la banda A no hay necesidad de ajustar el oscilador.

#### 4.5. Unidad COM-2/2

##### Amplificador FI / Limitador y detector de producto

El circuito del módulo de la unidad COM-2/2 se muestra en el diagrama 5 del Anexo .

**Atenuadores.** El circuito de atenuación se ve en la figura 2 y está compuesto de 5 resistores conectados en un circuito  $\pi$  que nos dan las atenuaciones requeridas, con una impedancia de entrada de 50 Ω.

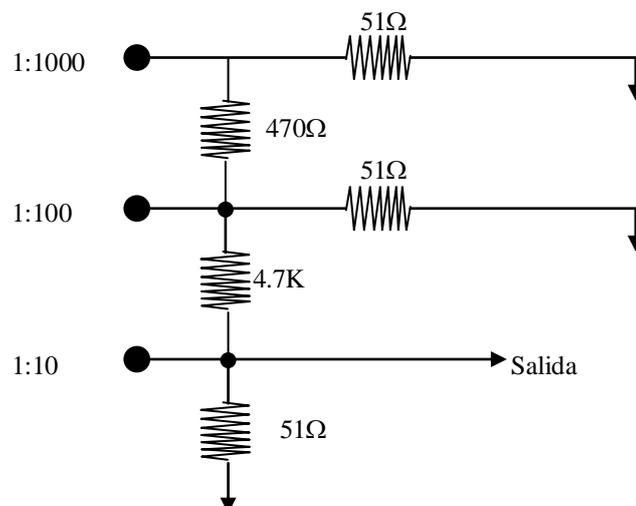


FIGURA 2: Atenuador de RF

## 4.6. Unidad COM-2/3

### Oscilador local y Mezclador

El circuito del módulo de la unidad COM-2/3 se muestra en el diagrama 6 del Anexo.

**Amplificador A1.** Este amplificador actúa para el oscilador local, como un filtro de pasa bajo y como amplificador de control. El potenciómetro P1 sintoniza la frecuencia central del oscilador local.

**Oscilador local.** Está basado en el circuito integrado LM 371 (IC-A) conectado como si fuera un oscilador Hartley. La salida es amortiguada por el transistor Q1.

Especificaciones:

Nivel de frecuencia: 1200 - 1450 (kHz)

Salida de amplitud del oscilador local: 3 V<sub>pp</sub>

**Mezclador.** Este circuito es básicamente un LM 371 (IC-B) conectado como si fuera un mezclador balanceado de entrada y salida. La salida está sintonizada para 455 kHz.

Para sintonizar el mezclador, ajuste los dos transformadores compensados T2, hasta que se obtenga la señal máxima en la salida del FI, con una onda sinusoidal de 455 kHz conectada a la entrada del RF.

**Amplificador / Limitador de FI.** La sección FI está compuesta de tres amplificadores idénticos FI basados en el circuito integrado LM 371 (vea el esquema de la unidad COM-2/2 para el circuito electrónico de uno de los amplificadores).

Puesto que la operación de limitar es ejecutada limitando la corriente en dirección a la carga, la onda de salida no es cortada.

La salida del tercer amplificador de FI pasa por una sección compuesta por un transistor de tope.

Para sintonizar el amplificador, conecte una onda sinusoidal de 455 kHz en la entrada 1:1000 del atenuador al primer amplificador de FI. Ante todo, compruebe que en el limitador, ninguna sección este en operación. Sintonice el transformador en cada sección para obtener la máxima salida en el tercer amplificador de FI.

Especificaciones de la sección FI / limitador:

Frecuencia central: 455 kHz

Ancho de banda: 75 kHz

Impedancia de salida: 50  $\Omega$

Limitación en la entrada de FI: 1 mVpp

Voltaje de salida (limitado): 1.5 Vpp

**Detector de Producto.** Está basado en el circuito integrado LM 371, que en conjunto con el desplazador de fase, forma un detector cuádruple.

**Desplazador de fase.** El circuito en la figura 3 nos muestra un desplazador de fase aproximadamente entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ .

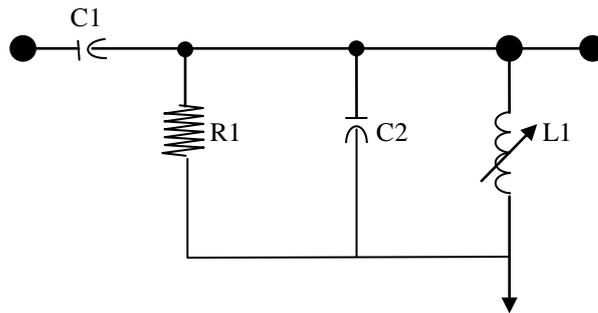


FIGURA 3: Desplazador de fase

#### 4.7. unidad COM 3/1

##### Oscilador y amplificador AM / FM

El circuito del módulo de la unidad COM-3/1 se muestra en el diagrama 7 del Anexo.

**Amplificador A1.** El amplificador A1 sirve de amplificador de audio con una ganancia de +11.

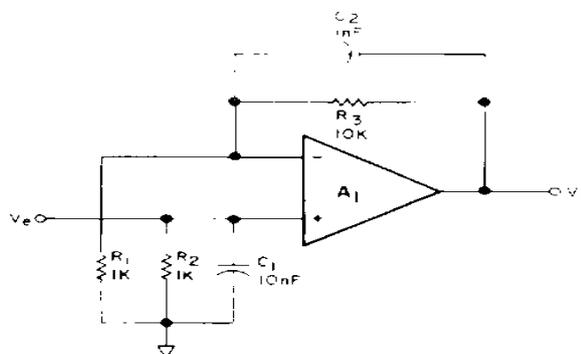


Figura 1: amplificador A1, diagrama esquemático

El amplificador A1 está compuesto por un amplificador operacional y una red de filtro. Los condensadores C1 y C2 forman un filtro pasa-bajos el cual es necesario en este caso en el que el amplificador es la última etapa del circuito detector por lo que debe filtrar las radiofrecuencias indeseables.

**Oscilador local.** El transistor Q1 actúa como oscilador mientras que Q2 y Q3 forman una etapa separadora. La tensión de c.c. aplicada al VVC (diodo de capacitancia variable) se ajusta mediante P1 lo cual produce una variación en la frecuencia del oscilador.

La modulación de FM se obtiene aplicando una señal de audio a la "Entrada de Modulación". La desviación de frecuencia es de 6 kHz/V mientras que el rango de frecuencias es de 435 kHz a 475 kHz.

El transformador T1 se sintoniza a 455 kHz cuando P1 se ajusta a la posición central.

Se necesita el amplificador separador a fin de accionar las bobinas de FI del modulador balanceado. Q2 tiene una ganancia de 10 mientras que Q3 actúa como seguidor emisor.

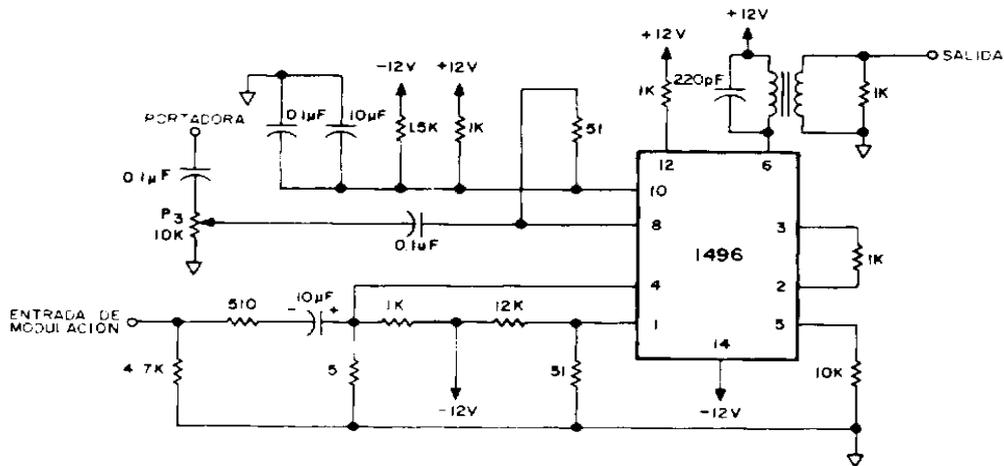


Figura 3: Modulador de amplitud, (Diagrama esquemático)

### Modulador de amplitud

El modulador se basa en el modulador balanceado integrado. El potenciómetro P3 determina el nivel de señal de salida. El transformador T1 en el circuito de salida se sintoniza a 455 kHz.

Los niveles de señal de entrada recomendados son:

Portadora (a 455 kHz):	0.5Vpp
Modulación (a 1 kHz):	0.5Vpp

### 4.8. Unidad COM-3/2

#### Circuitos transmisores

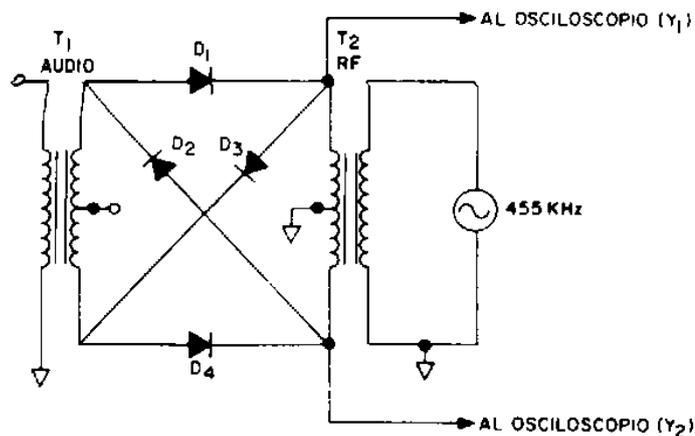
El circuito del módulo de la unidad COM-3/2 se muestra en el diagrama 8 del Anexo.

**Modulador balanceado.** El transformador T1 es un transformador de audio con una impedancia de entrada de  $2K\Omega$  y una impedancia de salida de  $1k\Omega$  (a una diferencia de 1 kHz)

Los diodos son de germanio el transformador T2 está compuesto por 2 transformadores de FI. Para obtener un balance perfecto de circuito.

Conecte el transformador T2 una onda sinusoidal de 250 mVpp y frecuencia de 455 kHz dejando T1 en circuito abierto. Sintonice ambas bobinas de T2 hasta que las señales en los canales Y1 e Y2 de los osciloscopio tenga la misma amplitud.

En esta posición el modulador está perfectamente balanceado.



**Etapa separadora.** La etapa separadora está compuesta por los transistores Q1 y es Q2 y es idéntica a la etapa separadora del oscilador local de la unidad COM-3/1. Véase en la página 48 la explicación del uso y funcionamiento de los componentes.

## Defasador.

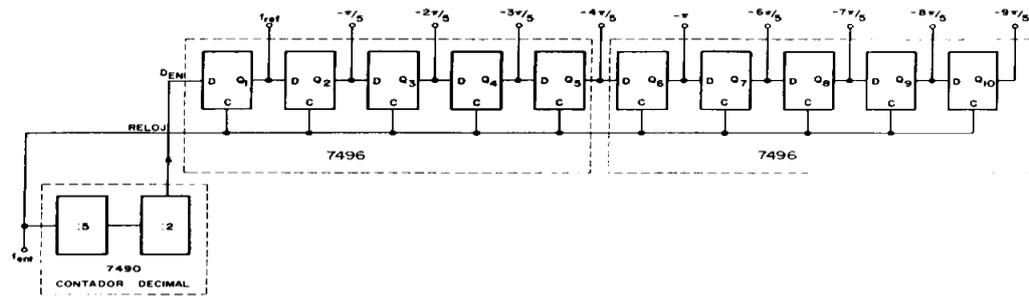


FIGURA 6: Circuito defasador, (Diagrama esquemático)

El defasador está compuesto por los circuitos integrados 7490 y 7496.

El circuito integrado 7490 es un módulo 5 y/o módulo 2 el cual se usa en este circuito como contador módulo 10.

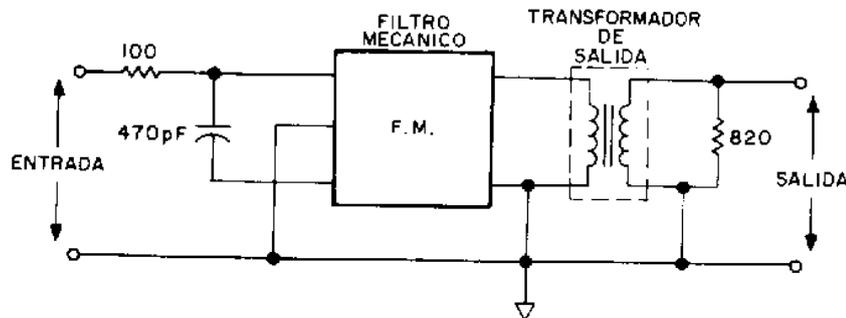
El circuito integrado 7496 es un registro de desplazamiento de 5 bits (entrada en serie – salida en paralelo).

Los dos circuitos integrados 7496 forman un registro de desplazamiento de 10 bits.

Se divide la frecuencia de la fuente por 10 mediante el contador decimal, la salida del contador cambia *de* estado cada 5 pulsos del reloj. Se aplica la salida del contador a la entrada del registro de desplazamiento, el cual recibe pulsos del reloj a la frecuencia de la señal original por lo que es posible obtener defasamiento de 1/ 10 de ciclo.

$$(\pi / 5 = 36^\circ)$$

**Filtro pasa banda .** El circuito esta compuesto por un filtro mecánico y un transformador de salida.



El filtro tiene las siguientes características:

Frecuencia central	$455 \pm 1 \text{ kHz}$
Ancho de banda	$5.0 \begin{matrix} + 1.0 \text{ kHz} \\ - 0.5 \text{ kHz} \end{matrix}$
Selectividad a 8 kHz	40 dB mínimo
Ondulación pasabanda	1 dB máximo
Impedancia de entrada	$100 \Omega$

Se sintoniza el filtro aplicando a la entrada una onda sinusoidal modulada en frecuencia por una señal de 20 Hz y con una amplitud suficiente para producir una desviación de 15 kHz (se debe elegir la frecuencia central a fin de obtener una respuesta lo más plana posible). Las bobinas de sintonía del filtro mecánico y el transformador de salida son ajustados para obtener nivel de señal de salida máximo.

## 4.9. unidad COM 3/3

### Circuitos receptores

El circuito del módulo de la unidad COM-3/3 se muestra en el diagrama 9 del Anexo.

**Etapas separadora.** La etapa separadora está compuesta por los transistores Q1 y Q2. V es idéntica a la etapa separadora del oscilador local de la unidad COM-3/1.

**Modulador balanceado.** Los diodos CR2 - CR5 son de germanio. Cada uno de los transformadores T1 y T2 están compuestos por dos transformadores de FI.

Para balancear al modulador, alimente a uno de los transformadores (T1 o T2) con una onda sinusoidal de 250 mVpp y a una frecuencia de 455 kHz, dejando el otro transformador en circuito abierto. Ajuste las ferritas sintonizadoras de las bobinas hasta obtener señales de igual amplitud en ambos terminales del transformador secundario (véase el circuito de sintonía descrito en la sección que trata sobre la segunda unidad).

Luego de sintonizar un transformador, repita el mismo procedimiento con el otro.

**Nota:** La resistencia R8 (100  $\Omega$ ) debe ser cortocircuitada durante la sintonización.

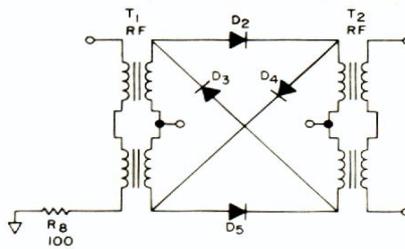


Figura 9: Circuito del Modulador balanceado (diagrama esquemático)

**El detector.** Es un detector de diodo de onda envolvente alimentado por un transformador de FI. El diodo CR6 es de germanio.

**Etapa filtradora / amplificadora.** Esta etapa contiene un amplificador TEC con un circuito sintonizado a 100 kHz en el circuito de salida del colector.

El circuito actúa como etapa de salida para el modulador balanceado, filtrando las componentes de frecuencia indeseadas.

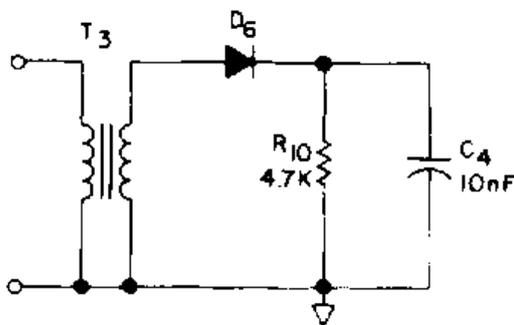


FIGURA 10: Detector, (Diagrama esquemático)

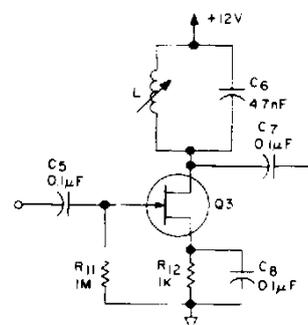


FIGURA 11: Amplificador - Filtro

A fin de sintonizar el circuito de salida, se conecta una onda sinusoidal de 100 mV, 100 kHz a la compuerta del TEC y luego se ajusta la bobina L hasta obtener un máximo nivel de señal de salida.

## CAPITULO V

### ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los analisis los iremos detallando poco a poco conforme vayamos probando cada uno de los módulos reparados a fin de asegurarnos que todos estén funcionando.

#### Experimento 1

#### Modulación AM

Análisis de resultados:

$$m = \frac{A - B}{A + B}$$

$$m_1 = \frac{40 - 17}{40 + 17} = \frac{23}{57} = 0.4035$$

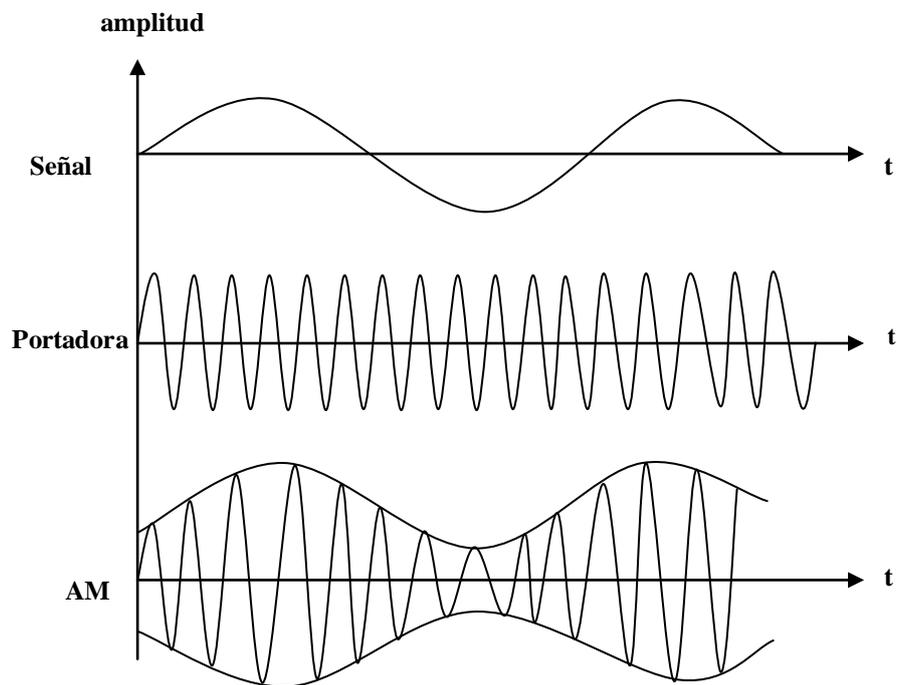
FM	AM	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	m <sub>1</sub>
1 kHz	20 mV	40	17	0.4035
7 kHz	20 mV	40	17	0.4035
9 kHz	20 mV	40	17	0.4035

$$m_1 = \frac{42 - 14}{42 + 14} = \frac{28}{56} = 0.5$$

FM	AM	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	m <sub>2</sub>
1 kHz	40 mV	42	14	0.5
7 kHz	40 mV	42	14	0.5
9 kHz	40 mV	42	14	0.5

$$m_1 = \frac{42 - 14}{42 + 14} = \frac{28}{56} = 0.5$$

FM	AM	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	m <sub>3</sub>
1 kHz	60 mV	22	3	0.76
7 kHz	60 mV	22	3	0.76
9 kHz	60 mV	22	3	0.76



## Experimento 2

### Modulación FM

#### Análisis de Resultados:

Banda A	
Frecuencia mínima	864 kHz
Frecuencia máxima	1327 kHz

Banda B	
Frecuencia mínima	429 kHz
Frecuencia máxima	493.5 kHz

#### Banda A 50mV

895 kHz	20 mV cc * 40	800 mV
896 kHz	22 mV * 40	880 mV
909 kHz	23 mV * 40	920 mV
927 kHz	28 mV * 40	1120 mV
956 kHz	35 mV * 40	1400 mV
993 kHz	48 mV * 40	1920 mV
10000 kHz	50 mV * 40	2000 mV

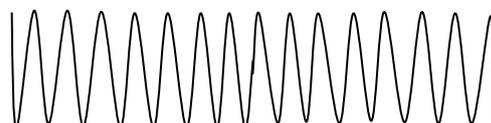
#### Banda B

435 kHz	12 mV x 40	48 mV
440 kHz	19 mV x 40	760 mV
443 kHz	42 mV x 40	1680 mV
450 kHz	72 mV x 40	2880 mV
460 kHz	82 mV x 40	3280 mV
470 kHz	150 mV x 40	6000 mV
475 kHz	200 mV x 40	8000 mV

La frecuencia a 471.2 kHz se modifica, pero la amplitud no se modifica

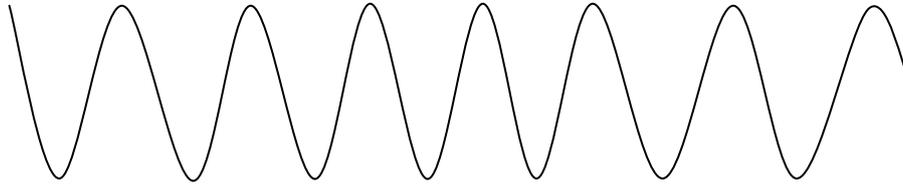


La frecuencia de 470 kHz, existe desviación de 1°.



### Experimento 3

#### El Modulador Balanceado como Detector



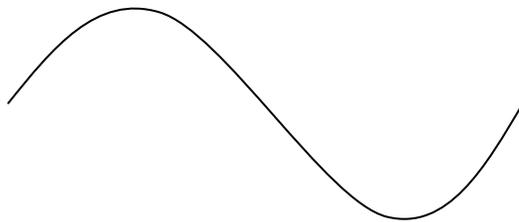
Onda sinusoidal



Al aumentar la frecuencia, disminuye la velocidad de la onda



Al disminuir la frecuencia, aumenta la velocidad de la onda



Cuando la onda pasa por un filtro, atenúa a la onda .

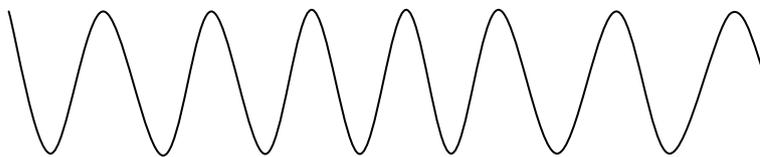


Figura de la onda de salida de un modulador balanceado

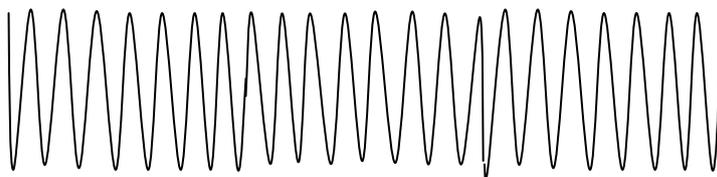


Figura de la onda de salida de un filtro pasa bajos

## CAPITULO VI: MARCO ADMINISTRATIVO

### 6.1. Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTBRE	NOVIEMBRE	DICBRE
Recolección de información	■						
Diseño del perfil		■					
Clasificación de la Información		■					
Cotización de Equipos			■				
Elaboración del 1 <sup>er</sup> borrador		■	■	■			
Corrección del 1 <sup>er</sup> borrador				■	■		
Adquisición de los equipos				■	■		
Elaboración del 2 <sup>do</sup> borrador				■	■	■	
Corrección del 2 <sup>do</sup> borrador					■	■	
Verificación de los equipos				97	■		
Elaboración del trabajo final						■	■
Entrega y defensa del proyecto							■

## 6.2. Presupuesto

<b>DETALLE</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO USD.</b>
<b>a. Elementos electrónicos:</b>		
Potenciómetros (10K)	20	15
Elementos de reparación de las mesas de trabajo		20
Material eléctrico		20
Integrados	10	32
Transistores	20	10
Fusibles	60	12
Capacitores y diodos	80	38
<b>SUBTOTAL</b>		<b>167</b>
<b>b. Multímetros</b>	2	60
<b>c. Protoboard</b>	2	50
<b>d. Herramientas</b>		40
<b>e. Cautines</b>	2	20
<b>GRAN TOTAL</b>		<b>337</b>

## **CAPITULO VII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1. Conclusiones.**

El desarrollo de las Comunicaciones viene dándose a pasos agigantados, y es por eso que nosotros tenemos que especializarnos en los conocimientos básicos de las Comunicaciones que son la parte esencial para el avance de las naciones.

Sabemos que nueva tecnología invade el mercado de la Comunicación, por lo tanto debemos conocer su función y no retrasarnos o quedarnos atrás de los avances tecnológicos.

Si bien el Ecuador tiene pocos recursos para obtener la tecnología necesaria en Comunicaciones, debemos conocer todos los principios básicos de esta área, ya que tarde o temprano tendremos la suerte de usar uno de ellos. Por lo tanto, seríamos las personas más afortunadas ya que la Comunicación es la herramienta más necesaria y utilizada en todo el mundo y que incluso no ayudará a obtener una mejor prosperidad.

#### **7.2. Recomendaciones**

- Se recomienda de manera especial, que los equipos que son tratados en estos capítulos, sean manejados de una manera correcta y conciente, de tal modo que los equipos puedan ser útiles para la gran mayoría de los estudiantes en el desarrollo y capacitación de sí mismos.

- En lo posible, se debe usar los dispositivos, módulos y equipos de medición, con la supervisión del instructor a cargo del Laboratorio de Comunicaciones, o a su vez del instructor que se encuentre impartiendo en ese momento sus enseñanzas a los estudiantes.
- En caso de existir anomalías (que si las puede haber porque los equipos ya pasaron el tiempo útil de servicio) es necesario informar al que esté a cargo del Laboratorio de Comunicaciones que dichos dispositivos no funcionan.
- No retire los componentes de los módulos (resistencias, transistores, circuitos, etc.) ya que estaría dañando la propiedad del Instituto, el cual sería motivo de sanciones, y por lo tanto, el pago de los componentes o hasta el arreglo del módulo.
- Se recomienda al personal de estudiantes civiles y militares que practiquen esta materia, ya que sirve tanto en su casa, como en las áreas de trabajo a las que usted fuera designado y que lo apreciarán mejor por tener buenos conocimientos sobre la Comunicación.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Segunda Edición de Wayne Tomasi. Editorial Pearson Education.
2. Curso DEGEM SYSTEMS de COM-1, COM-2 de Circuitos de Comunicación en AM y FM, editado en el año de 1977 (Escuela Técnica de la Fuerza Aérea).
3. Amplificadores de la revista RADIOAFICION Y CB, fascículo 28. Editora I.A.G. Grafink S.A. (Barcelona-España).
4. Clases de Emisión y Modulación de la revista RADIOAFICION Y CB. Fascículo 30. Editora I.A.G. Grafink S.A. (Barcelona-España).
5. Principios de Electrónica, de Malvino. Quinta Edición, Mc Graw Hill
6. Introducción a la Teoría de Sistemas de Comunicación, de LATÍ. Editores Limusa Noriega.
7. Sistemas de Comunicación, de Stremler. Editores Alfaomega.

## GLOSARIO

- Amplificador.** Circuito que puede aumentar la excursión pico a pico de la tensión, la corriente o la potencia de una señal.
- Amplitud.** Tamaño de una señal, usualmente su valor de pico.
- Ancho de Banda.** Diferencia entre las dos frecuencias de corte de un amplificador. Si el amplificador no tiene frecuencia de corte inferior, el ancho de banda es igual a la frecuencia de corte superior.
- Base.** Parte media de un transmisor. Es delgada y está ligeramente dopada. Este hecho permite que pasen a través de ella electrones del emisor al colector.
- Diodo.** Un cristal *pn*. Dispositivo que conduce fácilmente cuando presenta polarización directa y muy poco cuando tiene polarización inversa.
- Mezclador.** Circuito amplificador operacional que puede tener una ganancia de tensión diferente para cada una de las señales de entrada. La señal de salida es una superposición de las señales de entrada.
- Oscilaciones.** Suponen la utilización de un amplificador. Cuando un amplificador tiene realimentación positiva, puede empezar a oscilar, lo cual es una señal de alta frecuencia no deseada. Esta señal no tiene relación con la señal de entrada amplificada. Por ello, las oscilaciones interfieren con la señal deseada. Las

oscilaciones inutilizan un amplificador. Esta es la razón por la cual se emplea un condensador de compensación con un amplificador operacional, ya que evita la presencia de oscilaciones.

**Portador.** Electrón libre o hueco.

**Sumador.** Circuito con amplificador operacional, cuya tensión de salida es la suma de dos o más tensiones de entrada.

# ANEXOS

# Guías de Laboratorio

**FUERZA AEREA ECUATORIANA**  
**INSTITUTO TECNOLOGICO SUPERIOR AERONAUTICO**  
**ESCUELA DE TECNOLOGIA EN TELEMATICA**  
**LABORATORIO DE COMUNICACIONES**

**PRACTICA N.- 1**

**TEMA: EL RECEPTOR DE AM**

**Objetivos:** Examinar el funcionamiento de un receptor de AM completo y medir sus parámetros.

**Receptor de AM**

Para la recepción de ondas medias, hace falta una antena suficientemente larga. Esto no sería práctico en receptores comerciales, y por lo tanto se usa un distinto tipo de antena, esta es una antena con núcleo de ferrita que es un material ferromagnético cuyo efecto es incrementar la corriente producida en la bobina de la antena, como resultado, las señales de radio electromagnéticas.

**Instrumental necesario:**

- Osciloscopio
- Medidor de frecuencia
- Generador de señales de audio
- Altoparlante

- Unidad COM-1/1, 1/2 y 1/3

## **Procedimiento**

En este experimento se usan las unidades COM-1/1, COM-1/2 y COM-1/3. Estas obtienen la energía necesaria para su funcionamiento de la fuente de poder A de +12 V.

### **3.1. Medición de la frecuencia intermedia**

Se acostumbra sintonizar primeramente las etapas de FI y luego las etapas de entrada. La frecuencia a la cual deben ser sintonizadas las etapas de FI tiene que ser igual que la frecuencia de sintonización de la salida del circuito mezclador. Es decir hay que determinar primero que nada la frecuencia de sintonización de la salida de FI del mezclador.

Para realizar lo anteriormente descrito, conecte una onda sinusoidal de 50 mVpp de la salida del oscilador de la unidad COM-1/1 a la entrada del sintonizador (a través del atenuador 1:1). Ajuste la amplitud de OL al mínimo (use para esto el potenciómetro  $P_1$  de la unidad COM-1/2), y ajuste el condensador sintonizador. Cose a su valor máximo, (frecuencia mínima).

Varíe la frecuencia del oscilador alrededor de los 455 kHz, hasta conseguir la señal máxima a la salida del mezclador (salida de FI). No cambie la frecuencia del oscilador a lo largo del proceso de sintonía descrito en las siguientes secciones.

Mida y anote esta frecuencia. Ella es la frecuencia FI del receptor.

### **3.2. Sintonización de los amplificadores de FI**

Conecte la salida del mezclador, (salida de FI) a la entrada del primer amplificador de FI, ( $R_3$ , en la unidad COM-1/3), en seguida conecte  $R_9$  a la salida del amplificador salida de FI). Obtenga la señal máxima en este punto sintonizando el transformador  $T_1$

Desconecte  $R_9$  y conecte la salida de  $FI_1$  a la entrada del segundo amplificador de FI ( $C_5$ ). Compruebe la señal de salida del amplificador de FI salida de  $FI_2$ ) si aparece distorsionada, conecte el oscilador de COM-1/3 a través del atenuador de 1:100 en vez del de 1:1.

Obtenga una señal máxima en la salida de  $FI_2$  sintonizando el transformador  $T_2$ .

### **3.3. Sintonización del oscilador local**

Ponga el condensador, ( $C_{osc}$ ) en su valor máximo. Sintonice el transformador  $T_5$  de tal manera que obtenga una frecuencia de 1050 kHz en la salida de OL. Ajuste  $C_{osc}$  a su valor mínimo y anote la frecuencia del oscilador local. Ahora es posible determinar la banda de frecuencia del receptor.

### **3.4. Sintonización del amplificador de RF**

Ajuste el condensador de sintonía en el medio de la banda de frecuencias del oscilador local. Calcule la respectiva frecuencia de RF en base a la frecuencia de FI que midió en la sección 3.1. Conecte una onda sinusoidal de 50 mVpp y de la misma frecuencia que la frecuencia de RF calculada anteriormente, a la entrada de RF, a través del atenuador de 1:1000 o de 1:100, asegurándose que el transformador  $T1$  no este saturado.

Muy cuidadosamente varíe la frecuencia de tal manera que obtenga una señal máxima en la salida de FI2. Obtenga la señal máxima en la salida de FI2 sintonizando el transformador T1 en la unidad COM-1/2. De esta manera, el receptor está ya sintonizado. Arme el receptor completo como está representado en la figura E3.1.

Conecte una onda de AM con un 30% de modulación, (del generador de señales de AM) a la entrada de RF y compruebe si el receptor funciona correctamente produciendo una onda sinusoidal en la salida de audio (en R17).

Mediremos los distintos parámetros del receptor en tres frecuencias distintas de RF: 700 kHz, 1000 kHz y 1300 kHz.

### **3.5. Sensibilidad y relación S/R**

Desconecte el CAV del receptor y ajuste el potenciómetro del volumen (P1 En la unidad COM-1/3) al máximo. Conecte una señal de AM (del generador de señales AM), de 700 kHz con una modulación del 30%, a la entrada de RF a través de un atenuador, (1:100 O 1:1000); sintonice el receptor variando  $C_{OSC}$ .

Cambie la amplitud de la señal de entrada hasta obtener a la salida del receptor ( $R_{17}$ ), una potencia eficaz, (rms) de 50 mW, luego mida la amplitud eficaz (rms) de la señal de RF sin modulación. Esta amplitud representa la sensibilidad del receptor.

Ahora mida la amplitud de la señal de salida del receptor, (todavía sin modulación), y calcule la potencia eficaz de salida. La razón entre 50 mW (rms) y la potencia anterior nos da

la relación S/R del receptor. Para obtener la relación S/R en dB, saque el logaritmo de la razón de potencias y multiplíquelo por 10.

Sin desconectarlo, apague el generador de señales de AM y mida la amplitud de la señal de salida. Esta es el ruido interno producido por el receptor.

Repita las mediciones anteriores, ahora con el control de volumen en su posición intermedia.

Mida la sensibilidad y la relación S/R para volúmenes mediano y máximo, a las frecuencias de 1000 kHz y 1300 kHz. Anote todos los resultados en una tabla.

### **3.6. Selectividad**

Conecte una señal de AM modulada en un 30% y de una frecuencia de 700 kHz a la entrada del receptor, a través de un atenuador, (1:100 o 1:1000). Sintonicé el receptor variando  $C_{osc}$  manteniendo el volumen en la mitad. Mida la amplitud de la señal de salida. Aumente lentamente la frecuencia de la señal de entrada hasta que la señal de salida disminuya en 3 dB, (es decir, hasta que llegue a 0.7 de su valor en 700 kHz). Mida la frecuencia de la señal de entrada, (sin modulación), y anótela.

Module nuevamente la señal de entrada y aumente su frecuencia sobre los 700 kHz hasta que nuevamente la amplitud disminuya en 3 dB. Mida la frecuencia de la señal de entrada, (sin modulación), y anótela. La diferencia entre las dos frecuencias que midió representa la selectividad del receptor.

Mida la selectividad a los 1000 kHz y 1300 kHz.

### 3.7. Rechazo de imagen

Si la frecuencia de entrada es  $f_{RF}$  la frecuencia imagen está dada por  $f_{RF} + 2f_i$  donde  $f_i$  es la frecuencia intermedia medida en la sección 3.2.

Calcule las frecuencias imagen a los 700 kHz, 1000 kHz y 1300 kHz.

Conecte a través de un atenuador (1:100 o 1:1000), una señal de AM de 700 kHz con un 30% de modulación, a la entrada del receptor. Sintone el receptor ajustando  $C_{osc}$  manteniendo el control del volumen (PI) al medio. Regule la amplitud de la señal de entrada para obtener una potencia eficaz de 50 mW en R17 y mida y anote la amplitud de entrada, (sin modulación).

Module la señal de entrada y fije su frecuencia al valor de la frecuencia imagen previamente calculada. Cambie su amplitud para obtener sobre R17 una potencia eficaz de 50 mW. Mida la amplitud de entrada (sin modulación) y anótela.

La razón entre la amplitud necesaria para producir una potencia eficaz de 50 mW a los 700 kHz y la necesaria para producir la misma potencia a la frecuencia imagen da el rechazo de imagen. Para obtener el rechazo de imagen en dB, multiplique por 10 el logaritmo de la razón de potencias.

Repita las anteriores mediciones a los 1000 kHz y a los 1300 kHz.

### **3.8. Rechazo de FI**

Conecte a través de un atenuador (1:100 o 1:1000) una señal de AM de 700 kHz con un 30% de modulación a la entrada del receptor. Sintone el receptor ajustando  $C_{osc}$  manteniendo el control de volumen al medio. Regule la amplitud de la señal de entrada para obtener una potencia eficaz de 50 mW en la salida del receptor (R17) . Mida y anote la amplitud de la entrada (sin modulación).

Module la señal de entrada y fije su frecuencia en la frecuencia intermedia del receptor. Regule la frecuencia para obtener una señal de salida máxima luego cambie la amplitud para obtener una potencia eficaz de 50 mW en la salida del receptor. Mida y anote la amplitud de entrada, (sin modulación).

La razón entre las amplitudes necesarias para obtener una potencia eficaz de 50 mW con una frecuencia de 700 kHz en la salida y la frecuencia intermedia, representa el rechazo de FI del receptor.

Repita las mediciones para 1000 kHz y 1300 kHz.

### **3.9. C A V**

Conecte a través del atenuador de 1:1000 una señal de AM de 700 kHz con un 30% de modulación, a la entrada del receptor. Sintone el receptor variando  $C_{osc}$  y manteniendo el control del volumen al medio. Varíe la amplitud de entrada, (medida sin modulación) de 1uV

a 1 V y mida la amplitud de salida del receptor en cada caso, anotando los resultados en una tabla. Es posible determinar la banda del CAV dibujando el gráfico de la tensión de salida en función de la tensión de entrada.

Repita las mediciones para 1000 kHz y 1300 kHz.

### **3.10. Ancho de banda de audio**

Module una portadora de 700 kHz con una señal de 1 kHz para obtener una señal de AM modulada en un 30% y conéctela a la entrada del receptor a través de un atenuador (1:100 a 1:1000). Regule la amplitud de manera que obtenga una señal de salida no distorsionada. Varíe la frecuencia de modulación de 50 Hz a 15 kHz manteniendo constantes el porcentaje de modulación y la amplitud de la entrada. Mida la señal de salida que obtiene en cada frecuencia. Anote sus resultados en una tabla.

### **3.11. Recepción de onda portadora**

Conecte una onda portadora no modulada de 700 kHz a la entrada del receptor a través de un atenuador, (1:100 a 1:1000) y compruebe la señal de salida del receptor.

Ajuste el oscilador de la unidad COM-1/1 exactamente a la frecuencia intermedia del receptor. Conecte la salida del oscilador a R14 en la unidad COM-1/3. Varíe ligeramente la frecuencia del oscilador y vea como esto afecta a la señal de salida del receptor.

### **3.12. Recepción de transmisiones de AM**

Conecte un parlante de  $8\Omega$  a la salida del amplificador de audio en vez de la resistencia R17. Haga una antena de lazo de un trozo de cable y conecte un extremo de él a la entrada del receptor a través del atenuador de 1:1 y el otro extremo a la línea común del receptor.

Ahora es usted capaz de captar transmisiones comerciales de AM. A veces es necesario poner la antena en las afueras del laboratorio para obtener una recepción adecuada.

Se podrá observar los circuitos de los módulos utilizados en esta práctica en el Anexo.

## **Conclusiones y Recomendaciones**

## **Bibliografía**

## **Anexos**

**FUERZA AEREA ECUATORIANA**  
**INSTITUTO TECNOLOGICO SUPERIOR AERONAUTICO**  
**ESCUELA DE TECNOLOGIA EN TELEMATICA**  
**LABORATORIO DE COMUNICACIONES**

**PRACTICA N.- 2**

**TEMA: EL MODULADOR BALANCEADO COMO DETECTOR**

**Objetivo:** Es el estudio de la capacidad de detección del modulador balanceado, como detector de AM y como detector de fase.

**El modulador balanceado.**

Es un dispositivo alineal que realiza transformaciones de frecuencia, pueden aparecer respuestas espurias, una respuesta espuria es el resultado de transformar una señal de entrada indeseada a la frecuencia intermedia.

**Instrumental necesario:**

- Osciloscopio
- Frecuenciómetro
- Generador de señales de RF

- Multímetro
- Unidad COM-3/1, 3/2 y 3/3

## Procedimiento

En este experimento se usan las unidades 1, 2 y 3, las cuales están alimentadas por una tensión de +12 V suministrada por la fuente de poder A y por una tensión de -12 V suministrada por la fuente de poder E.

### 2.1 El modulador balanceado como detector de AM

En la figura E2.1 se muestra el diagrama en bloque del circuito básico del detector de AM que incluye un modulador balanceado. Se muestra en la figura E2.2 al circuito practico que se utilizara.

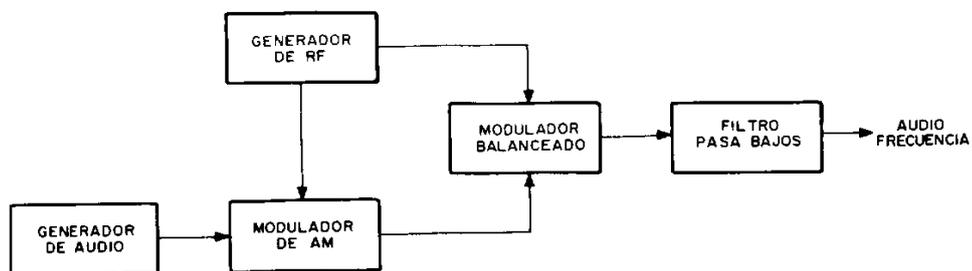


FIGURA E2.1: Diagrama en bloque del detector de AM

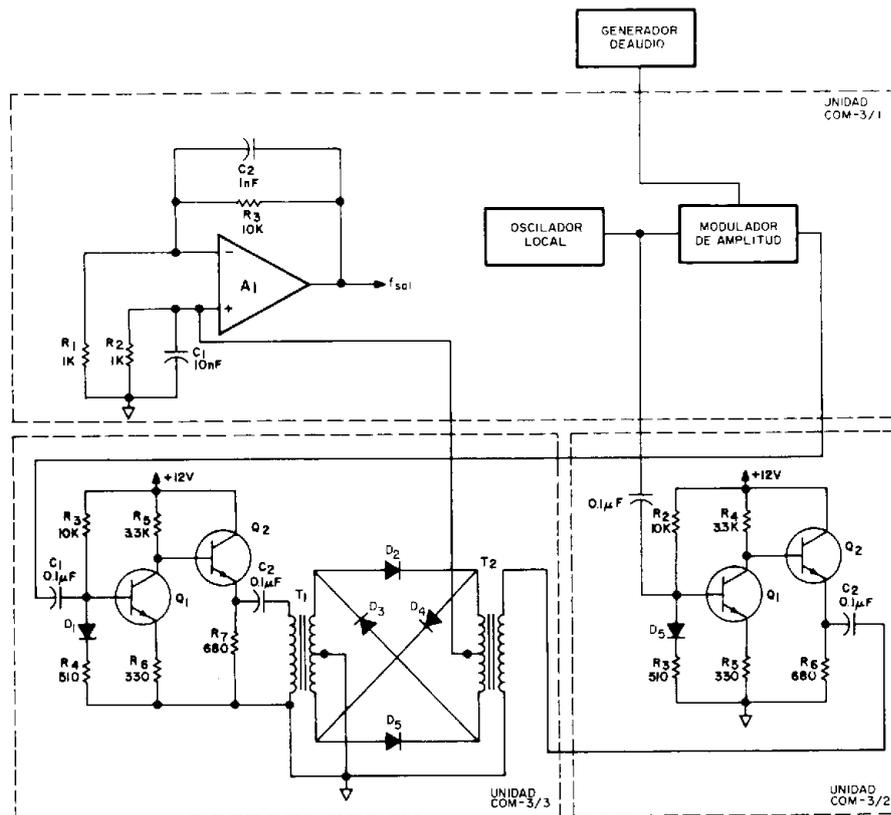


FIGURA E.2.2: El modulador balanceado como detector de AM

Fije la salida del OL a 250 mV. Fije la señal modulada, a la salida del modulador de amplitud, a un 30% de modulación mediante el ajuste de la amplitud de la frecuencia moduladora (audio frecuencia).

Mida la tensión de salida del detector en función de la frecuencia de la señal moduladora (cuidando que la modulación sea constante de 30%), para los siguientes valores de frecuencia moduladora.

200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz,

10 kHz, 15 kHz, 20 kHz.

Repita las mediciones para diferentes porcentajes de modulación. Anote los resultados en forma tabulada.

## 2.2 El modulador balanceado como detector de fase

Se muestra en la figura E2.3 el diagrama en bloque del circuito:

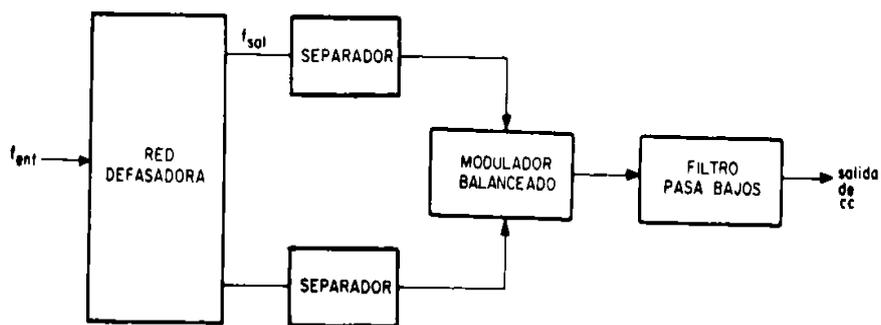


FIGURA E2.3: Diagrama en bloque del detector de fase

En la figura E2.4 se muestra el circuito practico que se ha de usar.

Varíe el defasaje a la entrada del modulador y mida la tensión de cc a la salida. Anote los resultados en forma tabulada.

## Elaboración de los resultados

1. Dibuje un gráfico de la tensión de salida en función de la frecuencia moduladora, y un gráfico de la tensión de salida en función del porcentaje de modulación en base a los resultados de la sección 2.1. El ultimo gráfico muestra la linealidad de detección.
2. Dibuje un gráfico de la tensión de salida en función de la diferencia de fase en la entrada, en base a los resultados de la sección 2.2.

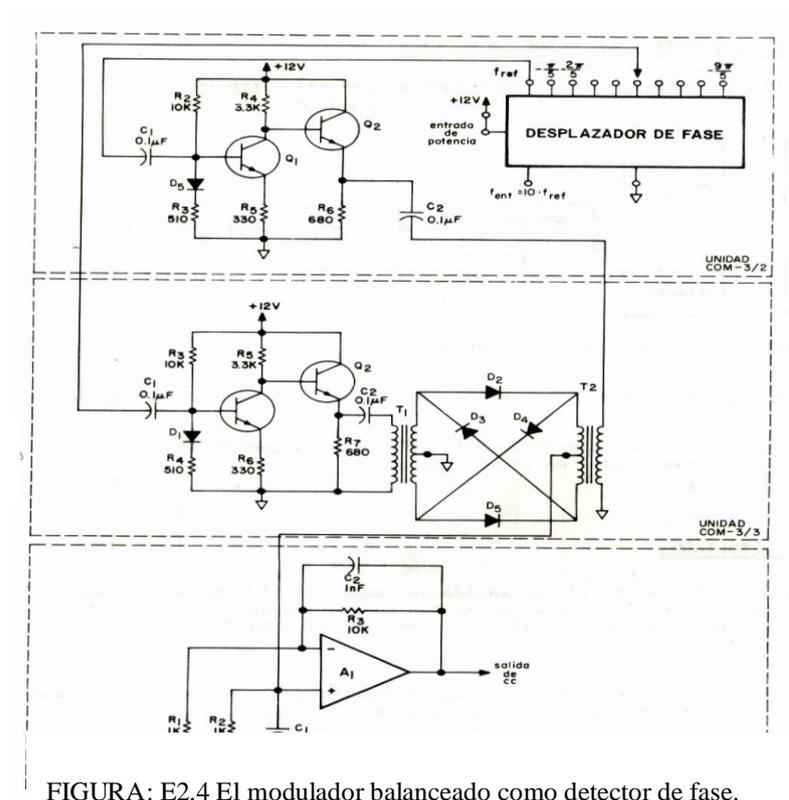


FIGURA: E2.4 El modulador balanceado como detector de fase.

## **Conclusiones y Recomendaciones**

## **Bibliografía**

## **Anexos**

## **DATOS PERSONALES**

NOMBRES: Edwin Patricio

APELLIDOS: Meneses Chalcualán

FECHA DE NACIMIENTO: 19 de Mayo de 1977

ESTADO CIVIL: Soltero

CEDULA DE IDENTIDAD: 171316666-6

CEDULA MILITAR: 3000244700

DIRECCIÓN: Quito, Sta. Rosa de Chillogallo, Mza. 5 Lte. 40

## **ESTUDIOS REALIZADOS**

ESTUDIOS PRIMARIOS: Escuela "Policía Nacional"

ESTUDIOS SECUNDARIOS: Colegio "Policía Nacional"

ESTUDIOS SUPERIORES: I.T.S.A.

## **DATOS PERSONALES**

NOMBRES: Manuel Alfonso

APELLIDOS: Mosquera Reinoso

FECHA DE NACIMIENTO: 01 de Noviembre de 1978

ESTADO CIVIL: Soltero

CEDULA DE IDENTIDAD: 050249498-2

CEDULA MILITAR: 3000153800

DIRECCIÓN: Píllaro

## **ESTUDIOS REALIZADOS**

ESTUDIOS PRIMARIOS: Escuela “Mariscal Sucre”

ESTUDIOS SECUNDARIOS: Colegio Nacional “Jorge Alvarez”

ESTUDIOS SUPERIORES: I.T.S.A.

# Diagrams

# Diagrama 1.

## Gráfico de la Unidad COM 1/1

### MODULADOR DE AM Y DEMODULADOR SINCRONICO

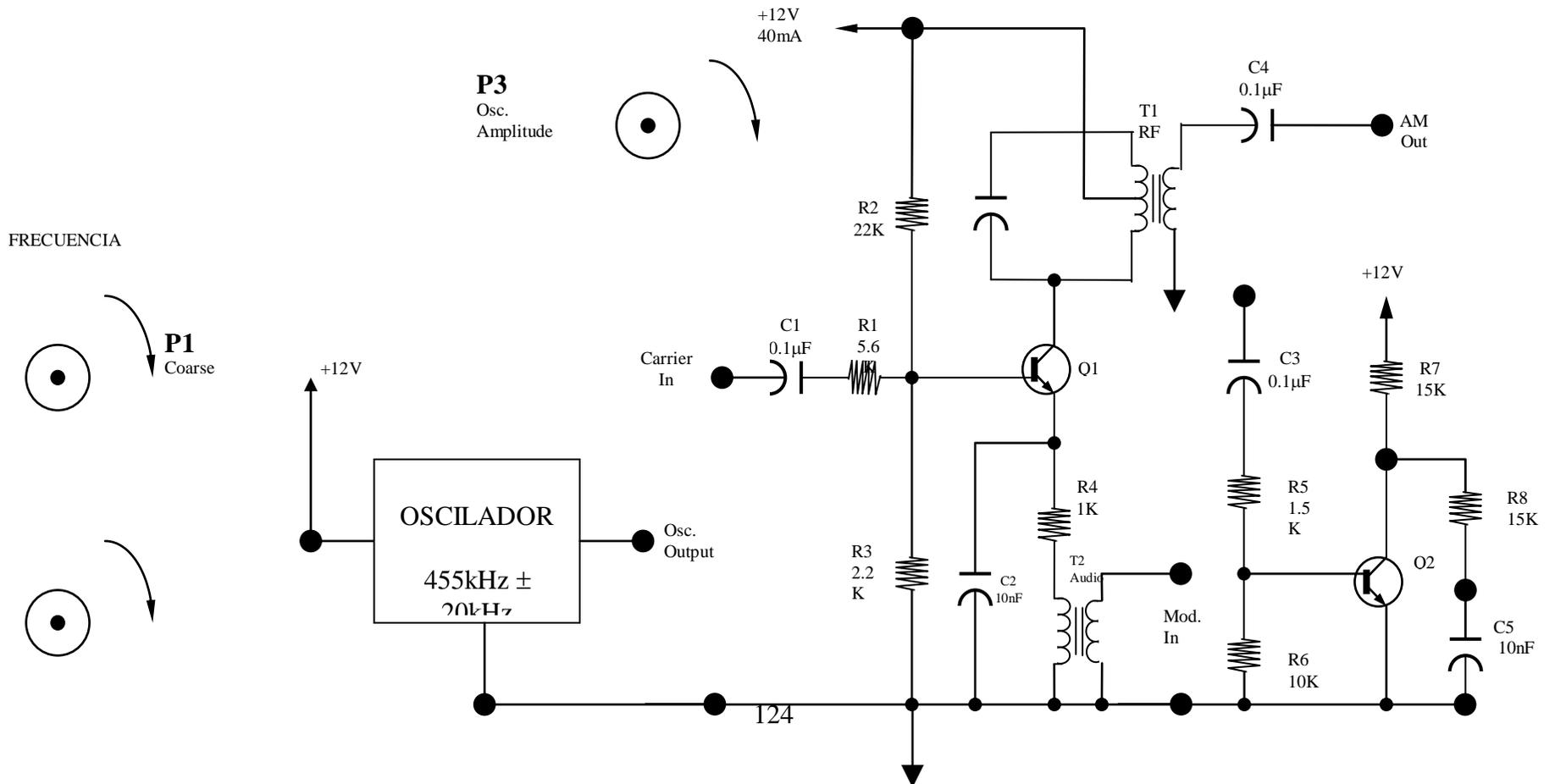


Diagrama 2.

Unidad COM-1/2  
RECEPTOR SINTONIZADOR  
DE AM

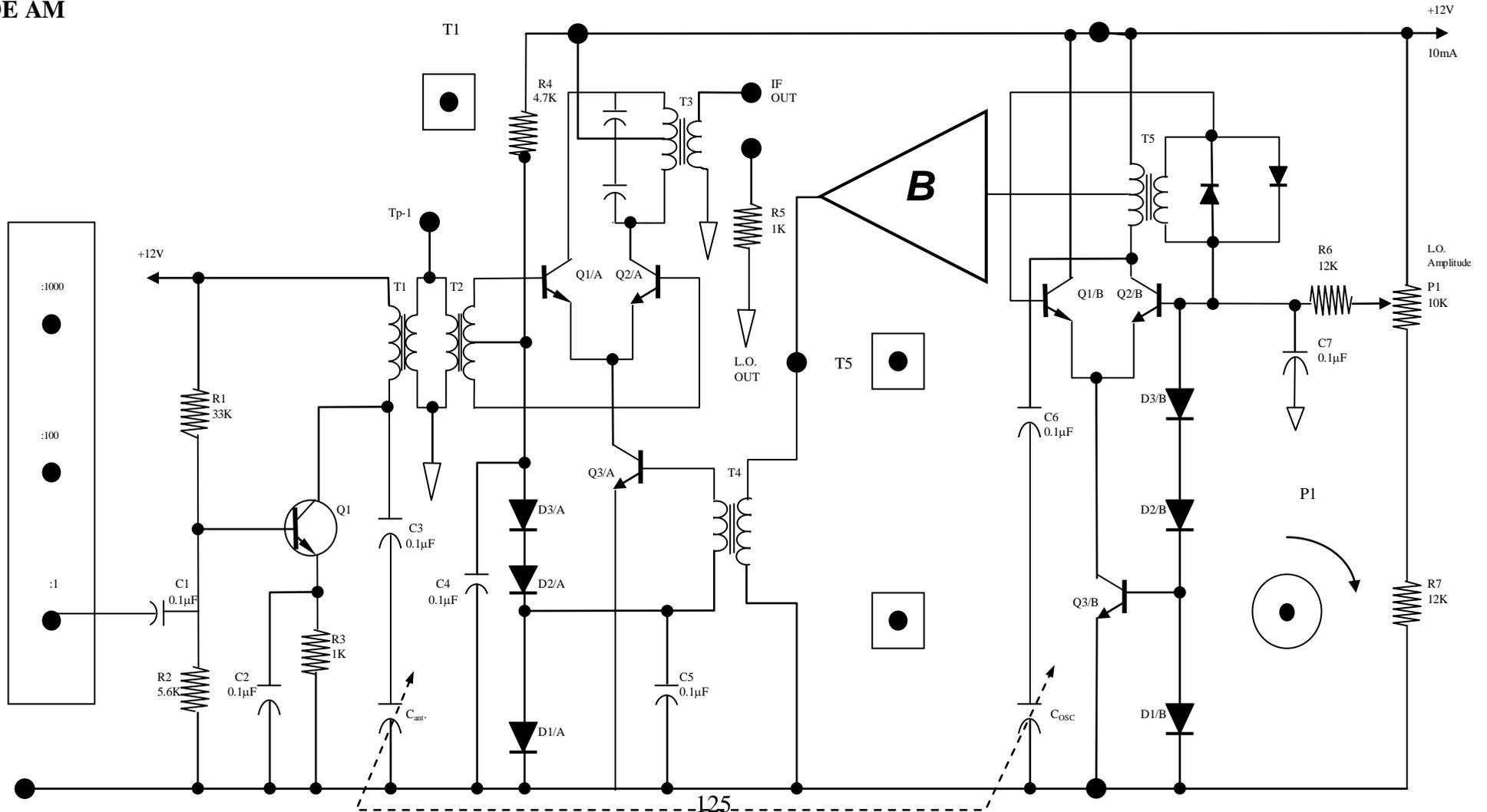


Diagrama 3.

Unidad COM-1/3  
AMPLIFICADORES  
DE AUDIO Y DE FI

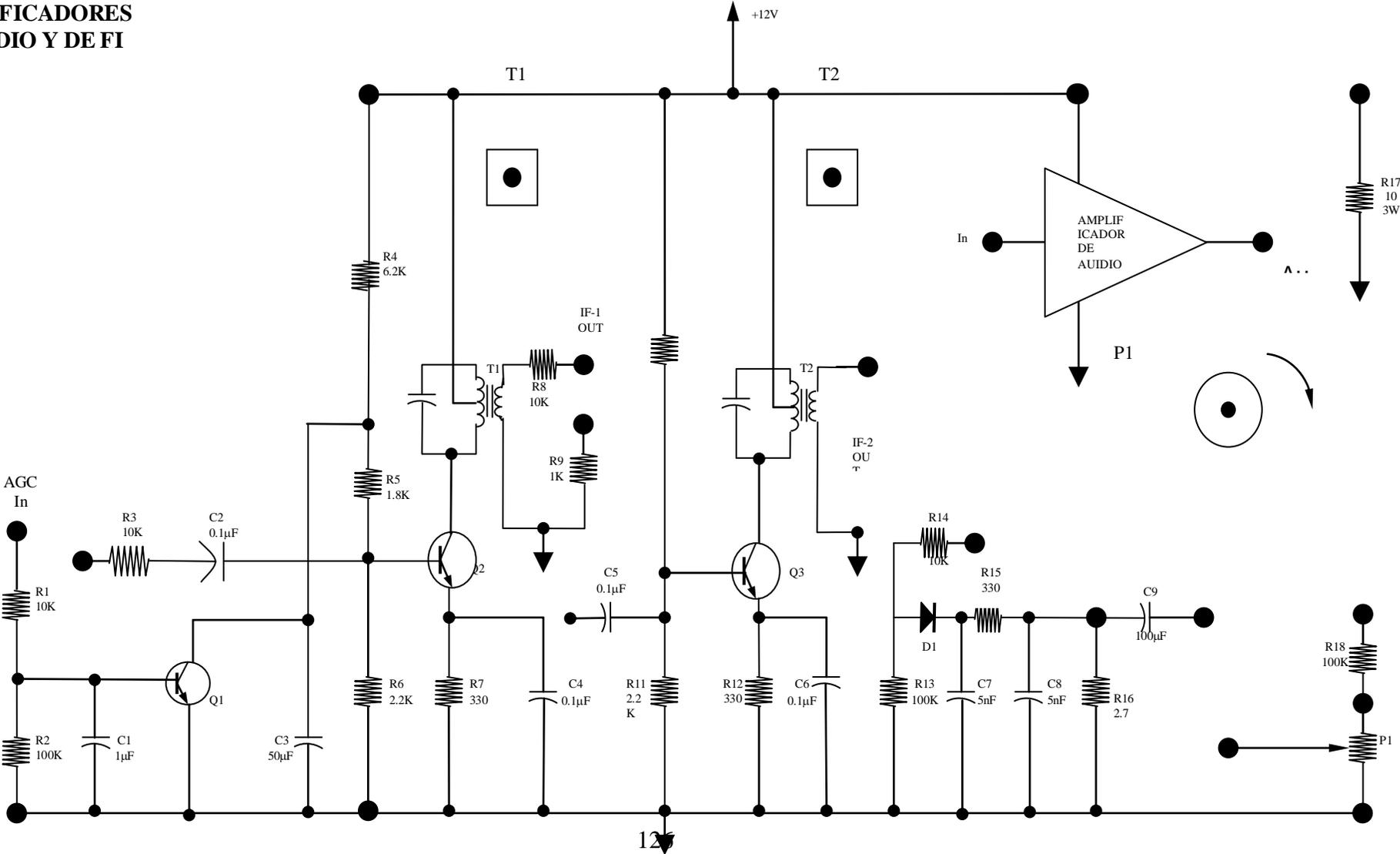


Diagrama 4.  
 Unidad COM 2/1  
**OSCILADOR FM Y  
 RADIO DETECTOR**

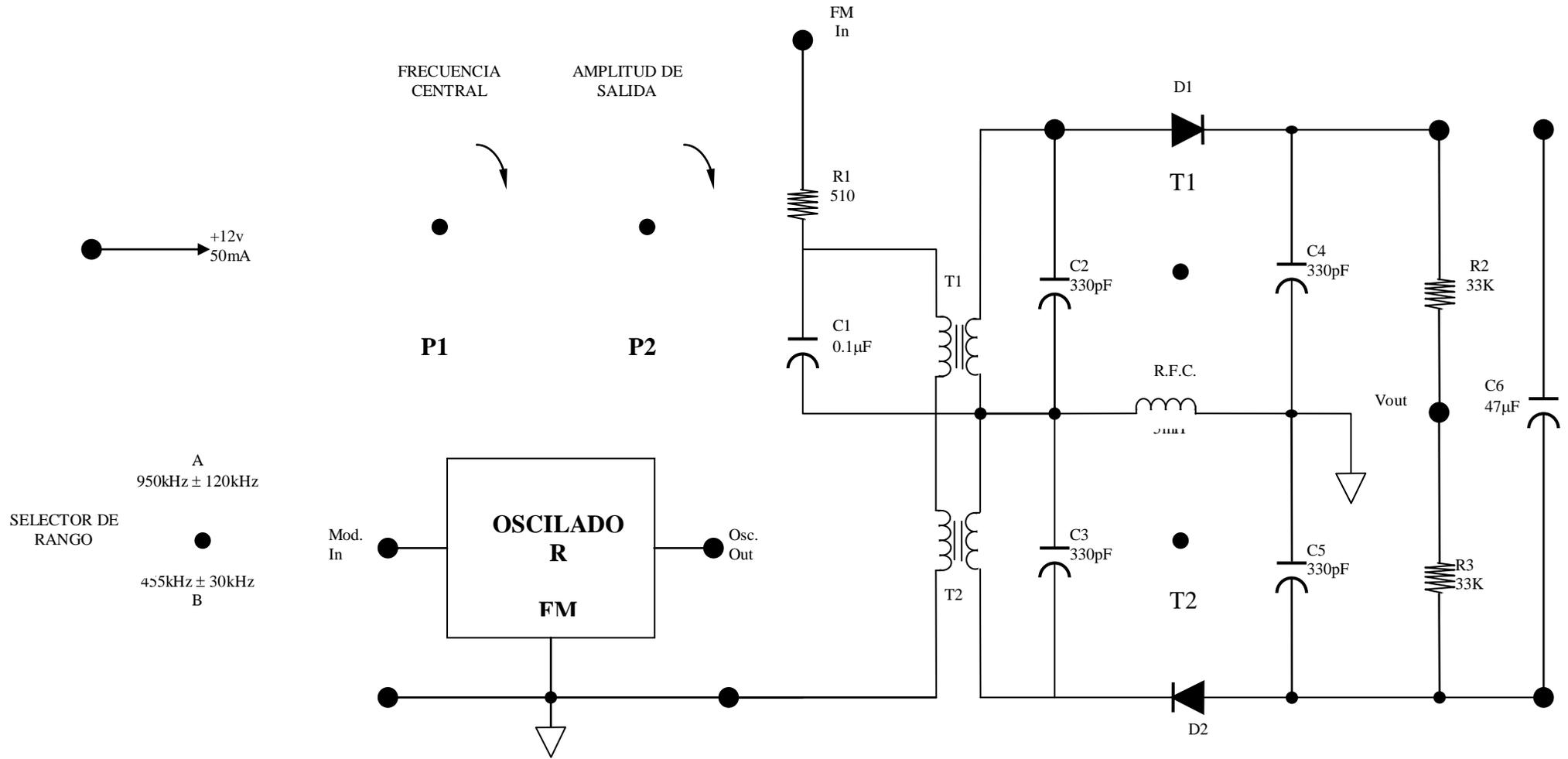


Diagrama 5.  
 Unidad COM-2/2  
**AMPLIFICADOR FI/LIMITADOR  
 Y DETECTOR E PRODUCTO**

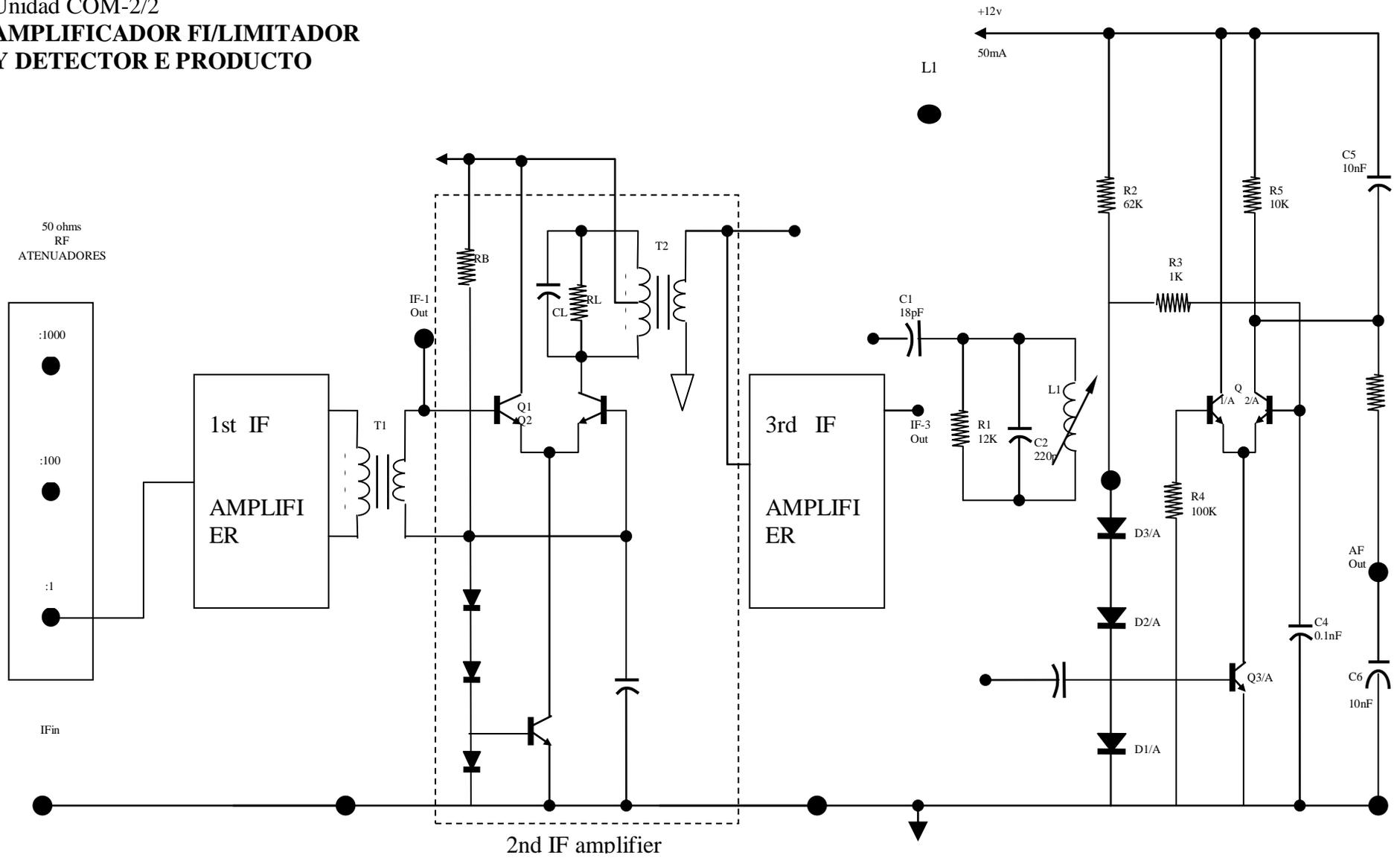
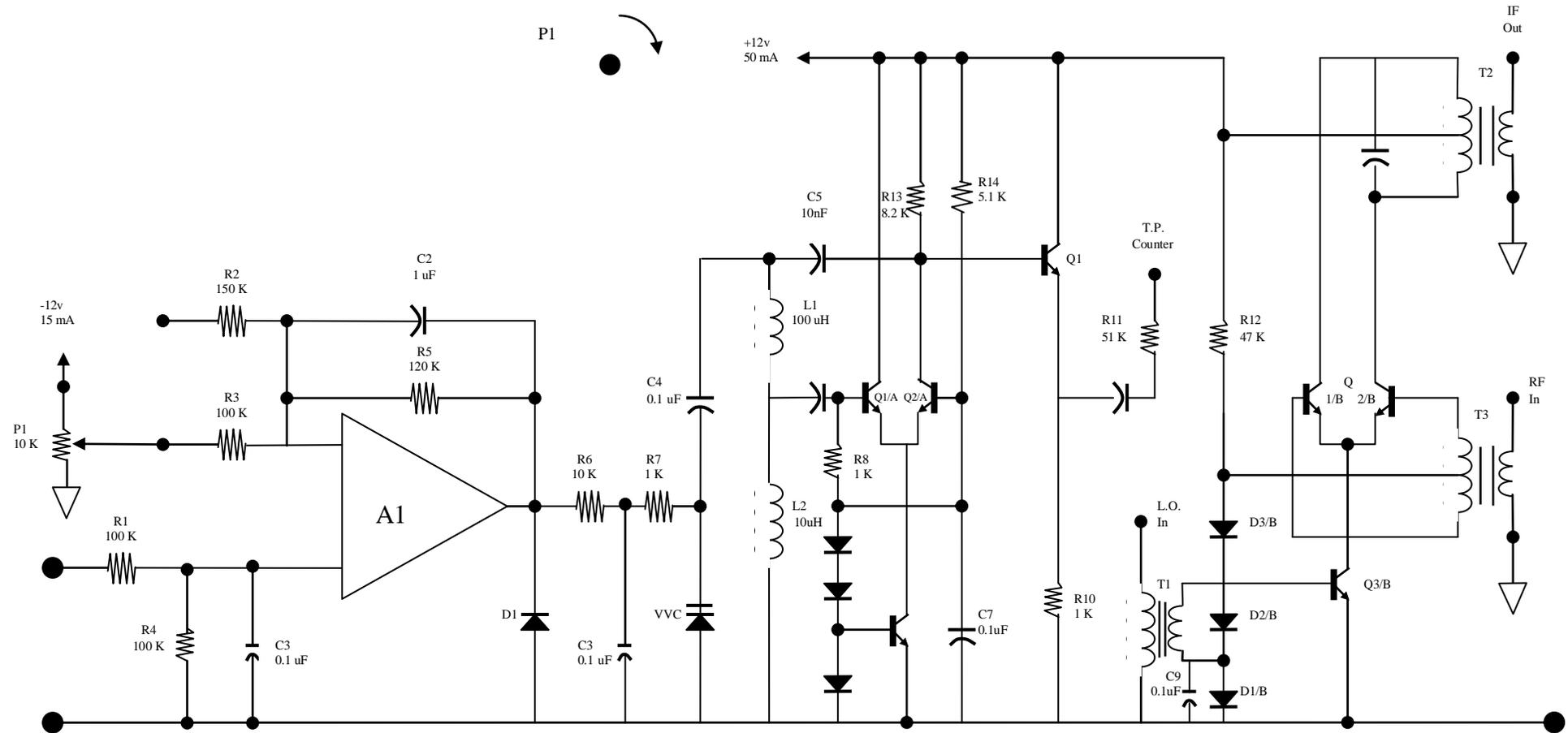


Diagrama 6.

Unidad COM-2/3

OSCILADOR LOCAL Y MEZCLADOR



**Diagrama 7. Unidad COM-3/1**

**OSCILADOR Y AMPLIFICADOR AM/FM**



**Diagrama 8.**

**Unidad COM-3/2  
CIRCUITOS**

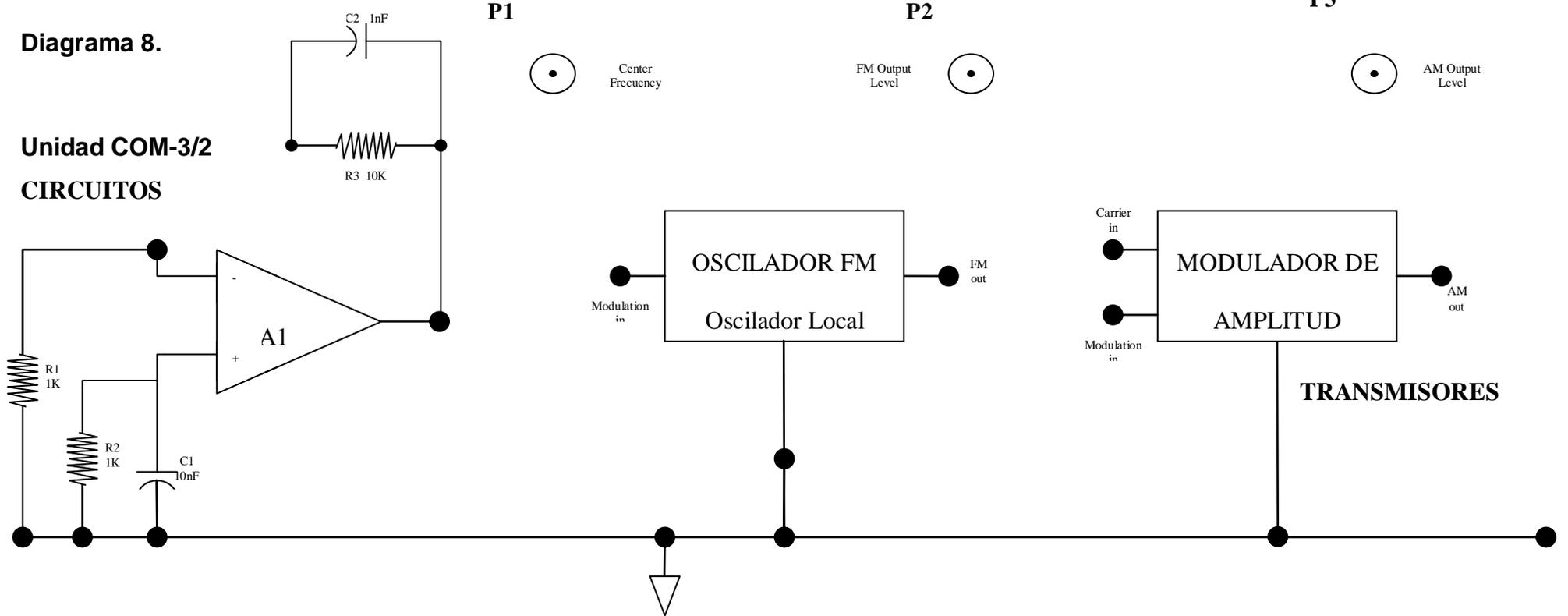
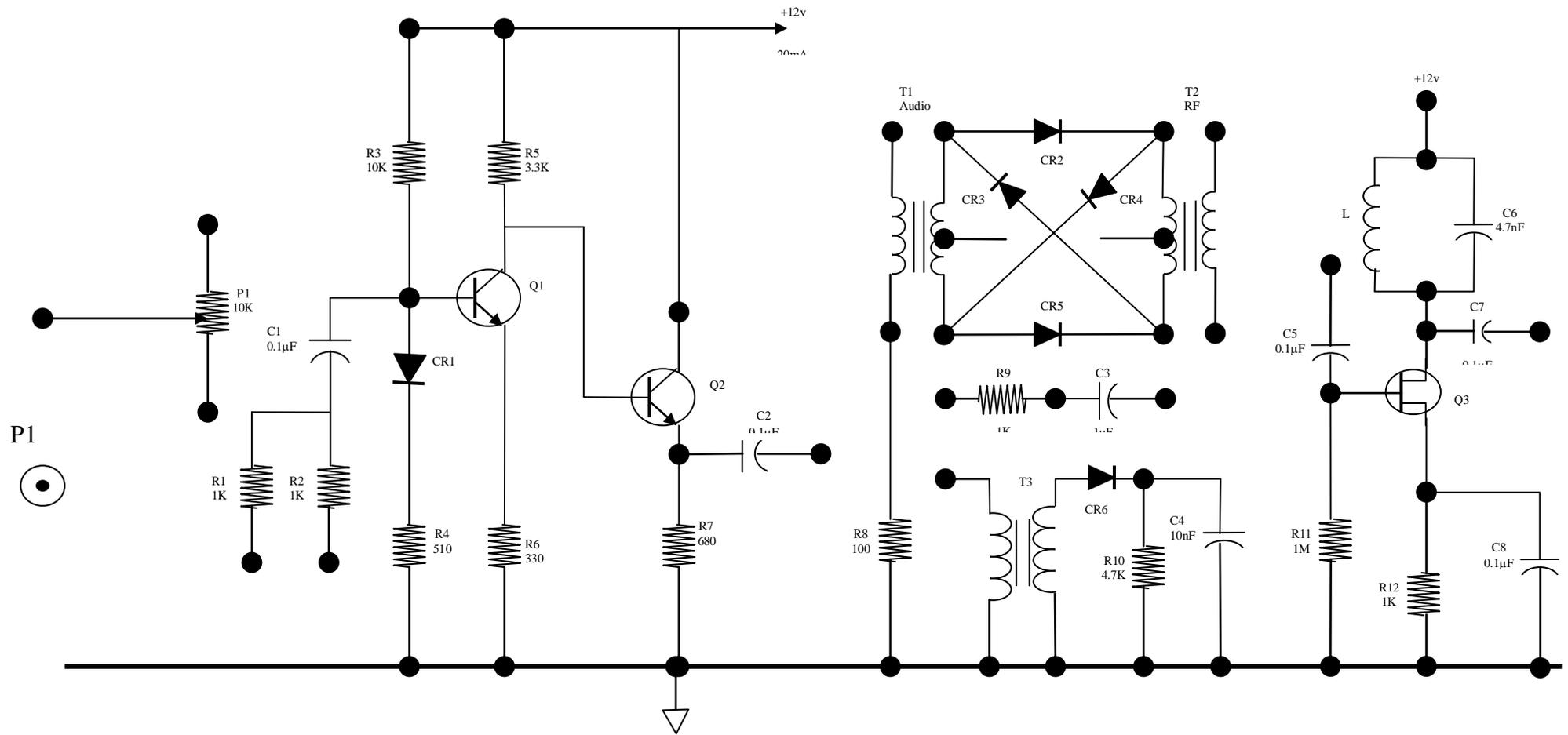


Diagrama 9.  
Unidad COM-3/3

### CIRCUITOS RECEPTORES



**HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS**

**ELABORADO POR**

**CBOS. MENESES EDWIN**

---

**CBOS. MOSQUERA MANUEL**

---

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE TELEMÁTICA**

**Ing. Eduardo Castillo**

**Mayo. Téc. Avc.**

---

**Latacunga, 04 de Diciembre del 2001**