

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICA**

**ESCUELA DE TELEMÁTICA**

**OPTIMIZACIÓN DEL LABORATORIO DE  
COMUNICACIONES MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN  
DE ENTRENADORES EN CIRCUITOS TRANSMISORES  
FMESTEREO DE BAJA POTENCIA Y ELABORACIÓN  
DE GUÍAS DE LABORATORIO**

**POR:**

**CBOS: BONE JIMÉNEZ WILLIAM**

**CBOS: CHANATASIG PILATASIG WILLAM GERMANICO**

**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 . Bone Jiménez William y Cbos. Chanatásig Pilatásig Willam Germanico, como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGOS EN TELEMÁTICA.

Latacunga, 19 de octubre 2001

-----  
Ing. Magdalena Zapata

**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto dedico a mi madre y a todo mi familia porque me apoyaron en todo momento de mi vida de estudiante y gracias a mi esfuerzo, y dedicación de mi parte para poder llegar a ser alguien en la vida, servir a mi patria que me vio nacer.

Es más lo dedico a mi padre y abuelita que desde el cielo me están mirando muy felices por su hijo que nunca les defraudo y así seguir siempre hasta morir.

**Cbos. Chanatasig P. Willam G.**

## **AGRADECIMIENTOS**

En esta parte vale destacar el agradecimiento a todos los instructores tanto militares como civiles que supieron compartir sus conocimientos, que estamos aprovechando para el desarrollo de este proyecto.

En más al Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, donde dimos nuestros primeros pasos, para así llegar a culminar con otra etapa de nuestra vida como estudiante.

**Cbos. Chanatasig P. Willam G.**

## INDICE

Introducción-----	1
-------------------	---

### CAPITULO I EL PROBLEMA

1.1	Planteamiento del problema. -----	2
1.2	Objetivos de la investigación. General y específicos.-----	2
1.3	Justificación o importancia de la investigación.-----	3

### CAPITULO II

#### INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES-----4 ELECTRÓNICA

#### 2.1.1 INTRODUCCIÓN. -----4

2.1.1.1	La Historia de las Comunicaciones Electrónicas. -----	5
---------	---	---

#### 2.1.2 PARAMETROS BÁSICOS PARA LA TRANSMISIÓN

2.1.2.1	Ancho de banda y Capacidad de información -----	8
2.1.2.2	Modos de transmisión -----	10
2.1.2.3	Modulación y Demodulación -----	13
2.1.2.4	El Espectro Electromagnético -----	15
2.1.2.5	Frecuencias de transmisión -----	16
2.1.2.6	Capacidad del canal -----	18
2.1.2.7	Ancho de banda de Nyquist -----	19
2.1.2.8	Fórmula para la capacidad de Shannon -----	22

#### 2.1.3 IMPEDIMENTOS PARA LA TRANSMISIÓN -----22

2.1.3.1	Ruido -----	24
---------	-------------	----

2.1.3.2	Ruido Eléctrico -----	25
2.1.3.3	Ruido no correlacionado -----	31
2.1.3.4	Voltaje de ruido -----	33
2.1.3.5	Ruido Correlacionado -----	35
2.1.3.6	Varios tipos de ruido. -----	39
2.1.3.6	Perturbaciones en la transmisión -----	43

## **CAPITULO III**

### **GENERACIÓN DE SEÑALES -----44**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN -----44**

3.1.1	Análisis de las señales en el dominio del tiempo y frecuencia -----	46
-------	---	----

#### **3.2 OSCILACIÓN -----46**

3.2.1	Tipos de Osciladores -----	59
3.2.2	Importancia de la estabilidad de frecuencia en los osciladores de RF -----	59
3.2.3	Osciladores de retroalimentación -----	62
3.2.4	Oscilador puente de Wien -----	66
3.2.5	Estabilidad de frecuencia -----	67
3.2.6	Osciladores de cristal -----	68
3.2.7	Osciladores de integración a gran escala -----	68
3.2.8	Generación de formas de ondas para circuitos integrados -----	70

#### **3.3 CIRCUITOS DE FASE CERRADA -----72**

3.3 1	Rango de bloque y captura -----	75
-------	---------------------------------	----

## CAPITULO IV

### TRANSMISIÓN DE MODULACIÓN ANGULAR -----75

#### 4.1 INTRODUCCIÓN -----76

#### 4.2 MODULACIÓN ANGULAR -----78

4.2.1 Modulación en frecuencia directa -----78

4.2.2 Modulación en fase directa -----80

4.2.3 Formas de onda de FM y de PM -----83

4.2.4 Desviación de fase, el índice de modulación y la desviación  
de frecuencia -----84

4.2.5 Características del índice de modulación -----85

4.2.6 Porcentaje de modulación -----86

#### 4.3 MODULADORES Y DEMODULADORES DE FASE Y DE FRECUENCIA -----87

4.3.1 Análisis de frecuencia de las ondas con modulación angular -----89

4.3.2 Requerimiento del ancho de bandas para las ondas con  
modulación angular -----90

4.3.3 Relación de desviación -----91

4.3.4 Potencia promedio de una onda de modulación angular -----92

4.3.5 Modulación angular y ruido -----93

#### 4.4 TRANSMISIÓN DE MODULACIÓN EN FRECUENCIA -----94

4.4.1 Moduladores de FM directos -----95

4.4.2 Moduladores de FM indirectos -----96

4.4.3 Transmisores de FM directos -----97

4.4.4	Transmisor de FM directa de circuito de fase cerrada -----	99
4.4.5	PM a partir de FM. -----	100
4.4.6	Transmisores de FM indirectos -----	102
4.4.7	FM contra PM -----	103

## **CAPITULO V: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MODULOS.**

5.1	Selección y evaluación de alternativas.-----	104
5.2	Diseño y construcción del entrenador.-----	107
5.3	Pruebas y análisis de resultados.-----	116

## **CAPITULO VI: MARCO ADMINISTRATIVO.**

6.1	Cronograma.-----	120
6.2	Presupuesto.-----	121

## **CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

7.1	Conclusiones.-----	122
7.2	Recomendaciones.-----	123
	➤ Bibliografía.-----	124
	➤ Anexos.	
	➤ Guías de laboratorio.	
	➤ Guías del usuario.	
	➤ Diagramas.	
	➤ Glosario.	

## **LISTADO DE GRAFICOS**

### **CAPITULO II**

<b>2-1</b>	Diagrama a bloques simplificado de un sistema de-----2 comunicaciones: (a) de solo una dirección; (b) ambas direcciones.
<b>2.2</b>	Diagrama a bloques del sistema de comunicaciones. -----13
<b>2.3</b>	Ruido eléctrico. -----25
<b>2.4</b>	Fuente de ruido. -----33
<b>2.5</b>	Atenuación y distorsión de retardo. -----41

### **CAPITULO III**

<b>3.1</b>	Dominio del tiempo. -----45
<b>3.2</b>	Dominio de la frecuencia. -----45
<b>3.3</b>	El amplificador como oscilador. -----47
<b>3.4</b>	Formas de ondas típicas de osciladores. -----48
<b>3.5</b>	Armónicos Osciladores. -----49
<b>3.6</b>	Circuitos Resonantes LC de Osciladores. -----51
<b>3.7</b>	Oscilador Colpitts. -----52
<b>3.8</b>	Oscilador Clapp. -----53
<b>3.9</b>	Oscilador Hartley. -----55
<b>3.10</b>	Obtención de elevadas frecuencias. -----57
<b>3.11</b>	Modelo de un amplificador con retroalimentación. -----61
<b>3.12</b>	Red adelantada-atrasada: (a) configuración del circuito; -----63 (b) curva de transferencia de entrada contra salida (B).
<b>3.13</b>	Puente de Wien. -----66
<b>3.14</b>	Generador de formas de ondas de circuito integrado. -----70
<b>3.15</b>	Diagrama a bloques para el lazo de fase cerrada. -----72
<b>3.16</b>	Rango de bloqueo del PLL. -----74
<b>3.17</b>	Rango de captura del PLL. -----75
<b>3.18</b>	Rangos de captura y bloqueo del PLL. -----75

### **CAPITULO IV**

<b>4.1</b>	Frecuencia variante con el tiempo. -----80
<b>4.2</b>	Modulación en fase y en frecuencia de una -----82 portadora de onda seno, por una señal de onda seno: (a) portadora demodulada; (b) señal modulante; (c) onda de frecuencia modulada; (d) onda de fase de modulada.

4.3	Modulación y demodulación de frecuencia y de fase. -----	88
4.4	Representación fasorial de la modulación angular, ----- índice de modulación alta.	92
4.5	Triangulo de ruido de FM. -----	93
4.6	Modulador de FM directo simple. -----	94
4.7	Diagrama esquemático de un modulador de FM indirecto. -----	96
4.8	Transmisor de FM de circuito de fase cerrada. -----	98

## **LISTADO DE TABLAS**

2.1	Ancho de banda: Ancho de banda de algunas señales comunes. -----	7
2.2	designaciones de la banda de CCIR. -----	16

## INTRODUCCIÓN

En esencia, comunicaciones electrónicas es la transmisión, recepción y procesamiento de información usando circuitos electrónicos. La información se define como el conocimiento, la sabiduría o la realidad y puede ser en forma analógica (proporcional o continua), tal como la voz humana, información sobre una imagen de video, o música, o en forma digital, tales como números codificados en binario, códigos alfa numéricos, símbolos gráficos, códigos operacionales del microprocesador o información de bases de datos.

Existen dos tipos básicos de sistemas de comunicaciones electrónicas: analógico y digital. Un sistema de comunicaciones analógico es un sistema en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma analógica (una señal variando continuamente tal como una onda senoidal). Los sistemas de radio comerciales emiten señales analógicas. Un sistema de comunicaciones digital es un sistema en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma digital. Los sistemas binarios utilizan señales digitales que solo tienen dos niveles discretos (bi significa dos).

Los sistemas de comunicaciones analógicas fueron los primeros en desarrollarse; sin embargo, en los últimos años los sistemas de comunicaciones digitales se han hecho más comunes.

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del problema**

La necesidad de contar en el Laboratorio de Comunicaciones con un Transmisor FM Estéreo de Baja Potencia y Elaboración de Guías de Laboratorio para complementar la parte teórica con la práctica.

### **1.2 Objetivos de la investigación General y Específicos**

#### **1.2.1 Objetivo General:**

Optimizar el Laboratorio de Comunicaciones Mediante una Construcción de Entrenadores en Circuitos Transmisores FM Estéreo de Baja Potencia y Elaboración de Guías de Laboratorio.

#### **1.2.2 Objetivos Específicos:**

- Implementar circuitos transmisores FM estéreo de baja potencia.
- Elaborar las hojas guías para las prácticas en el laboratorio de Comunicaciones.
- Brindar conocimientos básicos sobre los transmisores FM estéreo.

### **1.3 Justificación o importancia de la investigación**

En vista que el Laboratorio de Comunicaciones no cuenta con el equipo necesario para complementar la parte teórica con la práctica; con la finalidad de conocer lo concerniente a los transmisores FM estéreo de faja potencia, del cual se puede obtener conocimientos de FM, Modulación, partes constitutivas del circuito; propiedades de los diferentes elementos que este contiene, dotando de esta forma al Laboratorio el material necesario para el aprendizaje mediante la construcción de un transmisor FM estéreo y satisfacer las necesidades de los estudiantes de ITSA.

## **CAPITULO II**

### **INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES ELECTRONICAS**

#### **2.1.1 INTRODUCCIÓN.**

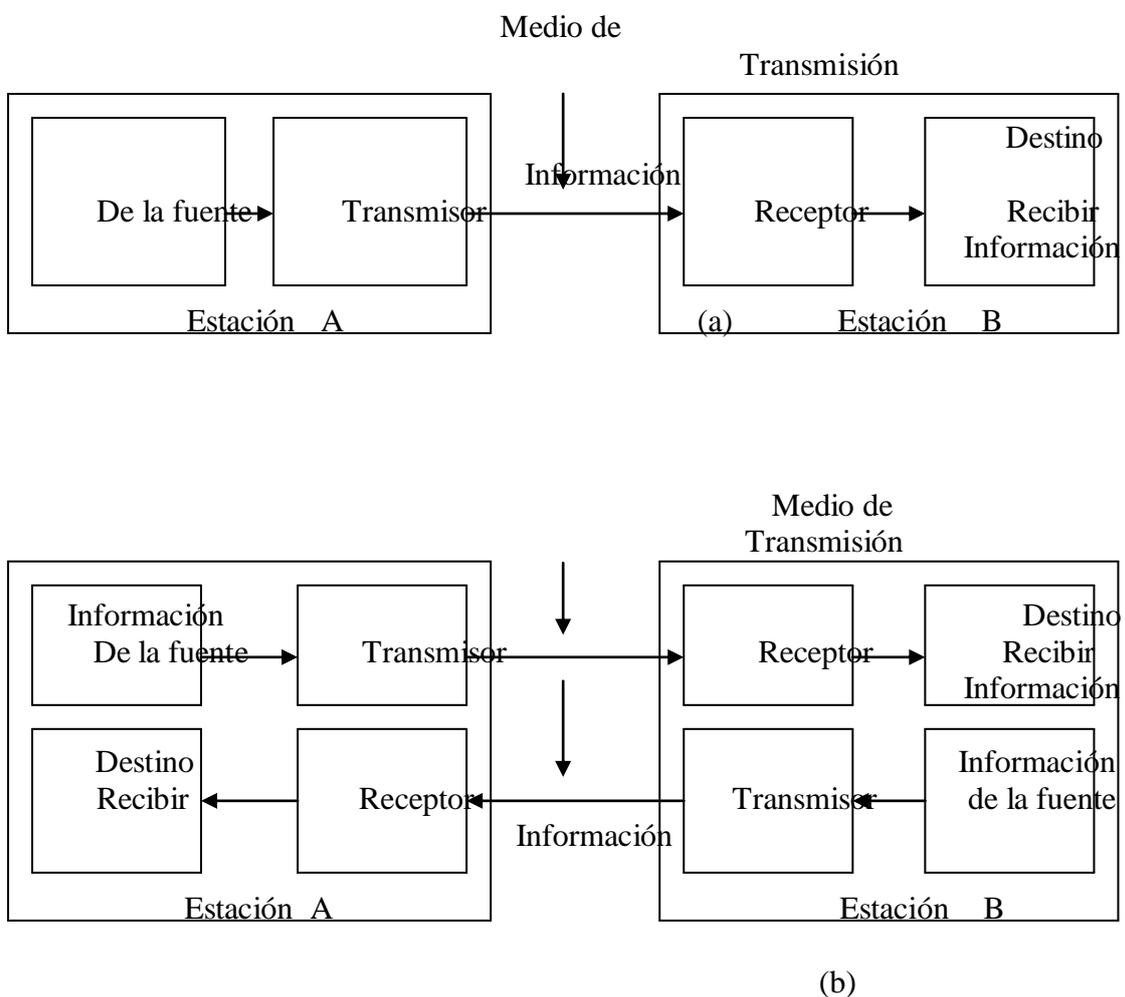
En esencia, comunicaciones electrónicas es la transmisión, recepción y procesamiento de información usando circuitos electrónicos. La información se define como el conocimiento, la sabiduría o la realidad y puede ser en forma analógica (proporcional o continua), tal como la voz humana, información sobre una imagen de video, o música, o en forma digital, tales como números codificados en binario, códigos alfa numéricos, símbolos gráficos, códigos operacionales del microprocesador o información de bases de datos.

Toda la información debe convertirse a energía electromagnética, antes de que pueda propagarse por un sistema de comunicaciones electrónicas.

La figura 2.1 es un diagrama de bloques simplificado de un sistema de comunicaciones electrónicas mostrando la relación entre la información de la fuente original, el transmisor, el medio de transmisión, el receptor, y la información recibida en el destino. Como se muestra en la figura, un sistema de comunicaciones electrónicas consiste en tres secciones primarias: un transmisor, un medio de transmisión y un receptor. El transmisor convierte la información original de la fuente a una más adecuada para la transmisión, el medio de transmisión proporciona un medio de conexión entre el transmisor y el receptor ( tal como un conductor metálico, una fibra óptica o espacio libre), y el receptor convierte la información recibida a su forma

original y la transfiere a su destino. La información original puede originarse de una variedad de fuentes diferentes y ser de forma analógica o digital.

El sistema de comunicaciones mostrado en la figura 2-1a es capaz de transmitir información solamente en una dirección (de la estación A a la estación B), mientras que el sistema de comunicaciones mostrado en la figura 2.1b.



(b)  
 Figura 2-1 Diagrama a bloques simplificado de un sistema de comunicaciones: (a) de solo una dirección; (b) ambas direcciones.

2.1b es capaz de transmitir información en ambas direcciones (de la estación A a la estación B y da la estación B a la estación A).

Cuando se transmite información a partir de muchas fuentes sobre un medio de transmisión común, la información debe combinarse en una señal de información compuesta sencilla. El proceso de combinar la información en una señal de información compuesta se la llama multicanalización, y al proceso de separar la información se la llama desmulticanalización.

Existen dos tipos básicos de sistemas de comunicaciones electrónicas: analógico y digital. Un sistema de comunicaciones analógico es un sistema en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma analógica (una señal variando continuamente tal como una onda senoidal). Los sistemas de radio comerciales emiten señales analógicas. Un sistema de comunicaciones digital es un sistema en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma digital (niveles discretos tal como + 5 V y tierra). Los sistemas binarios utilizan señales digitales que solo tienen dos niveles discretos (bi significa dos).

Frecuentemente la información de la fuente original está en una forma que no es adecuada para la transmisión y debe convertirse en una forma más adecuada antes de la transmisión. Por ejemplo, con los sistemas de comunicaciones digitales, la información analógica se convierte a una forma digital antes de la transmisión, y con los sistemas de comunicaciones analógicas, la información digital se convierte a la forma analógica antes de la transmisión.

Los sistemas de comunicaciones analógicas fueron los primeros en desarrollarse; sin embargo, en los últimos años los sistemas de comunicaciones digitales se han hecho más comunes.

### **2.1.1.1 La Historia de las Comunicaciones Electrónicas.**

La teoría sobre las comunicaciones electrónicas comenzó a mediados del siglo XIX con el físico inglés, James Clerk Maxwell. Las investigaciones matemáticas de Maxwell indicaron que la electricidad y la luz viajan en forma de ondas electromagnéticas, y por lo tanto, están relacionadas una con otra. Maxwell predijo que era posible propagar ondas electromagnéticas por el espacio libre utilizando descargas eléctricas. Sin embargo, la propagación de ondas fue lograda hasta 1888 cuando Heinrich Hertz, un científico alemán, pudo radiar energía electromagnética desde una máquina que él llamaba oscilador.

Hertz desarrolló el primer transmisor de radio y, usando estos aparatos, pudo generar radiofrecuencias entre 31 MHz y 1.25 GHz. Hertz también desarrolló la primera antena rudimentaria, la cual aún se usa de manera modificada hoy en día. En 1892, E. Branly, de Francia, desarrolló el primer detector de radio y, exactamente un año después un experimentador ruso, A.S. Popoff, grabó ondas de radio emanadas de relámpagos.

El primer sistema de comunicaciones electrónicas fue desarrollado en 1837 por Samuel Morse. Morse, usando la inducción electromagnética, pudo transmitir información en forma de puntos, guiones y espacios por medio de un cable metálico. Le llamó a su invento el telégrafo. En 1876, un canadiense educador y terapeuta del lenguaje llamado Alexander Graham Bell y su asistente, Thomas A. Watson un inventor también conocido, transmitieron exitosamente una conversación humana a

través de un sistema telefónico funcional usando cables metálicos como medio de transmisión.

En 1894, Guglielmo Marconi, un joven científico italiano, logró las primeras comunicaciones electrónicas inalámbricas cuando transmitió señales de radio a tres cuartos de milla por la atmósfera de la tierra atravesando la propiedad de su padre.

Por 1896, Marconi estaba transmitiendo señales de radio hasta dos millas desde los barcos a tierra, y en 1899 envió el primer mensaje inalámbrico por el Canal de la Mancha de Francia a Dover, Inglaterra. En 1902, las primeras señales trasatlánticas fueron enviadas de Poldu, Inglaterra, a Newfoundland. Lee Deforest inventó el tubo de vacío de triodo en 1908, el cual permitió la primera amplificación práctica de las señales electrónicas. La emisión regular de la radio comenzó en 1920, cuando las estaciones de radio AM (amplitud modulada) WWJ en Detroit, Michigan y, KDKA en Pittsburg, Pennsylvania, comenzaron las emisiones comerciales. En 1933, el mayor Edwin Howard Armstrong inventó la frecuencia modulada (FM), y la emisión comercial de las señales FM comenzó en 1936.

En 1948, el transmisor fue inventado en los laboratorios de teléfonos Bell por William Shockley, Walter Brattain y John Bardeen. El transistor llevó al desarrollo y refinamiento del circuito integrado en la década de 1960.

Aunque los conceptos generales de las comunicaciones electrónicas no han cambiado mucho desde su comienzo, los métodos por los cuales estos conceptos se han implantado han sufrido cambios dramáticos y sorprendentes recientemente. No hay

realmente límites sobre las expectativas para los sistemas de comunicaciones electrónicas del futuro.

## **2.1.2 PARAMETROS BÁSICOS PARA LA TRANSMISIÓN**

### **2.1.2.1 Ancho de banda y Capacidad de información**

Las dos limitaciones más significativas en el funcionamiento del sistema de comunicaciones son: el ruido y el ancho de banda. El ancho de banda de un sistema de comunicaciones es la banda de paso mínima (rango de frecuencias) requerida para propagar la información de la fuente a través del sistema. El ancho de banda de un sistema de comunicaciones debe ser lo suficientemente grande (ancho) para pasar todas las frecuencias significativas de la información.

La capacidad de información de un sistema de comunicaciones es una medida de cuánta información de la fuente puede transportarse por el sistema, en un periodo dado de tiempo. La cantidad de información que puede propagarse a través de un sistema de transmisión es una función del ancho de banda del sistema y el tiempo de transmisión.

La relación entre el ancho de banda, tiempo de transmisión y capacidad de información fue desarrollada en 1920 por R. Hartley de los Laboratorios Telefónicos Bell. De manera sencilla, la ley de Hartley es

$$I \propto B * t \quad (2.1)$$

En donde

- I = Capacidad de información
- B= ancho de banda (hertz)
- T= tiempo de transmisión (segundos)

La ecuación muestra que la capacidad de información es una función lineal y directamente proporcional al ancho de banda del sistema y al tiempo de transmisión. Si se modifica el ancho de banda o el tiempo de transmisión, ocurrirá un cambio directamente proporcional en la capacidad de información.

Se requiere aproximadamente 3 KHz de ancho de banda para transmitir señales telefónicas con calidad de voz. Se requieren más de 200 KHz de ancho de banda para la Transmisión de FM comercial de música de alta fidelidad y se necesita casi 6 MHz de ancho de banda para las señales de televisión con una calidad de radiodifusión (es decir, cuando mayor sea la cantidad de información por unidad de tiempo, mayor será la cantidad del ancho de banda requerida).

**Tabla 2.1** Ancho de banda: Ancho de banda de algunas señales comunes

Clase de emisión	Ancho de banda común
Código morse (CW)	10 Hz – 250 Hz
Radioteletipo (RTTY)	220 Hz – 800 Hz
Banda lateral única (SSB)	3 KHz
Televisión de barrido lento (SSTV)	3KHz
Modulación en amplitud, voz (AM)	6KHz
Modulación en amplitud, música (AM)	10 KHz
Modulación en frecuencia, voz (FM)	10 KHz
Modulación en frecuencia, música (FM)	100 KHz
Televisión (TV)	3MHz – 10MHz

### 2.1.2.2 Modos de transmisión

Los sistemas de comunicaciones electrónicas pueden para diseñarse para manejar la transmisión solamente en una dirección, en ambas direcciones pero sólo uno a la vez, o en ambas direcciones al mismo tiempo. Estos se llaman modos de transmisión. Cuatro modos de transmisión son posibles:

- Simplex.
- Half - duplex.
- Full – duplex.
- Full / Full duplex.

#### a) **Simplex (SX)**

Con la operación simplex, las transmisiones pueden ocurrir sólo en una dirección. Los sistemas simples son, algunas veces, llamados sistemas de un sentido, sólo para recibir o sólo para transmitir. Una ubicación puede ser un transmisor o un receptor, pero no ambos. Un ejemplo de la transmisión simplex es la radiodifusión de la radio comercial o de televisión; la estación de radio siempre transmite y el usuario siempre recibe.

#### b) **Half-duplex (HDX)**

Con una operación half-duplex, las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. A los sistemas half-duplex, algunas veces se les llama sistemas con alternativa de dos sentidos, cualquier sentido, o cambio y fuera. Una

ubicación puede ser un transmisor y un receptor, pero no los dos al mismo tiempo. Los sistemas de radio de doble sentido que utilizan los botones oprima para hablar (PTT), para operar sus transmisores, como los radios de banda civil y de banda policiaca son ejemplos de transmisión half-duplex.

**c) Full-duplex (FDX)**

Con una operación full-duplex, las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones al mismo tiempo. A los sistemas de full-duplex algunas veces se les llama líneas simultánea de doble sentido, duplex o de ambos sentidos. Una ubicación puede transmitir y recibir simultáneamente; sin embargo, la estación a la que está transmitiendo también debe ser la estación de la cual está recibiendo. Un sistema telefónico estándar es un ejemplo de una transmisión full-duplex.

**d) Full / full-duplex (F / FDX)**

Con una operación full / full-duplex, es posible transmitir y recibir simultáneamente, pero no necesariamente entre las mismas dos ubicaciones (es decir, una estación puede transmitir a una segunda estación y recibir de una tercera estación al mismo tiempo).

Las transmisiones full / full-duplex se utilizan casi exclusivamente con circuitos de comunicaciones de datos. El Servicio Postal de Estados Unidos es un ejemplo de una operación full / full-duplex.

**2.1.2.3 Modulación y Demodulación**

No es práctico propagar energía electromagnética de baja frecuencia por la atmósfera de la tierra. Por lo tanto, con las comunicaciones de radio, es necesario superponer una señal de inteligencia de frecuencia relativamente baja a una señal de frecuencia relativamente alta para la transmisión.

En los sistemas de comunicaciones electrónicas analógicas, la información de la fuente actúa sobre o modula una señal senoidal de frecuencia sencilla. Modular simplemente significa variar, cambiar o regular. Por lo tanto, información de la fuente de frecuencia relativamente baja se llama señal de modulación, la señal de frecuencia relativamente alta, sobre la cual se actúa se llama la portadora, y la señal resultante se llama la onda modulada o señal. En esencia, la información de la fuente se transporta a través del sistema sobre la portadora.

Con los sistemas de comunicaciones analógicas, la modulación es el proceso de variar o cambiar alguna propiedad de una portadora analógica de acuerdo con la información original de la fuente. Recíprocamente, la demodulación es el proceso de convertir los cambios en la portadora analógica a la información original de la fuente.

La modulación se realiza en el transmisor, en un circuito llamado modulador, y la demodulación se lo realiza en el receptor, en un circuito llamado demodulador. La señal de información que modula la portadora principal se llama señal de banda base o simplemente banda base. La banda base es una señal de información, como un canal telefónico sencillo, y la señal de banda base compuesta es la señal para la información total, como varios cientos de canales telefónicos. Las señales de banda base se convierten a partir de su banda de frecuencia original a una banda más adecuada para

transmisión a través del sistema de comunicaciones. Las señales de banda base se convierten en frecuencia alta en el transmisor y se convierten en frecuencia baja en el receptor. La traslación de frecuencia es el proceso de convertir una frecuencia sencilla o una banda de frecuencias a otra ubicación en el espectro de frecuencia total.

El término canal es comúnmente utilizado, cuando se refiere a una banda específica de frecuencias distribuidas, para un servicio en particular o transmisión. Por ejemplo, un canal estándar de banda de frecuencia para voz ocupa un ancho de banda de 3KHz y se utiliza para la transmisión de señales de voz de calidad. Un canal de RF se refiere a una banda de frecuencias usadas para propagar señales de radiofrecuencia, tal como un canal sencillo y comercial de emisión FM que ocupa, aproximadamente, una banda de frecuencias de 200KHz dentro de la banda total de 88 a 108 MHz asignada para la transmisión comercial de FM.

La ecuación 2.2 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 ( $f$ ), la fase ( $\Theta$ ), o cualquier combinación de dos o más de estas propiedades. Si la amplitud de la portadora es variada proporcionalmente a la información de la fuente, resulta la amplitud modulada (AM). Si la frecuencia de la portadora varía proporcionalmente a la información de la fuente, resulta la frecuencia modulada (FM). Si la fase de la portadora varía proporcionalmente a la información de la fuente, resulta la fase modulada (PM).

$$V(t) = V \text{ sen } (2\pi ft + \Theta) \quad (2.2)$$

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

$V$  = máxima amplitud (volts)

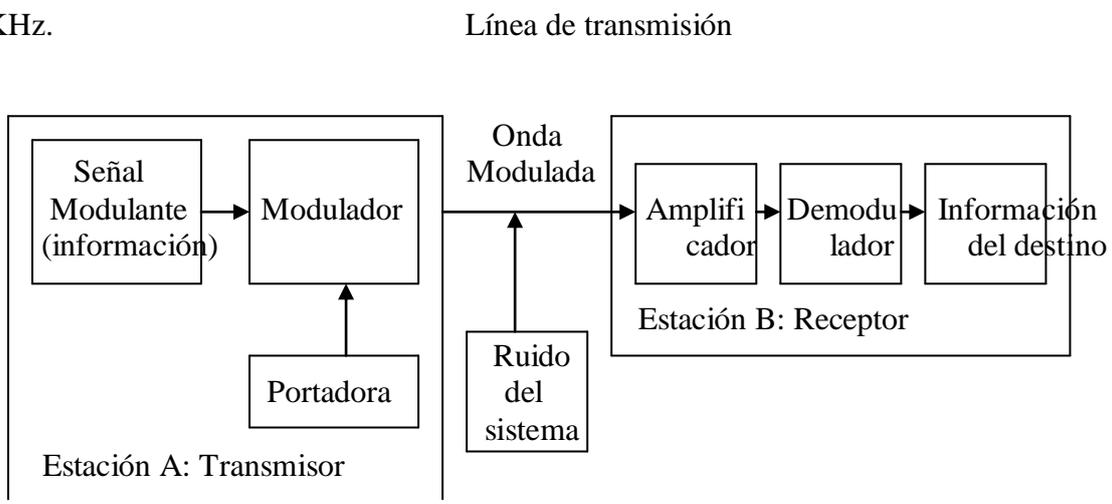
$F$  = frecuencia (hertz)

$\Theta$  = fase (radianes)

La figura 2.2 es un diagrama de bloques simplificado de un sistema de comunicaciones que muestra la relación entre la señal de modulación (información), la señal modulada (portadora), la onda modulada (resultante) y el ruido del sistema.

Hay dos razones importantes de porque es necesaria la modulación en un sistema de comunicaciones electrónicas. La primera es el hecho de que es extremadamente difícil radiar señales a frecuencias bajas por la atmósfera de la tierra en forma de energía electromagnética.

Segundo, las señales de información frecuentemente ocupan la misma banda de frecuencia y, si son transmitidas en su forma original, interferirán. Un ejemplo de esto es la banda radiodifusora de FM comercial. Todas las estaciones FM emiten información de voz y música que ocupa la banda de frecuencias de audio de 0 a 15 KHz.



## **Figura 2.2** Diagrama a bloques del sistema de comunicaciones

Cada estación traslada su información a una banda de frecuencias diferente (canal), para que sus transmisiones no interfieran con las transmisiones de las demás.

### **2.1.2.4 El Espectro Electromagnético**

El propósito de un sistema de comunicaciones electrónica es comunicar información entre dos o más ubicaciones (generalmente llamadas estaciones). Esto se logra convirtiendo la información de la fuente original a energía electromagnética y después transmitiendo la energía a uno o más destinos, en donde se convierte de nuevo a su forma original. La energía electromagnética puede propagarse en varios modos:

- como un voltaje o una corriente a través de un cable metálico.
- como ondas de radio emitidas por el espacio libre.
- como ondas de luz por una fibra óptica.

La energía electromagnética está distribuida a través de un rango de frecuencias casi infinito. El espectro de frecuencias electromagnéticas total que muestra las localizaciones aproximadas de varios servicios dentro de la banda. Puede verse que el espectro de frecuencias se extiende desde las frecuencias subsónicas (uno cuantos hertz) a los rayos cósmicos. Cada banda de frecuencias tiene una característica única que la hace diferente de las otras bandas.

Cuando se trata de ondas de radio, es común usar las unidades de la longitud de onda en vez de la frecuencia. La longitud de onda es la longitud que un ciclo de una onda electromagnética ocupa en el espacio (es decir, la distancia entre los puntos semejantes en una onda repetitiva). La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda y directamente proporcional a la velocidad de propagación (la velocidad de propagación de la energía electromagnética en el espacio libre se asume que sea la velocidad de la luz ). La relación entre la frecuencia, velocidad y longitud de onda se expresa matemáticamente como:

$$\text{Longitud de onda} = \frac{\text{velocidad}}{\text{Frecuencia}}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.3)$$

en donde  $\lambda$  = longitud de onda (metros por ciclo)

$c$  = velocidad de la luz (300.000.000 m/s)

$f$  = frecuencia (hertz)

#### **2.1.2.5 Frecuencias de transmisión**

El espectro total de la frecuencia electromagnética está dividido en subsectores o bandas. Cada banda tiene un nombre y límites. En Estados Unidos, las asignaciones de frecuencias para la propagación de radio en espacio libre, son asignadas por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC).

Por ejemplo, la banda de radiodifusión de FM comercial se extiende de 88 a 108 MHz. Las frecuencias exactas asignadas a transmisores específicos funcionando en las

diversas clases de servicios están constantemente actualizándose y alterándose, para cubrir las necesidades de comunicaciones de la nación. Sin embargo, la división general del espectro de frecuencia totalmente utilizable se decide en las Convenciones Internacionales de Telecomunicaciones, las cuales son realizadas aproximadamente 10 años.

El espectro de frecuencia de radio (RF) totalmente utilizable se divide en bandas de frecuencia más angostas, las cuales son asignadas con nombres descriptivos y números de banda. Las designaciones de banda del Comité Consultivo Internacional de Radio (CCIR), se mencionan en la tabla varias de estas bandas se dividen en diversos tipos de servicios, tales como una búsqueda a bordo de un barco, microondas, satélite, búsqueda móvil basada en tierra, navegación de barco, aproximación de aeronaves, detección de superficie de aeropuerto, clima desde aeronaves, teléfono móvil y muchos más.

**TABLA 2.2 DESIGNACIONES DE LA BANDA DE CCIR**

Número de la banda	Rango de frecuencias	Designaciones
2	30-300 Hz	ELF ( frecuencias extremadamente bajas)
3	0.3-3 KHz	VF ( frecuencias de voz)
4	3-30 KHz	VLF ( frecuencias muy bajas)
5	30-300 KHz	LF ( frecuencias bajas)
6	0.3-3 MHz	MF ( frecuencias medias)
7	0.3-30 MHz	HF ( frecuencias altas)
8	30-300 MHz	VHF ( frecuencias muy altas)
9	0.3-3 GHz	UHF ( frecuencias ultra altas)
10	0.3-30 GHz	SHF ( frecuencias superaltas)
11	30-300 GHz	EHF ( frecuencias extremadamente altas)
12	0.3-3 THz	Luz infrarroja
13	0.3-30 THz	Luz infrarroja
14	30-300 THz	Luz infrarroja
15	0.3-3 PHz	Luz visible
16	0.3-30 PHz	Luz ultravioleta
17	30-300 PHz	Rayos – X
18	0.3-3 EHz	Rayos gamma
19	0.3-30 EHz	Rayos cósmicos

$10^0$ , hertz(Hz);  $10^3$ , Kiloherztz (KHz);  $10^6$ , megahertz (MHz);  $10^9$  gigahertz (GHz);  $10^{12}$ , terahertz (THz);  $10^{15}$ , petahertz (PHz);  $10^{18}$ , exahertz (EHz)

#### 2.1.2.6 Capacidad del canal

Se ha visto que hay una gran variedad de efectos nocivos que distorsionan o corrompen la señal. Para los datos digitales, la cuestión a resolver es en qué medida estos efectos limitan la velocidad con la que se pueden transmitir. Se denomina *capacidad del canal* a la velocidad a la que se pueden transmitir los datos en un canal o ruta de comunicación de datos.

Hay cuatro conceptos relacionados con la capacidad, que son:

- **La velocidad de transmisión de los datos:** es la velocidad expresada en bits por segundo (bps), a la que se pueden transmitir los datos.
- **El ancho de banda:** es el ancho de banda de la señal transmitida que estará limitado por el transmisor y por la naturaleza del medio de transmisión; se mide en ciclos por segundo o hertzios.
- **El ruido:** es el nivel medio de ruido a través del camino de transmisión.
- **La tasa de errores:** es la tasa a la que ocurren los errores. Se considera que ha habido un error cuando se recibe un 1 habiendo transmitido un 0 o se recibe un 0 habiendo transmitido un 1.

El problema considerado aquí es el siguiente: los servicios de comunicación son, por lo general, caros, y normalmente cuanto mayor es el ancho de banda requerido por el servicio, mayor es el costo.

Es más, todos los canales de transmisión de interés práctico están limitados en banda. Las limitaciones surgen de las propiedades físicas de los medios de transmisión o por limitaciones que se imponen deliberadamente en el transmisor para prevenir interferencias con otras fuentes. Por consiguiente, es deseable hacer un uso tan eficiente como sea posible, dado un ancho de banda limitado. Para los digitales, esto significa que para un ancho de banda determinado sería deseable conseguir la mayor velocidad de datos posibles no superando la tasa de errores permitida. El mayor inconveniente para conseguir este propósito es la existencia de ruido.

#### **2.1.2.7 Ancho de banda de Nyquist**

Para comenzar, considérese el caso de un canal exento de ruido. En este entorno, la limitación en la velocidad de los datos está impuesta simplemente por el ancho de banda de la señal. Nyquist formalizó esta limitación, afirmando que si la velocidad de transmisión de la señal es  $2B$ , entonces una señal con frecuencias no superiores a  $B$  es suficiente para transportar esta velocidad de transmisión de la señal. Y viceversa: dado un ancho de banda de  $B$ , la velocidad mayor de transmisión de la señal que se puede conseguir es  $2B$ . Esta limitación está provocada por la interferencia entre símbolos, que se produce por la distorsión de retardo.

Obsérvese que en el último párrafo, nos hemos referido a la velocidad de la señal. La formulación de Nyquist para el caso de señales multinivel es

$$C = 2B \log_2 M \quad (2.4)$$

Donde:

M= es el número de señales discretas o niveles de tensión.

Así pues, para  $M = 8$ , valor típico que se usa en algunos módems, la capacidad resulta ser 18600 bps.

Por tanto, para un ancho de banda dado, la velocidad de transmisión de datos se puede incrementar considerando un número mayor de señales diferentes. Sin embargo, esto supone una dificultad mayor en el receptor: en lugar de tener que distinguir una de entre dos señales, deberá distinguir una de entre M posibles señales. El ruido y otras dificultades en la línea de transmisión limitarán el valor de M.

### **2.1.2.8 Fórmula para la capacidad de Shannon**

La formula de Nyquist implica que al duplicar el ancho de banda se duplica la velocidad de transmisión, si todo lo demás se mantiene inalterado. Ahora establezcamos una relación entre la velocidad de transmisión, el ruido y la tasa de errores. La presencia de ruido puede corromper uno o más bits. Si se aumenta la velocidad de transmisión, el bit se hace más corto de tal manera que dado un patrón de ruido, éste afectará a un mayor número de bits. Así pues, dado un nivel de ruido, cuanto mayor es la velocidad de transmisión, mayor es la tasa de errores.

Todos estos conceptos se pueden relacionar con la fórmula desarrollada por el matemático Claude Shannon. Como se ha comentado, cuanto mayor es la velocidad de transmisión, mayor es el daño que puede ocasionar el ruido. Dado un nivel de ruido, es de esperar que incrementando la energía de la señal se mejoraría la recepción de datos de presencia de ruido.

Un parámetro fundamental en el desarrollo de este razonamiento es la relación señal-ruido (SNR), que define como el cociente entre la potencia de la señal y la potencia del ruido presente en un punto determinado en el medio de transmisión. Generalmente, este cociente se mide en el receptor, ya que es aquí donde se realiza el procesamiento de la señal y la eliminación del ruido no deseado. Por cuestiones de comodidad, la SNR se proporciona en decibelios:

$$(SNR)_{DB} = 10 \text{ LOG}_{10} \frac{\text{Potencia de la señal}}{\text{Potencia de ruido}} \quad (2.5)$$

La ecuación (2.5) muestra, en decibelios, cuánto excede la señal al nivel de ruido. Una SNR alta significará una señal de alta calidad y la necesidad de un reducido número de repetidores.

La relación señal-ruido es importante en la transmisión de datos digitales, ya que determina la máxima velocidad de transmisión que se puede conseguir. Una conclusión

de Shannon es que la capacidad máxima del canal, en bits por segundo, verifica la ecuación (2.6)

$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) \quad (2.6)$$

Donde:

C= es la capacidad del canal en bits por segundo.

B= es el ancho de banda del canal en hertzios.

La fórmula de Shannon representa el máximo límite teórico que se puede conseguir. Sin embargo, en la práctica, se consiguen razones de bits mucho menores. Una razón para esto reside en el hecho de que la fórmula anterior supone ruido blanco (ruido térmico). Además no se han tenido en cuenta el ruido impulsivo, la atenuación o la distorsión de retardo.

La capacidad tal como se ha calculado en la fórmula precedente se denomina capacidad libre de errores. Shannon probó que si la tasa de información real en el canal es menor que la capacidad libre de errores, entonces es posible teóricamente usar una codificación de la señal que consiga una transmisión exente de errores a través del canal. Desafortunadamente, el teorema de Shannon no sugiere la manera de encontrar dicho código, pero proporciona un criterio de referencia con el que se pueden comparar las prestaciones de los esquemas de comunicación reales.

Pueden ser instructivas otras consideraciones adicionales que se deducen a partir de la ecuación anterior. Para un nivel de ruido dado, podría parecer que la velocidad de transmisión se puede aumentar incrementando tanto la energía de la señal como el ancho de banda. Sin embargo, al aumentar la energía de la señal, también lo hacen las

no linealidades del sistema, dando lugar a un aumento del ruido de íntermodulación. Obsérvese igualmente, que como el ruido se ha supuesto blanco, cuanto mayor sea el ancho de banda, más ruido se introducirá en el sistema. Por lo tanto, cuando B aumenta, la SNR disminuye.

### **2.1.3 IMPEDIMENTOS PARA LA TRANSMISIÓN**

#### **2.1.3.1 Ruido**

En cualquier dato transmitido, la señal transmitido consistirá en la señal transmitida modificada, debido a las distorsiones introducidas por el sistema de transmisión, además de señales no deseadas que se insertaran en algún punto entre el emisor y el receptor. A estas ultimas señales no deseadas se les denomina ruido. El ruido es el factor de mayor importancia a la hora de limitar las prestaciones de un sistema de comunicación.

La señal de ruido se puede clasificar en cuatro categorías:

- Ruido térmico.
- Ruido de intermodulación.
- Diafonía.
- Ruido impulsivo.

a) **El ruido térmico** se debe a la agitación térmica de los electrones. Está presente en todos los dispositivos electrónicos y medios de transmisión; como su nombre indica es función de la temperatura. El ruido térmico está uniformemente distribuido en el

espectro de frecuencias y es por esto por lo que a veces se denomina ruido blanco. El ruido térmico no se puede eliminar y, por tanto, impone un límite superior en las prestaciones de los sistemas de comunicación. La cantidad de ruido térmico en un ancho de banda de 1 Hz en cualquier dispositivo o conductor es

$$N_0 = KT \text{ (W/Hz)} \quad (2.7)$$

Donde

$N_0$  = densidad de potencia del ruido, en vatios por 1 Hz de ancho de banda.

$K$  = constante de Boltzmann =  $1,3803 * 10^{-23} \text{ J/}^0\text{K}$

$T$  = temperatura, en grados Kelvin.

Cuando las señales de distintas frecuencias comparten el mismo medio de transmisión puede producirse un **ruido de intermodulación**. El efecto del ruido de intermodulación es la aparición de señales a frecuencias que sean suma o diferencia de las dos frecuencias originales, o múltiplos de estas. Por ejemplo, la mezcla de las señales de frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  puede producir energía a frecuencias  $f_1 + f_2$ . Estas componentes espurias podrían interferir con otras componentes a frecuencia  $f_1 + f_2$ .

**b) El ruido de intermodulación** .-se produce cuando hay alguna no linealidad en el transmisor, receptor, o el sistema de transmisión. Normalmente, estos sistemas se comportan como sistemas lineales; es decir, la salida es igual a la entrada multiplicada por una constante. En los sistemas no lineales, la salida es una función más compleja de la entrada. Estas componentes pueden aparecer debido al funcionamiento incorrecto de

los sistemas o por el uso de excesiva energía en la señal. Bajo estas circunstancias aparecen términos suma o diferencia, o lo que es lo mismo ruido intermodulación.

c) **La diafonía** la ha podido experimentar todo aquel que al usar un teléfono, haya oído otra conversación; se trata en realidad de un acoplamiento no deseado entre las líneas que transportan las señales. Esto puede ocurrir por el acoplamiento eléctrico entre cables de pares cercanos, o en raras ocasiones, en líneas de cable coaxial que transporten varias señales. La diafonía también puede aparecer cuando las señales no deseadas se captan en las antenas de microondas; aunque estas se caracterizan por ser altamente direccionales, la energía de las microondas se dispersa durante la transmisión.

Normalmente, la diafonía es el mismo orden de magnitud (o inferior) que el ruido térmico.

Los ruidos antes descritos son de magnitud constante y razonablemente predecible. Así pues, es posible idear un sistema de transmisión que les haga frente. Por el contrario.

d) **El ruido impulsivo.**- es no-continuo y está constituido por pulsos o picos irregulares de corta duración y de amplitud relativamente grande. Se generan por una gran diversidad de causas, como, por ejemplo, por perturbaciones electromagnéticas exteriores producidas por tormentas atmosféricas, o fallos y defectos en los sistemas de comunicación.

Generalmente, el ruido impulsivo no tiene mucha trascendencia para los datos analógicos. Por ejemplo, la transmisión de voz se puede perturbar mediante chasquidos o crujidos cortos sin ninguna pérdida de inteligibilidad. Sin embargo, el ruido impulsivo

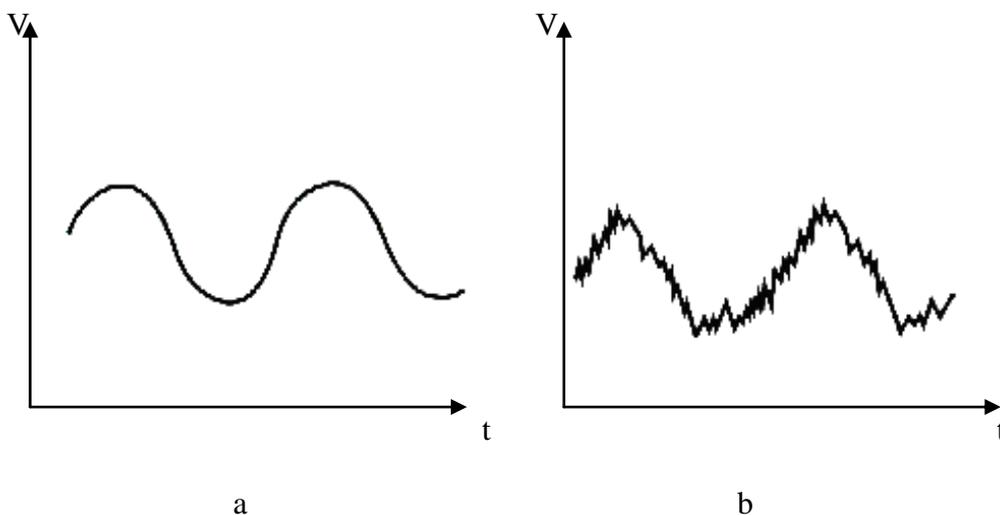
Es una de las fuentes principales de error en la comunicación digital de datos. Por ejemplo, un pico de energía con duración de 0,01 no inutilizaría datos de voz, pero podría corromper 560 bits aproximadamente si se transmiten a 56 Kbps.

### 2.1.3.2 Ruido Eléctrico

En general, el ruido eléctrico se define como cualquier energía eléctrica no deseada presente en la pasa banda útil de un circuito de comunicaciones. Por ejemplo, en una grabación de audio cualquier señal no deseada que cae en la banda de frecuencias, entre 0 y 15 KHz, 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 2.3 a muestra el efecto que el ruido tiene sobre una señal eléctrica. Enseña una señal perfecta sin ruido y la figura 2.3 b muestra la misma señal excepto que con la presencia de ruido. Como muestran las figuras, la señal que ha sido contaminada con ruido es distorsionada y obviamente contiene otras frecuencias además de la original.

Esencialmente, el ruido puede dividirse en dos categorías generales, correlacionado y no correlacionado. Correlación implica una relación entre la señal y el ruido. El ruido no correlacionado está presente en la ausencia de cualquier señal.



## **figura 2.3** Ruido eléctrico

### **2.1.3.3 Ruido no correlacionado**

El ruido no correlacionado está presente sin importar si hay una señal presente o no. El ruido no correlacionado se puede dividir en dos categorías generales: externo e interno.

**a) Ruido externo.-** El 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 tres tipos principales de ruido externo: atmosférico, extraterrestre y hecho por el hombre.

**a.1 Ruido atmosférico.-** El ruido atmosférico es la energía eléctrica que ocurre naturalmente, se origina dentro de la atmósfera de la tierra. El ruido atmosférico es comúnmente llamado electricidad estática. La fuente de la mayoría de la electricidad estática son perturbaciones eléctricas naturales, tales como relámpagos. La electricidad estática frecuentemente viene en la forma de impulsos que despliegan su energía en un rango amplio de radio frecuencias. La magnitud de estos impulsos medida de los eventos que ocurren naturalmente ha sido observada que es inversamente proporcional a la frecuencia. Consecuentemente, en las frecuencias superiores a aproximadamente 30 MHz, el ruido atmosférico es insignificante. Además, las frecuencias superiores a 30 MHz están limitadas principalmente a la propagación de línea de vista, lo cual limita su rango de interferencia a aproximadamente 80 Km (50 millas).

El ruido atmosférico es la suma de la energía eléctrica de todas las fuentes externas, locales y distantes. 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 y , en parte, en las variaciones diurnas y estacionarias del año. El ruido atmosférico es el tronido, la estática, familiar que se escucha en un receptor de radio predominantemente en la ausencia de la señal recibida y es relativamente insignificante comparado con las otras fuentes de ruido.

**a.2 Ruido extraterrestre.-** El ruido extraterrestre se origina fuera de la atmósfera de la Tierra y, por lo tanto, a veces es llamado ruido de espacio profundo. El ruido extraterrestre se origina de la vía láctea, otras galaxias y el sol. El ruido extraterrestre se divide en dos categorías: solar y cósmica.

**a.3 El ruido solar.-** Se genera directamente del calor del sol. Existen dos componentes del ruido solar: una condición tranquila cuando una radiación relativamente constante existe y alta intensidad, perturbaciones esporádicas ocasionadas por una actividad de manchas de sol y explosiones solares. Las perturbaciones esporádicas vienen de ubicaciones específicas sobre la superficie del sol. La magnitud de estas perturbaciones causadas por una actividad de las manchas de sol sigue un patrón cíclico que se repite cada 11 años. Además, estos periodos de 11 años siguen un patrón supercíclico el cual se realiza, aproximadamente cada 99 años, con una nueva intensidad máxima.

Las fuentes del ruido cósmico son continuamente distribuidas a través de nuestra galaxia y de otras galaxias. Las estrellas distantes también son soles y por lo tanto tienen altas temperaturas asociadas con ellas. Consecuentemente, radian ruido de la misma manera que nuestro sol. Debido a que las fuentes de ruido galáctico se localizan más lejos de nuestro sol, su intensidad de ruido es relativamente pequeña. El ruido cósmico frecuentemente se llama ruido de cuerpo negro y se distribuye bastante parejo en el cielo.

El ruido extraterrestre contiene frecuencias de aproximadamente 8 MHz a 1.5 GHz, aunque las frecuencias menores a 20 Mhz raramente penetran la atmósfera de la Tierra y son por lo tanto generalmente insignificantes.

El ruido “hecho por el hombre”. El ruido hecho por el hombre es simplemente el ruido que se puede atribuir al hombre. Las fuentes de ruido hecho por el hombre incluyen mecanismos que producen chispas tales como los conmutadores en los motores eléctricos, sistemas de ignición de automóviles, equipo de conmutación de potencia 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 radio. Este ruido es más intenso en las áreas más pobladas, metropolitanas e industriales, y a veces se le llama ruido industrial.

**b) Ruido interno.-** El ruido interno es la interferencia eléctrica generada dentro de un dispositivo. Existen principalmente tres tipos de ruido generado internamente: térmico, de disparo y tiempo de tránsito.

**b.1 Ruido térmico.**- El ruido térmico está asociado con el movimiento browniano de 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. Este movimiento aleatorio es aceptado como parte de una confirmación de la teoría cinética de la materia y fue primero observado por el botánico inglés, Robert Brown ( de ahí el ruido browniano) observó primero la evidencia para la naturaleza cinética ( partículas en movimiento) de la materia, mientras observaba los granos de polen bajo un microscopio.

Brown observó una agitación extraordinaria de los granos de polen que los hacía extremadamente difíciles de examinar. Más tarde, observó que este mismo fenómeno existió para las partículas de humo en el aire. El movimiento browniano de electrones fue reconocido primero en 1927 por J.B. Johnson de los laboratorios de Teléfonos Bell. En 1928, un tratamiento teórico cuantitativo fue proporcionado por H. Nyquist.

Los electrones dentro de un conductor llevan una carga negativa unitaria, y la velocidad media cuadrática de un electrón es proporcional a la temperatura absoluta. Consecuentemente, cada vuelo de un electrón entre colisiones con moléculas constituye un pulso corto de corriente. Debido a que el movimiento de electrones es totalmente aleatorio y en todas direcciones, el voltaje promedio producido en la sustancia por un movimiento es de 0 V cd. De esta manera, tal movimiento aleatorio le da una elevación a una componente de ca.

Esta componente ca tiene varios nombres, los cuales incluyen ruido térmico (porque dependen de la temperatura), el ruido Browniano ( nombrado por su

descubridor), ruido Jonson (nombrado por la persona que relacionó el movimiento de las partículas brownianas al movimiento de electrones), ruido aleatorio (porque la dirección del movimiento de electrones es totalmente aleatorio), ruido resistivo (porque la magnitud de su voltaje depende de la resistencia) y ruido blanco (porque contiene todas las frecuencias).

Por lo tanto, el ruido térmico es el movimiento aleatorio de los electrones libres dentro de un conductor causado por la agitación térmica.

La ley de equipartición de Boltzmann y Maxwell combinado con el trabajo de Jonson, y Nyquist establece que la potencia del ruido termal generado dentro de una fuente para un ancho de banda de 1 Hz (Watts por hertz) es la densidad de potencia de ruido, la cual se represente matemáticamente como

$$N_0 = KT \quad (AB= 1\text{Hz}) \quad (2.8)$$

En donde

$N_0$  = densidad de potencia de ruido (watts por hertz)

$K$  = constante de Boltzmann ( $1.38 * 10^{-23}$  J/K)

$T$  = temperatura absoluta (Kelvin) (temperatura ambiente =  $17^0$  C o 290 k)

0K =  $-273^0$  C

**b.2 Ruido de disparo.-** El ruido de disparo es causado por la llegada aleatoria de portadoras ( huecos y electrones) en el elemento de salida de un dispositivo electrónico,

tal como un diodo, transistor de efecto de campo (FET), transistor bipolar (BJT) 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 y fue descrito por W. Schottky en 1918. Las portadoras de corriente (para ca y cd) no se mueven en un flujo continuo y estable porque la distancia con que viajan varía debido a sus trayectorias de movimiento aleatorio.

El ruido de disparo está variando aleatoriamente y está sobreimpuesto en cualquier señal presente. 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 algunas veces se le llama ruido de transistor. El ruido de disparo es proporcional a la carga de un electrón ( $1.6 * 10^{-19}$ ), corriente directa y ancho de banda del sistema. Además, la potencia de ruido de disparo es aditivo con el ruido térmico y otro ruido de disparo.

**b.3 Ruido de tiempo de tránsito.-** Cualquier modificación a una corriente de portadores conforme pasa desde la entrada hasta la salida de un dispositivo ( tal como del 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. El ruido del tiempo de tránsito en los transistores se determina por la movilidad del Ion, los voltajes de polarización y la construcción real del transistor, los portadores que viajan del emisor al colector sufren de retardos de tiempo del emisor, los retardos de tiempo del tránsito de la base y los retardos de tiempo de la recombinación y propagación del

colector. En altas frecuencias y si los retardos de tránsito son excesivos, el dispositivo puede agregar más ruido que amplificación a la señal.

#### 2.1.3.4 Voltaje de ruido

En la figura 2.4 se muestra el circuito equivalente para una fuente de ruido eléctrico. La resistencia interna de la fuente de ruido ( $R_1$ ) está en serie con el voltaje de ruido rms ( $V_N$ ). En el peor de los casos (es decir, máxima transferencia de potencia), la resistencia de carga ( $R$ ) es igual a  $R_1$ . Por tanto, el voltaje de ruido disipado por  $R$  es igual a  $V_N/2$  y la potencia de ruido ( $N$ ) desarrollado en el resistor de carga es igual a  $KT B$ .

Por lo tanto, la expresión matemática par  $V_N$  se determina de la siguiente manera:

$$N = KT B = \frac{(V_N/2)^2}{R} = \frac{V_N^2}{4R} \quad (2.9)$$

Y

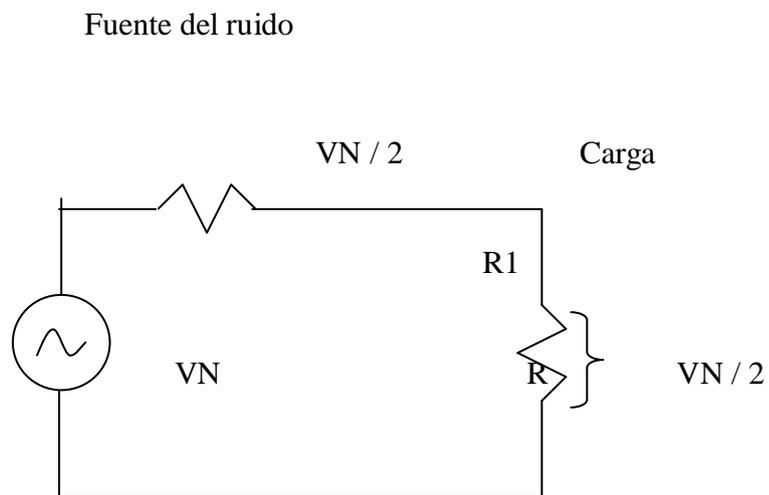
$$V_N^2 = 4RKT B$$

$$V_N = \sqrt{4RKT B} \quad (2.10)$$

El ruido térmico es igualmente distribuido por el espectro de frecuencia. Debido a esta propiedad, una fuente de ruido térmico se llama fuente de ruido blanco (esta es una analogía a la luz blanca, la cual contiene todas las frecuencias de luz visible).

Por lo tanto, la potencia de ruido medido en cualquier frecuencia de una fuente de ruido es igual a la potencia de ruido medida en cualquier otra frecuencia de la misma fuente de ruido. De manera similar, la potencia de ruido medida en cualquier ancho de banda es igual a la potencia de ruido medida en cualquier otro ancho de banda, sin importar la frecuencia central.

En otras palabras, la potencia de ruido térmico presente en la banda de 1000 a 2000 Hz es igual a la potencia de ruido térmico presente en la banda de 1, 001, 000 a 1, 002, 000 Hz.



**Figura 2.4** fuente de ruido

### 2.1.3.5 Ruido Correlacionado

El ruido correlacionado es una energía eléctrica no deseada que esta presente como un resultado directo de una señal, tales como las distorsiones armónica y de intermodulación. Las distorsiones armónica y de intermodulación son formas de distorsión no lineal ; son producidas por la amplificación no lineal. El ruido correlacionado no puede estar presente en un circuito a menos que exista una señal de entrada. Simplemente dicho, no hay señal, no hay ruido. Las distorsiones armónica y de intermodulación cambia la forma de onda en el dominio del tiempo y el contenido espectral en el dominio de la frecuencia .

a) **Distorsión armónica.**- La distorsión armónica es los múltiplos no deseados de la onda seno de frecuencia simple que se crean cuando la onda seno se amplifica en un dispositivo no lineal, como un amplificador de señal grande. La distorsión de amplitud es otro nombre para la distorsión armónica. Generalmente, el término de distorsión de amplitud se usa para analizar una forma de onda en el dominio del tiempo y el término de distorsión armónica se usa para analizar una forma de onda en el dominio de la frecuencia. La frecuencia original de entrada es la primera armónica y se le llama frecuencia fundamental .

Existen varios grados u ordenes de distorsión armónica de segundo orden es la relación de la amplitud rms de la frecuencia de la segunda armónica a la amplitud rms de la frecuencia fundamental. La distorsión armónica de 3er orden es la relación de la amplitud rms de la frecuencia de la 3era armónica a la amplitud rms de la frecuencia fundamental, y así sucesivamente. A la relación de las amplitudes rms combinadas de las armónicas superiores con la amplitud rms de la frecuencia fundamental se le llama la distorsión armónica total (THD). Matemáticamente, la distorsión armónica total es

$$\% \text{ THD} = \frac{V_{(\text{alto})}}{V_{(\text{fund})}} * 100 \quad (2.11)$$

En donde:

% THD = porcentaje de la distorsión armónica total

$V_{(\text{alto})}$  = suma cuadrática de los voltajes medios (rms) de las armónicas superiores

$$= \sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_N^2}$$

$V_{(\text{fund})}$  = voltaje rms de la frecuencia fundamental

### 2.1.3.6 Varios tipos de ruido.

a) **Ruido excesivo.-** El ruido excesivo es una forma de vida interna no correlacionada que no es totalmente entendible. Se encuentra en los transistores y es directamente proporcional a la corriente de la emisora y la temperatura de unión e inversamente proporcional a la frecuencia. El ruido excesivo también es llamado ruido de baja frecuencia, ruido parpadeante, ruido 1/f y ruido de modulación. Se cree que es causado por o al menos asociado con las trampas de portadoras en la capa de agotamiento del emisor de los transistores. Estas trampas detienen y sueltan los huecos y electrones en diferentes proporciones, pero con niveles de energía que varían inversamente con la frecuencia. El ruido excesivo es insignificante arriba de aproximadamente 1 KHz .

b) **Ruido de resistencia.** El ruido de resistencia es una forma de ruido térmico que esta asociado con la resistencia interna de la base, el emisor y el colector de un transistor.

El ruido de resistencia es bastante constante desde 500 Hz hacia arriba y puede, por lo tanto, ser mas fuerte con el ruido térmico o de disparo.

c) **Ruido de precipitación.-** El ruido de precipitación es un tipo de ruido estático causado cuando un avión pasa a través de nieve o de la lluvia. El avión se carga de manera eléctrica a un potencial lo suficientemente alto con respecto al espacio que lo rodea que una descarga de corona (descarga luminosa) ocurre en un punto exacto en el avión. La interferencia de la precipitación estática es mas molesta en las frecuencias de onda corta y menores.

La relación señal – a – ruido.

La relación señal - a – ruido ( S/N) es una relación matemática sencilla del nivel de la señal con respecto al nivel de ruido en un punto dado del circuito, el amplificador o el sistema.

La relación de señal – a- ruido puede expresarse como una relación de voltaje y una relación de potencia. Matemáticamente, S/N es

$$\frac{S}{N} = \left[ \frac{\text{voltaje de la señal}}{\text{voltaje del ruido}} \right]^2 = \left( \frac{V_s}{V_n} \right)^2 \text{ como relación de un voltaje} \quad (2.12)$$

$$\frac{S}{N} = \left[ \frac{\text{potencia de la señal}}{\text{potencia del ruido}} \right]^2 = \frac{P_s}{P_n} \quad \text{como una relación de potencia} \quad (2.13)$$

La relación de señal-a-ruido se expresa frecuentemente como una función logarítmica con la unidad de decibel.

Para las relaciones de voltaje, 
$$\frac{S}{N} \text{ (dB)} = 20 \log \frac{V_s}{V_n} \quad (2.14)$$

Para las relaciones de potencia, 
$$\frac{S}{N} \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_s}{P_n} \quad (2.15)$$

Si las resistencias de entrada y salida del amplificador, receptor o red siendo evaluadas son iguales, la relación de la potencia de la señal potencia – de – ruido será igual a las relaciones cuadráticas del voltaje de la señal al voltaje – de – ruido.

La relación de señal – a – ruido probablemente sea el parámetro más importante y frecuentemente usada para evaluar el funcionamiento de un amplificador en un sistema completo de comunicaciones de radio o para comparar el funcionamiento de un amplificador o sistema con otro. Entre mas alta sea la relación señal – a – ruido, mejor será el funcionamiento del sistema. De la relación señal – a – ruido, se puede determinar la calidad general de un sistema.

**d) Factor de ruido e índice de ruido.**

El factor de ruido (F) y el índice de ruido (NF) son índices que indican la degradación en la relación señal – a- ruido conforme la señal se propaga por amplificador sensible, una serie de amplificadores o un sistema de comunicaciones. El factor de ruido es la relación de la relación señal – a – ruido de entrada, entre la relación señal – a – ruido de salida . así que, el factor de ruido es una relación de relaciones. Matemáticamente, este factor se escribe como.

$$F = \frac{\text{Relación señal-a-ruido de entrada}}{\text{Relación señal-a-ruido de salida}} \quad (2.16)$$

El índice de ruido es el factor de ruido expresado en forma logarítmica. Matemáticamente, este índice es

$$NF(\text{dB}) = 10 \log \frac{\text{Relación señal-a-ruido de entrada}}{\text{Relación señal-a-ruido de salida}} \quad (2.17)$$

o  $= 10 \log F$

Un amplificador amplificará igualmente todas las señales y ruido presentes en la entrada que caen dentro de banda. Por lo tanto, si el amplificador es ideal y libre de ruido, la señal y el ruido se amplifican por el mismo factor y la relación señal – a – ruido en la salida del amplificador será igual a la relación señal – a – ruido en la entrada.

En la realidad, los amplificadores no son dispositivos ideales libres de ruido. Por lo tanto, aunque la señal de entrada y el ruido se amplifican igualmente, el dispositivo agregará a la forma de onda un ruido generado internamente, reduciendo la relación

general señal – a – ruido. La forma más predominante de ruido eléctrico es el ruido térmico el cuál se genera en todos los componentes eléctricos. Por lo tanto, todas las redes, amplificadores y sistemas agregan ruido a la señal y así reducen la relación total señal – a – ruido, conforme la señal pasa por ellos.

### **2.1.3.7 Perturbaciones en la transmisión**

En cualquier sistema de comunicaciones se debe aceptar que la señal que se recibe diferirá de la señal transmitida debido a varias adversidades y dificultades sufridas en la transmisión. En las señales analógicas, estas dificultades introducen alteraciones aleatorias que degradan la calidad de señal. En las señales digitales, se producen bits erróneos: un 1 binario se transformará en un 0 y viceversa. En este apartado se van a estudiar las dificultades mencionadas, comentando sus efectos sobre la capacidad de transportar información en los enlaces de transmisión.

Los impedimentos más significativos son:

- La atenuación y la distorsión de atenuación.
- La distorsión de retardo.
- El ruido.

#### **a) Atenuación**

La energía de la señal decae con la distancia en cualquier medio de transmisión. En medios guiados, esta reducción de la energía es por lo general logarítmica y por lo tanto, se expresa típicamente como un número constante en decibelios por unidad de

longitud. En medios no guiados, la atenuación es una función más compleja de la distancia y dependiente a su vez de las condiciones atmosféricas. Se pueden establecer tres consideraciones respecto a la atenuación.

Primera, la señal recibida debe tener suficiente energía para que la circuitería electrónica en el receptor pueda detectar e interpretar la señal adecuadamente. Segunda, para ser recibida sin error, la señal debe conservar un nivel suficientemente mayor que el ruido. Tercera, la atenuación es una función creciente de la frecuencia.

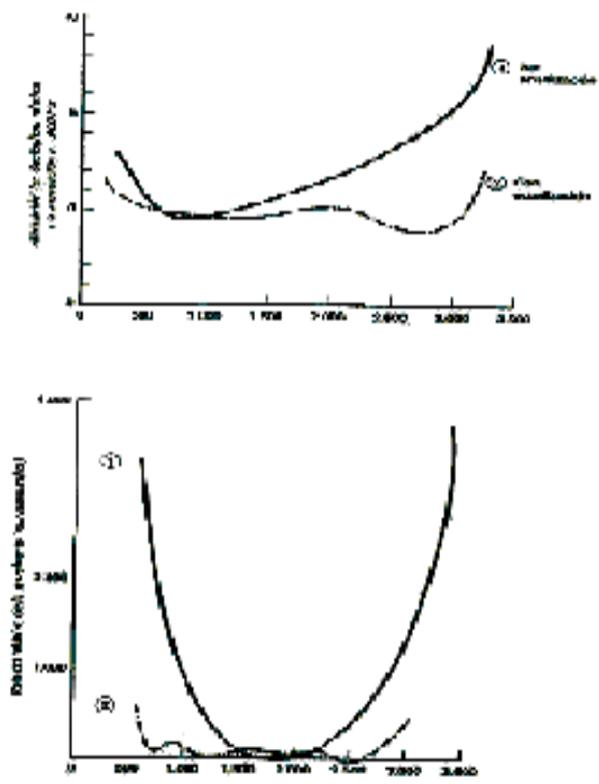
Los dos primeros problemas se resuelven controlando la energía de la señal, para ello se usan amplificadores o repetidores. En un enlace punto a punto, la energía de la señal en el transmisor debe ser lo suficientemente elevada para que se reciba con inteligibilidad, pero no tan elevada, tal que sature la circuitería del transmisor, lo que generaría una señal distorsionada.

A partir de cierta distancia, la atenuación es inaceptable, lo que requiere la utilización de repetidores o amplificadores que realcen la señal periódicamente. Este tipo de problemas son todavía más complejos en líneas multipunto, en las que la distancia entre el transmisor y el receptor es variable.

El tercer problema es especialmente relevante para el caso de las señales analógicas. Debido a que la atenuación varía en función de la frecuencia, la señal recibida está distorsionada, reduciéndose así la inteligibilidad. Para solucionar este problema, existen técnicas para ecualizar la atenuación en una banda de frecuencias.

En las líneas telefónicas esto se realiza normalmente usando bobinas de carga que cambian las propiedades eléctricas de la línea, dando lugar a un suavizado de los efectos de la atenuación.

Otra aproximación alternativa es la utilización de amplificadores que amplifiquen más frecuencias altas que las bajas.



**figura 2.5** Atenuación y distorsión de retardo

En la figura 2.5 se incluye un ejemplo, en el que se representa la atenuación como función de la frecuencia para una línea alquilada convencional. En dicha figura, la atenuación se ha obtenido como una medida relativa respecto de la atenuación a 1000

Hz. Los valores positivos en el eje Y representan atenuaciones mayores que la sufrida a 1000 Hz. A la entrada se aplica un tono a 1000 Hz con una potencia conocida, posteriormente se mide la potencia P1000 en la salida. Este procedimiento se repite para cualquier otra frecuencia f, y la atenuación relativa en decibelios es:

$$N_f = -10 \log_{10} \frac{P_f}{P_{1000}} \quad (2.18)$$

La línea continua en la figura 2.5 muestra la atenuación sin ecualización. Como se puede observar, los componentes en frecuencias en el extremo superior de la banda de voz se atenúan mucho más que las componentes de bajas frecuencias. Es evidente que esto distorsiona la señal de voz recibida. La línea discontinua muestra los efectos de la ecualización. Al aplanar la atenuación relativa, se consigue una mejora en la calidad de la señal de voz. Esto también permite, al usar un modem, una velocidad de transmisión superior.

La distorsión de atenuación es un problema mucho menor para las señales digitales. Como ya se ha mencionado, la energía de la señal digital decae rápidamente con la frecuencia; la mayor parte de sus componentes están concentradas en torno a la frecuencia fundamental o velocidad de transmisión (en bits / segundo o bps) de la señal.

**b) Distorsión de retardo**

La distorsión de retardo es un fenómeno peculiar de los medios guiados. Esta distorsión está causada por el hecho de que la velocidad de propagación de la señal en el medio varía con la frecuencia. Para una señal de banda limitada, la velocidad tiende a ser mayor cerca de la frecuencia central y disminuye al acercarse a los extremos de la banda. Por tanto, las distintas componentes en frecuencia de la señal llegarán al receptor en instantes diferentes de tiempo, dando lugar a desplazamientos en fase entre las diferentes frecuencias.

Este efecto se llama distorsión de retardo, ya que la señal recibida está distorsionada debido al retardo variable que sufren sus componentes. La distorsión de retardo es particularmente crítica en la transmisión de datos digitales. Supóngase que se está transmitiendo una secuencia de bits, utilizando una señal analógica o digital. Debido a la distorsión de retardo, algunas de las componentes de la señal en un bit se desplazarán hacia otras posiciones, provocando interferencia entre símbolos. Este hecho es el factor que limita principalmente la velocidad de transmisión máxima en un canal de transmisión.

Las técnicas de ecualización también se pueden emplear para compensar la distorsión de retardo. Usando como ejemplo una telefónica alquilada se muestra el efecto de la ecualización del retardo en función de la frecuencia.

## **CAPITULO III**

### **GENERACIÓN DE SEÑALES**

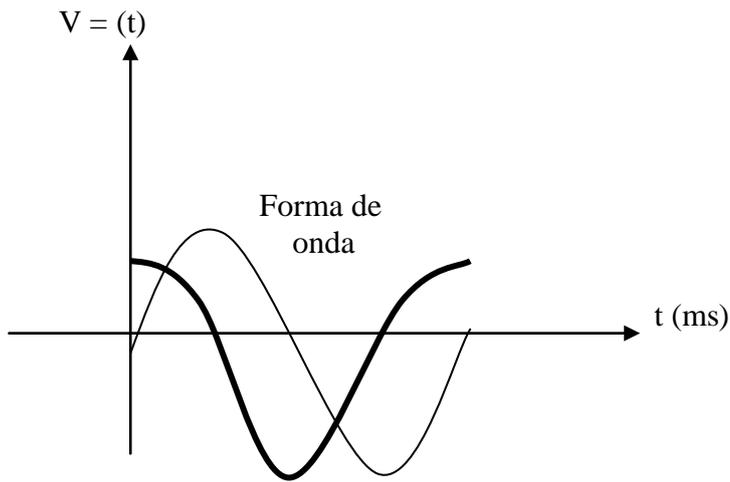
#### **3.1 Introducción**

Los sistemas modernos de comunicación electrónica tienen muchas aplicaciones que requieren de las formas de ondas repetitivas (tanto sinusoidal y no sinusoidal) que sean estables. En muchas de estas aplicaciones, se requieren más de una frecuencia, y frecuentemente estas frecuencias deben estar sincronizadas entre sí. Por lo tanto, la generación de señales, la sincronización de frecuencias, y síntesis de frecuencias son partes esenciales de un sistema de comunicación electrónica. El propósito de la generación de señales es introducir a la operación básica de los osciladores, los circuitos de fase cerrada, y los sintetizadores de frecuencias así como para mostrar la forma en que estos circuitos se utilizan para la generación de señales.

##### **3.1.1 Análisis de las señales en el dominio del tiempo y frecuencia**

###### **a) Dominio del tiempo**

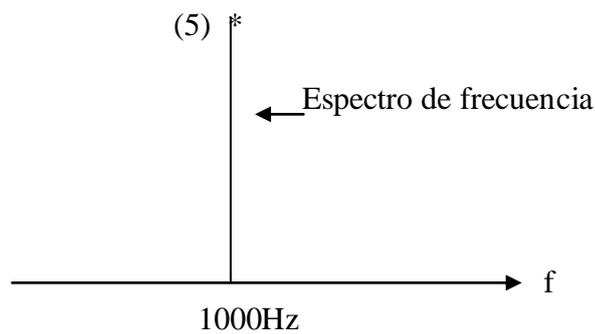
Un osciloscopio es un instrumento de tiempo, este despliega una representación de una amplitud contra el tiempo de una señal (llamada forma de onda) una forma de onda, muestra la forma y la magnitud instantánea de la señal con respecto al tiempo pero no necesariamente indica su contenido de frecuencia.



**Figura 3.1** Dominio del tiempo

**b) Dominio de frecuencia**

Un analizador de espectros es un instrumento de dominio de la frecuencia, aquí no se muestra ninguna forma de onda en vez de esto se muestra una grafica de la amplitud (llamado espectro de frecuencia). Cada frecuencia presente en la forma de onda en la entrada produce una línea vertical (llamado componentes espectrales), la altura de cada línea o de cada espectro es proporcional a la amplitud de la frecuencia que representa tal como se muestra en la figura.



**figura 3.2** Dominio de la frecuencia

## 3.2 Oscilación

La oscilación se define como la fluctuación entre dos estados o condiciones. Por lo tanto, oscilar es vibrar o cambiar, y oscilando es el acto de fluctuar entre un estado y otro. Se aplican dentro de las comunicaciones electrónicas, como portadoras de alta frecuencia, alimentadores de pilotos, relojes y circuitos de sincronización.

Los osciladores son circuitos que generan señales periódicas, de voltaje o de corriente de una determinada frecuencia, amplitud y forma de onda.

Debido a que estos circuitos son bloques fundamentales de todo equipo aparato de radio o comunicaciones, la mayoría de estos osciladores son amplificadores realimentados positivamente y generan formas de ondas sinusoidales, para garantizar la permanencia de las oscilaciones.

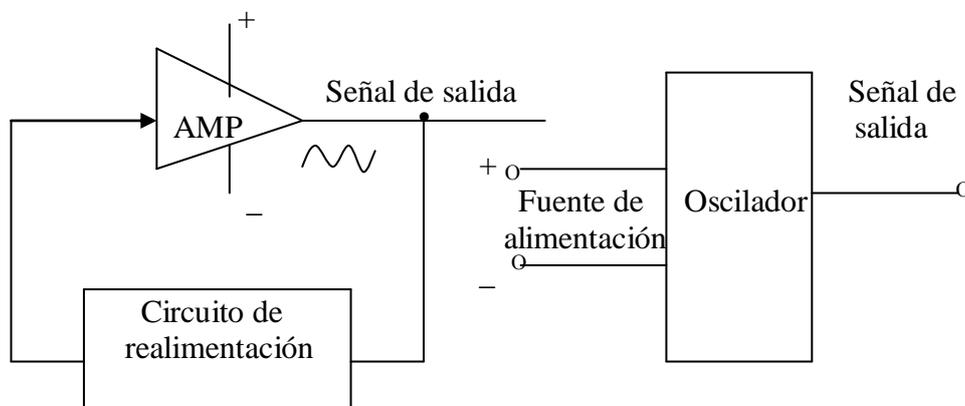
La figura 3.1 la señal de retroalimentación debe aplicarse en el momento preciso, con la fase correcta y en la cantidad apropiada. Una realimentación excesiva puede provocar distorsión, calentamiento e inestabilidad.

A pesar de ser esencialmente un amplificador, un oscilador no necesita de una señal de entrada para generar una señal de salida. Las únicas entradas externas de un oscilador son los terminales de la fuente de alimentación.

### 3.2.1 Tipos de Osciladores

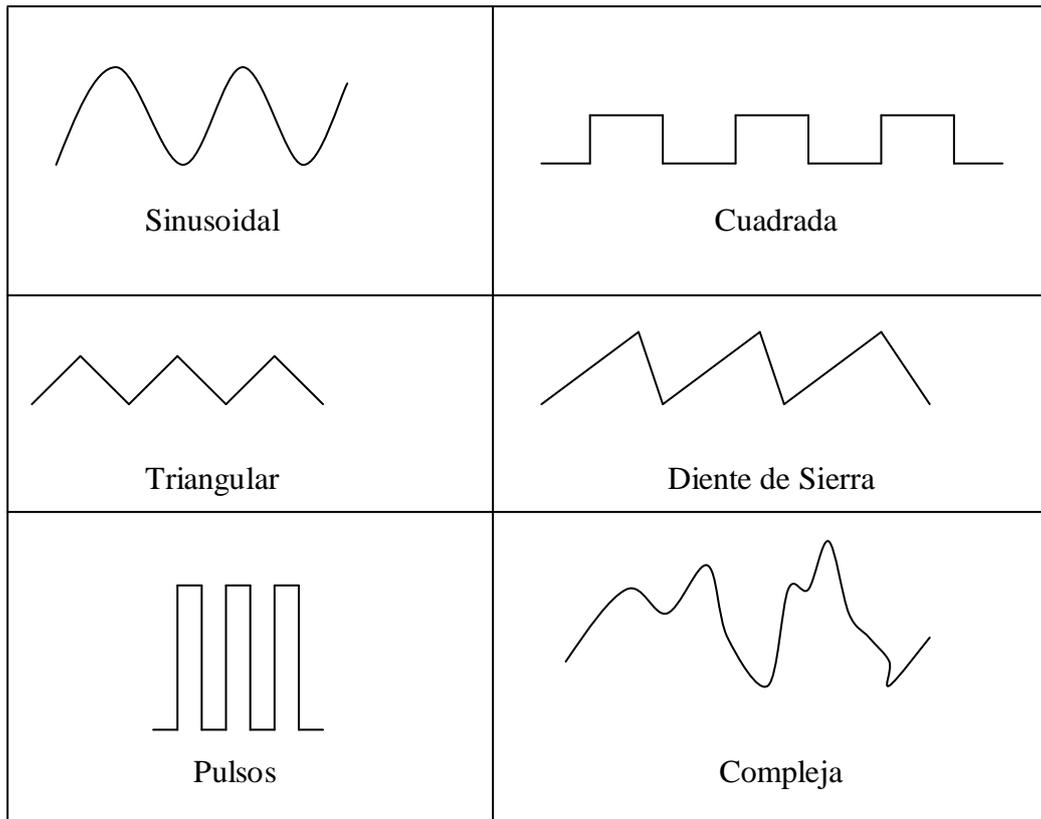
a) **Oscilador autosuficiente.**- A un oscilador autosuficiente también se le llama un oscilador de operación independiente. Los osciladores que no son autosuficientes requieren de una señal de entrada externa o un disparador para producir un cambio en la forma de la onda de salida. A los osciladores que no son autosuficientes se les llama osciladores de disparo u osciladores de un solo tiro.

Esencialmente, un oscilador convierte un voltaje de entrada de cd a un voltaje de salida de ca. La forma de la onda de salida puede ser una onda senoidal, una onda diente de sierra una onda cuadrada, o cualquier otra forma de onda mientras se repita a intervalos periódicos figura 3.3.



**figura 3.3** El amplificador como oscilador

En consecuencia, los osciladores convierten la corriente continua de la fuente, en una corriente alterna que puede tener cualquier forma de onda, dependiendo del diseño.



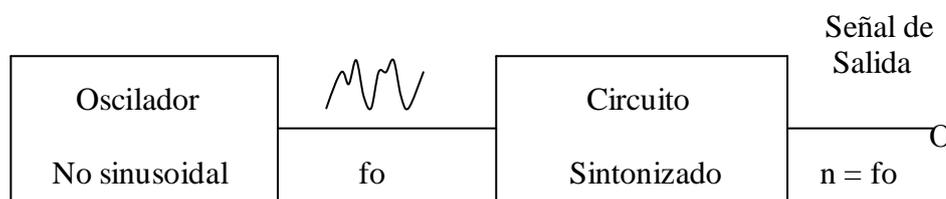
**Figura 3.4** Formas de ondas típicas de osciladores

Los circuitos que producen señales no sinusoidales se denominan comúnmente **osciladores de relajación**. Las formas de onda no sinusoidales, generada por los osciladores de relajación, son ricas en armónicos de diversos órdenes, es decir, contienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de oscilación.

Los osciladores de relajación se utilizan frecuentemente como instrumentos de prueba de amplificadores de audio y de RF. Los osciladores de relajación se emplean también en ciertas aplicaciones de VHF y UHF, para obtener señales sinusoidales puras

a partir de señales no sinusoidales. Este tipo de circuitos se denomina **osciladores armónicos** figura 3.5.

Un oscilador armónico consiste de un oscilador de relajación de baja frecuencia, altamente estable, sintonizado a la salida a la frecuencia de un armónico específico.



**Figura 3.5** Osciladores armónicos

Estudiaremos fundamentalmente los osciladores de RF utilizados como osciladores locales, en los receptores de radio. Este tipo de circuitos suministra señales de alta frecuencia, por encima de 30 KHz.

Los osciladores de RF se utilizan en los transmisores y receptores de radio y TV, fuentes de alto voltaje, instrumentos de prueba, sistemas de radar, hornos de microondas y otras aplicaciones de alta frecuencia.

Las configuraciones más comunes de osciladores de RF son:

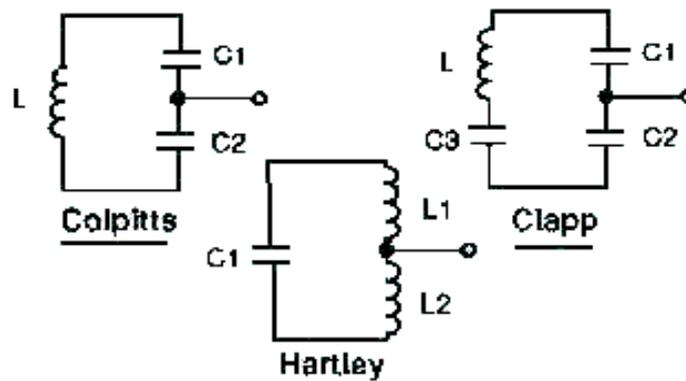
- El Colpitts.
- El Clapp.
- El Hartley.
- El Pierce.

Prácticamente todos los osciladores de RF son realimentados y utilizan circuitos resonantes LC o cristales de cuarzo como elementos determinantes de la frecuencia de oscilación, y dispositivos activos como tubos, transistores, FET o circuitos integrados como amplificadores básicos.

Los cristales LC determinan, además, la estabilidad de frecuencia, el rango de sintonía y la amplitud y pureza de la señal de salida. Los osciladores más estables utilizan cristales. Sin embargo, cuando se requieren osciladores de frecuencia variable, se prefieren los circuitos LC.

La estabilidad de frecuencia, los osciladores de frecuencia variable VFO en la figura 3.6 se muestran las configuraciones de circuitos resonantes LC más utilizadas en osciladores de RF.

En el caso de osciladores a transistores, el tanque LC se encuentra, por lo regular, en el circuito de colector y ofrece su máxima impedancia a la frecuencia de resonancia

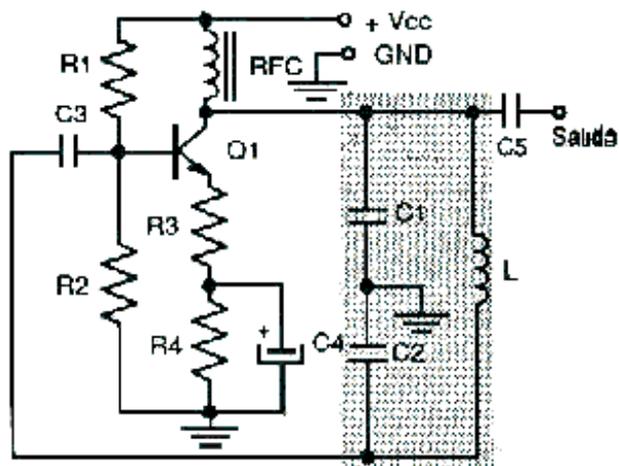


**figura 3.6** Circuitos Resonantes LC de Osciladores

Los tanques resonantes LC anteriores son la base de los osciladores Colpitts, Clapp, Hartley, estos circuitos también se pueden implementar utilizando cristales. Desde el punto de vista eléctrico, los cristales se comportan como circuitos resonantes de alto Q.

### b) Osciladores Colpitts

En un oscilador tipo Colpitts, la realimentación positiva la realiza el divisor de voltaje capacitivo formado por los condensadores C1 y C2. El voltaje de salida, entre colector y tierra, se desarrolla sobre C1. El voltaje de realimentación aparece sobre C2.



**figura 3.7** Oscilador Colpitts

La frecuencia de oscilación del circuito se obtiene las siguientes fórmulas:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (3.1)$$

$$C = \frac{C1 * C2}{C1 + C2} \quad (3.2)$$

En donde:

$2\pi$  = es una constante (6.28)

L = inductancia (Henrios)

C = capacidad equivalente serie de C1 y C2 (Faradios)

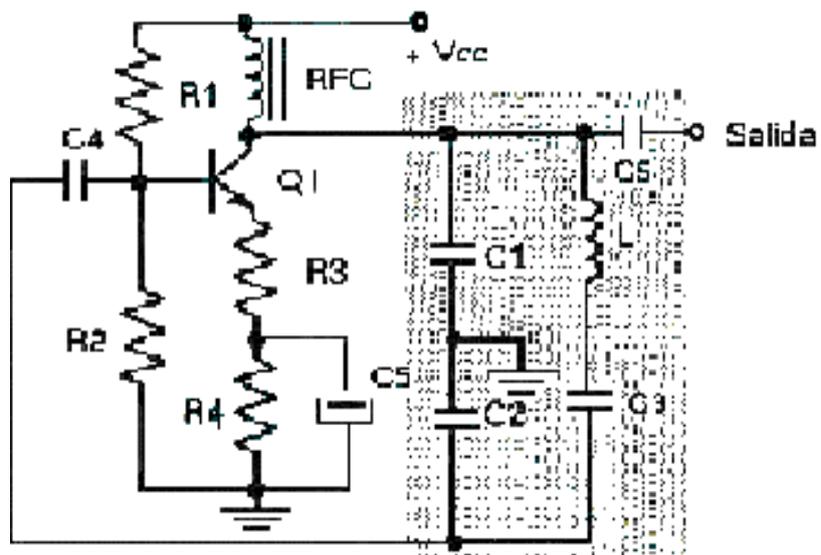
$F_0$  = frecuencia de oscilación (Hertz)

La relación  $C1 / C2$  se denomina factor de realimentación ( $\beta$ ) del oscilador y es siempre menor de 1. el factor de realimentación de un oscilador mide la proporción de señal de salida que se utiliza como señal de realimentación. Un  $\beta$  de 0.1, por ejemplo significa que el 10 % de la señal de salida se utiliza como señal de realimentación.

La ganancia de voltaje propia del circuito ( $A_v$ ) debe ser siempre mayor o igual a  $1 / \beta$  (el inverso de  $\beta$ ) para que el sistema oscile. A esta condición se le denomina criterio de Barkhausen en la teoría de osciladores sinusoidales y es válido en todos los circuitos que siguen, definiendo apropiadamente el factor de realimentación  $\beta$ .

### c) Oscilador Clapp

El oscilador tipo Clapp es una versión mejorada del oscilador Colpitts descrito anteriormente. Este circuito también utiliza realimentación capacitiva, pero incorpora un tercer condensador en el circuito que determina la frecuencia ( $C_3$ ).



**figura 3.8** Oscilador Clapp

Este nuevo elemento permite que el oscilador pueda trabajarse a diferentes frecuencias, sin afectar las condiciones de realimentación.

La frecuencia de oscilación del circuito se obtiene por medio de las siguientes fórmulas

$$F_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (3.3)$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (3.4)$$

En donde:

$2\pi$  = es una constante (6,28)

L = es la inductancia de la bobina

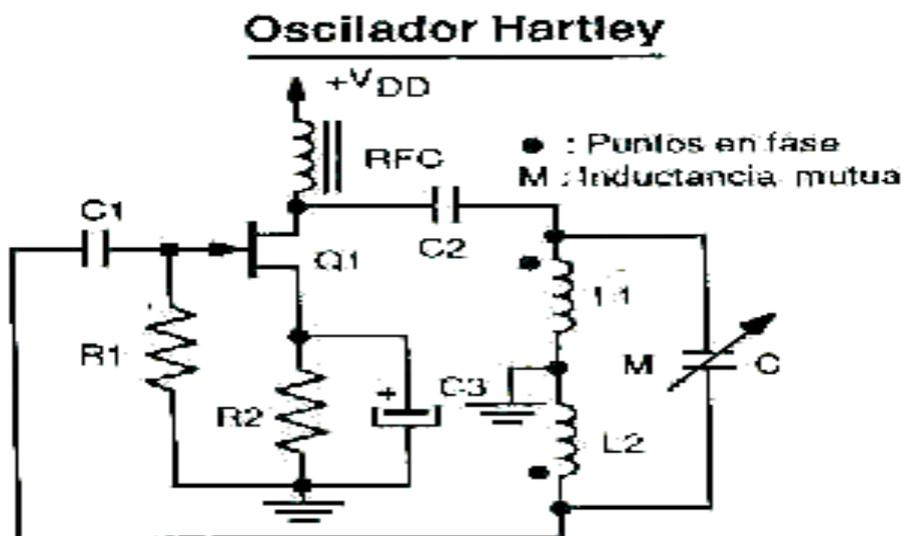
C = la capacidad equivalente serie de C1, C2, C3.

$F_0$  = la frecuencia de oscilación

El valor de C3 es muy pequeño comparado con el de C1 y C2. El factor de realimentación es  $\beta = C_1 / C_2$ .

#### **d) Osciladores Hartley**

Es un oscilador tipo Hartley, la realimentación positiva la realiza el divisor de voltaje inductivo formado por las bobinas L1 y L2, acopladas magnéticamente.



**figura 3.9** Oscilador Hartley

El voltaje de salida se desarrolla sobre L1 y el de realimentación sobre L2. El condensador variable C permite sintonizar el oscilador en una amplia gama de frecuencias.

La frecuencia de oscilación del circuito se obtiene:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (3.5)$$

$$L = L1 + L2 + 2M \quad (3.6)$$

En donde:

$2\pi$  = es una constante (6.28).

L = es la inductancia equivalente serie de L1 y L2.

M = es la inductancia mutua entre ambos devanados.

C = la capacidad del condensador de sintonía.

$F_0$  = la frecuencia de oscilación.

El factor de realimentación de este circuito es  $\beta = L_2 / L$  y debe ser menor de 1.

Las bobinas L1 y L2 constituyen realmente un autotransformador en el cual L1 es el primario y L2 el secundario. La inductancia de L2 es siempre mayor que la de L1.

El condensador C1 suministra la señal de realimentación a la compuerta del FET y el condensador C2 desacopla el nivel de CC de la señal de salida.

La inductancia mutua M depende del grado de acoplamiento de los dos devanados y varía con la ubicación del núcleo. Al mover el núcleo, cambia la inductancia mutua y, en consecuencia, varía la frecuencia. Este es un procedimiento muy usual en la alineación o ajuste de los receptores de radio.

### **3.2.2 Importancia de la estabilidad de frecuencia en los osciladores de RF**

La consideración de diseño más importante de un oscilador de RF es la estabilidad de frecuencia.

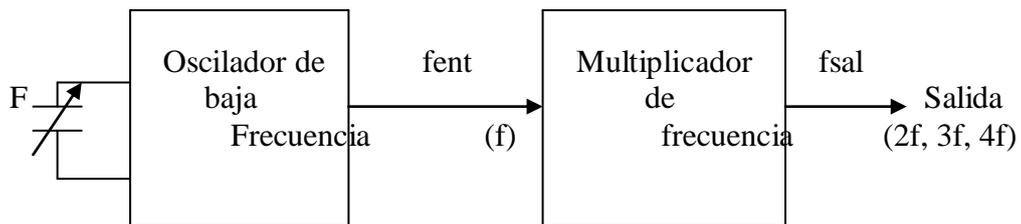
La estabilidad es una medida de la capacidad del circuito de generar una señal de frecuencia constante y depende, principalmente, de la calidad de los componentes utilizados en su fabricación.

Los osciladores de RF más estables se construyen con componentes de precisión y se alimentan con fuentes regulares. Los componentes de precisión (condensadores,

bobinas, cristales, etc.) son prácticamente insensibles a los cambios de temperatura, presión, humedad, voltaje y a las vibraciones mecánicas, entre otros factores.

La estabilidad de un oscilador depende también de la frecuencia de trabajo. A muy altas frecuencias, resulta difícil mantener la estabilidad dentro de límites razonables.

En estos casos se utilizan frecuentemente osciladores de baja frecuencia, seguidos de multiplicadores, los cuales elevan la frecuencia inicial al valor final deseado, la estabilidad del oscilador básico debe ser alta.



“La frecuencia de salida es 2, 3,4,..... veces la frecuencia de entrada”

**figura 3.10** Obtención de elevadas frecuencias

La inestabilidad de un oscilador de RF puede ser también causa de prácticas de diseño y ensamble deficientes. Para mejorar la estabilidad, es útil observar las siguientes recomendaciones generales:

- Utilizar siempre baterías o fuentes de alimentación reguladas, con buen filtraje. Las variaciones de voltaje producen desplazamientos de frecuencia, alterando las condiciones de operación del oscilador.
  
- Utilizar bobinas de núcleo de aire o cerámico y condensadores de poliéster o de mica y plata en la red determinadora de frecuencia. Mientras sea posible, evitar el uso de bobinas de núcleo magnético, porque su inductancia tiende a cambiar con las variaciones de temperatura.
  
- Construir el oscilador sobre un chasis rígido y cerciorarse de que todos los componentes estén firmemente asegurados en un solo sitio. Si es posible, inmovilizar las espiras de la bobina osciladora con cemento plástico y encerrar el circuito dentro de un blindaje metálico.

En general, un oscilador de RF de buena calidad debe generar una señal estable, con un mínimo de ruido y espectralmente pura, es decir, sin distorsión ni espúreas. Las espúreas son oscilaciones parásitas, indeseables, que ocurren a frecuencias diferentes a la del diseño.

Una forma de minimizar las espúreas, es reducir el Q del circuito determinador de frecuencia, sacrificándose así la ganancia.

### 3.2.3 Osciladores de retroalimentación

Un oscilador de retroalimentación es un amplificador con un circuito de retroalimentación (esto es, una ruta para que la energía se propague nuevamente de la salida a la entrada). Los osciladores de operación independiente son osciladores de retroalimentación. Una vez que arranca, un oscilador de retroalimentación genera una señal de salida de ca, en la cual una pequeña porción se retroalimenta nuevamente a la entrada, donde se amplifica. La señal de entrada amplificada aparece en la salida y se repite el proceso; ocurre un proceso regenerativo en donde la salida depende de la entrada, y viceversa.

De acuerdo con el criterio de Barkhausen, para que un circuito de retroalimentación sostenga oscilaciones, la ganancia neta de voltaje alrededor del circuito de retroalimentación debe ser mayor o igual, y el desplazamiento de fase neta alrededor del circuito debe ser un múltiplo entero positivo de  $360^{\circ}$ .

Hay cuatro requisitos para que funcione un oscilador de retroalimentación:

- Amplificación.
- Retroalimentación positiva.
- Dependencia de las frecuencias.
- Una fuente de energía eléctrica.

a) **Amplificación.**- Un circuito oscilador debe incluir por lo menos un dispositivo activo y ser capaz de amplificar voltaje. De hecho, a veces puede ser necesario proporcionar una ganancia infinita.

b) **Retroalimentación positiva.**- Un circuito oscilador debe tener una trayectoria completa para que una porción de la señal de salida sea regresada a la entrada. La señal de retroalimentación debe ser regenerativa, lo que significa que debe tener la fase correcta y la amplitud necesaria para sostener las oscilaciones. Si la fase es incorrecta o si la amplitud es insuficiente, cesarán las oscilaciones. Si la amplitud es excesiva, se saturará el amplificador. La retroalimentación regenerativa se llama retroalimentación positiva, donde “positiva” simplemente significa que su fase ayuda al proceso de oscilación y no necesariamente indica una polaridad positiva (+) o negativa (-). La retroalimentación degenerativa se llama retroalimentación negativa y proporciona una señal de retroalimentación que inhibe que ocurran las oscilaciones.

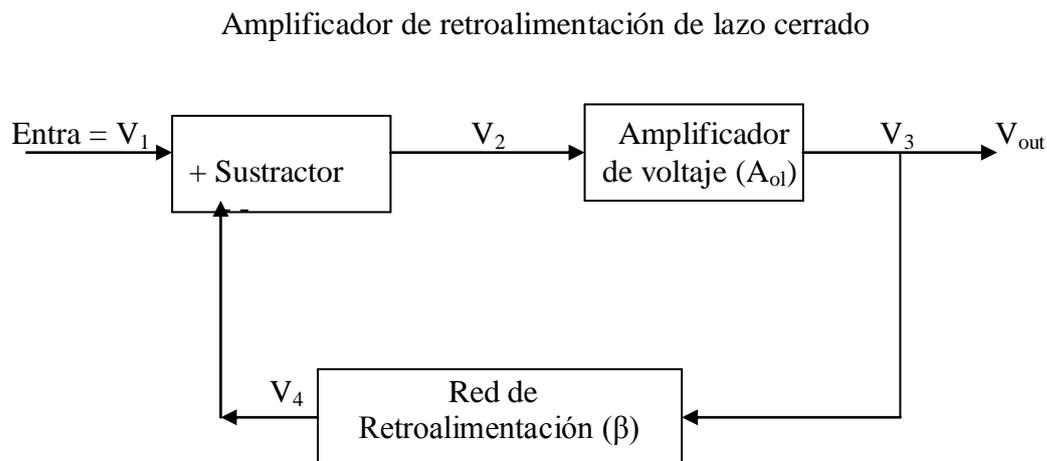
c) **Componentes para determinar la frecuencia.**- Un oscilador debe tener componentes para determinar la frecuencia tales como los resistores, capacitores, inductores o cristales para permitir instalar o cambiar la frecuencia de operación.

d) **Fuente de poder.**- Un oscilador debe tener una fuente de energía eléctrica, tal como una fuente de poder de cd.

La figura 3.11 muestra un modelo eléctrico para un circuito oscilador de retroalimentación (esto es, un amplificador de voltaje con retroalimentación regenerativa). Un oscilador de retroalimentación es un circuito de lazo cerrado que incluye un amplificador de voltaje con una ganancia de voltaje de lazo abierto ( $A_{ol}$ ), una

ruta de retroalimentación regenerativa para determinar la frecuencia con una relación de retroalimentación ( $B$ ), y ya sea un circuito sumador o reductor. La ganancia de voltaje de un lazo abierto es La ganancia de voltaje del amplificador con la ruta de retroalimentación en circuito abierto. La ganancia de voltaje de lazo cerrado ( $A_{cl}$ ) es la ganancia total de voltaje del circuito completo con la retroalimentación en circuito (lazo) cerrado y siempre es menor que la ganancia de voltaje de lazo abierto. La relación de retroalimentación es simplemente la función de transferencia de la red de retroalimentación (esto es, la relación de su voltaje de salida con su voltaje de entrada).

Para una red de retroalimentación pasiva, la relación de retroalimentación es siempre menor que 1.



Amplificador de retroalimentación de lazo cerrado

**Figura 3.11** Modelo de un amplificador con retroalimentación

Para que ocurran oscilaciones autosuficientes, un circuito debe cumplir los cuatro requisitos básicos para las oscilaciones indicadas anteriormente, cumplir con el criterio de la ecuación, y encajar en el modelo básico para el circuito de retroalimentación mostrado en la figura 3.11. Aunque la acción del oscilador puede realizarse de muchas

formas distintas, las configuraciones más comunes utilizan redes desplazadoras de fase RC, circuitos tanque LC, cristales de cuarzo, o chips de circuito integrado. El tipo de oscilador utilizado para una aplicación en particular depende de los siguientes criterios:

- 1) Frecuencia de operación deseada
- 2) Estabilidad de frecuencia requerida
- 3) Operación de frecuencia variable o fija
- 4) Requisitos de distorsión o limitaciones
- 5) Potencia de salida deseada
- 6) Tamaño físico
- 7) Aplicación (esto es, digital o analógico)
- 8) Costo
- 9) Confiabilidad y durabilidad
- 10) Exactitud deseada

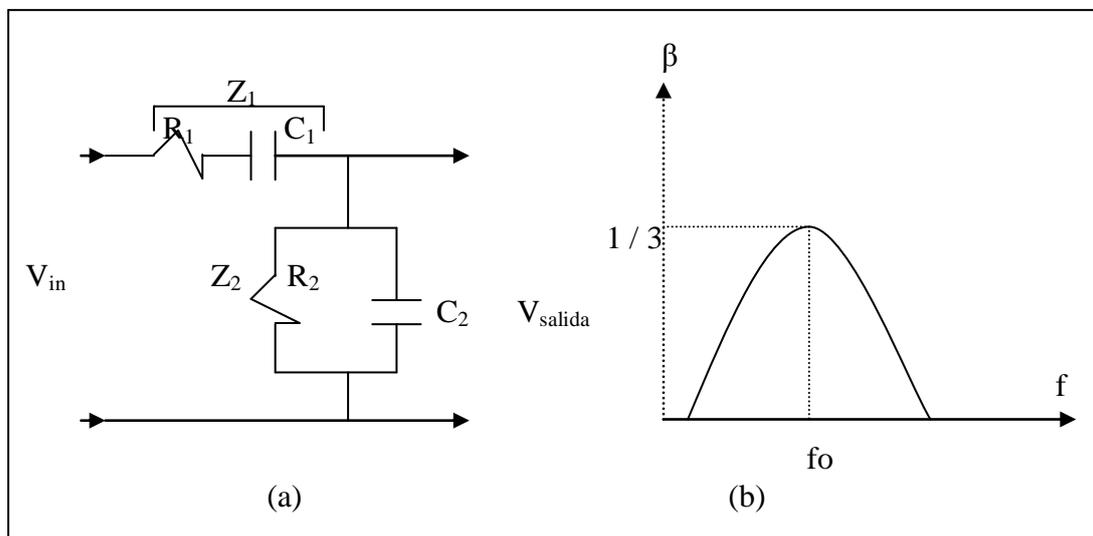
#### **3.2.4 Oscilador puente de Wien**

El oscilador de puente de Wien es un oscilador desplazador de fase RC que utiliza retroalimentación positiva y negativa. Es un circuito oscilador relativamente estable y de baja frecuencia que se sintoniza fácilmente y que suele utilizar en los generadores de señales para producir frecuencias entre 5 Hz y 1 MHz. El oscilador puente de Wien es el circuito que utilizó Hewlett y Packard en su diseño original para los generadores de señales.

La figura 3.12 muestra una red sencilla adelantada-atrasada. En la frecuencia de oscilación ( $f_0$ ),  $R = X_C$  y la señal experimentan un desplazamiento en fase de  $-45^\circ$  a través de  $Z_1$  y un desplazamiento en fase de  $+45^\circ$  a través de  $Z_2$ . En consecuencia, en  $f_0$ , el desplazamiento en fase total a través de la red adelantada-atrasada es exactamente  $0^\circ$ .

En frecuencias inferiores a la frecuencia de oscilación, el desplazamiento en fase a través de la red adelantada y para frecuencias superiores al desplazamiento en fase se atrasa. En frecuencias extremadamente bajas,  $C_1$  se ve como un circuito abierto y no hay salida. En frecuencias extremadamente altas,  $C_2$  se ve como un corto circuito y no hay salida.

Una red adelantada-atrasada es un divisor de voltaje reactivo, en donde el voltaje de entrada se divide entre  $Z_1$  (la combinación de series de  $R_1$  y  $C_1$ ) y  $Z_2$  (la combinación paralela de  $R_2$  y  $C_2$ ). Por lo tanto, la red adelantada-atrasada selecciona frecuencias y el



**Figura 3.12** Red adelantada-atrasada: (a) configuración del circuito; (b) curva de transferencia de entrada contra salida ( $B$ ).

Voltaje de salida es máximo en  $f_0$ . La función de transferencia para la red de retroalimentación (B) es igual a  $Z_2 / (Z_1 + Z_2)$  y es máximo e igual a  $1/3$  en  $f_0$ . La figura b muestra una gráfica de B contra frecuencia donde  $R_1 = R_2$  y  $C_1 = C_2$ . Por lo tanto  $f_0$  se determina de la siguiente expresión:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.7)$$

en donde  $R = R_1 = R_2$

$$C = C_1 = C_2$$

La figura 3.13 muestra un oscilador puente de Wien. La red adelantada-atrasada y el divisor del voltaje resistor constituyen un puente de Wien (de ahí el nombre de oscilador puente de Wien). Cuando el puente está balanceado, la diferencia de voltaje es igual a cero.

El divisor de voltaje proporciona retroalimentación negativa o degenerativa, que desplaza la retroalimentación positiva o regenerativa de la red adelantada-atrasada. La relación de los resistores en el divisor de voltaje es 2:1, que establece la ganancia de voltaje no inversora del amplificador  $A_1$  a  $R_f / R_i + 1 = 3$ .

Por lo tanto, en  $f_0$ , la señal en la salida de  $A_1$  se reduce por un factor de 3 conforme pasa por una red adelantada-atrasada ( $\beta = 1 / 3$ ) y luego amplificado por 3 en

el amplificador  $A_1$ . Así, en  $f_0$  la ganancia de voltaje del lazo es igual a  $A_{o1}\beta$  o  $3 * 1 / 3 = 1$ .

Para compensar la falta de balanceamiento en el puente y las variaciones en los valores de los componentes debido al calor, se agrega al circuito un control automático de ganancia (CAG).

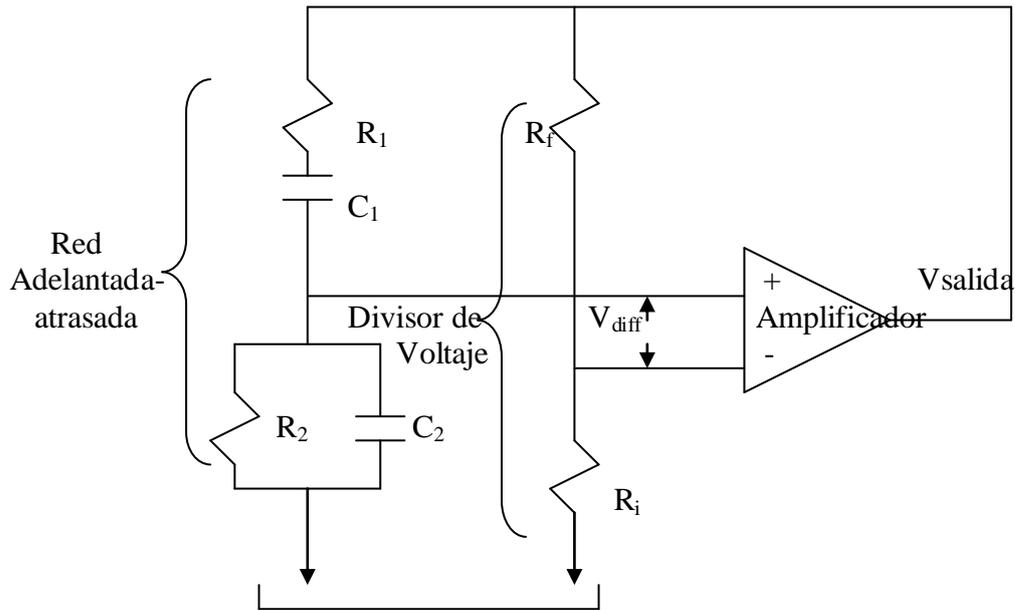
Una forma sencilla de proporcionar ganancia automática es reemplazar  $R_1$ , un dispositivo de resistencia variable como un FET.

La resistencia del FET se hace inversamente proporcional a  $V_{salida}$ . El circuito se diseña de tal forma que, cuando  $V_{salida}$  se incrementa en amplitud, la resistencia del FET se incrementa, y cuando  $V_{salida}$  se reduce en amplitud, la resistencia del FET se reduce.

Por lo tanto, la ganancia de voltaje del amplificador compensa automáticamente los cambios en la amplitud de la señal de salida.

La operación del circuito es como sigue: En el arranque inicial, aparece ruido (en todas las frecuencias) en  $V_{salida}$  y se retroalimenta nuevamente a través de la red adelantada-atrasada. Solamente el ruido en  $f_0$  pasa a través de la red adelantada-atrasada con un cambio de fase de  $0^0$  y una relación de transferencia de  $1 / 3$ .

En consecuencia, solamente una sola frecuencia ( $f_0$ ) se retroalimenta nuevamente en fase, se lleva a cabo una ganancia de voltaje de lazo de 1, y produce oscilaciones autosuficientes.



**Figura 3.13** Puente de Wien

### 3.2.5 Estabilidad de frecuencia

La estabilidad de frecuencia es la habilidad de un oscilador para permanecer a una frecuencia fija y es de máxima importancia en los sistemas de comunicación. La estabilidad de frecuencia a menudo se considera de corto o largo tiempo. La estabilidad de corto plazo se ve afectada principalmente por las fluctuaciones en los voltajes de operación de cd, mientras que la estabilidad a largo plazo es una función de la edad de los componentes y los cambios de temperatura así como la humedad del ambiente. En los osciladores de circuito tanque LC y desplazadores de fase RC, la estabilidad de frecuencia es inadecuada para la mayoría de las aplicaciones utilizadas en radio comunicaciones.

Esto es porque los osciladores desplazadores de fase RC son susceptibles a variaciones tanto de corto como de largo plazo. Además, los factores Q de los circuitos tanque LC son relativamente bajos, permitiendo que el circuito tanque resonante oscile sobre una amplia gama de frecuencias.

Varios factores afectan a la estabilidad de un oscilador. Los más obvios son aquellos que afectan directamente el valor de los componentes para determinar la frecuencia. Estos incluyen cambios en los valores de la inductancia, capacitancia y resistencia debido a variaciones ambientales en temperatura, humedad y los cambios en el punto de operación en reparo de los transistores así como los transistores con efecto de campo. También afecta a la estabilidad con voltajes de rizo en ca en las fuentes de poder de cd. La estabilidad de frecuencia en los osciladores RC o LC pueden mejorarse enormemente regulando la fuente de poder en dc y minimizando las variaciones ambientales. También pueden utilizarse componentes especiales independientes de la temperatura.

La FCC ha establecido reglas estrictas en relación a las tolerancias de las portadoras de radio frecuencias. Cada vez que se utiliza el espacio aéreo (propagación de radio en el espacio libre) como el medio de transmisión, es posible que las transmisiones de una fuente puedan interferirse con las transmisiones de otras fuentes si sus frecuencias de transmisión y los anchos de las bandas de transmisión se traslapan. Por lo tanto, es importante que todas las fuentes mantengan su frecuencia de operación dentro de una tolerancia específica.

### **3.2.6 Osciladores de cristal**

Los osciladores de cristal son circuitos osciladores de retroalimentación, en donde el circuito tanque LC se reemplaza con un cristal para el componente que determina la frecuencia. El cristal actúa de manera similar al tanque LC, excepto que tiene varias ventajas inherentes. A los cristales se les llama a veces resonadores de cristal y son capaces de producir frecuencias precisas y estables para contadores de frecuencias, sistemas electrónicos de navegación. Transmisores y receptores de radio, televisiones, videocassetas (VCR), relojes para sistemas de computación, y muchas otras aplicaciones demasiado numerosas para listarse aquí.

### **3.2.7 Osciladores de integración a gran escala**

En los años recientes el uso de circuitos integrados para la integración a gran escala (LSI) para la generación de formas de ondas y frecuencias se ha incrementado a una velocidad tremenda porque los osciladores para circuitos integrados tienen una excelente estabilidad en frecuencia y un rango amplio de sintonización y son fáciles de usar. Los generadores de formas de ondas y funciones se utilizan extensamente en equipos para comunicaciones y telemetría, así como en los laboratorios para probar y calibrar equipo. En muchas de estas aplicaciones, se disponen de osciladores comerciales de circuitos integrados monolíticos y generadores de funciones que proporciona al diseñador de circuitos una alternativa a bajo costo para las contrapartes de sus circuitos no integrados.

Las operaciones básicas necesarias para la generación de formas de ondas y, ahora es posible fabricar generadores de formas de onda para los circuitos integrados que proporcionan un funcionamiento comparable a los generadores discretos complejos a solo una fracción del costo.

Los generadores de formas de ondas de LSI que se disponen actualmente incluyen generadores de funciones, temporizadores programables, osciladores de voltaje controlado, osciladores de precisión, y generadores de formas de ondas.

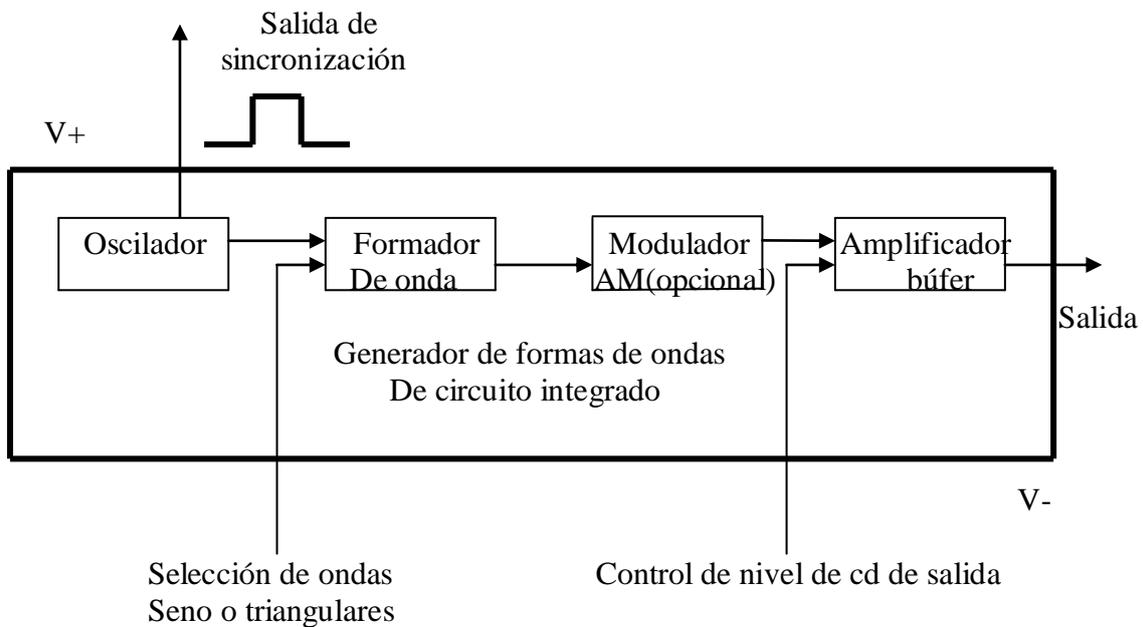
### **3.2.8 Generación de formas de ondas para circuitos integrados**

En su forma más sencilla, un generador de forma de onda es un circuito oscilador que genera formas de ondas bien definidas y estables que se pueden modular externamente o barrer sobre un rango de frecuencias determinado. Un generador típico de forma de onda consiste de cuatro secciones básicas:

- Un oscilador para generar la forma básica de onda periódica.
- Un formador de ondas.
- Un modulador AM opcional.
- Un amplificador búfer de salida para aislar al oscilador de la carga y proporcionar la excitación de corriente necesaria.

La figura 3.14 muestra un diagrama de bloques simplificado de un circuito generador de forma de onda para circuitos integrados indicando la relación entre las cuatro secciones. La sección del oscilador genera la frecuencia básica del oscilador y el

circuito formador de ondas convierte la salida del oscilador a formas de ondas seno, cuadradas, triangulares o en forma de rampa. El modulador, cuando se utiliza, permite que el circuito produzca señales con amplitud modulada, y el amplificador búfer de salida aísla el oscilador de su carga y proporciona un lugar conveniente para agregar niveles de cd a la forma de onda de salida. La salida de sincronización se puede utilizar como una fuente de onda cuadrada o como pulsos de sincronización para la circuitería externa.



**Figura 3.14** Generador de formas de ondas de circuito integrado.

### 3.3 CIRCUITOS DE FASE CERRADA

El circuito de fase cerrada (PLL) se usa en forma extensa dentro de las comunicaciones electrónicas para realizar la modulación, demodulación, generación de

frecuencias, y para síntesis de frecuencias. Los PLL se utilizan tanto en transmisores como en receptores con modulación analógica y digital y con la transmisión de pulsos digitales.

Por lo tanto, los PLL han cambiado de una técnica de diseño especializado a un bloque de construcción universal con numerosas aplicaciones especiales como la detección de tonos, decodificación estéreo, y la síntesis de frecuencias.

Esencialmente, un PLL es un sistema de control de retroalimentación de circuito cerrado en donde la señal de retroalimentación es una frecuencia en lugar de un simple voltaje. El PLL proporciona sintonización y filtración selectiva de frecuencias sin la necesidad de bobinas e inductores. El circuito básico de fase cerrada se muestra en la figura y consiste de cuatro bloques principales:

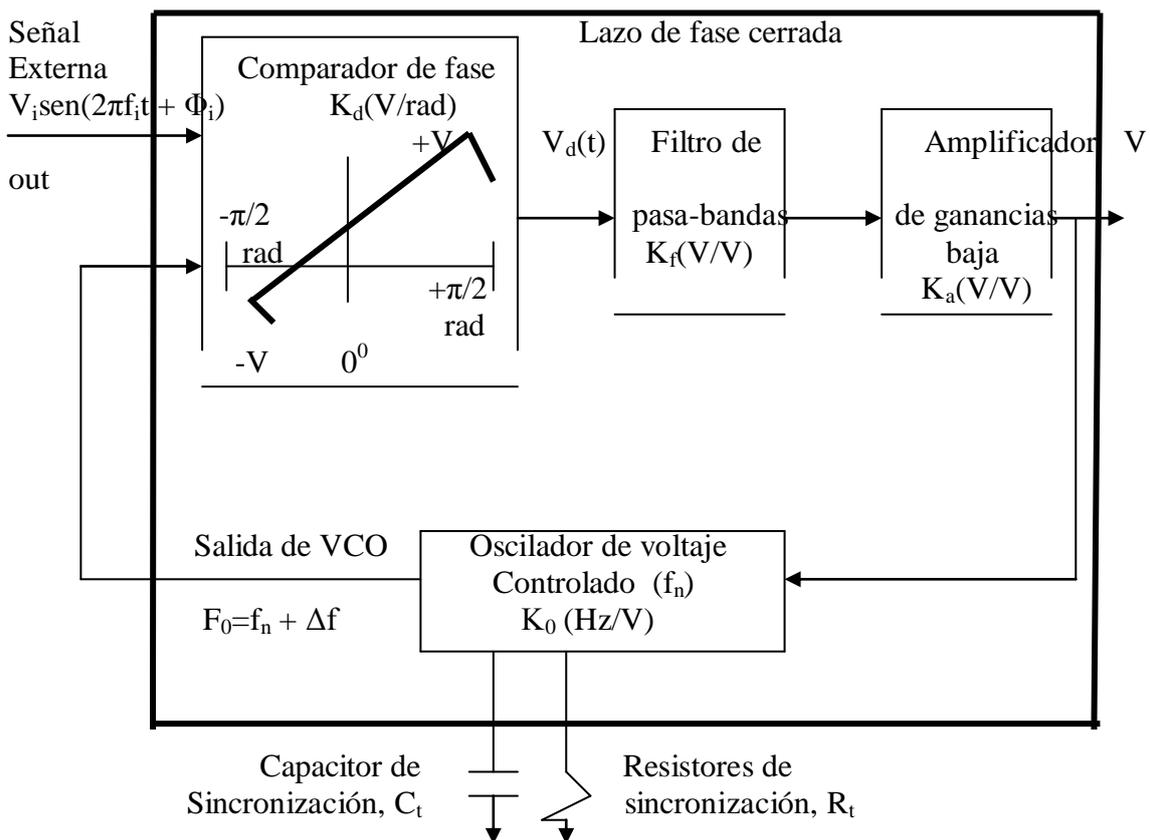
- Un comparador de fase (multiplicador).
- Un filtro de pasa-bajos.
- Un amplificador de baja ganancia (op-amp).
- Un oscilador de voltaje controlado (VCO).

Sin señal de entrada externa, el voltaje de salida es igual a cero. El VCO opera a un conjunto de frecuencias determinada llamada frecuencia natural u operando sin limitaciones ( $f_n$ ) la cual se instala por medio de un resistor externo ( $R_t$ ) y capacitor ( $C_t$ ).

Si se aplica una señal de entrada al sistema, el comparador de fase compara la fase y la frecuencia de la señal de entrada con la frecuencia natural del VCO y genera un

voltaje de error  $V_d(t)$ , que está relacionado con la diferencia entre la fase y la frecuencia de las dos señales. Entonces se filtra este voltaje de error, se amplifica a la terminal de entrada del VCO.

Si la frecuencia de entrada  $f_i$  está lo suficientemente cercana a la frecuencia natural del VCO,  $f_n$ , la naturaleza retroalimentadora del PLL hace que se sincronice el VCO, o cierra a la señal que está entrando. Una vez cerradas, la frecuencia del VCO es idéntica a la señal de entrada, excepto por una diferencia de fase finita que es igual a la fase de la señal entrante menos la fase de la señal de salida del VCO.



**Figura 3.15** Diagrama a bloques para el lazo de fase cerrada.

### 3.3.1 Rango de bloque y captura

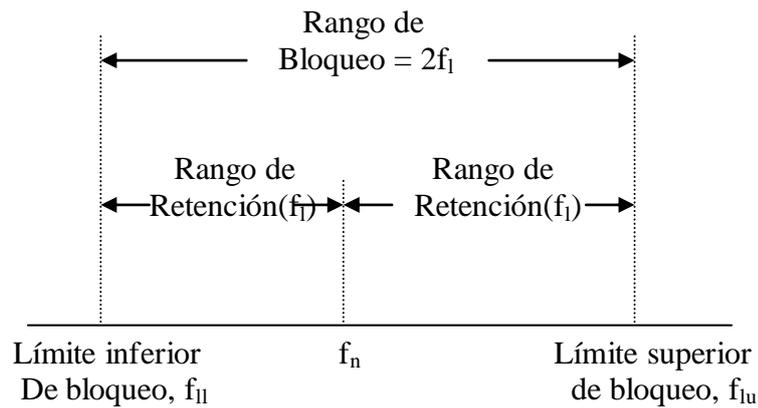
Dos parámetros clave de los PLL que indica su rango útil de frecuencias son los rangos de bloqueo y captura.

- a) **Rango de bloqueo.** El rango de bloqueo se define como el rango de frecuencias que se encuentra en la vecindad de la frecuencia natural del VCO ( $f_n$ ) sobre el cual el PLL puede mantener un bloqueo con una señal de entrada. El rango de bloqueo también se conoce como el rango de rastreo.

Es el rango de frecuencias sobre los cuales el PLL rastreará o seguirá con exactitud la frecuencia de entrada. El rango de bloqueo se incrementa conforme la ganancia general del circuito del PLL se incrementa.

Rango de retención es igual a la mitad del rango de bloqueo (o sea, rango de bloqueo =  $2 \times$  rango de retención). La relación entre ambos rangos se muestra en la forma de diagrama de frecuencias en la figura 3.16 La frecuencia más baja que el PLL rastreará se llama el límite inferior de bloqueo ( $f_{ll}$ ), y la frecuencia más alta que el PLL rastreará se llama límite superior de bloqueo ( $f_{ls}$ ).

El rango de bloqueo depende de las funciones de transferencia (ganancias) del comparador de fase, del amplificador de baja ganancia, y del VCO.



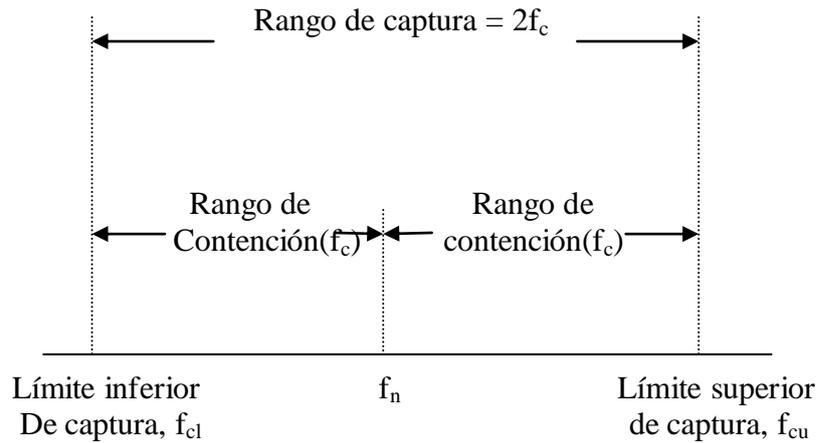
**Figura 3.16** Rango de bloqueo del PLL.

**b) Rango de captura.-** El rango de captura se define como la banda de frecuencia en la vecindad de  $f_n$  donde el PLL puede establecer o adquirir bloqueo enlace con una señal de entrada. El rango de captura generalmente se encuentra entre 1.1 y 1.7 veces la frecuencia natural del VCO.

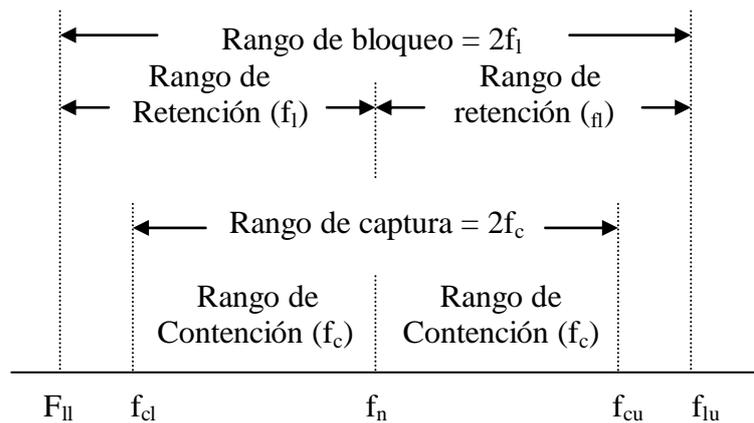
El rango de captura también se conoce como el rango de adquisición. El rango de captura se relaciona con el ancho de banda del filtro pasa-bajas. El rango de captura del PLL se reduce conforme disminuye el ancho de la banda del filtro. El rango de contención es el rango máximo de captura (o sea, el rango de captura =  $2 * \text{rango de contención}$ ).

El rango de captura y de contención se muestra en la forma de diagrama de frecuencias. La frecuencia más baja a la que puede bloquear el PLL se llama límite inferior de captura ( $f_{cl}$ ), la frecuencia más alta a la que puede bloquear el PLL se llama el límite superior de captura ( $f_{cu}$ ).

El rango de captura jamás es mayor que, y casi siempre es menor que, el rango de bloqueo. La relación entre los rangos de captura, bloqueo, de contención y de retención se muestra en forma de diagrama de frecuencias en la figura 3.17. y 3.18. Observe que el rango de bloqueo  $\geq$  que el rango de captura y el rango de retención  $\geq$  que el rango de contención.



**Figura 3.17** Rango de captura del PLL



**Figura 3.18** Rangos de captura y bloqueo del PLL.

## CAPITULO IV

### TRANSMISIÓN DE MODULACIÓN ANGULAR

#### 4.1 Introducción

Es una señal analógica se puede variar tres propiedades:

- La amplitud.
- La frecuencia.
- La fase.

Hablaremos sobre la *modulación en frecuencia* (FM) y la *modulación en fase* (PM).

La modulación en frecuencia y en fase, son ambas formas de la modulación angular. Desafortunadamente, a ambas formas de la modulación angular se les llama simplemente FM cuando, en realidad, existe una diferencia clara (aunque sutil), entre las dos. Existen varias ventajas en utilizar la modulación angular en lugar de la modulación en amplitud, tal como la reducción de ruido, la fidelidad mejorada del sistema y el uso más eficiente de la potencia.

Sin embargo, FM y PM, tienen varias desventajas importantes, las cuales incluyen requerir un ancho de banda extendida y circuitos más complejos, tanto el transmisor, como el receptor.

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

radio. El mayor E. H. Armstrong desarrolló el primer sistema con éxito de radio de FM, en 1936 (quien también desarrolló el receptor superheterodino) y, en julio de 1939, la primera radiodifusión de señales de FM programada regularmente comenzó en Alpine, New Jersey. Actualmente, la modulación angular se usa extensamente para la radiodifusión de radio comercial, transmisión de sonido de televisión, radio móvil de dos sentidos, radio celular y los sistemas de comunicaciones por microondas y satélite.

## 4.2 MODULACIÓN ANGULAR

La modulación angular resulta cuando el ángulo de fase ( $\theta$ ), de una onda sinusoidal, varía con respecto al tiempo. La onda con modulación angular se muestra matemáticamente como

$$m(t) = V_C \cos [ \omega_C t + \theta (t) ] \quad (4.1)$$

en donde

$m(t)$  = onda con modulación angular

$V_C$  = amplitud pico de la portadora (volts)

$\omega_C$  = frecuencia en radianes de la portadora (es decir velocidad angular,  $2\pi f_C$ )

$\theta(t)$  = desviación instantánea de fase (radianes)

Con la modulación angular, es necesario que  $\theta(t)$  sea una función prescrita da la señal modulante. Por lo tanto, si  $V_m(t)$  es la señal modulante, la modulación angular se muestra matemáticamente como

$$\theta(t) = F [ V_m(t) ] \quad (4.2)$$

en donde:

$$V_m(t) = V_m \text{ sen } (\omega_m t)$$

$\omega_m$  = velocidad angular de la señal modulante (radianes / segundo)

$f_m$  = frecuencia de la señal modulante (hertz)

$V_m$  = amplitud pico de la señal modulante (voltios)

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 realiza 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 de FM. Si la fase 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.

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

**4.2.2 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 4.1 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 frecuencia ( $\Delta f$ ) se llama desviación en 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 en frecuencia y en fase es proporcional a la amplitud de la señal modulante ( $V_m$ ) y la relación en que la desviación ocurre es igual a la frecuencia de la señal modulante ( $f_m$ ). Siempre que el periodo ( $T$ ) de una portadora sinusoidal cambia, también cambia su frecuencia y, si los cambios son continuos, la onda ya no es una frecuencia sencilla.

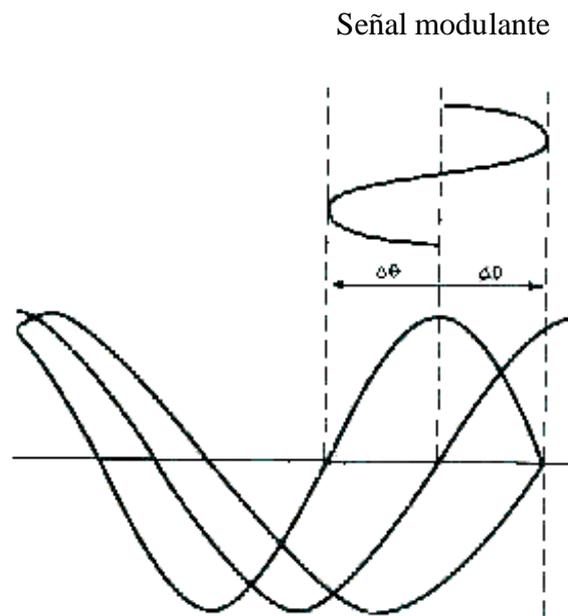
Se mostrará que la forma de onda resultante abarca la frecuencia de la portadora original (a veces llamada la frecuencia de reposo de la portadora) y un número infinito

de pares de frecuencias laterales desplazadas en ambos lados de la portadora por un número entero como múltiplo de la frecuencia de la señal modulante.

La figura 4.1 muestra una portadora sinusoidal en la cual la frecuencia (f) será cambiada (desviada), en un periodo de tiempo. La porción ancha de la forma de onda corresponde al cambio de pico-a-pico en el periodo de la portadora ( $\Delta T$ ). El periodo mínimo ( $T_{\text{mín}}$ ) corresponde a la máxima frecuencia ( $f_{\text{máx}}$ ) y el periodo máximo ( $T_{\text{máx}}$ ) corresponde a la frecuencia mínima ( $f_{\text{mín}}$ ).

La desviación en frecuencia pico-a-pico se determina simplemente midiendo la diferencia entre las frecuencias mínimas y máximas.

$$(\Delta f_{\text{p-p}} = 1 / T_{\text{mín}} - 1 / T_{\text{máx}}) \quad (4.3)$$



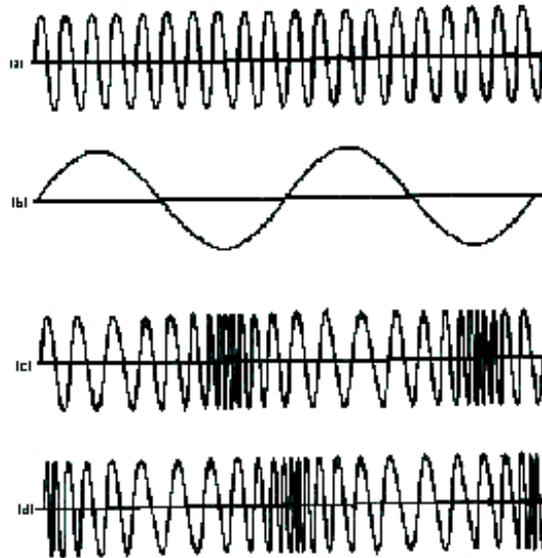
**figura 4.1** Frecuencia variante con el tiempo

### 4.2.3 Formas de onda de FM y de PM

La figura 4.2 muestra la modulación en frecuencia y en fase de una portadora sinusoidal por una señal modulante de frecuencia sencilla. Se puede observar que las formas de onda de FM y de PM son idénticas, excepto por su relación de tiempo (fase). Por lo tanto, es imposible distinguir una forma de onda de FM de una forma de onda de PM, sin saber las características de la señal modulante. Con FM, máxima desviación de frecuencia (cambio en la frecuencia de la portadora) ocurre durante los máximos puntos negativos y positivos de la señal modulante (es decir, la desviación de frecuencia es proporcional a la amplitud de la señal modulante).

Con PM, la máxima desviación de frecuencia ocurre durante los cruces de cero de la señal modulante (es decir, la desviación de frecuencia es proporcional a la pendiente o primera derivada de la señal modulante). Para la modulación de frecuencia y de fase, la razón por la cual los cambios de frecuencia ocurren es igual a la frecuencia de la señal modulante.

Sin embargo, el conocimiento de la señal modulante permitirá una identificación correcta. Si  $\theta(t) = K_v v_m(t)$ , es una modulación de fase y si  $\theta'(t) = K_f v_m(t)$ , es una modulación de frecuencia. En otras palabras, si la frecuencia instantánea es directamente proporcional a la amplitud de la señal modulante es una modulación en frecuencia, y si la fase instantánea es directamente proporcional a la amplitud de la frecuencia modulante, es una modulación en fase.



**figura 4.2** Modulación en fase y en frecuencia de una portadora de onda seno, por una señal de onda seno: (a) portadora demodulada; (b) señal modulante; (c) onda de frecuencia modulada; (d) onda de fase de modulada.

#### 4.2.4 Desviación de fase, el índice de modulación y la desviación de frecuencia

Para una señal modulante de frecuencia sencilla, podemos escribir la ecuación en forma general de la siguiente manera.

$$m(t) = V_c \cos \left[ \omega_c t + m \cos (\omega_m t) \right] \quad (4.4)$$

en donde:

$$m \cos(\omega_m t) = \text{desviación de fase instantánea, } \theta(t)$$

Cuando la señal modulante es una senoide de frecuencia sencilla, es evidente, en la ecuación, que el ángulo de fase de la portadora varía de su valor no modulada bajo un enfoque de sinusoidal sencilla.

En la ecuación,  $m$  representa la máxima desviación de fase, en radianes, para una portadora modulada en fase. La máxima desviación de fase se llama índice de modulación. Una diferencia importante, entre la modulación en frecuencia y en fase, es la manera en que se define el índice de modulación.

Para PM, el índice de modulación es proporcional a la amplitud de la señal modulante, independientemente de su frecuencia. El índice de modulación para una portadora de fase modulada se muestra matemáticamente como

$$m = KV_m \text{ radianes} \quad (4.5)$$

en donde:

$$V_m = \text{voltaje pico de la señal modulante (volts)}$$

$$KV_m = \text{desviación pico de fase (radianes)}$$

Para una portadora modulada en frecuencia, el índice de modulación es directamente proporcional a la amplitud de la señal modulante e inversamente proporcional a su frecuencia y se muestra matemáticamente como

$$M = \frac{K_1 V_m}{\omega_m} \quad (4.6)$$

$$M = \frac{K_1 V_m}{2\pi f_m} \quad \text{relación sin unidad para FM} \quad (4.7)$$

en donde

$$K_1 V_m = \text{desviación de frecuencia (radián / segundo)}$$

$$\frac{K_1 V_m}{2\pi} = \text{desviación de frecuencia (hertz)}$$

De esta última ecuación puede observarse que con FM el índice de modulación es una relación sin unidad y se utiliza sólo para describir la profundidad de la modulación lograda para una señal modulada en amplitud y frecuencia dada. La desviación de frecuencia es el cambio en la frecuencia que ocurre en la portadora, cuando actúa sobre él por una señal modulante.

La desviación de frecuencia se da normalmente como un desplazamiento en frecuencia pico en hertz ( $\Delta f$ ). La desviación de frecuencia pico-a-pico a veces se llama oscilación de la portadora.

Para un modulador de FM, la sensibilidad de la desviación se da frecuentemente en hertz por volt. Por lo tanto, la desviación de frecuencia es simplemente el producto de la sensibilidad de la desviación y el voltaje de la señal modulante. Además, con FM es común mostrar el índice de modulación como simplemente la relación de la desviación pico de frecuencia dividida entre la frecuencia de la señal modulante o reorganizando la última ecuación.

$$m = \frac{\Delta f}{f_m} \quad \frac{\text{Hz}}{\text{Hz}} \quad (4.8)$$

en donde

$$\Delta f = \frac{K1V_m}{2\pi} \quad (\text{hertz}) \quad (4.9)$$

#### 4.2.5 Características del índice de modulación

- a) El índice de modulación tiene un valor definido solo para modulación del tono.
- b) El índice de modulación es inversamente proporcional a la frecuencia del tono modulante y directamente proporcional a su amplitud si esta no ha sido normalizado a 1.
- c)  $\beta$  o el índice de modulación representa la máxima desviación de fase en radianes producido por el tono en cuestión.

$$\beta_1 = \frac{\Delta f}{f_m} \quad \beta_2 = \frac{\Delta f}{f_{m_2}} \quad (4.10)$$

$$\theta; (t) = \beta_1 \text{ sen } W_{m_1}t + \beta_2 \text{ sen } W_{m_2}t$$

- d) Diferentes tonos que tengan el mismo  $\beta$  dan la misma desviación relativa de fase pero a diferentes velocidades debido al factor  $\text{sen } W_{m}t$  (velocidad).
- e) Si se tiene varios tonos normalizados, tendrá mayor  $\beta$  aquel cuya frecuencia sea menor y menor  $\beta$  aquel cuya frecuencia sea mayor.
- f) El valor de  $\beta$  depende de las características del modulador.

$$B = \frac{\Delta f}{F_m} \quad (4.11)$$

#### 4.2.6 Porcentaje de modulación

El porcentaje de modulación para una onda de modulación angular se determina de diferente manera que con una onda modulada en amplitud. Con la modulación angular, el porcentaje de modulación simplemente es la relación de la desviación de frecuencia realmente producida a la máxima desviación de frecuencia permitida por la ley establecida en forma porcentual. Matemáticamente, el porcentaje de modulación es:

$$\% \text{ modulación} = \frac{\Delta f (\text{actual})}{\Delta f (\text{máximo})} * 100 \quad (4.12)$$

Por ejemplo, en Estados Unidos la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), limita la desviación de frecuencia para transmisores de la banda de radiodifusión comercial de FM a  $\pm 75$  KHz. Si una señal modulante produce  $\pm 50$  KHz de desviación de frecuencia, el porcentaje de modulación es:

$$\% \text{ modulación} = \frac{50 \text{ KHz}}{75 \text{ KHz}} * 100 = 67 \% \quad (4.13)$$

#### 4.3 MODULADORES Y DEMODULADORES DE FASE Y DE FRECUENCIA

Un modulador de fase es un circuito en el cual la portadora varía de tal manera que su fase instantánea es proporcional a la señal modulante. La portadora no modula es una senoide de frecuencia sencilla y se llama comúnmente la frecuencia de reposo. Un modulador de frecuencia (frecuentemente llamado un desviador de frecuencia), es un

circuito en el cual la portadora varía, de tal manera, que su fase instantánea es proporcional a la integral de la señal modulante.

Por lo tanto, con un modulador de frecuencia, si la señal modulante  $V(t)$  es diferenciada, antes de ser aplicada al modulador, la desviación de fase instantánea es proporcional a la integral de  $V(t)$  o, en otras palabras, proporcional a  $V(t)$  porque  $V'(t) = V(t)$ . De manera semejante, un diferenciador que precede a un modulador de FM produce una onda de salida en la cual la desviación de fase es proporcional a la señal modulante y es, por lo tanto, equivalente a un modulador de fase. Son posibles varias equivalencias interesantes. Por ejemplo, un demodulador de frecuencia, seguido por un integrador es equivalente a un demodulador de fase. Cuatro equivalencias comúnmente usadas son mencionadas a continuación e ilustradas en la siguiente figura:

1. Modulador de PM = diferenciador seguido por un modulador FM.
2. Demodulador de PM = un demodulador de FM seguido por un integrador
- 3.- Modulador de FM = integrador seguido por un modulador de PM
- 4.- Demodulador de FM = demodulador de PM seguido por un diferenciador

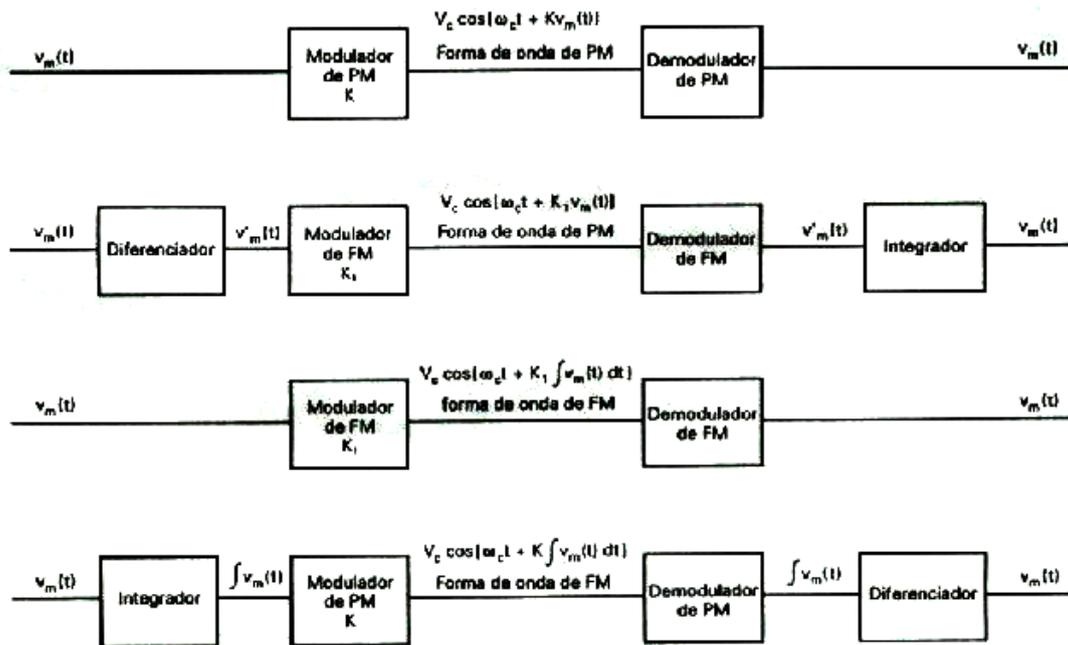


Figura 6-4 Modulación y demodulación de frecuencia y de fase.

figura 4.3 Modulación y demodulación de frecuencia y de fase

### 4.3.1 Análisis de frecuencia de las ondas con modulación angular

Con la modulación angular, los componentes de la frecuencia de la onda modulada están más complejamente relacionados a los componentes de frecuencia de la señal modulante, que con la modulación en amplitud. En un modulador de frecuencia o de fase, una señal modulante de frecuencia sencilla produce un número infinito de pares de frecuencia laterales y, por lo tanto, tiene un ancho de banda infinito. Cada frecuencia lateral se desplaza de la portadora por un múltiplo integral de la frecuencia de la señal modulante.

Sin embargo, generalmente la mayoría de las frecuencias laterales son insignificativas en amplitud y pueden ignorarse.

### **4.3.2 Requerimiento del ancho de bandas para las ondas con modulación angular**

En 1922, J. R. Carson comprobó matemáticamente que para una frecuencia de señal modulante, dada una onda de modulación en frecuencia, no puede acomodarse en un ancho de banda más angosto que una onda de modulación en amplitud. Del análisis anterior puede observarse que el ancho de banda de modulación angular es una función de la frecuencia de la señal modulante e índice de modulación.

Con la modulación angular, se producen varios conjuntos de bandas laterales y, consecuentemente, el ancho de banda puede ser de manera significativa más ancho que el de una onda de modulación en amplitud con la misma señal modulante e índice de modulación. Con la modulación angular, se producen varios conjuntos de bandas laterales y, consecuentemente, el ancho de banda es de manera significativa más ancho que el de una onda de modulación en amplitud con la misma señal modulante. Un modulador de doble banda lateral de AM convencional requiere de sólo 2 KHz de ancho de banda, y un sistema de banda lateral único, de sólo 1KHz.

Formas de ondas de modulación angular se clasifican generalmente como de índice bajo, mediano o alto. Para el caso del índice bajo, la desviación de fase pico (índice de modulación), es menos que 1 rad, y el caso del índice alto ocurre cuando la desviación de fase pico es mayor que 10 rad. Los índices de modulación, mayores que 1 y menores que 10, se clasifican como un índice mediano.

Con la modulación angular de índice bajo la mayoría de la información de la señal se cargará en el primer conjunto de bandas laterales, y el mínimo de ancho de banda requerido es aproximadamente, igual al doble de la frecuencia de la señal modulante

más alta. Por esta razón, los sistemas de FM de índice bajo a veces se llaman bandas angostas de FM. Para una señal de índice alto, se puede utilizar el método para determinar el ancho de banda llamado cuasi-estacionario. Con este método se asume que la señal modulante está cambiando lentamente.

Por lo tanto, para la modulación de índice bajo, el espectro de frecuencia es semejante a la doble banda lateral de AM y el mínimo ancho de banda es aproximado de la siguiente manera:

$$B = 2f_m \text{ (hertz)}$$

Y para la modulación de índice alto, el mínimo de ancho de banda se aproxima de la siguiente manera:

$$B = 2\Delta f \text{ (hertz)}$$

### **4.3.3 Relación de desviación**

Para un sistema de FM predeterminado, el mínimo ancho de banda es el más grande, cuando se obtiene la máxima desviación de frecuencia con la máxima frecuencia de señal modulante (es decir, la modulación en frecuencia más alta ocurre con la máxima amplitud permitida). Por la definición, la relación de desviación (DR), es el índice de modulación de peor caso y es igual a la máxima desviación de frecuencia dividida por la máxima frecuencia de la señal modulante. el índice de modulación del peor caso produce el espectro de frecuencia de salida más ancho. Matemáticamente, la relación de desviación es:

$$DR = \frac{A f (\max)}{Fm (\max)} \quad (4.14)$$

en donde:

DR = relación de desviación (sin unidad)

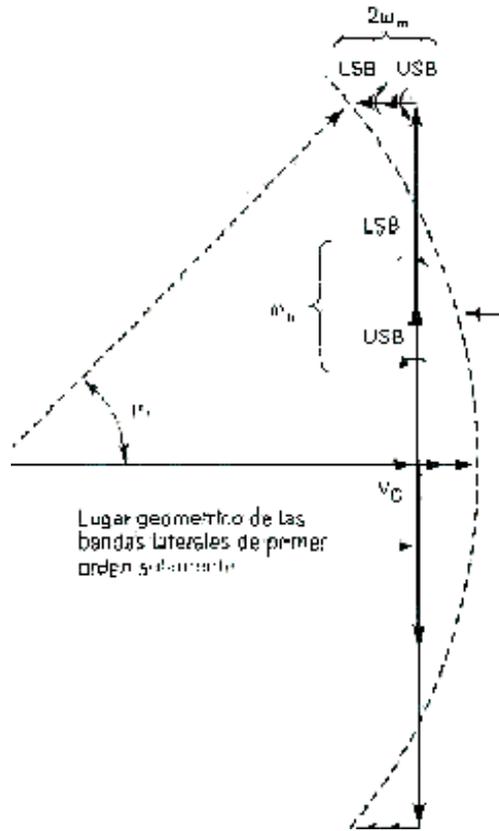
af(max) = máxima desviación de frecuencia (hertz)

fm(max) = máxima frecuencia de la señal modulante (hertz)

#### **4.3.4 Potencia promedio de una onda de modulación angular**

Una de las diferencias más importantes entre la modulación angular y la modulación en amplitud, es la distribución de potencia en la onda modulada.

A diferencia de AM, la potencia total en una onda de modulación angular es igual a la potencia de la portadora no modulada (es decir, las bandas laterales no agregan potencia a la señal modulada compuesta). Por lo tanto, con la modulación angular, la potencia que estaba originalmente en la portadora sin modular es redistribuida entre el conducto y sus bandas laterales. La potencia promedio de una onda de modulación angular es independiente de la señal modulante, índice de modulación y desviación de frecuencia.



**figura 4.4** Representación fasorial de la modulación angular, índice de modulación alta.

La potencia promedio de la portadora no modulada es:

$$P_c = \frac{V_c^2}{2R} \text{ watts} \quad (4.15)$$

en donde:

$P_c$  = potencia de la portadora (watts)

$V_c$  = voltaje pico de la portadora no modulada (volts)

$R$  = resistencia de carga (ohms)

### 4.3.5 Modulación angular y ruido

Cuando el ruido térmico con una densidad espectral constante se agrega a una señal de FM, se produce una desviación de frecuencia no deseada que depende de la amplitud relativa del ruido con respecto a la portadora. Cuando esta desviación de la portadora no deseada es demodulada, se convierte en ruido si tiene los componentes de frecuencia que caen dentro del espectro de información – frecuencia.

La forma espectral de ruido demodulado depende si se usó un demodulador FM o PM. El voltaje de ruido de salida de un demodulador de PM es constante con la frecuencia, mientras que el voltaje de ruido en la salida de un demodulador de FM se incrementa en forma lineal con la frecuencia. Esto es comúnmente llamado el triángulo de ruido de FM y se ilustra en la figura 4.5. Puede observarse que el voltaje de ruido demodulado es inherentemente mayor para las frecuencias de señal modulante más altas.

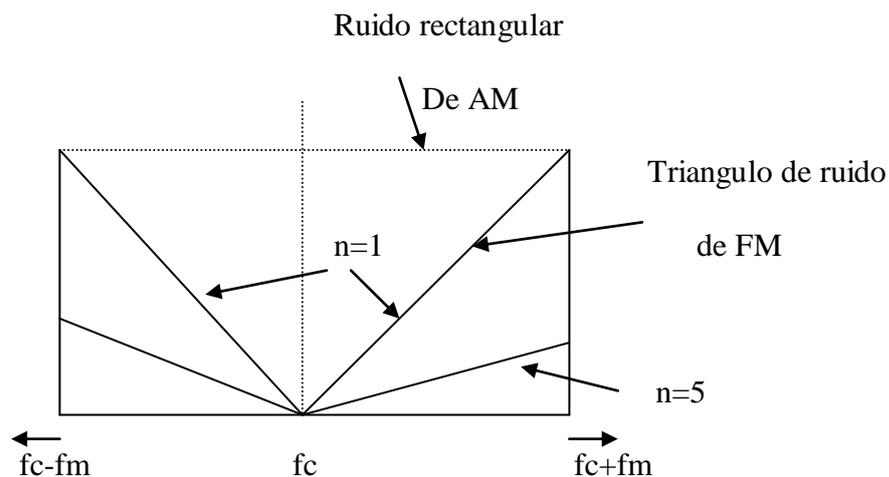


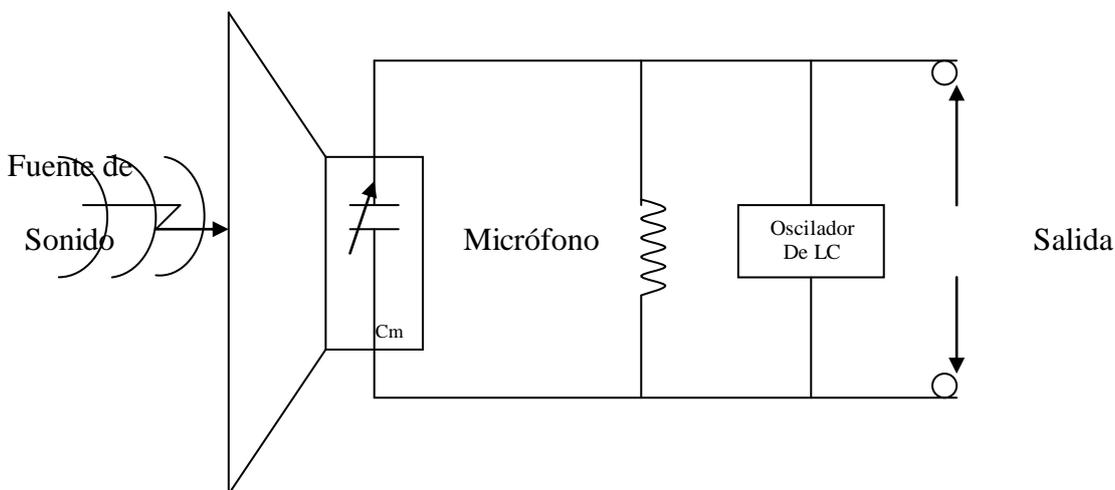
figura 4.5 Triángulo de ruido de FM

## 4.4 TRANSMISIÓN DE MODULACIÓN EN FRECUENCIA

#### 4.4.1 Moduladores de FM directos

La FM directa es la modulación angular en la cual la frecuencia de la portadora varía (desviada), directamente por la señal modulante. Con la FM directa la desviación de frecuencia instantánea es directamente proporcional a la amplitud de la señal modulante. La figura 4.6 muestra un diagrama esquemático para un generador de FM simple (aunque altamente impráctico) y directo. El circuito tanque (L y  $C_m$ ) determina la frecuencia para un oscilador LC estándar. El capacitor del micrófono es un transductor que convierte la energía acústica a energía mecánica, la cual se usa para variar la distancia, entre las placas de  $C_m$  y, consecuentemente, cambia su capacitancia.

Conforme  $C_m$  varía, la frecuencia de resonancia varía, Por lo tanto, la frecuencia de salida del oscilador varía directamente con la fuente de sonido externa. Esta es la FM directa porque la frecuencia del oscilador se cambia directamente por la señal modulante y la magnitud del cambio de frecuencia es proporcional a la amplitud del voltaje de la señal modulante.



**Figura 4.6** Modulador de FM directo simple

#### 4.4.2 Moduladores de FM indirectos

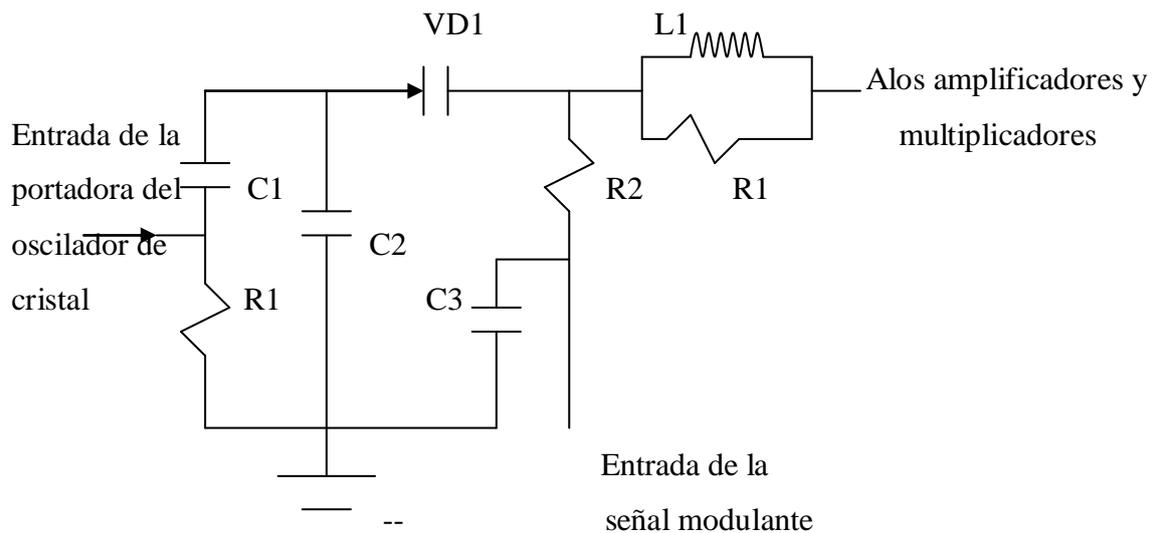
La FM indirecta es una modulación angular en la cual la frecuencia de la portadora se desvía indirectamente por la señal modulante. La FM indirecta se logra cambiando directamente la fase de la portadora y es, por lo tanto, una forma de modulación en fase directa.

La fase instantánea de la portadora es directamente proporcional a la señal modulante.

La figura 4.7 muestra un diagrama esquemático para un modulador de FM indirecto. El modulador consiste de un diodo varactor VD1 en serie con una red inductiva (bobina sintonizable L1 y el resistor R1).

La red combinada, serie-paralelo, aparece como un circuito resonante en serie a la frecuencia de salida del oscilador de cristal. Una señal modulante se aplica a VD1, el cual cambia su capacitancia y, consecuentemente, el ángulo de fase de la impedancia visto por la portadora varía, lo cual resulta en un desplazamiento en fase correspondiente en la portadora.

El desplazamiento en la fase es directamente proporcional a la amplitud de la señal modulante. Una ventaja de FM indirecto es que se usa un oscilador de cristal con búfer para la fuente de la señal de la portadora.



**figura 4.7** Diagrama esquemático de un modulador de FM indirecto

Consecuentemente, los transmisores de FM indirectos son más estables en la frecuencia que sus contrapartes directas. Una desventaja es que las características de capacitancia-contra-voltaje de un diodo varactor no son lineales. En realidad, se parecen bastante a una función de raíz cuadrada. Consecuentemente, para minimizar la distorsión en la forma de onda modulada, la amplitud de la señal modulante debe mantenerse bastante pequeña, lo cual limita la desviación de fase a valores pequeños y sus usos a las aplicaciones de banda angosta de índice bajo.

#### 4.4.3 Transmisores de FM directos

Los transformadores de FM directos producen una forma de onda de salida, en la cual la desviación de frecuencia es directamente proporcional a la señal modulante. Consecuentemente, el oscilador de la portador debe desviarse directamente.

Por lo tanto, para los sistemas de FM de índice mediano y alto, el oscilador no puede ser un cristal, porque la frecuencia a la cual el cristal oscila no puede variarse de manera significativa. Como resultado la estabilidad de los osciladores en los transmisores de FM directos frecuentemente no puede llenar las especificaciones de FCC.

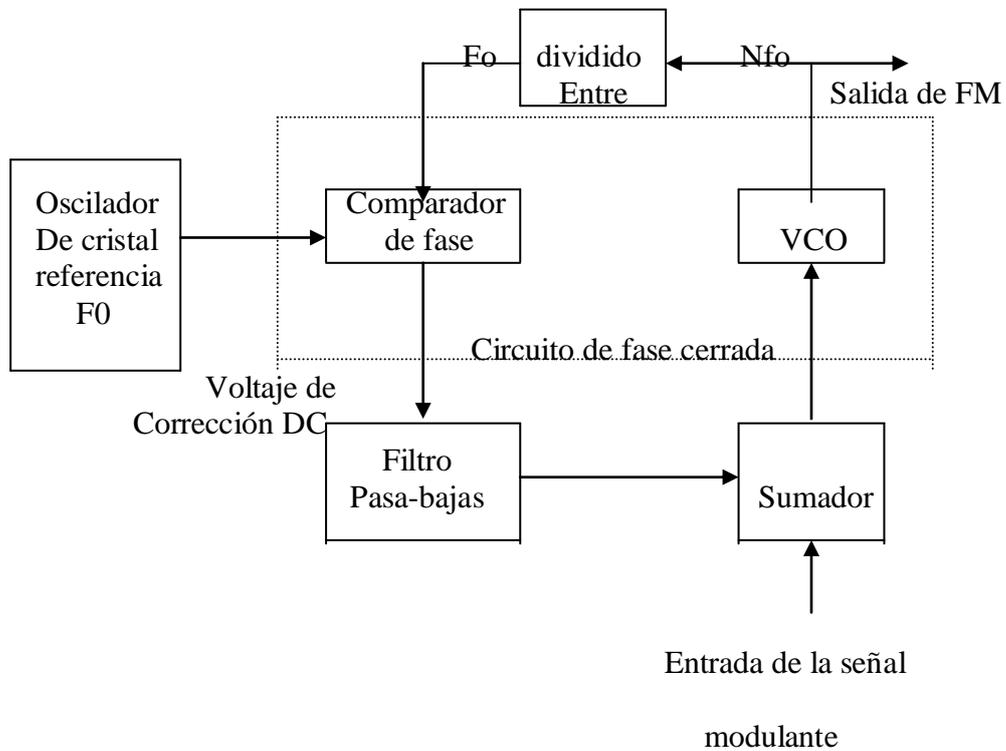
Para superar este problema, se utiliza un control de frecuencia automática (AFC). Un circuito de AFC compara la frecuencia de la portadora del oscilador sin cristal con un oscilador de cristal de referencia y, entonces, produce un voltaje de corrección proporcional a la diferencia entre las dos frecuencias. El voltaje de corrección se regresa al oscilador de la portadora para compensar automáticamente cualquier movimiento que pueda haber ocurrido.

#### **4.4.4 Transmisor de FM directa de circuito de fase cerrada**

La figura 4.8 muestra un transmisor de FM de banda ancha que utiliza un circuito de fase cerrada para lograr una estabilidad de cristal de un oscilador maestro VCO y, al mismo tiempo, generar una señal de salida de FM de banda ancha de índice alto. La frecuencia de salida de VCO se divide entre  $N$  y se retroalimenta al comparador de fase PLL, en donde se compara a una frecuencia de cristal de referencia estable, el comparador de fase genera un voltaje de corrección que es proporcional a la diferencia entre las dos frecuencias.

El voltaje de corrección se agrega a la señal modulada y se aplica a la entrada del VCO. El voltaje de corrección ajusta la frecuencia central del VCO a su valor correcto. Nuevamente, el filtro paso-bajas previene los cambios en la frecuencia de salida del

VCO, debido a que la señal modulante no se convierte a voltaje, se retroalimenta al VCO y borra la modulación. El filtro pasa-bajas también previene que el circuito se adhiera a una frecuencia lateral.



**figura 4.8** Transmisor de FM de circuito de fase cerrada.

#### 4.4.5 PM a partir de FM.

Como un modulador de FM precedido por un diferenciador, genera una forma de onda de PM. Si los transmisores mostrados en la figura 4.8 son precedidos por una red de preénfasis, que es un diferenciador (filtro pasa-altas), ocurre una situación interesante. Para una constante de tiempo de 75  $\mu$ s, la amplitud de las frecuencias arriba de 2.12 KHz es enfatizada por el diferenciador.

Por lo tanto, para las frecuencias modulantes menores a 2.12 KHz, la forma de onda de salida es proporcional a la señal de salida, y para las frecuencias superiores a 2.12 KHz, la forma de onda de salida es proporcional a la derivada de la señal de entrada. En otras palabras, la modulación en frecuencia ocurre para frecuencias menores a 2.12 KHz, y la modulación en fase ocurre para las frecuencias arriba de 2.12 KHz.

Debido a que la ganancia de un diferenciador incrementa con frecuencias arriba de la frecuencia de corte (2.12 KHz), y ya que la desviación de frecuencia es proporcional a la amplitud de la señal modulante, la desviación de frecuencia también incrementa con frecuencias superiores a 2.12 KHz.

#### **4.4.6 Transmisores de FM indirectos**

Los transmisores de FM indirectos producen una forma de onda de salida, en la cual la desviación de fase es directamente proporcional a la señal modulante. Consecuentemente, el oscilador de la portadora no se desvía directamente. Por lo tanto, el oscilador de la portadora puede ser un cristal, ya que el oscilador, por si mismo, no es el modulador.

Como resultado, la estabilidad de los osciladores con transmisores de FM indirectos puede llenar las especificaciones del FCC sin utilizar un circuito de AFC.

#### 4.4.7 FM contra PM

Desde un punto de vista puramente teórico, la diferencia entre FM y PM es muy sencilla: el índice de modulación es directamente proporcional a la amplitud de la señal modulante e independiente de su frecuencia. Con FM, el índice de modulación es directamente proporcional a la amplitud de la señal modulante e inversamente proporcional a su frecuencia.

Considerando a la FM como una forma de modulación en fase entre mayor sea la desviación de frecuencia, mayor es la desviación de fase. Por lo tanto ésta depende, o por lo menos hasta cierto punto, de la amplitud de la señal modulante, así como con PM. Con PM, el índice de modulación es proporcional a la amplitud del voltaje de la señal modulante solamente, mientras que con FM el índice de modulación también es inversamente proporcional a la frecuencia de la señal modulante.

Si las transmisiones de FM se reciben en un receptor de PM, las frecuencias de graves\* tendrían considerablemente más desviación de fase de las que un modulador de PM es proporcional a la desviación de fase, la señal aparece excesivamente elevada (amplificada) en graves. Alternativamente (y ésta es la situación más práctica), la PM demodulada por un receptor de FM produce una señal de información en la cual se incrementan las señales modulantes de frecuencias más alta.

## **CAPITULO V**

### **CONSTRUCCION DE MODULOS**

#### **5.1 Selección y evaluación de alternativas.**

En esta parte de selección se ha tomado en cuenta varios módulos como referencia, donde sea muy útil y fácil de manejar por el estudiante, se ha escogido este modulo por varios aspectos, por los materiales que son fácil de conseguirlos, los conocimientos teóricos – prácticos obtenidos ayudaran en la construcción del entrenador que es una herramienta básica para el desarrollo de prácticas, el entrenador es un instrumento sencillo y fácil de utilizarlo, no requiere de conocimientos profundos de electrónica.

#### **5.2 Construcción del Entrenador.**

### **GUÍA DE MONTAJE**

#### **1.- DESCRIPCIÓN GENERAL**

El entrenador EB –1 (figura 1) es un completo laboratorio portátil de electrónica proyectado para facilitar la realización de pruebas y experimentos con circuitos electrónicos básicos por parte de estudiantes, profesores y aficionados.

El sistema, que se alimenta directamente de la red pública de 115VAC/ 60 Hz a través de un cordón monofásico y está protegido por un fusible general de 0,5<sup>a</sup>, proporciona, entre otras, las siguientes utilidades:

Una fuente DC regulada lineal, variable desde 1.25V hasta 5V y capacidad de 1<sup>a</sup>. Incluye un medidor de voltaje (voltímetro) análogo pre – calibrado, una perilla selectora de voltaje, un fusible de protección y dos bornes de salida ( +, -). Sus aplicaciones  $\Omega$  integrados, análisis y prueba de componentes y circuitos pasivos en régimen DC etc.

Una fuente AC de 60 Hz con salidas de voltaje fijas de 6V, 9V y 12V, y capacidad de 1<sup>a</sup>. Incluye cuatro bornes de acceso, uno de referencia (OV) y tres de salida (6V, 9V, 12V). Útil para realizar experimentar con rectificadores y fuentes de

alimentación, analizar y probar componentes y circuitos pasivos en régimen AC de 60 Hz, derivar señales de referencia de tiempo sincronizadas con la red de AC, y otras aplicaciones.

Un multímetro análogo (VOM) de 20K / V en DC y 8K / V en AC con rangos de voltaje AC de 0 – 10 – 50 – 250 y 1000V; rangos de voltaje DC de 0 – 2.5 – 10 – 50 – 250 y 1000V; rangos de corriente en DC de 0 –5 - -50 – 500mA y 10 A en jack separado; rangos de resistencia de R x 1, R x 10 y Rx 1K (50 ohmios en centro) Incluye Zumbador para prueba de continuidad y dos puntas de prueba, escalada graduada con elemento reflector para minimizar errores de medida y perilla selectora de funciones y rangos.

Está fijado al panel de trabajo al lado de los dos protoboards, pudiéndose utilizar como un instrumento independiente y autónomo. Sus aplicaciones incluyen la realización de mediciones de voltaje y corriente en circuitos externos, así como medidas de resistencia en elementos aislados (no incorporados a un circuito ). Posee también dos terminales para la prueba de pilas y baterías hasta de 9V.

Un parlante dinámico independiente de  $8\Omega / 0,5 W$ , con dos conectores de presión de acceso para la reproducción de señales sonoras de amplificadores, alarmas y otros circuitos de audio. La cabina interna del entrenador actúa como baffle o caja acústica, permitiendo obtener un sonido de salida más realista y puro.

Dos protoboards o tableros de conexiones sin soldadura de fácil acceso y convenientemente localizados para realizar el montaje rápido y seguro de experimentos; circuitos y proyectos electrónicos.

Están firmemente asegurados a la estructura metálica (chasis) del equipo mediante un adhesivo especial para mayor comodidad de trabajo y proporcionan cerca de 1720 puntos de contacto, todos a disposición del usuario. El espacio de trabajo a su alrededor puede ser completamente con relés, zumbadores, potenciómetros y otros dispositivos.

Una salida auxiliar de 115VAC / 60 Hz, útil para realizar experimentos de potencia o alimentar lámparas, cautines y otros artefactos eléctricos de baja demanda de corriente.

El entrenador se proporciona, ensamblado o en forma de Kit, con un sólido, práctico y elegante chasis construido en aluminio y madera que sirve como soporte físico de los elementos, controles y circuitos del sistema, y proporciona un área de trabajo amplia y segura para el usuario. En las siguientes secciones se describen el funcionamiento, la construcción y la prueba del equipo.

## **2. DIAGRAMA DE ALAMBRADO.**

En la figura 2 se muestra el diagrama general de conexiones del Entrenador EB-1. la lista completa de componentes y materiales se suministran en las siguiente sección. El sistema está desarrollado, básicamente, alrededor de un transformador formado de potencia con secundario dividido (T1) y una fuente DC variable K025 (PCB1).

La tensión de entrada (115VAC), proviene de la red distribución pública, se aplica al primario F! (0,5 A) y el interruptor S1. este último incorpora un indicador de neón que se ilumina automáticamente cuando S1 se sitúa en la posición de conectado (ON) En los taps del secundario se obtiene tensiones de salida de 6VAC, 9VAC, 12VAC y 21VAC.

Las tres primeras son accesibles al usuario desde el conector de 4 vías J1. la salida de 20 VAC se utiliza localmente para alimentar la fuente variable K-025.

Todas la tensiones de AC están referidas al tap 0 (referencia). La tensión de 6VAC se obtiene entre los taps 0 y 12 y la tensión de 21 VAC entre los taps 0 y 21. también es posible obtener otras tensiones AC, no referidas a OV. Por ejemplo, 3VAC entre los taps 12 y 9, 9VAC entre los taps 21 y 12, 11VAC entre los taps 21 y 9, etc.

La fuente variable K-025, cuyo funcionamiento se describe en detalle en el manual de instrucciones que acompaña esta guía de montaje, está desarrollada alrededor de un regulador de voltaje LM 317. el potenciómetro P1 actúa como control de voltaje. El

usuario tiene acceso al voltaje de salida a través del conector de dos vías J2. el valor de este voltaje se, monitorear directamente en el medidor M1. El fusible F2 (1ª) protege la fuente en caso de sobrecorriente.

El parlante (SP1), los protoboards (PB1 y el multímetro análogo (m2) son completamente autónomos y no están incorporados a ningún circuito en particular. El parlante asiste al usuario en la realización de pruebas de audio que requieran la producción de sonidos. El protoboard permite el montaje, sin necesidad de soldaduras, desde circuitos pasivos y activos simples hasta circuitos análogos y digitales relativamente complejos.

**NOTA:** Los componentes marcados con un asterisco (\*) forman parte de la tarjeta de fuente variable K-025 (PCB1). Los demás elementos están distribuidos a través del chasis y el panel de control cumpliendo diversas funciones.

### **3.- ENSAMBLE.**

#### **NOTA:**

revise cuidadosamente la lista de materiales para verificar que todo está en orden y no falta ningún componente. Provéase también como mínimo, de las siguientes herramientas y materiales con el fin de hacer su trabajo más fácil y ágil:

- 1 Cautín de 25W
- 1 Pinza cortafíos o de corte diagonal
- 1 Pinza de puntas planas
- 1 Pinza pelacables
- 1 Destornillador de punta plana mediano
- 1 Destornillador de punta Phillips mediano
- 1 Multímetro análogo o digital
- Soldadura y pegante tipo Boxer™

**PASO 1.** Instale y suelde los siguientes componentes a la tarjeta de circuito impreso K – 025 (PCB1) siguiendo las instrucciones proporcionadas en los pasos 1 hasta 7 de la guía de instrucciones de la fuente variable

La resistencia de 150K (R1) y 240 ohmios (R2)

Los diodos de 1 A ( D1, D2, D3, D, D6, D7)

Los condensadores de 2200 uF (C1, C2), 10 uF (C3) y 1u (C4)

El regulador LM 317 (1C1)

**PASO 2.** asegure el regulador al disipador de calor a la tarjeta utilizando el tornillo de 1/ 2” con tuerca.

**PASO 3.** instale y suelde terminales tipo espadín en los pads de la tarjeta rotulados “Salida” “fusible 1<sup>a</sup>”, “AC 18 V” y “P1. solamente deberán quedar libres los pads correspondientes al LED D5 y a la salida opcional para voltímetro.

**PASO 4.** Revise detenidamente la tarjeta K-025 ensamblada para detectar soldaduras defectuosa, pistas en cortocircuito, componentes faltante, mal orientados o en el sitio incorrecto, etc.

**PASO 5.** una vez detectados y corregidos los posibles errores, asegure la tarjeta a la pared posterior interna del chasis utilizando los cuatro tornillos milimétricos de 3 x 15 mm con tuerca y los 4 separadores plásticos de 6 mm.

**PASO 6.** separe la sección principal del chasis EB – 1 y verifique que tenga puestas las calcomanías de identificación. Si esto no es el caso, retire la capa de protección de cada calcomanía y adhiéralas al chasis en su posición correspondiente y con la orientación correcta.

**Paso 7.** asegure la estructura, en sus lugares respectivos, los siguientes elementos (ver notas 1 a 4 al final de esta sección):



**Figura 5.1** Ensamble del Entrenador

El transformador EB-1 (T1)

El Pasacable del cordón de potencia (PL1)

Los portafusibles de F1 (0,5 A) y F2 (1 A)

El tomacorriente auxiliar (S01)

El interruptor general (S1)

El medidor de voltaje de la fuente (M1)

El potenciómetro de control de voltaje (P1)

El Parlante (SP1)

Los conectores de presión J1 (salidas AC), J2 (salidas DC) y J3 (parlante)

**PASO 8.** separe el cordón de alimentación (PL1) del conjunto de partes y córtelo a unos 20 cm de la punta. Con el segmento recortado obtenga cuatro tramos de cable sencillo de 5 cm cada uno. Estañe las puntas de estos tramos y las del cordón mismo.

**PASO 9.** introduzca el extremo libre de cordón de alimentación (PL1) por el pasacable y realice en el interior del chasis, a unos 10 cm de las puntas, un nudo de seguridad. Este nudo proporciona firmeza mecánica a la conexión de entrada, evitando que al halar

el cable se ejerza una tensión excesiva sobre los conductores, suficiente para desprenderlos del tomacorriente y crear el riesgo latente de un cortocircuito.

**PASO 10.** realice la interconexión de la tarjeta K 025, el transformador T1 y todos los demás elementos eléctricos previamente fijados al chasis. Guíese por el diagrama pictórico de la figura 3 Ver notas 5 y 9

**PASO 11.** finalice el ensamble retirando la capa que protege la parte posterior del protoboard y adhiriendo este último al área de trabajo del chasis. Sitúelo en el centro en la posición más conveniente a sus necesidades particulares.

#### **NOTAS:**

**1.-** El transformador T1, El tomacorriente S01 y los conectores de presión J1, J2 y J3 se fijan utilizando los tornillos de 3 x 10 mm con tuerca.

**2.-** Los portafusibles del F1 y F2, así como el potenciómetro P1 y el medidor de voltaje M1 se aseguran utilizando las tuercas, contratuercas, arandelas y tornillo incorporados a los mismos. Una vez asegurado el potenciómetro, colóquele la respectiva perilla de accionamiento de modo que la guía de la misma coincida razonablemente con la marca MIN de la calcomanía, cuando el potenciómetro se gira completamente en sentido antihorario (CCW) y con la marca MAX cuando se gira completamente en sentido horario (CW).

**3.-** el pasacable y el interruptor S1 se fijan por presión. Este último debe orientarse de modo que el punto blanco coincida con la posición de conectado (ON)

**4.-** el parlante se asegura utilizando una delgada capa de adhesivo sintético tipo Boxer alrededor del cono. Una cantidad deficiente del adhesivo puede causar que el parlante se desprenda de su sitio y origine un cortocircuito. Una cantidad exagerada puede interferir en el movimiento del cono y desgranar el sonido producido. Al fijare el parlante, asegúrese que sus terminales queden frente a los terminales del conector J3 para facilitar el empalme entre ambos.

**5.-** utilice tres de los cuatro tramos de cable AWG18 obtenidos del cable de alimentación para conectar entre sí el tomacorriente S01, el portafusible de 1 (0,5<sup>a</sup>) y el interruptor S1. Asegúrese de identificar correctamente los terminales de ese último para evitar posible cortocircuito cuando conecte el entrenador a la red de AC. En muchos interruptores, la función de cada terminal esta impresa en los costados. En otros, uno de los terminales de los extremos está marcado con un punto o con la leyenda ON. Normalmente, el terminal del centro (2) es el común, el que está al lado del punto (3) es el interruptor y el que está al otro extremo (1) es el piloto. Si tiene dudas, utilice un Homero o un probador de continuidad. El interruptor debe marcar una resistencia casi infinita en una posición (OFF) y casi cero en la otra (ON).

Asegúrese de identificar bien los terminales de conexión del interruptor ya que puede causar un corto, dañar algún componente y/o, en caso más extremo, ocasionarse una lesión física.

**6.-** Utilice el cable duplex AWG20 polarizado, convenientemente segmentado, para (a) conectar un medidor M1 y el fusible 2 (1 A) a los espadines correspondientes de la tarjeta PCB1, y (b) conectar al medidor M1 al conector J2 y el parlante SP1 al conector J3. En el primer caso utilice tramos de aproximadamente 15 cm de longitud y en el segundo tramos de aproximadamente 15 cm. en ambos casos, respete los colores de los cables asignados a cada conexión (rojo para el positivo y negro para el negativo) con el fin de mantener la uniformidad y evitar confusiones.

**7.-** Utilice el cable ribbon de dos líneas AWG28 para conectar el potenciómetro P1 con los espadines de acceso correspondiente a la tarjeta PCB1 (K-025). En el lugar de cable ribbon puede utilizar alambre o cable multifilar AWG24 para mayor firmeza.

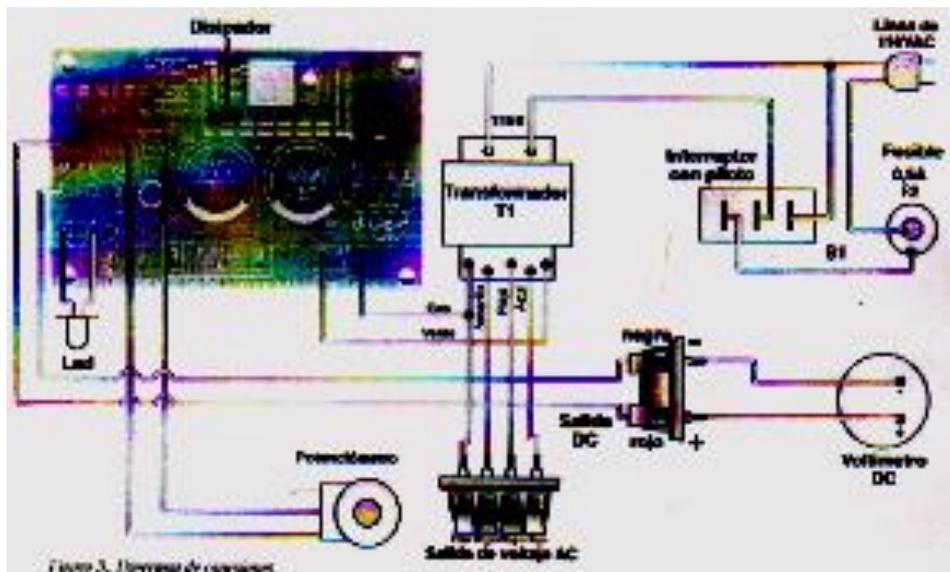
**8.-** Utilice los cables que emergen de transformador T1 para conectar este último al interruptor S1, el conector J1 y la tarjeta PCB1 (K-025). Note que los cables de entrada de T1 (115V) se conectan a los terminales “2” (común) y “3” (piloto) de S1, mientras que los cables de las salidas “0”, “6”, “9” y “12” del mismo se conectan, en su orden, a los terminales 4, 3, 2 y 1 de J2. El cable asociado al TAP “24” del T1 se conecta directamente a una de las entradas de AC de la tarjeta PCB1 (K-025).

9.- Utilice el cable sencillo AWG para conectar la otra entrada de AC de la tarjeta PCB1 (K-025) con el terminal 4 de J2 (0V). De este modo, la fuente recibirá una tensión de alimentación de 24 VAC.

## 5.PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO:

Una vez tenga armado el entrenador completamente, antes de ponerlo en funcionamiento, se debe realizar un chequeo preliminar del ensamble. Realice la búsqueda de posibles errores en el armado y ensamble, como condensadores o diodos al revés, el transformador conectado al contrario, los bornes haciendo contacto con la caja metálica.

**PRECAUCIÓN.** Si el transformador se conecta al contrario, se produce un daño definitivo en su bobinado y puede provocar un cortocircuito quedando a la vez inservible para cualquier uso.



**Figura 5.2** Prueba de funcionamiento.

Una vez que se haya asegurado de que todo está bien, gire totalmente la perilla P1 en el sentido antihorario, lo que hace que en los bornes de salida se presente el mínimo voltaje. Esto sucede si se han conectado los terminales de P1 exactamente como se muestra en el diagrama de alambreado de la figura 2.

Conecte la alimentación y encienda el circuito con el interruptor de potencia; el voltímetro debe marcar 1,2 Voltios.

Si comienza a girar la perilla en sentido horario, entonces el voltímetro registrara un aumento en su lectura hasta llegar a 25 Voltios aproximadamente.

Verifique con su multímetro que el voltaje mostrado en el voltímetro de la fuente sea verdadero. Si no es así, pase al cuadro del siguiente punto:

### **DETECCIÓN DE FALLAS.**

Si la encender la fuente nota calentamiento excesivo o un olor a quemado en algún sector, debe apagarla rápidamente y detectar a través del tacto el componente que está presentando fallas.

Tenga mucho cuidado va a tocar el componente, con no hacer demasiada presión sobre éste ya se puede sufrir una quemadura.

La tabla siguiente le servirá de guía en la búsqueda de posibles errores en el armado, os si llegara a fallar en cualquier momento el entrenador. Las recomendaciones que en ella se dan tienen en cuenta que usted ha leído cuidadosamente el manual, sobre todo, el principio de funcionamiento.

Si no entiende las pruebas, el entrenador está listo para ser utilizado como un útil y práctico laboratorio en donde usted puede realizar una cantidad de experimentos sin necesidad de otros equipos o instrumentos adicionales.

### **7. IDEAS Y APLICACIONES:**

Una vez terminadas las pruebas, el entrenador está listo para ser utilizado como un útil y práctico laboratorio en donde usted puede realizar una cantidad de experimentos sin necesidad de otros equipos o instrumentos adicionales.

## TABLA DE REPARACIÓN

TIPO DE FALLA	POSIBLE AVERÍA
El circuito no enciende Cuando se acciona el Interruptor general	<ul style="list-style-type: none"><li>- El fusible no está puesto o esta quemado.</li><li>- Se ha equivocado en la conexión del interruptor general. Observe las indicaciones que se dan en el ensamble.</li><li>- Al transformador se le ha quemado su devanado.</li><li>- Verificar con el óhmetro.</li><li>- Los bornes de salida están haciendo corto con el chasis metálico.</li><li>- El cable de alimentación está interrumpido.</li></ul>
La fuente enciende normalmente pero su voltaje permanece constante aunque se varíe el eje de P1.	<ul style="list-style-type: none"><li>- El regulador de voltaje está quemado.</li><li>- El diodo D6 está en corto.</li><li>- El potenciómetro P1 está mal conectado o está en mal estado.</li></ul>
Cuando se enciende la fuente el fusible se quema inmediatamente.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Se ha equivocado en la instalación de los diodos del puente rectificador.</li><li>- Existe un posible corto en la etapa de rectificación.</li></ul>

Los circuitos se ensamblan en los protoboards siguiendo los diagramas esquemáticos o los diagramas pictóricos entregados o en cualquier material impreso de electrónica.

Antes de conectar la alimentación, desde los terminales de salida de la fuente o cualquier circuito, se debe ajustar el voltaje al valor indicado, (6V , 9V, 12V, etc ) utilizando el multímetro en la escala de 0 a 10 VDC ó 0 a 50 VDC, según sea el caso.

Si el experimento que está realizando requiere un voltaje de AC, este se toma de los bordes marcados 0V, 6V, 9V ó 12V. Estos valores son aproximados y dependen del voltaje de entrada en el momento de la prueba. Verifique antes de conectar el voltaje de entrada en el momento de la prueba. Verifique antes de conectar el voltaje al experimento, que todas las conexiones sean correctas.

Si es necesario la utilización del parlante, lleve dos cables hasta el sitio adecuado del circuito en el protoboard.

## LISTA DE MATERIALES

- 1 Resistencia de 1.5 K, 1/4W (R1).
- 1 Resistencia de 240, 1/2W (R2).
- 1 Potenciómetro lineal de 5 K, para chasis (P1).
- 1 Condensador de tantalio de 1 F/35V (C3).
- 2 Condensadores electrolíticos 2200 F/50V.
- 1 Condensador electrolítico de 10 F/50V (C4).
- 1 Transformador MAGOM ref: EB-1.
- 1 Parlante dinámico de 8, 0.5W, 2.1/4”.
- 1 Multímetro análogo HM-102BZ.
- 1 Voltímetro DC de 0-30 V para chasis ref: MU45.
- 6 diodos de 1 A (1N4004 o equivalentes).
- 1 Regulador de voltaje LM317.
- 1 Cable de alimentación AWG 18 con enchufe monofásico.
- 1 Cable ribbon de 2 líneas calibre AWG 28 (35 cm).
- 1 Cable vehículo duplex AWG 28 polarizado rojo/negro (1,25 m).
- 1 cable sencillo AWG 22 (20 cm).
- 12 Terminales para circuito impreso.
- 2 Borneras de presión de 2 elementos.
- 1 Bornera de presión de 4 elementos.
- 1 Fusible corto de 0.5 A/250V.
- 1 Fusible corto de 1 A/250V.
- 1 Interruptor de balancín con piloto.
- 2 Portafusibles pequeños para chasis.
- 1 Tomacorriente monofásico para chasis.
- 2 Protoboard largo ref: KH- 102.
- 1 Circuito impreso.
- 1 Disipador de calor para cápsula TO-220.
- 1 Pieza de velcro de 7.8\*4.8 cm.
- 1 Pieza de velcro de 4.5\*1.8 cm.

- 3 Calcomanías autoadhesivas.
- 4 Patas de caucho.
- 1 Pasa cable de caucho.
- 1 Chasis de montaje EB-1 (2 piezas).
- 2 Tapas laterales de madera.
- 4 Tornillos milimétricos de 3\*15 mm con tuerca.
- 11 Tornillos milimétricos de 3\*10 mm con tuerca.
- 1 Perilla estriada negra de 23 mm.
- 4 Separadores plásticos de 6 mm.
- 1 Guía de ensamble EB-1.
- 1 Manual del usuario K-025.
- 1 Metro de soldadura.

## TRANSMISOR DE FM

El presente transmisor funciona en el rango de FM con un voltaje de alimentación de 12 Vcd. Y entrega una potencia de aproximadamente 2 Wattios.

El transmisor se halla constituido por dos etapas un preamplificador de audio de frecuencia y un oscilador de RF en VHF (muy alta frecuencia) y su funcionamiento lo detallamos a continuación:

- La etapa preamplificadora utiliza un amplificador operacional (1M741), el cuál posee una entrada de alta impedancia y está diseñado para funcionar con un voltaje máximo de  $\pm 15$ Vcd.

La etapa preamplificadora acepta micrófonos tipo electret, dinámico a cualquier fuente de señal de audio pues su sensibilidad es ajustable.

La salida del preamplificador proporciona una señal de AF moduladora la cuál introduce una presentación de 50 uS en la señal de RF emitida.

Si se posee un buen receptor de FM, esta presentación da lugar a obtener un sonido de excelente calidad.

- El oscilador de VHF se ha calibrado para que funcione en el rango de FM (88 MHz – 108 MHz) y es modulado por un diodo varicap. La frecuencia del oscilador se puede ajustar al rango deseado por medio de la incorporación de un condensador ajustable en el circuito tanque del oscilador.
- Además el oscilador se complementa con dos transistores amplificadores dispuestos como amplificadores en emisor común, los cuales proporcionan una salida de 2 Wattios y se hallan modulados mediante diodo varicap.

La salida de este transmisor se acopla a una antena de transmisión mediante un condensador, para obtener una máxima potencia de radiación, la antena debe ser sintonizada, es decir, su longitud debe ser adaptada a la frecuencia de trabajo.

El ajuste del circuito se realizará cuando la temperatura de los transistores de oscilador se haya estabilizado, es decir, después de algunos minutos de funcionamiento.

## PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Para la construcción del transmisor de FM se ha optado en utilizar una tarjeta de baquelita sobre la cuál se montarán los dispositivos electrónicos del transmisor

El proceso de construcción lo detallado a continuación:

Para elaborar el circuito impreso que en la placa de baquelita se procedió a obtener el esquema eléctrico del transmisor, luego sobre una hoja de papel de milimetrado se distribuyó los dispositivos tomando en cuenta sus dimensiones, ubicando los dispositivos que producen calor de forma que puedan ser refrigeradas, además se ubico sobre hacia los bordes de la tarjeta, así como también los terminales de alimentación.

Una vez distribuidos los dispositivos en el papel milimetrado se procedió a realizar las conexiones eléctricas a través de pistas e islas. El punto donde existe conexión eléctrica debe ser ancho a fin de poder taladrar y realizar la soldadura, a este punto se le llama isla. El diseño del impreso sobre el papel se hizo en lazo cerrado es decir que una vez impreso sobre la placa de cobre solo se eliminará el coque necesario. Si hubiésemos utilizado lazo abierto se hubiera eliminado todo el cobre y solo hubiere quedado el cobre de las pistas e islas.

La impresión del circuito impreso sobre la tarjeta de baquelita se realizó por un proceso serigráfico que permite obtener muchas copias de manera rápida y económica.

La serigrafía consiste en elaborar un tamiz con una malla muy fina (seda), la oclusión de la malla se realiza depositando sobre la malla una emulsión fotosensible, luego se elabora sobre acetato o papel calco el circuito impreso a tinta negra, se ubica este impreso sobre el tamiz y se expone a luz ultra violeta rebelará la emulsión que no está protegida por el impreso y no afectará a la emulsión que se halla protegida. Transcurrido 10 minutos se procede a lavar el tamiz con agua y se eliminará la emulsión no afectada por la luz ultravioleta, el resultado es el impreso de nuestro transmisor.

Para trasladar este impreso a la tarjeta se procede de la siguiente manera:

Se eliminará suciedad y grasa de la tarjeta de baquelita en el lado donde se ubica el cobre, luego ubicamos sobre la tarjeta el tamiz y con una espátula se esparcirá laca o pasta tipolitográfica anticorrosiva sobre las zonas de cobre que se desea proteger.

Si procede luego a retirar el tamiz y quedará sobre la tarjeta el impreso del transmisor, el cuál se someterá a un ácido (ácido clorhídrico o cloruro ferrico) que eliminará el cobre no deseado y dejará las pistas e islas que estaban protegidas que constituyen las conexiones eléctricas del transmisor.

Elaborado el impreso se procede a trasladar los puntos de conexión, montar los dispositivos y realizar la soldadura. Terminado el voltaje se alimenta el circuito se realiza las respectivas calibraciones y por último se verifica su funcionamiento.

# CAPITULO VI

## 6.1 Cronograma

### CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM	OCTUBR	NOVIEMB	DICIEMB
PERFIL DE TESIS							
FECHA DE APROBACION DE LOS PERFILES							
RECOLECCION DE INFORMACION(Bibliografía)							
COMPRA DE MATERIALES							
ELABORACION DE LOS CAPITULOS 1Y2							
ENTREGA DE BORRADORES (Capítulo 1 Y 2)							
CONSTRUCCION DEL TRANSMISOR							
ELABORACION DE LOS CAPITULOS 3Y 4							
ENTREGA DE BORRADORES( Capítulo 3 y 4)							
REALIZACION DE PRUEBAS							
ELABORACION DE LOS CAPITULOS 5							
ENTREGA DE BORRADORES (Capítulo 5)							
REALIZACION DE HOJAS GUIAS PRACTICAS							
ELABORACION DEL INFORME FINAL							
ENTREGA DE BORRADORES							

## 6.1 Presupuesto.

### PRESUPUESTO

	ELEMENTO	CANTIDAD	V.T
Modulos	2		\$ 300.00
Transmisor FM	2		\$ 120.00
Internet	10 horas		\$ 10.00
Copias	400 hojas		\$ 20.00
Computadora	200 horas		\$ 50.00
Hojas de impresión	800 hojas		\$ 7.00
Viajes			\$ 40.00
			<hr/>
			\$ 547.00

## **CAPITULO VII**

### **CONCLUSIONES**

- Los conocimientos teóricos – prácticos obtenidos ayudaran en la construcción del entrenador que es una herramienta básica para el desarrollo de prácticas.
- Las guías propuestas son una herramienta indispensable para una mejor comprensión de la teoría revisada en la asignatura de Sistemas de Comunicaciones.
- El entrenador es un instrumento sencillo y fácil de utilizarlo, no requiere de conocimientos profundos de electrónica.
- El transmisor FM propuesto es de baja potencia ya que se hizo utilizando de modo didáctico.
- Este proyecto contiene información científica necesaria y fácil de comprender.

### **RECOMENDACIONES.**

- Antes de ensamblar el circuito comprobar el buen funcionamiento de todos los elementos.
- Antes o al momento de soldar los elementos en la placa tener cuidado en lo posible que queden residuos de soldadura en la placa, para que hallen cortos circuitos que pueden afectar al transmisor.
- Trabajar con el voltaje sujetado por el diseñador al momento de su comprobación y funcionamiento.
- Calibrar el transmisor para su máximo rendimiento.

- La herramienta para calibrar el circuito debe ser en este caso de plástico ya que puede existir una variación de reactancia del circuito oscilador lo que producirá variación en la frecuencia.
- No manipular bruscamente el micrófono por lo que podría arrancarlo.
- Dar mantenimiento cada seis meses al entrenador.
- Poner el voltaje necesario para el transmisor.

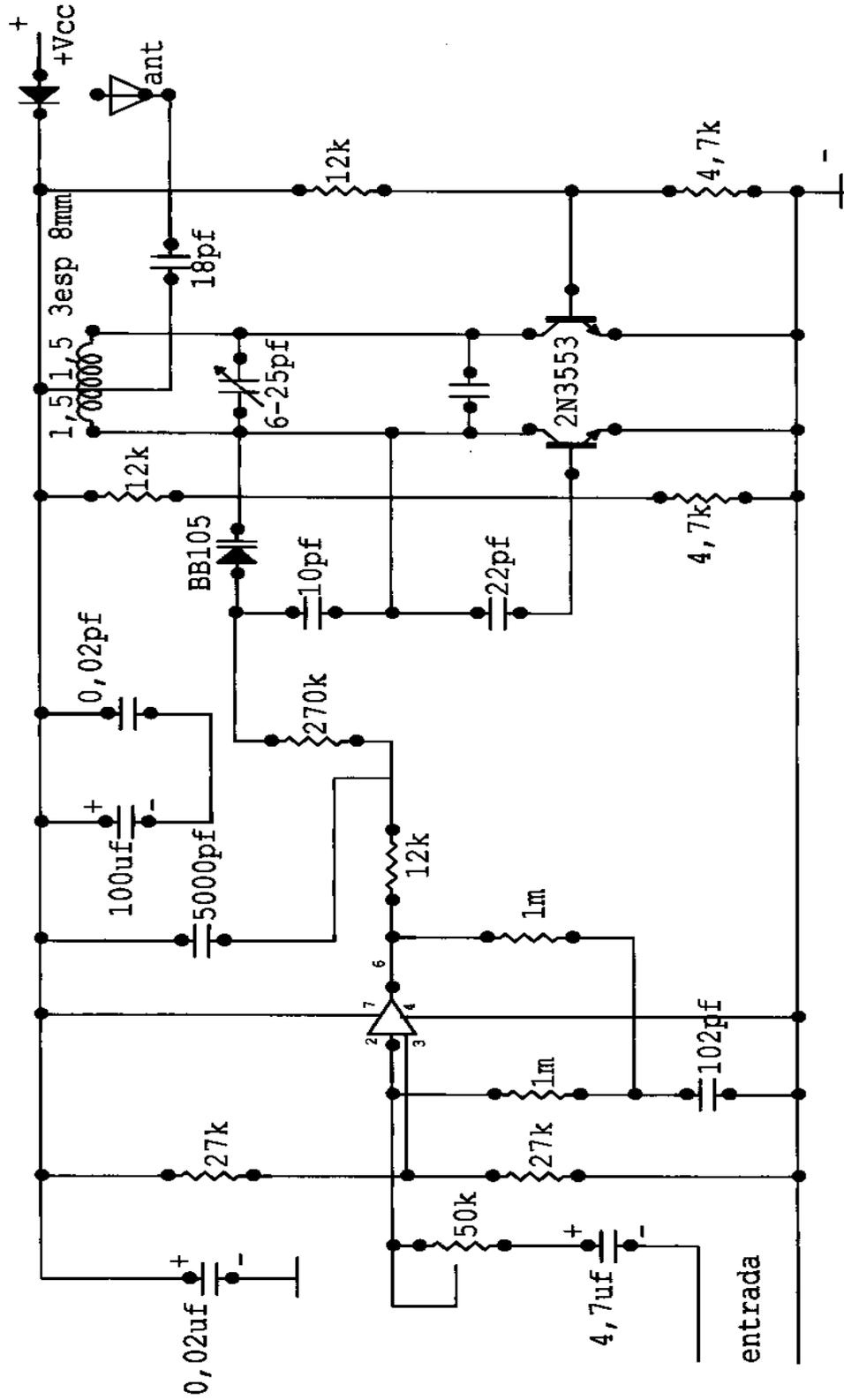
## BIBLIOGRAFÍA

- Sistema de Comunicaciones Electrónicas  
WAYNE TOMASI, Segunda Edición, año 1996 México,  
Editorial Prentice Hall INC.
- Introducción a la Teoría y Sistemas de Comunicación  
LATÍN, Editorial Limusa S.A. año 1997, Grupo Noriega  
Editores, hecho en México.
- Sistemas de Comunicación  
ESTREMLER, Ediciones Alfaomega, S.A. año 1989 México.
- Diccionario Enciclopédico Electrónico  
STAN GIBILISCO, Mc Graw – Hill, año 1994, Interamericana  
de México S.A. de C.V.
- Curso Práctico de Radio AM – FM  
CEKIT, Compañía Editorial Electrónica, año 1994 Pereira –  
Colombia S.A. Impreandes S.A. Santander de bogota D.C.

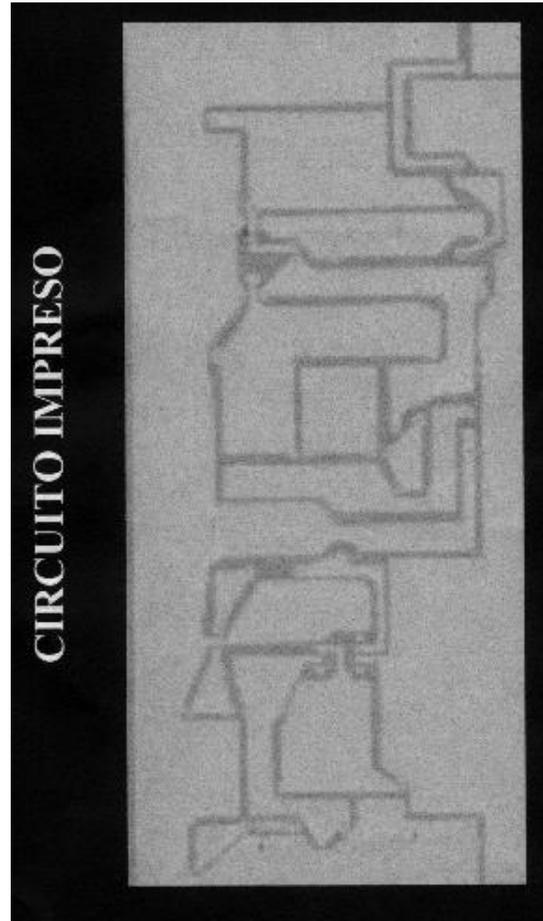
**ANEXOS**

# ANEXO A

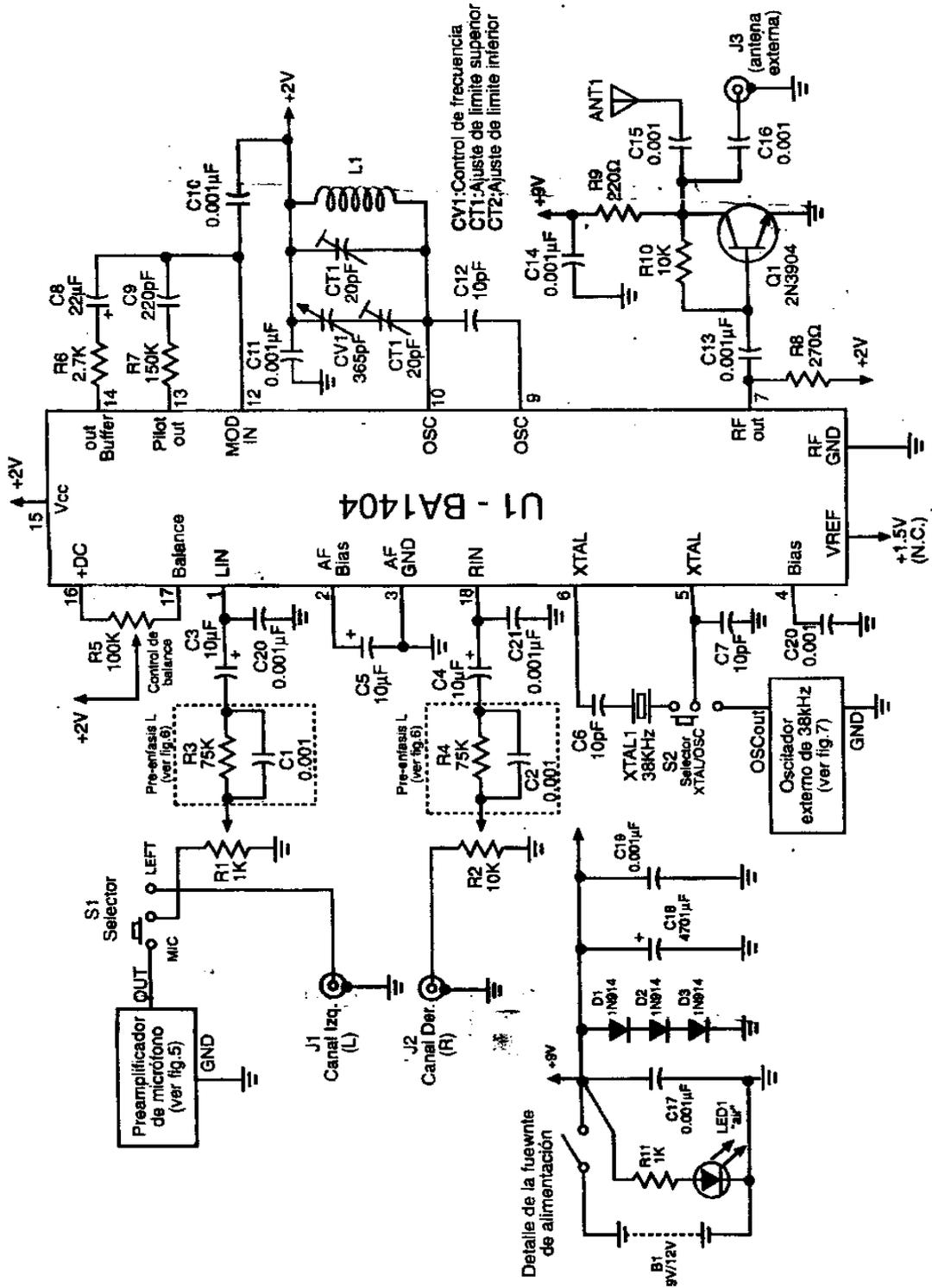
## TRANSMISOR FM 2 WATTS



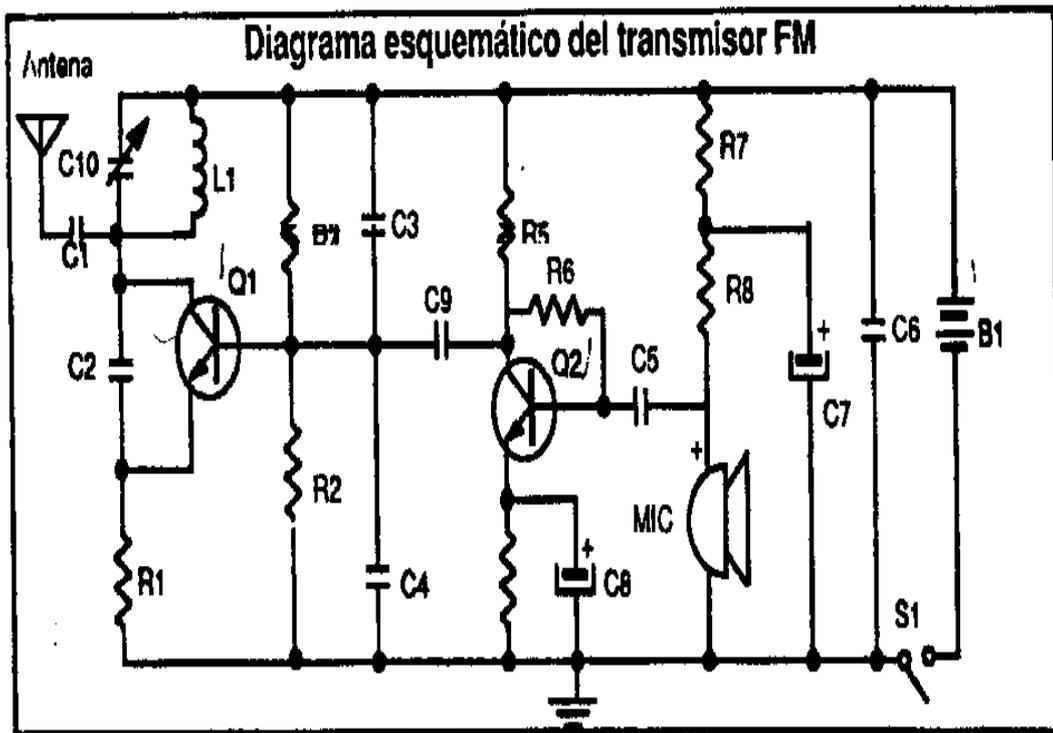
## ANEXO B



# ANEXO C



# ANEXO D



**FUERZA AÉREA ECUATORIANA**  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR**  
**ESCUELA DE TECNOLOGIA EN TELEMATICA**  
**LABORATORIO DE COMUNICACIONES**

**TEMA:**

Oscilador de amplificador de RF.

**OBJETIVOS:**

- Familiarizar al usuario con los dispositivos Electrónicos.
- Medir voltajes de polarización en los semiconductores.

**TRABAJO PREPARATORIO:**

- Consultar sobre FM (características).
- Como se realiza una Transmisión de FM.
- Osciladores de RF.
- Amplificadores de RF.

**INFORMACIÓN TEORICA:**

Modular en FM significa variar la frecuencia de la portadora al ritmo de la información, lo que significa que en la señal de FM.

La amplitud y la fase de la señal permanecen constante y la frecuencia cambia en función de los cambios de amplitud y frecuencia de la señal que se desea transmitir.

**EQUIPOS Y MATERIALES:**

- Osciloscopio
- Tarjeta de FM
- Voltímetro
- Fuente de alimentación.

## **PROCEDIMIENTOS:**

Para cambiar el circuito en la frecuencia adecuada debemos realizar lo siguiente.

- Encender la fuente de alimentación con 9Vcc.
- Localizar el capacitor variable y tener a la mano la herramienta adecuada, en este caso de plástico, para que no tenga variación de frecuencia.
- En caso de no tener la herramienta utilice algo pequeño pero que no haga contacto con la piel.
- Encienda un receptor cualquiera y comience a girar suavemente el capacitor hasta que localice la señal, en la frecuencia deseada.
- Dependiendo de un calculo de antena usted podrá tener mayor ganancia.
- Para su calculo de antena utilice la siguiente formula y vuelva a calcular su alcance.

$$L = \frac{C}{F}$$

## **ANALISIS DE RESULTADOS:**

### **CUESTIONARIO:**

- Describa como funciona y que tipo de oscilador tiene la etapa de RF.
- Que función tiene la antena.
- Que problemas podemos obtener en el caso de no tener la herramienta adecuada.
- Que problema o que pasa si varia la frecuencia de la portadora.
- Por que la amplitud y la fase permanecen constante.
- Si varia la frecuencia que debería hacer la antena.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:**

**FUERZA AÉREA ECUATORIANA**  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR**  
**ESCUELA DE TECNOLOGIA EN TELEMATICA**  
**LABORATORIO DE COMUNICACIONES**

**TEMA:**

Preamplificador de Audio.

**OBJETIVOS:**

- Visualizar las formas de ondas en el preamplificador de audio.
- Observar y analizar el circuito de transmisión .

**TRABAJO PREPARATORIO:**

- Características del circuito integrado LM 741.
- Diferencias entre un transmisor FM y AM.

**INFORMACIÓN TEORICA:**

Se trata de la etapa destinada a amplificar la señal de audio correspondiente a la información para que la misma posea una amplitud máxima.

Se puede colocar en cualquier etapa amplificadora que este ecualizada para poder recibir la señal de transductor que se desea. También podría utilizarse un circuito integrado amplificador de audio para construir el amplificador de información, es interesante que sea cual fuere el amplificador se incluya algún elemento que permita regular la ganancia de la etapa con facilidad.

## **EQUIPOS Y MATERIALES:**

- Osciloscopio
- Tarjeta de FM
- Voltímetro

## **PROCEDIMIENTOS:**

- Medir el voltaje de alimentación en los puntos positivos y negativos del modulo de transmisión de frecuencia modular.
- Medir el voltaje de polarización del integrado LM 741 en los terminales 4 (-) y 7(+).
- Con la punta de prueba del osciloscopio visualice y grafique la onda existente en el terminal dos del circuito integrado
- Con la punta de prueba del osciloscopio utilice y grafique la onda en el terminal tres del circuito integrado
- Con la punta de prueba del osciloscopio utilice y grafique la onda del terminal 6-7
- Grafique la señal amplificada del circuito por medio del pin 6

## **ANALISIS DE RESULTADOS:**

### **CUESTIONARIO:**

- Entre las dos transmisiones cual es la mejor AM o FM y explique
- Que función cumple el micrófono
- Indique las ventajas de un PLL
- Que función cumple el potenciómetro

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:**

## SIMBOLOGIA

Ancho de Banda	( <b>AB</b> ).
Voltaje de lazo cerrado	( <b>A<sub>cl</sub></b> ).
Máxima desviación de frecuencia (hertz)	( <b>af (max)</b> )
Control de frecuencia automática	( <b>AFC</b> ).
Modulación en amplitud, voz	( <b>AM</b> ).
Modulación en amplitud, música	( <b>AM</b> ).
Transistor bipolar o tubo de vacío.	( <b>BJT</b> ).
Capacidad del canal en bits por segundo.	( <b>C</b> ).
Control automático de ganancia	( <b>CAG</b> ).
Comité Consultivo Internacional de Radio	( <b>CCIR</b> ).
Código morse	( <b>CW</b> ).
Decibel	( <b>dB</b> ).
Relación de desviación	( <b>DR</b> ).
Frecuencia de oscilación (Hertz)	( <b>F<sub>0</sub></b> )
Comisión Federal de Comunicaciones	( <b>FCC</b> ).
Full-duplex	( <b>FDX</b> ).
Transistor de efecto de campo	( <b>FET</b> ).
Full / full-duplex	( <b>F / FDX</b> ).
Frecuencia Modulada	( <b>FM</b> ).
Modulación en frecuencia, voz	( <b>FM</b> ).
Máxima frecuencia de la señal modulante (hertz)	( <b>fm(max)</b> )
Modulación en frecuencia, música	( <b>FM</b> ).
Half-duplex	( <b>HDX</b> ).
Constante de Boltzmann	( <b>K</b> ).
Desviación pico de fase (radianes)	( <b>kvm</b> )
Inductancia (Henrios)	( <b>L</b> ).
Circuitos tanque	( <b>LC</b> ).
Integración a gran escala	( <b>LSI</b> ).
Número de señales discretas o niveles de tensión.	( <b>M</b> ).
Onda con modulación angular	( <b>m(t)</b> )
Densidad de potencia del ruido.	( <b>N<sub>0</sub></b> .)
Potencia de la portadora (watts)	( <b>PC</b> ).

Circuito de fase cerrada	( <b>PLL</b> ).
Modulación en fase	( <b>PM</b> ).
Resistencia de carga (ohms)	( <b>R</b> ).
Oscilador desplazador de fase	( <b>RC</b> ).
El espectro de frecuencia de radio	( <b>RF</b> ).
Radioteletipo	( <b>RTTY</b> ).
Relación señal-ruido	( <b>SNR</b> ).
Banda lateral única	( <b>SSB</b> ).
Televisión de barrido lento	( <b>SSTV</b> ).
Simples	( <b>SX</b> ).
Temperatura, en grados Kelvin.	( <b>T</b> ).
Distorsión armónica total	( <b>THD</b> ).
Televisión	( <b>TV</b> ).
Voltaje rms de la frecuencia fundamental	( $V_{(fund)}$ ).
Amplitud pico de la portadora (volts)	( $V_C$ )
Videocassetas	( <b>VCR</b> ).
Oscilador de voltaje controlado	( <b>VCO</b> ).
Frecuencia en radianes de la portadora	( $\omega_C$ ).

## **GLOSARIO**

### **AFC:**

Control de frecuencia automática

### **AMPLIFICADOR:**

Un amplificador es un dispositivo o circuito capaz de aumentar la magnitud o el nivel de potencia de una señal variable en el tiempo sin distorsionar su forma de onda. Por implicación, la mayor parte de los amplificadores son electrónicos y dependen de los transistores o tubos al vacío para su operación, sin embargo hay amplificadores magnéticos, la amplificación electromecánica se realiza con el generador amplidino, sin embargo un actuador hidráulico sería un ejemplo de amplificador mecánico.

### **ANALÓGICO:**

A las cantidades o representaciones que son variables en un intervalo continuo se les refiere como analógicas. En electrónica, las cantidades analógicas se diferencian de las cantidades digitales por el hecho que las variables analógicas pueden tomar un número infinito de valores, para las variables digitales están limitadas o estados definidos.

### **BIT:**

Es un acrónimo de binario digital. Cada lugar numérico de un número binario representa un BIT.

### **CAG:**

Control automático de ganancia

## **CANAL:**

Es una banda particular de frecuencias para ser ocupadas por una señal, o una conversión en dos sentidos, en un modo dado.

## **CAPACIDAD:**

Puede referirse a alguna de varias propiedades diferentes de los componentes electrónicos por lo general, el termino significa el número de ampere horas que pueden almacenarse en una batería recargable, como por ejemplo, un acumulador. También se refiere este termino a la magnitud de voltaje o de la corriente de un componente.

A la cantidad total de datos que pueden manejar una computadora, expresada en bytes, Kilobytes o Megabytes, se le llama a veces la capacidad de la maquina. En cualquier circuito de memoria, la capacidad es el número de bits o caracteres que pueden almacenarse en él.

La palabra capacidad se emplea en ocasiones en lugar de capacitancia, tal uso del termino no es técnicamente correcto, pero normalmente no ocasiona confusión, mientras sea evidente el significado por el contexto.

## **CC:**

Corriente continua

## **CIRCUITO:**

Es un conjunto o ensamble de componentes electrónicos interconectados para un propósito específico. Se pueden citar como ejemplos el oscilador, el amplificador, el detector y las fuentes de potencia.

En general, cualquier trayectoria entre dos o más puntos, capaz de transmitir señales, es un circuito, una línea telefónica, y las terminales de cualquiera de sus extremos, son un circuito, al igual que lo es cualquier trayectoria electromagnética en un sistema de comunicación. Todo circuito electrónico puede representarse por un diagrama esquemático o en bloques.

## **CODIFICACIÓN:**

EL proceso de formular un código o clave se le llama codificación, Cuando se prepara un lenguaje en clave, es necesario decidir si el elemento más pequeño de la clave ha de ser un carácter, una palabra o una frase. Los códigos ASCII, Baudot y Morse, representan cada carácter por una combinación de pulsos digitales. Los lenguajes de computadora utilizan palabras digitales para efectuar funciones específicas.

Los códigos de comunicaciones utilizan un grupo de caracteres, tales como ORX o 10-4, para representar un pensamiento o una frase completa. Cuando se traduce un lenguaje a código, el proceso se llama también codificación, y cuando se descifra un código, retornando al lenguaje ordinario se llama al proceso decodificación. Estas funciones pueden hacerse manualmente o por medio de una maquina.

## **CONDUCTOR:**

Los conductores para electrónica incluyen alambres metálicos, cintas y placas metálicas, o superficies metalizadas sobre sustratos aislantes. Estos transmiten y reciben señales y potencia eléctricas. En electrónica pueden funcionar a satisfacción una gran variedad de metales y aleaciones, como conductores desnudos o aislados para señales y potencia. Son conductores de gran utilización el cobre, el acero recubierto de cobre, las aleaciones de cobre de alta resistencia y el aluminio, sin embargo hay aplicaciones especiales para el níquel puro, la plata pura, el aluminio recubierto de cobre y muchos otros metales.

## **CORRELACION:**

Es una expresión matemática de la relación que existe entre dos cantidades, puede ser positiva (+), nula o negativa (-).

## **DIAFONÍA:**

Es una transferencia no deseada de señales entre circuitos.

## **DISTORSION.**

Es un cambio que ocurre en la forma de una forma de onda.

## **ELECTROMAGNETISMO:**

Cuando se pone en movimiento una partícula cargada a una corriente de partículas cargadas, se produce un campo magnético. Las líneas de flujo magnético ocurren en direcciones perpendiculares al movimiento de las partículas cargadas. A este efecto se llama electromagnetismo.

El electromagnetismo se ilustra bien por el paso de corriente en un alambre conductor recto. Las líneas de flujo magnético se encuentran en un plano ortogonal al alambre, y aparecen como círculos concéntricos alrededor del eje del alambre, la intensidad de campo magnético, a el número de líneas de flujo que hay en un área determinado, es proporcional a la intensidad de la corriente que pasa por el alambre.

## **F:**

Frecuencia

## **FET.**

Transistor de efecto de campo.

## **Fmax:**

Frecuencia máxima

## **FM:**

Frecuencia modular

**F<sub>min</sub>:**

Frecuencia mínimo

**F<sub>n</sub>:**

Frecuencia natural

**HERTZIOS:**

Es la unidad común de frecuencia (Hz).

**MICROPROCESADOR:**

Un microprocesador es un circuito monolítico integrado de gran escala que realiza las funciones de la unidad central de procesamiento de una computadora.

El UMP es el elemento principal de computación en muchas computadoras personales, estaciones de trabajo de CAD y gráficos, y en nuevas generaciones de computadoras de paralelo o jerárquicas en las que se incorporan muchos microprocesadores.

**MODULACIÓN:**

Cuando cambia alguna característica de una onda electromagnética para transmitir información, se dice que modula la energía. La modulación puede lograrse en muchas formas de la energía electromagnética. Por otra parte, también hay muchas formas diferentes de modulación, la modulación en amplitud (AM) fue el primer método que se uso para transmitir información compleja con ondas electromagnéticas, la forma más sencilla de modulación en amplitud es la transmisión en código Morse, pero pueden imprimiese voces y otras señales analógicas en una onda portadora, la modulación analógica en amplitud puede adoptarse varias formas.

**PM:**

Portadora modulante

**PLL:**

(Phase – locket loop) Lazo de enganche de fase.

**PROPAGACIÓN:**

Es la transferencia de energía a través de un medio o a través del espacio, ciertas perturbaciones, como las ondas sonoras o las corrientes eléctricas, solo pueden propagarse a través de un material. Los campos electromagnéticos pueden propagarse por el espacio vacío.

La propagación de las ondas electromagnéticas tiene lugar en líneas rectas a través de un vacío perfecto y no habiendo intervención de fuerzas o efectos. Sin embargo, dentro de la atmósfera terrestre y en sus alrededores, es frecuente que se propaguen las ondas electromagnéticas en trayectorias desviadas respecto a la línea recta.

**RF:**

Radio frecuencia.

**RUIDO:**

El ruido es un campo electromagnético de banda ancha que generan aspectos ambientales y fuentes de creación humana.

**RUIDO BLANCO:**

El ruido de banda ancha, conocido también como ruido blanco, se llama así porque la luz blanca contiene energía en todas las longitudes de onda visible.

**T:**

Periodo

**Tmax:**

Periodo máximo

**T<sub>min</sub>:**

Periodo mínimo

**UHF:**

Frecuencia ultra alta

**VCO:**

Oscilador de voltaje controlado

**VD:**

Diodo varactor

**VHR:**

Frecuencia muy alta

**Z:**

Impedancia

## HOJA DE VIDA

### DATOS PERSONALES

APELLIDOS: Chanatásig Pilatásig  
NOMBRES: Willam Germánico  
FECHA DE NACIMIENTO: 10 de Mayo de 1977  
EDAD: 24 años  
ESTADO CIVIL: Soltero  
CI: 050213962-9

### ESTUDIOS REALIZADOS

PRIMARIOS: Escuela Isidro Ayora (Latacunga)  
SECUNDARIOS: Colegio Instituto Superior  
"Vicente León" (Latacunga)  
Especialidad: Físico-Matemáticas  
SUPERIORES: Instituto Tecnológico Superior  
Aeronáutico (I.T.S.A)  
Escuela: Telemática

## **DATOS PERSONALES**

**NOMBRES:** William Geovanny

**APELLIDOS:** Bone Jiménez

**EDAD:** 23 años

**C.I** 080194968-6

**FECHA NAC:** 28 Abril 1978

**ESTADO:** Soltero

**PRIMARIA:** Escuela Fiscal Mixta Refinería

**SECUNDARIA:** Instituto Técnico Superior Industrial “Luis Tello”

**SUPERIOR:** EPN (Escuela Politécnica Nacional)

**HOJA DE LEGALIZACION DE FIRMAS**

**ELABORADO POR**

CBOS. BONE WILLIAM

CBOS CHANATASIG WILLAM

**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE TELEMÁTICA**

ING. Eduardo Castillo  
Mayo. Tec. Avc

Latacunga, 19 de Octubre de 2001