

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

ESCUELA DE TELEMÁTICA

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

POR:

CBOS. CHILUISA MORALES OSCAR MAURICIO

CBOS. FLORES CHILUISA JUAN CARLOS

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 los Srs. Cbos. CHILUISA OSCAR y Cbos. FLORES JUAN, como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGOS EN TELEMÁTICA.

Latacunga, 17 de diciembre 2001

ING. MAGDALENA ZAPATA

DEDICATORIA

Al terminar una etapa más de nuestras vidas, queremos dedicar el presente trabajo, a nuestros padres que con su abnegada dedicación y responsabilidad han sabido educarnos, guiarnos por el camino del bien, ya que por ellos, hoy nuestros anhelos profesionales se hacen realidad.

Oscar y Juan Carlos

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico noble institución, que nos dió la oportunidad de cristalizar nuestros sueños de profesionalización, con una excelente preparación científica, académica, humana para beneficio de la sociedad.

A todos los señores profesores y de manera especial a la Srta. Ing. Magdalena Zapata que con paciencia, dedicación y sabiduría supieron encaminarnos al verdadero conocimiento, no solo académico sino también humano.

Nuestra gratitud eterna a todas y cada una de las personas que colaboraron directa e indirectamente para el desarrollo de la presente.

Oscar y Juan Carlos

ÍNDICE

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

CAPITULO I

El problema

1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Objetivos del proyecto	2
1.3 Justificación	3

CAPITULO II

Fundamentos del Sistema de Comunicación

2.1 Introducción	4
2.1.1 Sistema de Comunicación	4
2.1.2 Ruido	5
2.1.3 Ruido en un sistema de comunicación	7
2.1.4 Ruido térmico	7
2.1.5 Ruido de granalla	8
2.1.6 Ruido de baja frecuencia	8
2.1.7 Ruido de rayleigh	9
2.1.8 Ruido de impulsos	9
2.2 Comunicación Digital	10
2.3 Teorema de Muestreo	13

2.4	Modulación por Amplitud de Pulso (PAM)	19
2.5	Modulación por Codificación de Pulso (PCM)	24
2.5.1	Cuantificación	26
2.6	Señal y ruido en PCM	28
2.6.1	Error de Cuantificación	28
2.7	Compansión	29
2.7.1	Compansión analógica	30
2.7.2	Compasión digital	30
2.8	Modulación Delta (DM)	31
2.9	Señal y ruido en (DM)	33

CAPITULO III

Múltiplexación

3.1	Introducción	35
3.1.1	Múltiplexación por División de Frecuencia (FDM)	35
3.1.2	Múltiplexación por División de Tiempo (FDT)	37
3.2	Principios de la múltiplexación por División de Frecuencia (FDM)	37
3.2.1	Construcción de un equipo múltiplex	40
3.2.2	Unidad de terminación de línea	43
3.2.3	Protección de la entrada	43
3.2.4	Tipos de líneas	44
3.2.5	Separación de las vías de transmisión y recepción en líneas bifilares	46
3.2.6	Separación entre la voz y la llamada	47
3.2.7	Unidad de Modem de canal	48

3.2.8	Producción de subgrupos	49
3.2.9	Descripción de un Modem de canal típico	51
3.2.10	Unidad de Modem de subgrupo	54
3.2.11	Modulador de grupo	56
3.2.12	Amplificador de grupo	57
3.2.13	Sistema de generación de frecuencia portadora	58
3.2.14	Sistema de supervisión e indicación del multiplexador	63
3.3	Estructura de multiplexadores de alto nivel	65
3.3.1	Formación de un súper grupo	66
3.3.2	Formación de 300 canales (grupo maestro básico)	66
3.3.3	Formación de un grupo de 300 canales (grupo súper maestro básico)	67
3.3.4	Plan de frecuencia para transmisión por cable	68
3.3.5	La estructura de un multiplexador de súper grupo típico	71
3.4	Equipo de transmisión	73
3.5	Características de cables para transmisión multicanal	76
3.6	Descripción de un sistema de transmisión por cable multicanal	79
3.6.1	Alimentación de los amplificadores a lo largo del cable y localización de las fallas	79
3.6.2	El repetidor y los problemas hallados en su diseño	84
3.7	Evaluación de la operación de un multiplexado y métodos de medida	86
3.7.1	Unidades para medidas de potencia y de relaciones de potencia	86
3.7.2	Definición de potencia y relación de potencia	87
3.7.3	Definición y medida de niveles de un multiplexador básico	88

3.7.4 Medida de nivel: características del equipo de prueba	89
3.7.5 Relación de señal a ruido en multiplexadores, requerimientos y métodos de medición	90
3.7.6 Diafonía (Crosstalk) causas y medición	91

CAPITULO IV

Requerimientos Técnicos Generales

4.1 Reparación de instalaciones eléctricas	92
4.1.1 Inspección del estado de las instalaciones	92
4.1.2 Estadística de la inspección	92
4.1.3 Requerimientos para la instalación	93
4.1.4 Instalación	93
4.2 Revisión de instrumentos	93
4.2.1 Inspección de los instrumentos	93
4.2.2 Estadística de la inspección	94
4.2.3 Requerimientos de instrumentos	95
4.3 Reparación de las unidades	95
4.3.1 Inspección del estado de los módulos	95
4.3.2 Estadística de la inspección	95
4.3.3 Requerimientos de componentes electrónicos	96
4.3.4 Sustitución de elementos	97

CAPITULO V

Pruebas de Operabilidad y Eficiencia de Resultados

5.1	Pruebas en las unidades COM 6 A ,COM 6 B ,COM 6 C	98
5.2	Pruebas en las unidades COM 7 A , COM 7 B	99

CAPITULO VI

Marco Teórico

6.1	Cronograma de Actividades	100
6.2	Presupuesto	101

CAPITULO VII

Conclusiones y Recomendaciones

7.1	Conclusiones	102
7.2	Recomendaciones	103

❶ Bibliografía

❶ Glosario

❶ Anexos

❶ Guías

ÍNDICE DE TABLAS

	PAG
Tabla 3.1 Capacidad del cable coaxial de 2.6/9.5mm.....	70
Tabla 3.2 Propiedades de cables portadores.....	78

ÍNDICE DE LOS GRÁFICOS

CAPITULO II	PAG
Fig. 2.1 Sistema General de Comunicaciones.....	4
Fig. 2.2 Descripción Esquemática de un sistema de Comunicación por..... medio de pulsos binarios.....	10
Fig.2.3 Espectro de señal de habla promedio.....	11
Fig.2.4 Muestreo por medio del producto entre la señal $a(t)$ y una fun-..... ción de muestreo $s(t)$	13
Fig.2.5 Espectros de una señal o una onda muestreada.....	14
Fig.2.6 Espectros resultantes del muestreo a una frecuencia menor que..... que la de Niquist	15
Fig.2.7 Primera y segunda banda lateral para distintas velocidades de..... muestreo.....	16
Fig.2.8 Forma de onda para $f_s < 2f_m$	16
Fig.2.9 Pulso Delta (impulso) obtenido a partir de un pulso de area..... unitaria.....	17
Fig.2.10 Diagrama en bloques de un sistema de comunicaciones PAM.....	18
Fig.2.11 Operación de un circuito de muestreo y retención.....	19
Fig2.12 Formas de Ondas Reales de muestreo y retención.....	20

Fig.2.13	Onda Muestreada de techo plano.....	21
Fig.2.14	Circuitos de muestreo y retención.....	22
Fig.2.15	Diagrama de bloques de un sistema PCM simplificado.....	23
Fig.2.16	Convertor A/D compuesto por un cuantificador y un muestreador.....	25
Fig.2.17	Niveles de cuantificación y error de cuantificación.....	26
Fig.2.18	Procedimiento de compansión básico.....	27
Fig.2.19	Sistema PCM con compansión analógica.....	28
Fig.2.20	Sistema PCM compartido digitalmente.....	28
Fig.2.21	Transmisor de Modulación delta.....	30
Fig.2.22	Receptor de modulación delta.....	31
Fig.2.23	Señal de error formada en un modulador delta no adaptable.....	33

CAPITULO III

PAG

Fig.3.1	Espectro de FDM (Multiplexación por división de frecuencia).....	36
Fig.3.2	Sistema TDM (Multiplexación por división de tiempo).....	37
Fig.3.3	Distribución de rangos de frecuencia a los canales de un..... sistema FDM.....	38
Fig.3.4	Distribución de frecuencia típica para un canal de conversión con..... un equipo múltiplex.....	39
Fig.3.5	Diagrama en bloques básico del equipo múltiplex para 12 canales.....	42
Fig.3.6	Ejemplo de protección contra rayos.....	44
Fig.3.7	Separación de la señalización y la llamada en la línea.....	47
Fig.3.8	Estructura y formación de un Subgrupo.....	50
Fig.3.9	Estructura de una unidad de MODEM de canal.....	52

Fig.3.10	Plan de frecuencia de subgrupos.....	55
Fig.3.11	Sistema CAN.....	58
Fig.3.12	Sistema generador de frecuencia portadora, señalización y tono..... piloto.....	61
Fig.3.13	Producción de un supergrupo de 60 canales.....	66
Fig.3.14	Formación de un grupo de 300 canales (Grupo Maestro Básico).....	67
Fig.3.15	Construcción de un grupo de 900 canales.....	68
Fig.3.16	Estructura de un sistema de transmisión por cable.....	79
Fig.3.17	Método de alimentación de repetidores por corriente constante.....	81
Fig.3.18	Circuito equivalente para el caso de un cable desconectado,..... alimentado por una fuente de polaridad invertida.....	83

INTRODUCCIÓN

Cuando Bell inventó el teléfono a fines del siglo pasado, se solucionó uno de los problemas básicos de la sociedad moderna. Por primera vez fue posible la comunicación personal en forma rápida y eficiente a través de grandes distancias.

El uso del teléfono como medio de comunicación se extendió rápidamente a pesar de las limitaciones técnicas y de su alto costo, debido a las numerosas ventajas que el teléfono provee. El mayor problema en la expansión de la red telefónica es la necesidad de un gran número de líneas conectadas a cada abonado y entre las centrales.

Una forma de hacer eficiente la instalación de la red telefónica y de reducir su costo es el uso de un cable para transmitir un gran número de conversaciones simultáneamente. Esta operación se llama multiplexado, y es esencial en toda red moderna. La operación de multiplexado requiere el uso de algunos medios para separar las conversaciones transmitidas simultáneamente en el mismo par de conductores. La forma más simple y burda de multiplexado es por medio de un conmutador, que permite a varios abonados usar un par de conductores mediante una cola de espera, sin embargo, este método no es el más eficiente. Un método mejor es la explotación de las características eléctricas de las redes mediante la construcción de sistemas sofisticados.

A primera vista parecen haber dos posibilidades: Múltiplex por División de Frecuencia y es el más usado hoy en día y el otro es Múltiplex por División de Tiempo que llega a ser práctico solo a través de la tecnología moderna de los circuitos integrados.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.

En la vida moderna los medios de comunicación se han desarrollado fuera de los límites, hasta llegar a los Sistemas de Comunicaciones más complicados que guían aviones, naves espaciales y trenes automáticos. Otros proporcionan información al instante de todo el mundo por medio de satélites.

El propósito de este proyecto de tesis es presentar un estudio introductorio de los Sistemas de Comunicación Digital, mediante la optimización del Laboratorio de Comunicaciones y la habilitación de los módulos de Comunicación Multiplexada, con la elaboración de guías de laboratorio para que el estudiante tenga un mejor desarrollo al momento de realizar los experimentos con dichos módulos.

1.2 Objetivos del proyecto

1.2.1 Objetivo general.

Habilitar los módulos de Comunicación Digital existentes en el Laboratorio de Comunicaciones para brindar una mejor capacitación teórico-práctico a los estudiantes dentro del campo de las comunicaciones.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Reparar los elementos y componentes de cada una de las unidades existentes en el laboratorio.

- Verificar el funcionamiento óptimo de cada módulo y de los equipos que se utilizan en cada uno de los experimentos.
- Realizar las guías de laboratorio para que el estudiante sepa que es lo que tiene que hacer al momento de realizar cada uno de los experimentos.

1.3 Justificación.

En el laboratorio de Comunicaciones del I.T.S.A existen módulos de Comunicación Múltiplex que no se encuentran habilitados y se sabe que en la actualidad una forma de hacer eficiente a las comunicaciones y reducir el costo de un medio de transmisión para enviar un gran número de información simultáneamente se requiere utilizar la técnica de Múltiplex, siendo una herramienta básica para la capacitación teórico-práctico de los estudiantes.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

2.1. Introducción.

Las comunicaciones son tan antiguas como la humanidad, históricamente los primeros sistemas de comunicación fueron básicamente analógicos, la voz o la señal de información era superpuesta de algún modo a una señal portadora y esta se transmitía. Los elementos mínimos que existen en todo proceso de comunicación son la fuente de mensajes, el canal de transmisión y el destinatario de los mensajes. Tomamos como ejemplo el proceso más simple de comunicación: el lenguaje; la persona que habla es la fuente de mensajes, el aire es el canal de transmisión y la persona que escucha es el destinatario del mensaje.

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 (etapas discretas), tales como números codificados en binario, códigos alfanuméricos, símbolos gráficos, código operacionales del microprocesador o información de base de datos. Toda la información debe convertirse a energía electromagnética, antes de que pueda propagarse por un sistema de comunicaciones.

2.1.1 Sistema de Comunicación.

Es la relación entre la información de la fuente original, el transmisor, el medio de transmisión (conducto), el receptor y la información recibida en el destino. Un sistema de

comunicaciones consiste de tres secciones primarias: un transmisor, un medio de transmisión y un receptor.

El transmisor convierte la información original de la fuente a una forma mas 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 destinatario; la información original puede originarse de una variedad de fuentes diferentes y ser de forma analógica o digital. En la figura 2.1 se muestra esquemáticamente el sistema generalizado de comunicaciones.

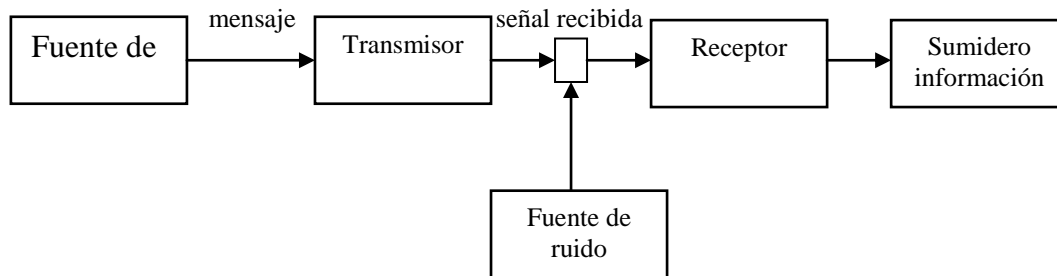


Figura 2.1 Sistema General de Comunicaciones.

2.1.2 Ruido

Puede definirse como ruido cualquier fuente de corrupción de la señal de información, hay muchas fuentes de ruido. La mayoría de clases de ruido son inherentes a un circuito o sistema particular, y están siempre presentes y deben ser tomados en cuenta. Hay algunas clases de ruido que se generan intencionalmente en una técnica particular de procesamiento de señal y son de echo parte de la técnica.

El ruido aparece como un agregado a la señal que le distorsiona, pero una señal puede ser distorsionada por otros factores como: un ancho de banda limitado del canal que causa la atenuación de ciertos componentes de frecuencia de la señal, distorsionando por lo tanto la señal, este y efectos similares son denominados distorsión. Ya que existe siempre una componente de ruido junto a la señal, lo que nos interesa no es la cantidad absoluta de ruido, sino la relación entre la señal y el ruido, denominada Relación Señal a Ruido, o para abreviar RSN (Signal to Noise Ratio). La RSN puede ser definida como la relación entre la amplitud de la señal y la amplitud de ruido, o como la relación entre la potencia de señal y la potencia de ruido. Las RSN son expresadas generalmente en decibelios (dB). La RSN esta dada por:

$$\text{RSN (dB)} = 10 \log \left(\frac{P_s}{P_n} \right) = 10 \log \frac{v_s^2 / RL}{v_n^2 / RL} \quad (2.1)$$

$$= 10 \log \left(\frac{v_s^2}{v_n^2} \right) = 20 \log \frac{v_s}{v_n} \quad (2.2)$$

donde :

P_s y P_n _ potencia de señal y potencia de ruido respectivamente.

RL _ carga sobre la que se desarrolla la potencia.

v_s y v_n _ tensión de señal y tensión de ruido.

2.1.3 Ruido en un Sistema de Comunicación.

Se entiende por ruido cualquier perturbación superpuesta a señales útiles que tiende a borrar el contenido de información. El ruido se diferencia de la distorsión en dos aspectos:

- a.- Aún cuando no hay señal, el ruido sigue existiendo.
- b.- El ruido no modifica la forma de onda de la información, si no que se le agrega. En la mayoría de las aplicaciones prácticas no se puede eliminar el ruido de la señal, de manera que los cambios que causa en la forma de onda tienen importancia meramente académica ya que los resultados van a ser exactamente los mismos.

Existe otra diferencia, más importante entre ruido y distorsión:

- La distorsión de la forma de onda de una señal dada se puede predecir en forma exacta utilizando información experimental (o calculada) referente a su causa; es posible usar métodos correctores de la distorsión siempre y cuando fueran prácticos o factibles desde el punto de vista económico.

El ruido es un fenómeno natural, existe siempre, y en todas partes. Su forma es irregular e imprevisible. Es imposible predecir su valor instantáneo o “corregirlo” con algún tipo de mediciones.

2.1.4 Ruido Térmico.

El ruido térmico en su forma natural posee las siguientes características, que se han encontrado por observación o mediante cálculos teóricos detallados:

- a.- La potencia es directamente proporcional al ancho de banda en que se mide.

b.- La potencia de ruido medida sobre una determinada banda ubicada a ambos lados de una frecuencia fija, es constante.

c.- El valor medio del ruido es exactamente cero.

d.- El valor instantáneo es casual y se puede tomar cualquier valor sin restricción.

Conociendo el valor presente de la forma de onda del ruido no se puede predecir absolutamente nada acerca de los valores futuros.

De este tipo son el ruido natural que se presenta en conductores metálicos y que se debe a la **agitación térmica** de los electrones, como también el ruido que se capta en las antenas de los aparatos de radio.

2.1.5 Ruido de Granalla.

El ruido de granalla se debe a la naturaleza discreta del flujo de electrones (o de otros portadores de carga) y se encuentra en la mayoría de los elementos electrónicos activos. Fue descubierto observando la corriente de ánodo de amplificadores de tubos al vacío. Se considera que el ruido de granalla es blanco y se supone que su distribución de amplitud es gaussiana, si se hace pasar el ruido de granalla por circuitos de filtrado lineal o por conformadores, no se afectan sus propiedades gaussianas pero seguramente no seguirá siendo blanco.

2.1.6 Ruido de Baja Frecuencia ($1/f$).

También denominado ruido de contacto, ruido de exceso, ruido de parpadeo o ruido $1/f$, debido a su peculiar forma de aumentar hacia las frecuencias bajas. La naturaleza de este ruido esta asociada a las irregularidades de contacto y de superficie que puedan haber en cátodos y en semiconductores. Se han hecho grandes avances para reducir este

fenómeno limpiando y pasivando las superficies de los semiconductores. En dispositivos de buena calidad, el ruido $1/f$ puede ser despreciable por encima de aproximadamente 1 KHz. Aunque en transistores de bajo ruido para alta frecuencia, el valor de codo de la frecuencia puede estar algunas décadas más arriba.

2.1.7 Ruido de Rayleigh.

Se considera que el ruido es de banda angosta si el ancho de banda del ruido es pequeño comparado con la frecuencia central de banda. En este caso gaussiano se asemeja a una portadora sinusoidal ubicada en la frecuencia central de la banda y modulada en amplitud por una onda de baja frecuencia cuyo componente de frecuencia más alta depende del ancho de banda del ruido.

La envolvente de baja frecuencia se puede generar en la práctica inyectando la onda de ruido de banda angosta, con el nivel alto, en el bien conocido circuito detector de envolvente, cuya salida de tensión representa la envolvente, y es una curva suave que une los picos positivos del ruido.

2.1.8 Ruido de impulsos.

El ruido de impulsos consiste en picos cortos de energía que presentan espectro de frecuencia aproximadamente plano en todo el margen de frecuencia de interés. Este ruido tiene su origen en los transitorios de conmutación de las centrales telefónicas y en las descargas de tipo corona que ocurre a lo largo de líneas con estaciones repetidoras, los receptores de información no toleran en la misma medida a estos impulsos, pues no pueden distinguir entre el ruido de impulsos y los impulsos que deben detectar. Es por ello que en

las transmisiones digitales se han enfatizado en forma especial al estudio constante tendiente a controlar el ruido de impulsos.

2.2 Comunicación Digital.

Desde el punto de vista de la teoría de la comunicación, información digital es cualquier tipo de señal que represente estados definidos de un sistema; es decir la presencia de una corriente de cualquier magnitud puede contener la información del estado de un interruptor: “el interruptor esta cerrado”. La ausencia de corriente contiene la información: “el interruptor esta abierto”. Luego el estado de los sistemas se clasifica como información digital cuando no se refiere a cantidades. En contraste, el valor numérico de la corriente que circula o de la resistencia de contacto del interruptor representan información analógica. La información podía tomar solamente dos valores posibles, por ello se la denomina **información binaria**. El sistema binario posee dos números o valores de información: “Cero y uno”. En términos de electricidad se los puede considerar como la ausencia o presencia de corriente, como niveles de cero o 5 voltios, Para designar la cantidad básica de información binaria se usa comúnmente la palabra “bit”.

La cantidad de información que expresa un único bit es muy limitada; sin embargo, podemos usar varios bits para representar información más compleja. En este caso formamos códigos. Los códigos de dos bits pueden expresar cuatro casos de información diferentes (cuatro mensajes distintos), codificados en la forma 00, 01, 10, y 11. En forma generalizada, los códigos de n bits poseen 2^n palabras y por tanto pueden expresar 2^n mensajes distintos. Los bits de cada palabra de código se deben luego arreglar en un orden determinado (se deben ordenar) de forma que el destinatario pueda extraer la información transmitida.

Si este método binario fuera el usado en nuestro sistema de comunicación, cada repetidor debería simplemente decidir si la señal de entrada fue “0” o “1”, y entonces retransmitir el pulso correcto. De este modo, la RSN a la salida de cada repetidor puede hacerse igual a la RSN de la señal original. Esto se muestra esquemáticamente en la figura 2.2.

Es decir desde un punto de vista de la RNS, esta clase de sistema de comunicación, llamado Sistema de Comunicación Digital, posee una mejor respuesta. La cuestión es como transmitir señales analógicas por medio de señales binarias y este será uno de los principales temas que se tratarán.

Los sistemas de comunicación digital poseen una cantidad de ventajas sobre los sistemas de comunicación analógica, y algunas desventajas. Fuera de la gran mejora de RNS, los sistemas digitales pueden ser utilizados para señales analógicas (que se convierten a señales digitales), y para transferencia de datos a digitales – por ejemplo, entre computadoras.

Una de las desventajas de un sistema digital, es que para transmitir perfectamente un pulso a través de una línea de transmisión, la línea debe poseer un ancho de banda infinito, de lo contrario el pulso será distorsionado. En realidad, es suficiente que el ancho de banda sea suficientemente grande para asegurar que los pulsos de salida puedan ser distinguidos uno del otro, y puedan ser clasificados correctamente como “1” o “0”.

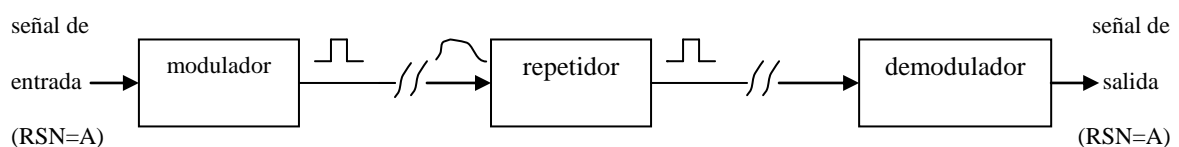


Figura 2.2: Descripción esquemática de un sistema de comunicación por medio de pulsos binarios.

Para comparar los sistemas de comunicación analógicos y digitales, debemos analizar los parámetros más importantes de todo sistema de comunicación, de tal forma que las comparaciones se basen en esos parámetros. Supondremos que el sistema de transmitir el habla (un llamado por teléfono, por ejemplo). Las frecuencias contenidas en el habla normal cubren un rango de 20 Hz a 20 KHz. aproximadamente, ha sido ya comprobado que si se transmite solo parte del espectro – específicamente de 300 Hz a 3400 Hz, (ver figura 2.3) no existe dificultad en comprender el habla, y la mayoría de los sistemas de prácticos son diseñados para tales señales de banda limitada. Entonces, la señal a transmitir tiene un ancho de banda de alrededor de 3,1 KHz.

Cualquier línea de transmisión utilizada para transmitir una señal de ancho de banda de 3,1 KHz. debe poseer por sí misma un ancho de banda de por lo menos 3.1 KHz. Por lo tanto, el ancho de banda de transmisión requerido por cada señal de entrada, es un parámetro importante de cualquier sistema de comunicación. Otros parámetros, son la RSN y la distorsión.

En sistemas de comunicación digital, uno de los parámetros más importante es la cantidad de bits que pueden ser transmitidos en un segundo, otro parámetro es la cantidad de errores por segundo, en otras palabras, cuantas veces recibe un “1” incorrectamente en lugar de un “0”, y viceversa. Otras consideraciones importantes en comparación de sistemas son su complejidad electrónica, su costo y su eficiencia.

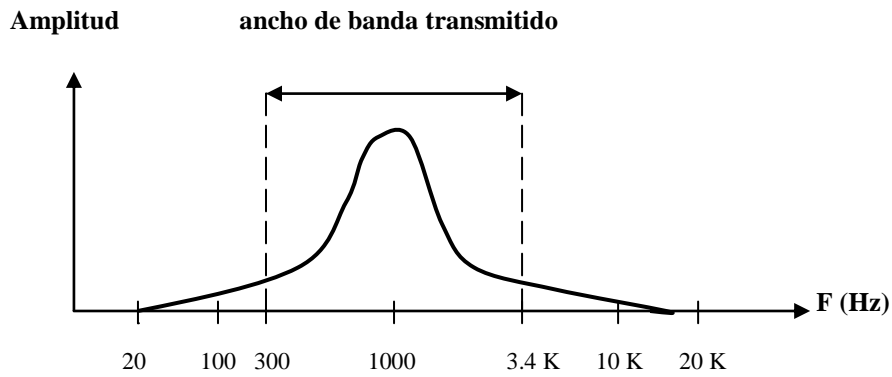


Figura 2.3: Espectro de una señal de habla promedio.

2.3 Teorema del Muestreo.

El teorema del muestreo nos proporciona una relación entre el espectro de una señal (que es una función del tiempo) y el número mínimo de observaciones (muestras) necesarias para representarla. El teorema afirma que si una función $f(t)$ no contiene frecuencias mayores que W Hz quedará completamente determinada efectuando muestreos de la función cada $\frac{1}{2} W$ segundos, dos veces en cada período del componente de frecuencia más alta.

La justificación intuitiva consiste en que si $f(t)$ no contiene frecuencias mayores que W , no podrá variar a un valor sustancialmente distinto en un tiempo menor que un semiciclo de la frecuencia más alta, es decir $\frac{1}{2}$ de W . Si la banda W no comienza en frecuencia cero sino en otro valor mayor (caso que corresponde a la modulación de banda lateral única), el teorema sigue siendo válido, y la demostración se puede hacer mediante la traslación lineal del caso de frecuencia cero.

Para comprender la importancia práctica de este teorema, supongamos que el canal tenga un cierto ancho de banda W en Hz, que comienza en frecuencia cero, y supongamos también que estamos autorizados para utilizar a este canal durante un cierto intervalo de tiempo T . No habiendo más limitaciones, esto significa que podemos usar en calidad de

función de señal a cualquier función del tiempo cuyo espectro quede todo dentro de la banda W , y cuya función en el tiempo quede contenida en el intervalo T . A pesar de que no es posible cumplir exactamente estas dos condiciones, podemos mantener el espectro dentro de la banda W , y hacer que la función de tiempo este muy poco fuera del intervalo T . Si la función está limitada al intervalo de tiempo T y las muestras están separadas en $\frac{1}{2}W$ segundos tendremos un total de $2TW$ muestras en el intervalo. Todas las muestras que hagamos fuera del intervalo serán esencialmente nulas. Para ser más precisos, podemos definir que una función esta limitada al intervalo de tiempo T si y solo si todas las muestras efectuadas fuera de este intervalo son exactamente nulas. Luego podemos afirmar que toda la función limitada al ancho de banda W y al intervalo de tiempo T se puede definir dando $2TW$ números.

A menudo es necesario muestrear una señal continua para obtener una señal discreta, para obtener muestras de una señal continua, es necesario multiplicarla por una función de muestreo, que consiste en un tren de pulsos idénticos, como se muestra en la figura 2.4.

Las muestras representan la señal original sólo si la misma puede ser recuperada a partir de ellas, resulta difícil comprender al comienzo el hecho de que los pulsos a la derecha de la figura 2.4 contienen toda la información contenida en $A(t)$.

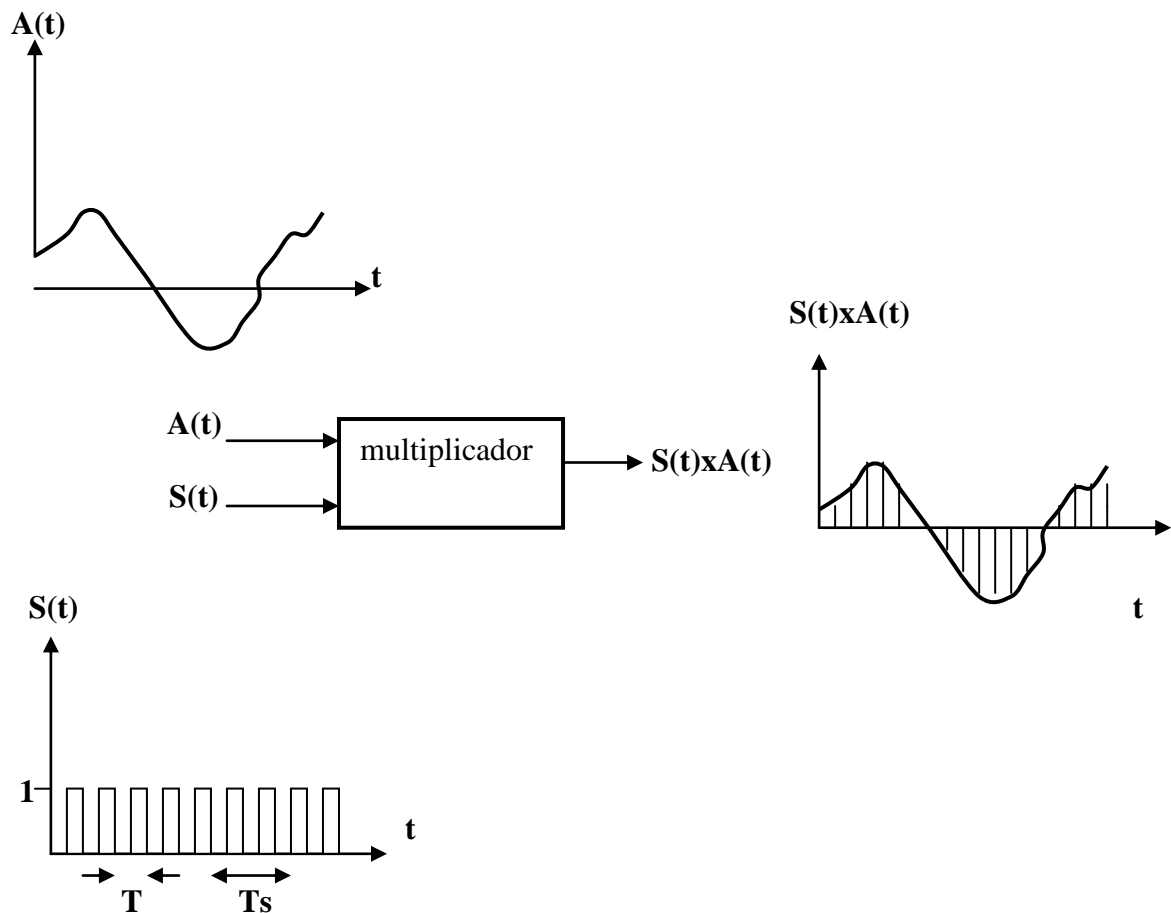


Figura 2.4: Muestreo por medio del producto entre la señal $A(t)$ y una función de muestreo $S(t)$.

Puede extraerse una conclusión muy importante en relación con la frecuencia de muestreo y la máxima frecuencia de la señal a ser muestreada. Para poder extraer la señal original a partir de la onda hecha un muestreo, la primera banda lateral (o máxima frecuencia f_m) no debe superponerse a la segunda banda lateral (o mínima frecuencia $f_s - f_m$), de lo contrario, el filtro pasabajos no será capaz de eliminar por completo toda la segunda banda lateral. Esto significa que la frecuencia mínima de la segunda banda lateral debe ser mayor que la máxima frecuencia de la primera banda lateral, es decir, debe ser $f_m \leq f_s - f_m$, de donde:

$$f_s \geq 2f_m$$

Por lo tanto la frecuencia de muestreo debe ser por lo menos el doble de la máxima frecuencia de la señal, para permitir la construcción de la señal por filtrado. En la figura 2.5 podemos ver una relación muy importante a la frecuencia de muestreo y la máxima frecuencia de la señal.

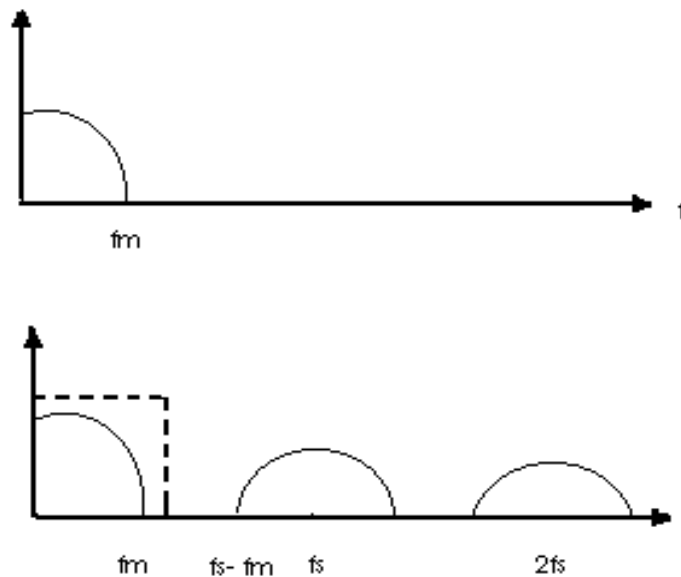


Figura 2.5: Espectros de una señal y una onda muestreada.

Este principio importante es el denominado Teorema del Muestreo y es la base para la comunicación digital. La frecuencia mínima de muestreo (o velocidad de muestreo como se la denomina comúnmente), es llamada Velocidad de Nyquist. Si muestreamos la señal de la figura 2.5 a una velocidad de muestreo menor que la velocidad de Nyquist, obtendremos los espectros indicados en la figura 2.6, el resultado es que las frecuencias que normalmente están fuera de la banda de frecuencias de la señal han sido desplazadas dentro de la banda de frecuencias y la señal será distorsionada. Este efecto es llamado "aliasing". Ya que los filtros pasabajos en la práctica no son ideales y no tienen un punto de corte abrupto, la velocidad de muestreo necesaria en un sistema práctico es

mayor que la velocidad de Nyquist. Para hacer un muestreo de una señal de habla de frecuencia máxima de 3,4 KHz. , Se emplea una velocidad de muestreo cercana a los 8 KHz. Cuando una onda senoidal es muestreada a una velocidad menor que la de Nyquist, se obtiene un efecto interesante. Cuando $f_s > 2f_m$ las primeras dos bandas laterales están a f_m y a $f_s - f_m$ (ver la figura 2.7). Cuando $f_s = 2f_m$ (exactamente la velocidad de Nyquist) las primeras dos bandas laterales coinciden en f_m .

Figura 2.6: Espectros resultantes del muestreo a una frecuencia menor que la de Nyquist.

Cuando $f_s < 2f_m$ hay nuevamente dos bandas laterales, una a f_m y otra a $f_s - f_m$ que esta ahora por debajo de f_m . Si se ve esta señal en un osciloscopio, aparecerá como se muestra en la figura 2.8. Cuando la señal es muestreada a una velocidad casi igual a su propia frecuencia, la banda lateral mas baja es cercana a la c.c., y la forma de onda aparece como una onda senoidal de frecuencia f_m , montada sobre un nivel de c.c. que varía lentamente.

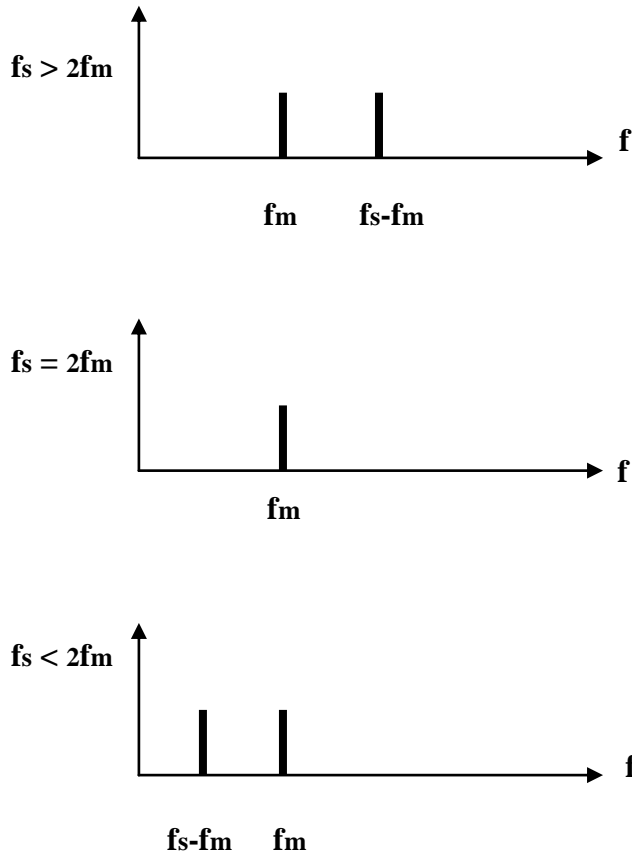


Figura 2.7: Primera y segunda banda lateral para distintas velocidades de muestreo.

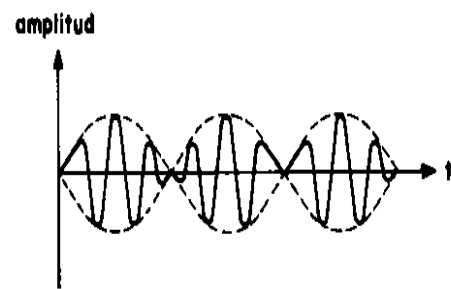


Figura 2.8: Forma de onda para $f_s < 2f_m$.

Nuestra discusión sobre muestreo se ha centrado en funciones de muestreo compuestas por pulsos de ancho finito. Veremos ahora que ocurre cuando el ancho del pulso resulta infinitamente pequeño. Si el ancho del pulso de un pulso de amplitud unitaria tiende a cero, el área bajo el pulso también tenderá a cero. En el límite tendremos un ancho cero y área del pulso cero. Es entonces aumentar la amplitud del pulso a medida que el ancho disminuye para que el área permanezca constante. La figura 2.9 muestra un

pulso de amplitud $1/T$ y ancho T . Cuando $T \rightarrow 0$ se obtiene un pulso de ancho cero y amplitud infinita, cuya área es 1, ya que el área esta dada por $T (1 / T) = 1$.

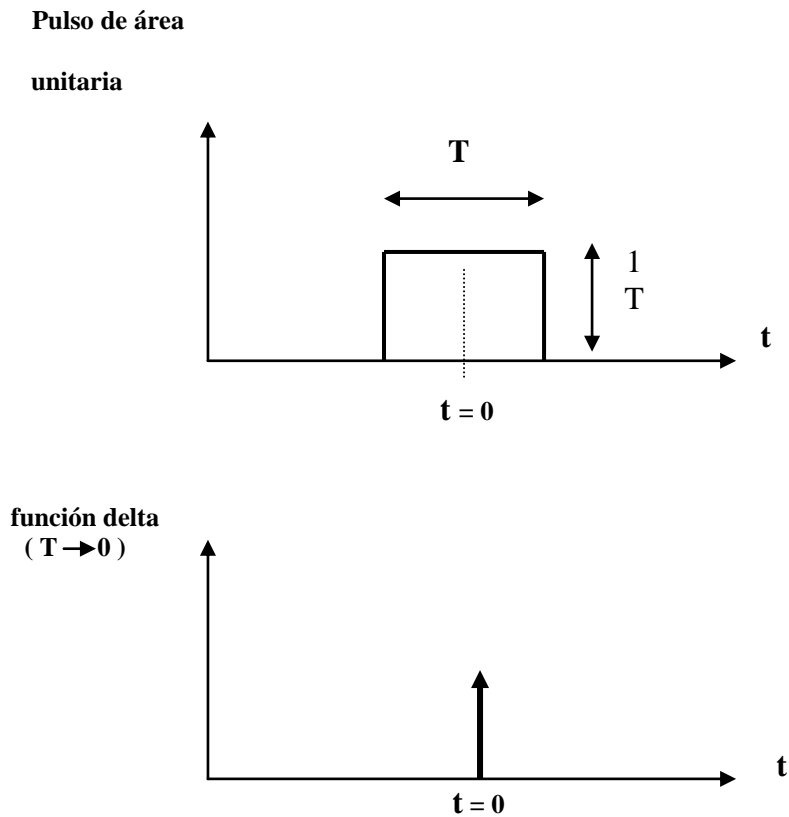


Figura 2.9: Pulso Delta (impulso) obtenido a partir de un pulso de área unitaria

La principal diferencia entre muestreo con impulsos y muestreo con pulsos, es que las bandas laterales de la onda muestreada con impulsos son todas de igual amplitud, mientras que aquellas de ondas muestreadas por pulsos decrecen al aumentar la frecuencia. Por lo tanto, aunque fuera posible producir impulsos, el muestreo con pulsos sería aún preferible desde el punto de vista de atenuación de banda lateral.

2.4 Modulación por Amplitud de Pulso (PAM)

Un sistema de comunicación basado en muestreo y reconstrucción es denominado Sistema de Modulación por Amplitud de Pulso (PAM) es un término en ingeniería que se utiliza para describir la conversión de señales analógicas en señales de pulsos donde la amplitud del impulso denota la información analógica, esta señal PAM se puede convertir en una señal digital PCM (de banda base), la que a su vez se modula sobre una portadora en sistemas de comunicación digital pasabanda. Por consiguiente, el proceso de conversión analógica a PAM es el primer paso en la conversión de una forma de onda analógica en una señal PCM (digital). (En algunas aplicaciones la señal PAM se usa directamente, y no se requiere convertirla en PCM). El objetivo de la señalización PAM es proporcionar otra forma de onda con apariencia de pulsos, y que aun así contenga la información que estaba presente en la forma de onda analógica. Como se usan pulsos, se puede esperar que el ancho de banda de la forma de onda PAM sea más ancha que el de la forma de onda analógica. No obstante, los pulsos son más prácticos de utilizar en sistemas digitales. Se verá que la velocidad de los pulsos, f_s en el caso de PAM es la misma que la requerida por el teorema de muestreo, es decir, $f_s > 2B$, donde B es la frecuencia mas alta en la forma de onda analógica y $2B$ se llama tasa (*relación*) de Nyquist. En la figura 2. 10 muestra un diagrama en bloques de un sistema PAM.

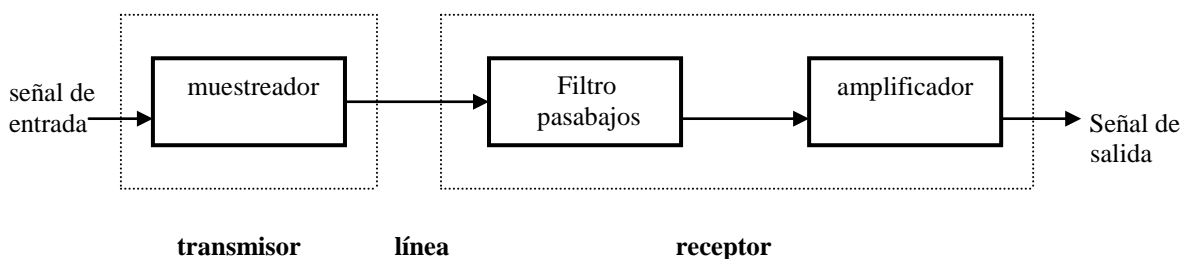


Figura 2.10: Diagrama en bloques de un sistema de comunicación PAM.

En muchos casos es necesario tomar muestras de una señal y luego procesarlas en un sistema procesador de datos. Ya que el proceso de datos toma tiempo, y lo que es más, requiere una señal de entrada invariante, las muestras deben ser de duración suficiente. Ya que el proceso de muestreo real es por lo general muy rápido (por ejemplo, usando pulsos de muestreo angostos), es necesario almacenar de algún modo las muestras durante el tiempo requerido. Un circuito que muestrea y almacena es denominado Circuito de Muestreo y Retención. El principio en que se basa es el tomar una muestra casi instantánea de la señal de entrada y almacenar esa muestra hasta que ocurra el próximo muestreo (ver figura 2.11).

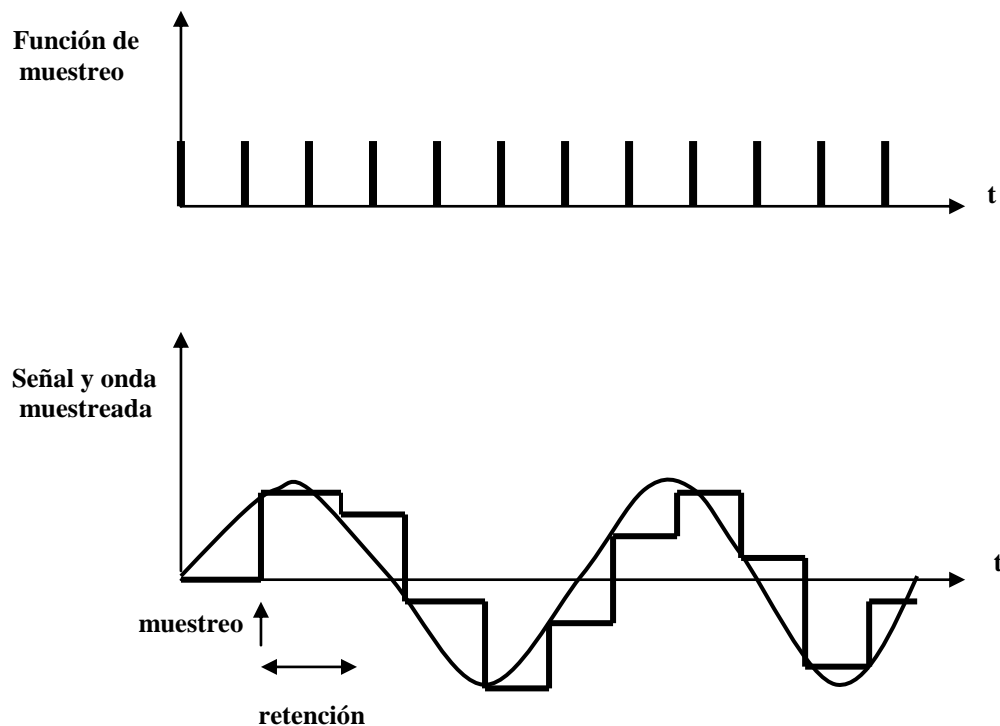


Figura 2.11: Operación de un circuito de muestreo y retención.

En la mayoría de circuitos prácticos de muestreo y retención el elemento de almacenamiento es un capacitor. Durante el período de muestreo, el capacitor se carga al

nivel de la señal que se muestrea; durante el período de retención, el capacitor se desconecta de la señal de entrada y retiene su carga. Cuando comienza el siguiente período de muestreo, la tensión en el capacitor salta al nuevo valor determinado por la señal de entrada, y ya que la tensión sobre un capacitor no puede cambiar instantáneamente, hay un período de transición en el que el capacitor se carga. Esto se muestra en la figura 2.12.

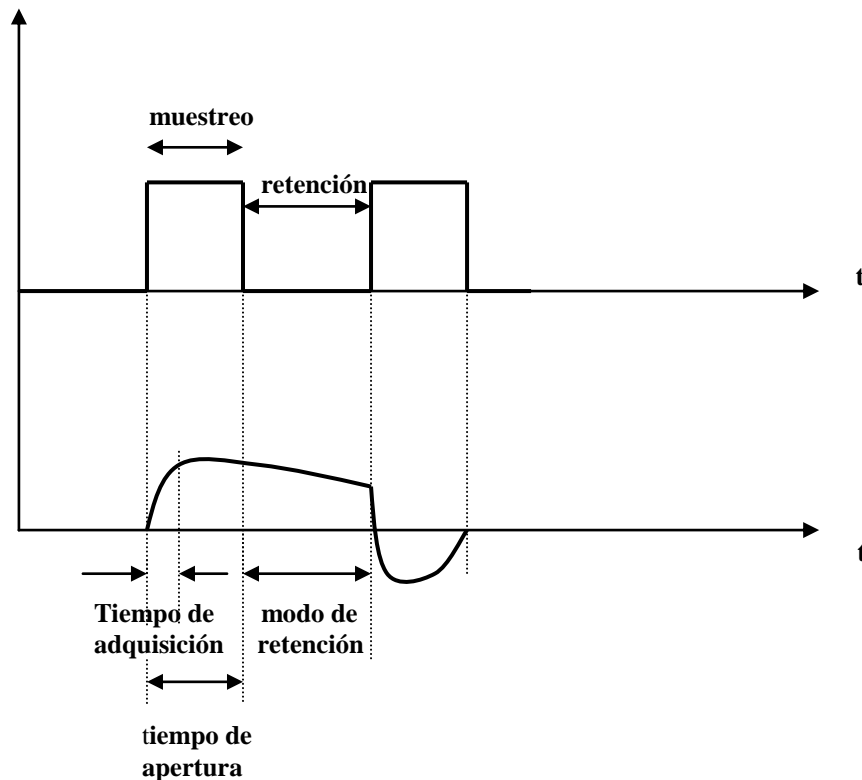


Figura 2.12: Formas de onda reales de muestreo y retención.

La operación de un circuito de muestreo y retención puede ser entonces dividida en una cantidad de períodos o modos diferentes. El modo de muestreo está compuesto por un modo de transición denominado tiempo de adquisición, y de un modo de seguimiento, durante el cual la tensión sobre el capacitor sigue a la señal de entrada. El ancho del modo de muestreo es denominado tiempo de apertura. Durante el modo de retención, la tensión

sobre el capacitor debe permanecer constante, pero si el capacitor no es ideal, se descargará y la tensión caerá.

Si se utiliza un circuito de muestreo y retención como parte de un sistema de muestreo, la onda muestreada consistirá en pulsos de techo plano y no en pulsos cuya amplitud sigue la señal de entrada (ver figura 2.13).

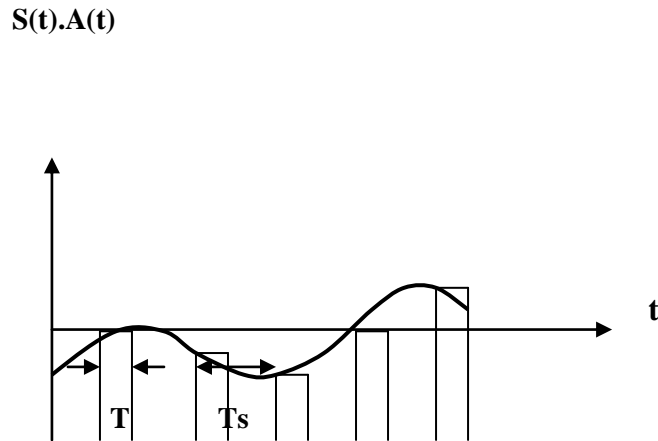


Figura 2.13: Onda muestreada de techo plano.

La amplitud de los pulsos es representativa del valor promedio de la señal muestreada. Para analizar el muestreo de techo plano supongamos que la amplitud de pulso está determinada por la amplitud de la señal al comienzo de cada muestra. En la figura 2.14 se muestra el circuito básico de muestreo y retención que consiste en un conmutador y un capacitor. La desventaja de este circuito es que la carga R descargará al capacitor durante el período de retención. Esto se supera en el circuito de la figura (b) agregando un separador de salida. También se ha agregado un separador de entrada para asegurara la carga rápida del capacitor, es decir mínimo tiempo de adquisición.

Del mismo modo en que PAM fue derivado del muestreo, puede derivarse PAM de techo plano a partir de muestreo de techo plano. Un circuito PAM de techo plano

práctico consiste en un circuito de muestreo y retención y un circuito de salida que genera pulsos del ancho requerido a partir de la señal de salida de muestreo y retención.

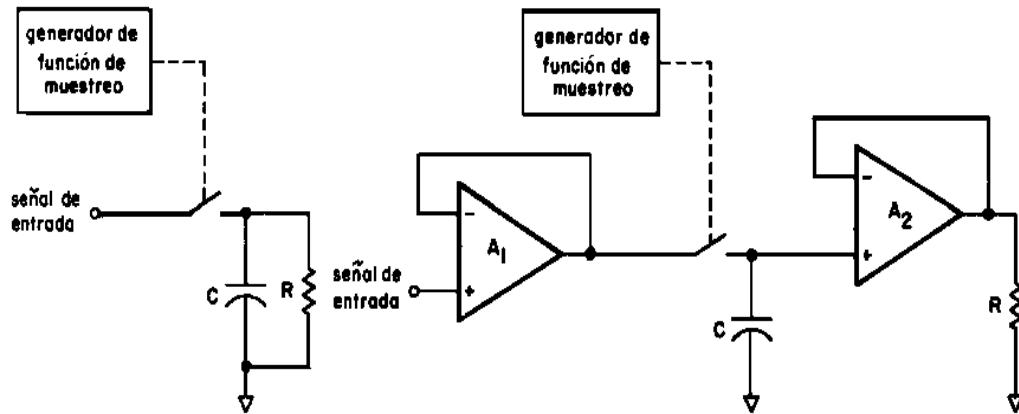


Figura 2.14: Circuitos de muestreo y retención.

2.4 Modulación por Codificación de Pulsos (PCM).

La Modulación por Codificación de Pulsos (PCM), en esencia es una conversión analógica en digital de un tipo especial en el que la información contenida en las muestras instantáneas de una señal analógica están representadas por palabras digitales en un flujo de bits en serie. Es la única de las técnicas de modulación de pulsos codificados, que se usan en un sistema de transmisión digital, con PCM, los pulsos son de longitud fija y amplitud fija, es un sistema binario; un pulso o ausencia de pulsos, dentro de una ranura de tiempo prescrita representa ya sea una condición de lógica 1 o de lógica 0.

La figura 2.15 muestra un diagrama de bloques simplificado de un solo canal, sistema PCM sencillo (de un solo sentido). El filtro de pasa-bandas limita a la señal analógica de entrada a la proporción de la frecuencia de la banda de voz estándar de 300 a 3000 Hz. El circuito de muestreo y retención periódicamente prueba la entrada de información analógica y convierte esas muestras en una señal PAM de multinivel. El

convertidor analógico a digital (ADC) convierte las muestras PAM a un flujo de datos binarios seriales para transmisión. El medio de transmisión es un cable metálico o fibra óptica.

En el lado de recepción, el convertidor digital a analógico (DAC) convierte el flujo de datos binarios seriales a una señal PAM de multinivel. El circuito de retención y el filtro pasa-bajas convierten a la señal PAM nuevamente en su forma analógica original. Un circuito integrado que realiza la codificación y decodificación de PCM, se llama un codec (codificador / decodificador).

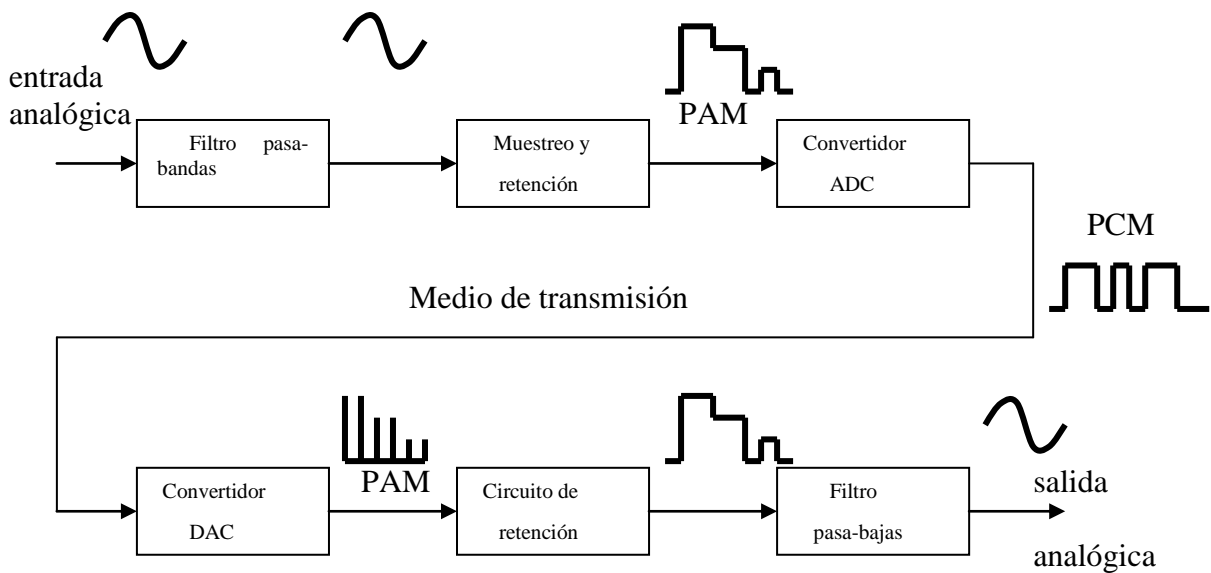


Figura 2.15: Diagrama de bloques de un sistema PCM simplificado.

Si se supone que cada una de las palabras digitales contiene n dígitos, existen $M = 2^n$ palabras de código único posibles; cada palabra de código corresponde a un cierto nivel de amplitud. Sin embargo, cada valor muestreado de la señal analógica puede ser cualquiera de un número infinito de niveles, de modo que se usa la palabra digital que

representa la amplitud que más se aproxima al valor muestreado real. Esto se llama *cuantización*.

PCM tiene mucha aceptación por las muchas ventajas que ofrece. Algunas de estas son:

- 3 Se puede usar circuitería digital relativamente barata en casi todo el sistema.
- 3 Las señales PCM provenientes de todos los tipos de fuentes analógicas (audio, video, etc.) se pueden combinar con señales de datos (por ejemplo, provenientes de computadoras digitales) y transmitir a través de un sistema de comunicación digital de alta velocidad común. Esta combinación se llama multicanalización por división de tiempo.
- 3 En los sistemas de telefonía digital de larga distancia que requieren repetidores, se puede generar una forma de onda PCM limpia a la salida de cada repetidor, donde la entrada es una forma de onda PCM ruidosa. Sin embargo, el ruido a la entrada puede provocar errores de bits en la señal de salida PCM regenerada.
- 3 El rendimiento de ruido de un sistema digital puede ser superior al de un sistema analógico. Además, la probabilidad de error a la salida del sistema se reduce aún más con el uso de técnicas de codificación apropiadas.
- 3 Estas ventajas por lo general superan la principal desventaja de PCM: un ancho de banda mucho más grande que el de la señal analógica correspondiente.

2.4.1 Cuantificación.

Todavía las amplitudes de las muestras son valores continuos, y durante la conversión a una señal digital es necesario formar una cantidad discreta de amplitudes, proceso denominado cuantificación. El circuito de muestreo y el cuantificador forman un conversor A/D, con la salida digital presentada como 1 de n tensiones diferentes. En la

figura 2.16 muestra la salida obtenida de tal conversor cuando la entrada es una onda senoidal.

Después que la señal analógica ha sido convertida a una señal muestreada y cuantificada, es necesario generar pulsos digitales para representar cada nivel. En Modulación por Codificación de Pulsos (PCM), la salida consiste en un número binario compuesto por n bits.

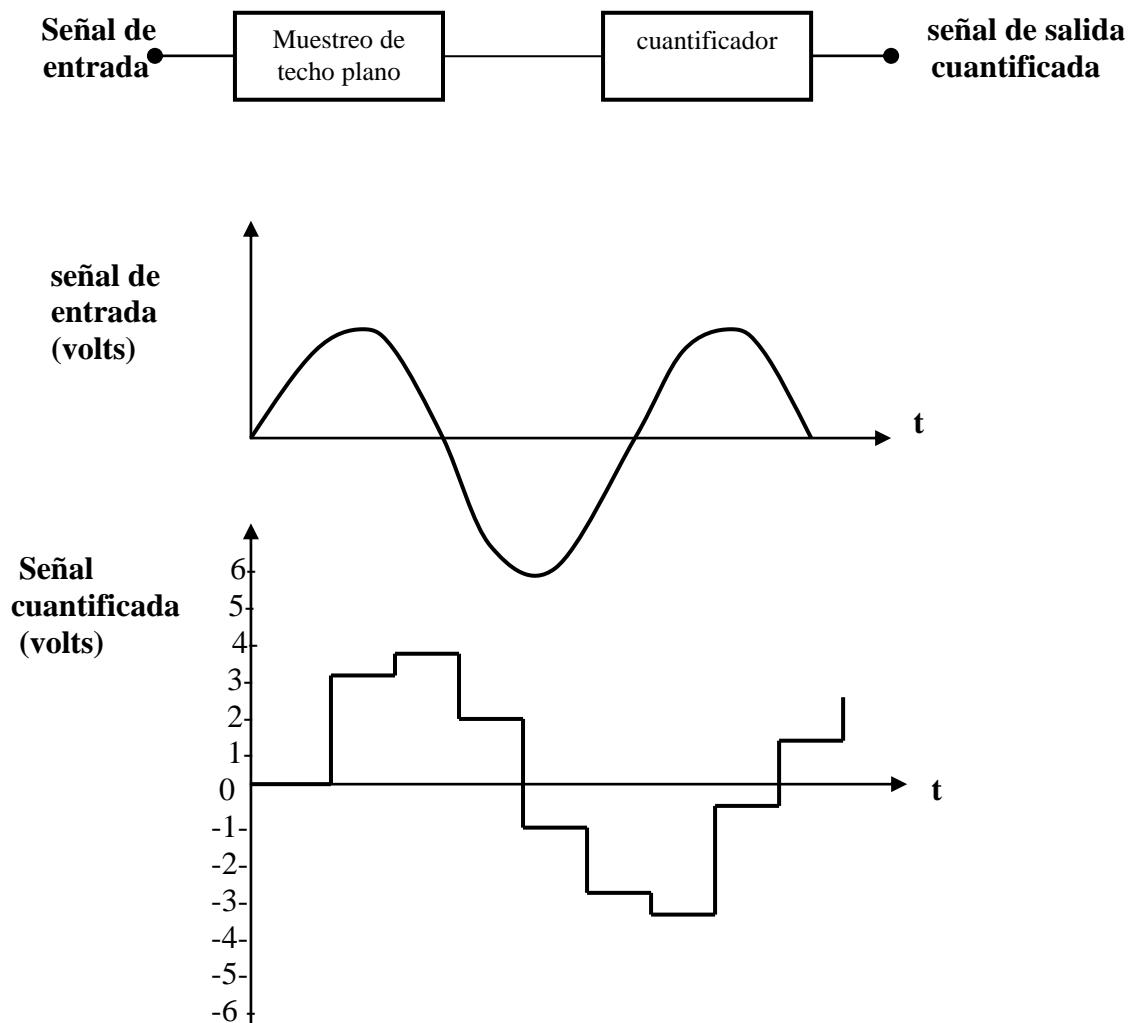


Figura 2.16: Conversor A/D compuesto por muestreador y cuantificador.

2.5 Señal y Ruido en PCM.

En PCM existen dos tipos de ruido fundamentalmente diferentes: uno es el ruido de fondo “común”, mientras que el otro es causado por el proceso real de la modulación por codificación de pulso. Este segundo tipo de ruido es provocado por el proceso de cuantificación, donde la señal muestreada se aproxima por la señal cuantificada. Este ruido es denominado error de cuantificación.

2.5.1 Error de Cuantificación.

La figura 2.17 muestra el rango de tensiones de la señal de entrada analógica dividido en n niveles cuantificados. Supondremos que el cuantificador selecciona el nivel más cercano a la tensión de entrada, ya esté por encima o debajo de la tensión de entrada. En este caso el error aparece como una señal diente de sierra.

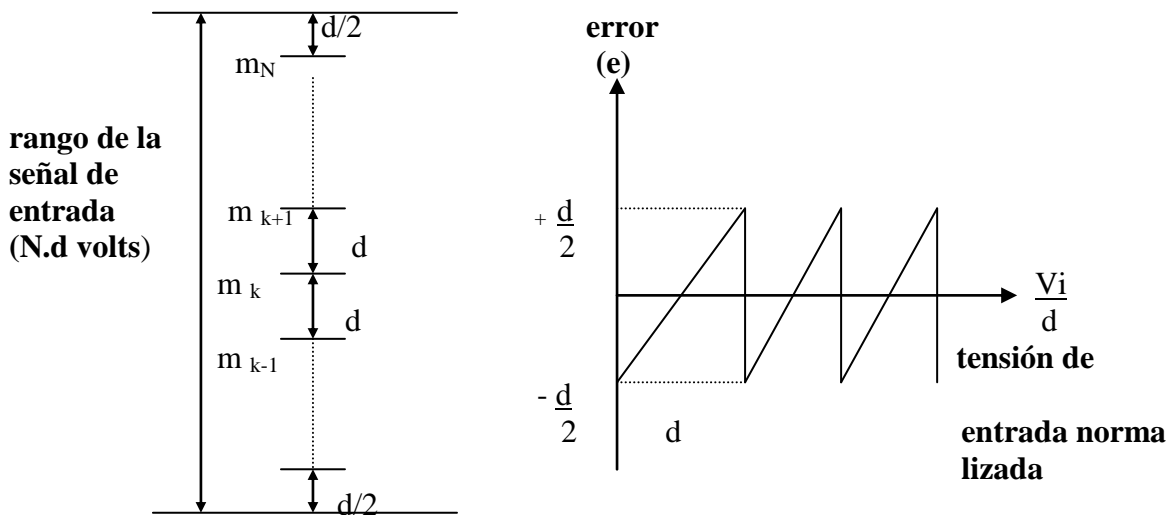


Figura 2.17: Niveles de cuantificación y error de cuantificación.

El proceso de muestreo agrega ruido N_1 a la señal original. Teóricamente, este ruido puede ser eliminado completamente por filtrado, pero en la práctica esto depende de la calidad del filtro. El cuantificador agrega ruido de cuantificación a la señal y ruido ya existente, las etapas de codificación binaria, transmisión, recepción y conversión d/a, no agregan ruido por sí mismas.

2.6 Compansión.

Compansión es el proceso de comprimir, y después expandir. Con los sistemas compandidos, las señales analógicas de amplitud más alta se comprimen (amplificadas menos que las señales de amplitud menor), antes de su transmisión, después expandidas (amplificadas más que las señales de amplitud más pequeñas) en el receptor.

En la figura 2.18 ilustra el proceso de compansión. Una señal de entrada con un rango dinámico de 120 dB se comprime a 60 dB para transmisión, después se expande a 120 dB en el receptor. Con PCM, la compansión se puede lograr por medio de técnicas analógicas o digitales. Los primeros sistemas PCM utilizaban compansión analógica, mientras que los sistemas más modernos utilizan compansión digital.

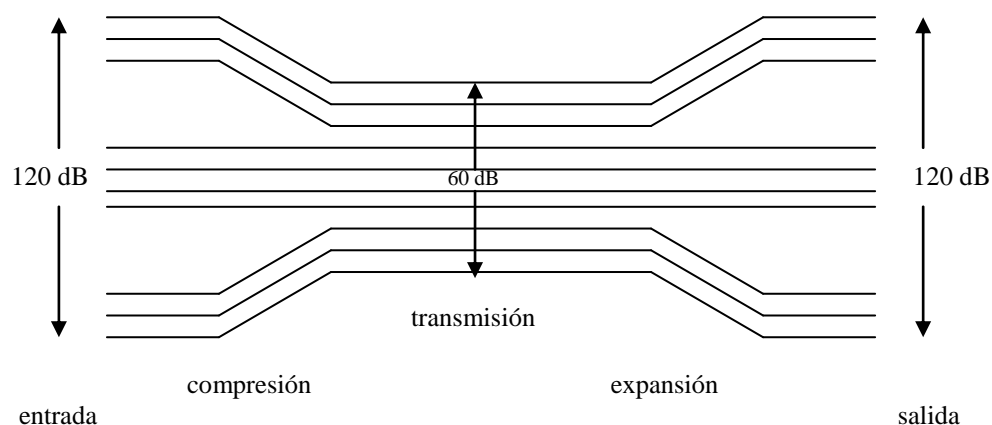


Figura 2.18: Procedimiento de compansión básico.

2.6.1 Compansión Analógica.

La compresión analógica se implantó usando diodos, especialmente diseñados, insertados en el camino de la señal analógica en el transmisor PCM, antes del circuito de muestreo y retención. La expansión analógica también se implantó con diodos que fueron colocados después del filtro pasa-bajas de recepción. La figura 2.19 muestra el proceso básico de compansión analógica. En el transmisor, la señal analógica es comprimida, muestreada y después convertida a un código PCM lineal. En el receptor, el código PCM es convertido a una señal PAM, filtrado, después expandido nuevamente a sus características de amplitud de entrada originales.

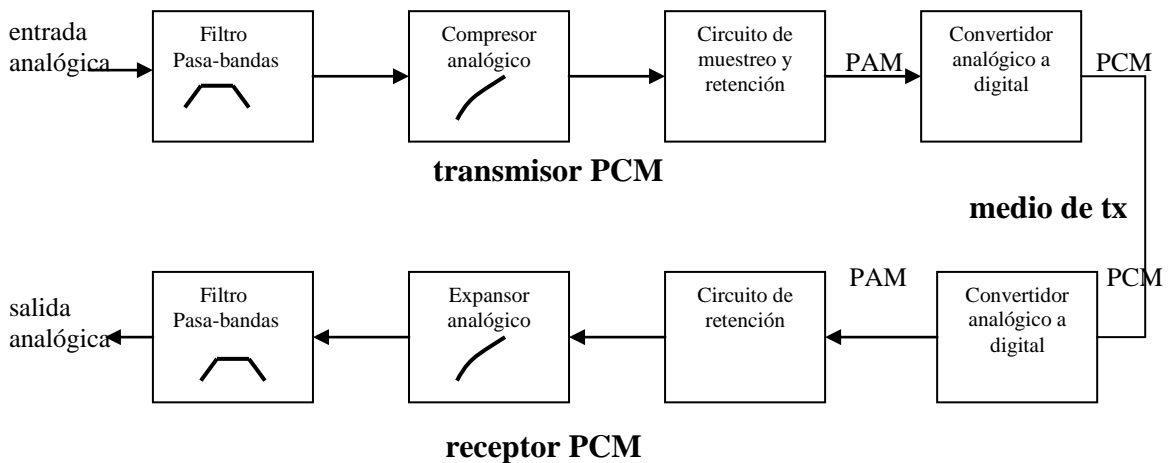


Figura 2.19: Sistema PCM con compansión analógica.

2.6.2 Compansión Digital

La compansión digital involucra la compresión, por el lado de transmisión, después de que la muestra de entrada ha sido convertida a un código PCM lineal; y la expansión, en el lado de recepción, antes de la decodificación PCM. En la figura 2.20 muestra el diagrama de bloques de un sistema PCM compandido de manera digital.

Con la compansión digital, la señal analógica primero se muestra y se convierte a un código lineal, después el código lineal se comprime de manera digital. Por el lado de recepción, se comprime el código PCM recibido, se expande y después se decodifica. Los sistemas PCM comprimidos de manera digital, más recientes, utilizan un código lineal de 12 bits y un código comprimido de 8 bits.

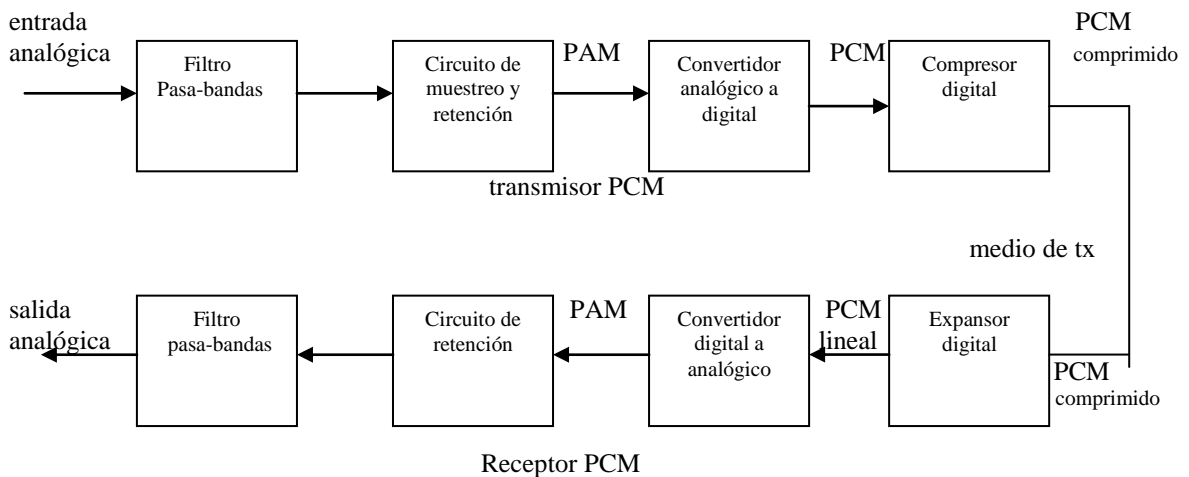


Figura 2.20: Sistema PCM compandido digitalmente.

2.7 Modulación Delta.

La Modulación Delta (DM) es una técnica de codificación de pulsos que requiere una menor complejidad que el PCM e involucra la transmisión de la diferencia entre cada muestra de la señal analógica y la muestra precedente, en lugar de la transmisión de las muestras mismas.

La modulación delta utiliza un código PCM, de bit sencillo, para lograr la transmisión digital de las señales analógicas. Con PCM convencional, cada código es una representación binaria de signo y magnitud de una muestra en particular. Por lo tanto, los códigos de bit múltiple se requieren para representar muchos de los valores que la muestra

puede tener. Con la modulación delta, en vez de transmitir una representación codificada de la muestra, sólo se transmite un bit sencillo lo cual simplemente indica si esa muestra es mayor o menor que la muestra anterior. El algoritmo para un sistema de modulación delta es muy sencillo. Si la muestra actual es menor que la muestra anterior, se transmite un cero lógico. Si la muestra actual es mayor que la muestra anterior, se transmite uno lógico.

La figura 2.21 muestra un diagrama a bloques de un transmisor de modulación delta. La entrada analógica se muestrea y se convierte a una señal PAM que se compara a la salida del DAC. La salida del DAC es un voltaje igual a la magnitud regenerada de tal muestra anterior, la cual se almacenó en el contador como un número binario. El contador se incrementará o se reducirá dependiendo si la muestra anterior es mayor o menor que la muestra actual. El contador ascendente-descendente se sincroniza a una razón igual a la razón de muestreo. Por lo tanto, el contador se actualizará después de cada comparación.

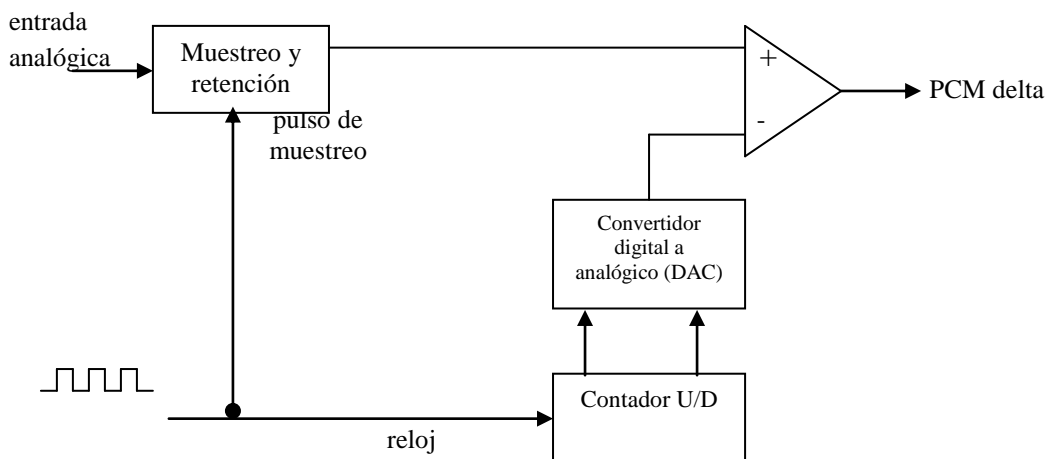


Figura 2.21: Transmisor de modulación delta.

El receptor es casi idéntico al transmisor excepto por el comparador. Conforme se Reciben los unos y ceros lógicos, el contador, ascendente/descendente se incrementará o reducirá en conformidad. Consecuentemente, el resultado del DAC en el decodificador es

idéntico al resultado del DAC en el transmisor. Con la modulación delta, cada muestra requiere de la transmisión de un solo bit; por lo tanto, las razones de bits, asociadas con la modulación delta, son menores que los sistemas PCM convencionales. La figura 2.22 muestra el diagrama de bloques de un receptor de modulación delta.

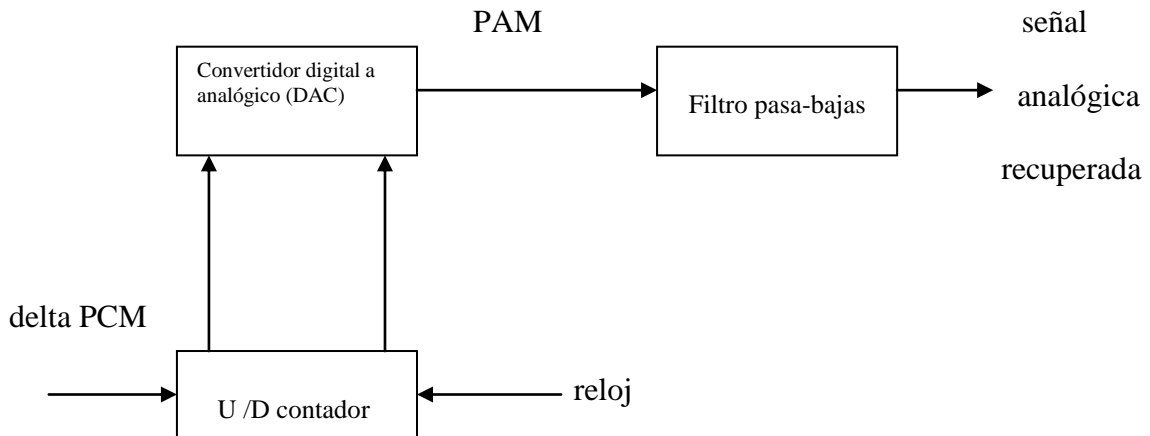


Figura 2.22: Receptor de modulación delta.

2.8 Señal y Ruido en DM.

Al igual que en PCM, en el modulador delta la señal de entrada es aproximada por una señal escalonada, y por lo tanto, en DM, existe un error de cuantificación y ruido de cuantificación. En la figura 2.23 muestra una onda senoidal $A(t)$ y su señal de aproximación $\tilde{A}(t)$ formada en un modulador delta no adaptable. Debajo de esta se muestra la señal de error de cuantificación $e(t)$, siendo $e(t) = A(t) - \tilde{A}(t)$. Si no hay sobrecarga de pendiente, la amplitud de la señal de error esta entre $-\Delta$ y $+\Delta$.

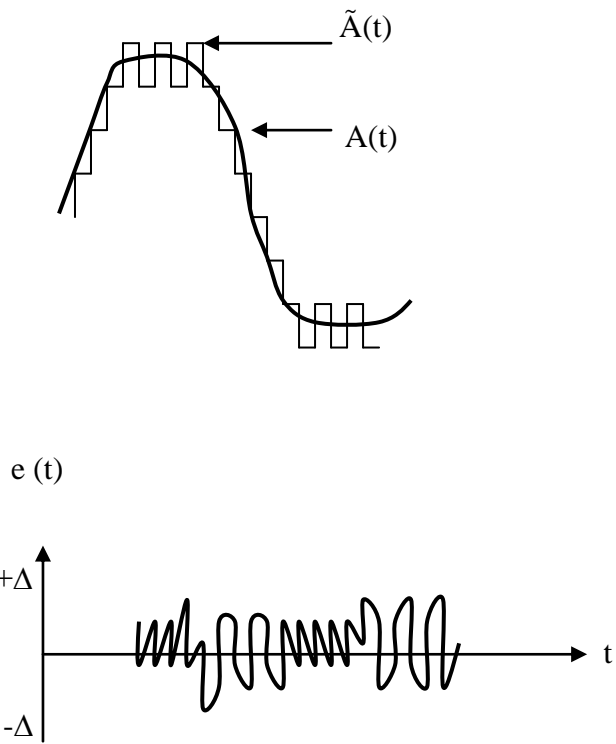


Figura 2.23: Señal de error formada en un modulador delta no adaptable

CAPITULO III

MULTIPLEXACION.

3.1 Introducción

Múltiplex es un proceso que permite la transmisión de señales múltiples por un único canal de transmisión de modo tal que cada señal puede ser recobrada en el terminal de recepción. Por consiguiente, las señales deben ser separadas una de otra de alguna manera. Esto puede hacerse transmitiendo las señales en diferentes bandas de frecuencia o transmitiéndolas a diferentes tiempos.

También podemos decir que es la transmisión de información (ya sea de voz o de datos), de más de una fuente a más de un destino, por el mismo medio de transmisión (facilidad). Las transmisiones ocurren en el mismo medio, pero no necesariamente al mismo tiempo. El medio de transmisión puede ser, un par de cables metálicos, un cable coaxial, un sistema de radio de microondas terrestre, un radio de microonda por satélite, o un cable de fibra óptica. Hay varias formas en que se puede lograr el proceso de multiplexación, aunque los dos métodos más comunes son la multiplexación de división de frecuencia (FDM) y multiplexación de división de tiempo (TDM).

3.1.1 Multiplexación por División de Frecuencia (FDM).

Cuando se transmiten las señales en diferentes bandas de frecuencia cada canal de señal es asignado a un sector determinado del espectro. Esto se denomina Múltiplex por División de Frecuencia (FDM). Cada canal es modulado alrededor de una diferente frecuencia portadora, lo que significa que el espectro de cada canal está desplazado en una cierta medida diferente. En la figura 3.1 se muestra el espectro obtenido del múltiplex por

división de frecuencia de tres canales, donde se ha utilizado modulación de banda lateral superior para cada señal.

Múltiples fuentes que originalmente que ocupaban el mismo espectro de frecuencias se convierten, cada una, a bandas de frecuencias diferentes y se transmiten simultáneamente en un solo medio de transmisión. Así, muchos canales de banda relativamente angosta se pueden transmitir en un solo sistema de transmisión de banda ancha. El FDM es un esquema de multicanalización analógica; la información que entra a un sistema de FDM es analógica y permanece analógica en toda la transmisión.

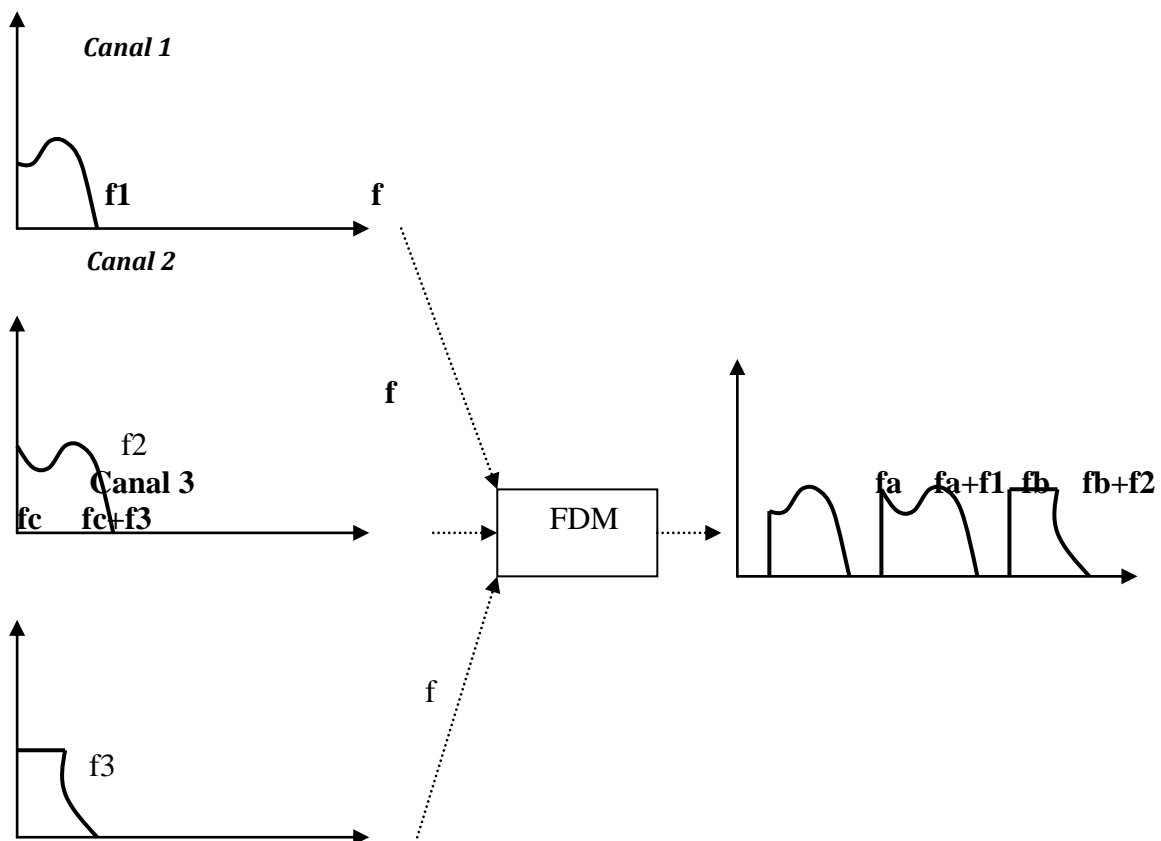


Figura 3.1: Espectro de FDM

Los canales individuales son separados de la señal FDM por medio del filtrado de la señal a través de filtros pasabanda apropiados y demodulando separadamente cada banda lateral. Las mayores desventajas del FDM son los circuitos y filtros complejos requeridos para su implementación, y el efecto de un canal sobre los canales adyacentes, lo que es llamado diafonía.

3.1.2 Multiplexación por División de Tiempo (TDM)

Cuando se transmiten los canales en tiempos separados, cada uno es transmitido en un instante particular de tiempo. Esto se denomina Múltiplex por División de Tiempo (TDM). La figura 3.2 muestra un diagrama esquemático de un sistema TDM. Los conmutadores conectan el transmisor y el receptor a cada uno de los canales por turno durante un cierto período. En realidad, cada canal es muestreado y la muestra es transmitida.

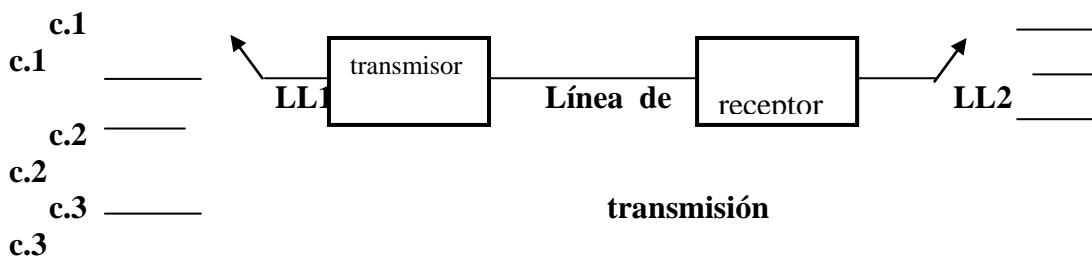


Figura 3.2: Sistema TDM.

3.2 Principios de la Multiplexación por División de Frecuencia.

Al estudiar la modulación de amplitud, se ve que es posible enviar varias señales simultáneamente, eligiendo una frecuencia portadora diferente para cada una. Estas

frecuencias se eligen de forma que los espectros de las señales no se solapen. Este modo de transmisión se llama Multiplexación por División de Frecuencias. Esto consiste en situar los espectros de las señales en frecuencias tales que cada uno pueda separarse de los demás por medio del filtrado. Aquí se destaca el uso de la modulación de amplitud, aunque la multiplexación por división de frecuencias no excluye el uso de otros métodos de modulación.

En un sistema de Múltiplex por división de frecuencia se asigna a cada canal una banda de frecuencias únicas usada para la comunicación desde un terminal al otro. Según se requiera, la comunicación en la dirección opuesta se efectúa por un par de cables de distinto tipo o en un rango de frecuencias distinto, como si fuera un canal separado. En la figura 3.3 se muestra gráficamente la distribución de frecuencias:

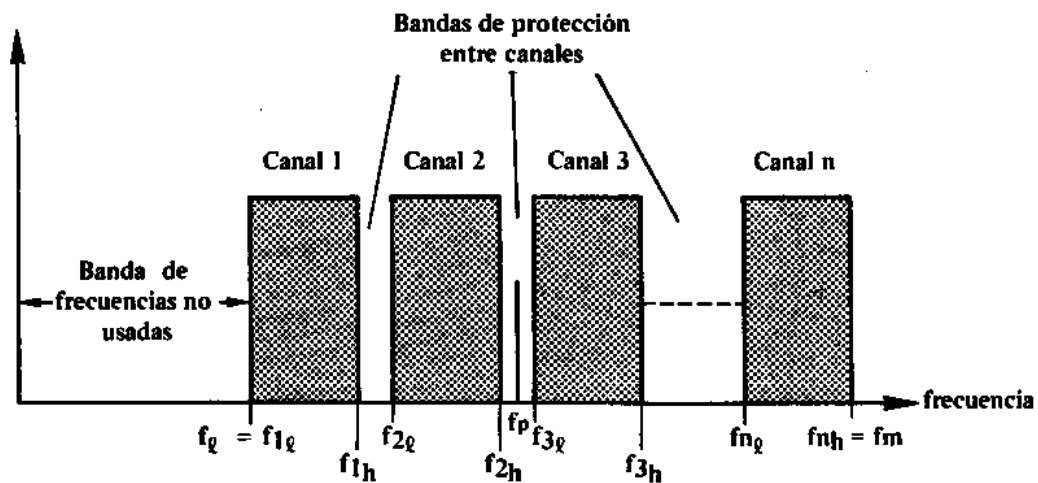


Figura 3.3: Distribución de rangos de frecuencia a los canales en un sistema FDM

- fil : frecuencia inferior del canal i
- fih : frecuencia superior del canal i
- fm : frecuencia máxima usada por el sistema $f_m = f_{nh}$
- fl : frecuencia mínima usada por el sistema $f_l = f_{1l}$

Hemos hecho notar que cada canal posee una banda de frecuencias usada para la transmisión de las señales eléctricas que le pertenecen (voz, datos, etc.). Sabemos que para transmitir información debe usarse un método de modulación adecuada, sea modulación de amplitud, de frecuencia o cualquier otro método.

De todos los métodos conocidos, sólo la modulación en banda lateral única no requiere más ancho de banda que el ocupado por la información a transmitirse. Es natural, entonces, que sea el método seleccionado para la translación de la información del rango del audio al rango de frecuencias asignado a ella, a la salida del equipo de múltiplex. Se puede establecer a esta altura, que de acuerdo a las normas internacionales, el equipo de múltiplex utiliza la banda lateral inferior (BLI), producido durante la modulación del canal de audio en la frecuencia portadora ver figura 3.4.

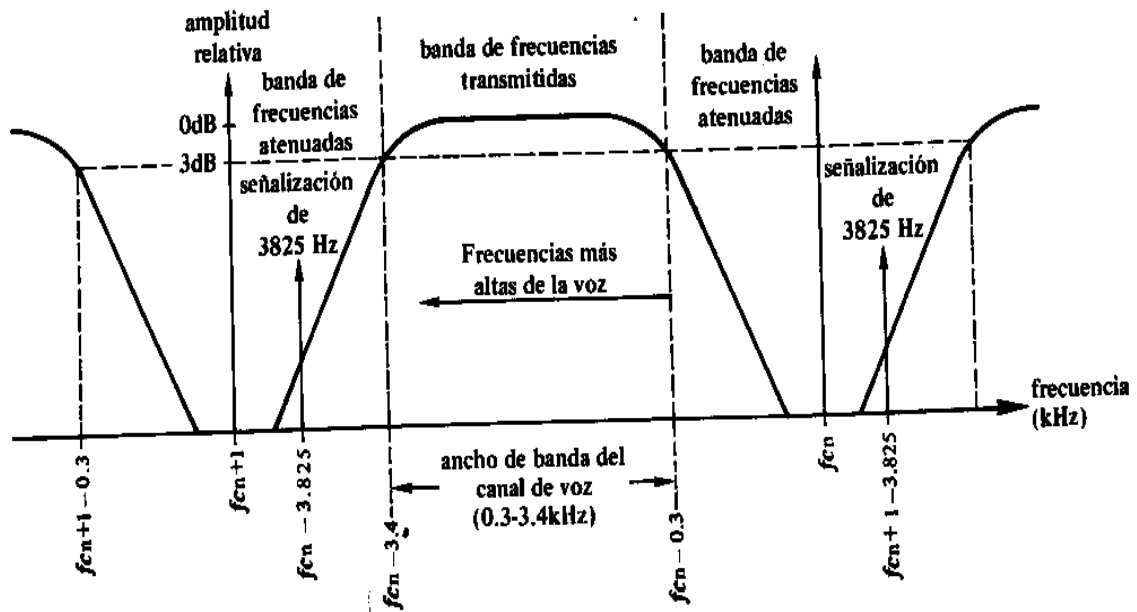


Figura 3.4 Distribución de frecuencia típica para un canal de conversación con equipos de múltiplex.

Las investigaciones efectuadas han determinado que la claridad de la conversación y la posibilidad de identificar voces no es afectada si el rango de frecuencias está limitado entre 0.3 y 3.4 KHz. En realidad, esta determinación es bastante arbitraria ya que el rango de frecuencias puede ser limitada aún más, sin afectar la calidad significativamente.

El rango de frecuencias asignado a un canal de voz en un sistema múltiplex es fijado en 4.0 KHz, donde el rango de 0.3 a 3.4 KHz es usado para la transmisión de la voz y el resto del rango sirve como banda de protección para impedir la interferencia entre canales, conteniendo también frecuencias tales como la frecuencia de señalización.

3.2.1 Construcción de Equipo de Múltiplex

Un grupo de muchos canales a transmitir por un enlace de comunicación se construye en varias etapas, de acuerdo a su tamaño: se acostumbra a determinar el número total de canales como un múltiplo entero de 12 (por ejemplo 24, 60, 120, 300, 900, 1800, etc. Son grupos usuales). Un grupo de 12 canales se llama grupo primario. De acuerdo a las normas, el rango de frecuencias asignado al grupo primario es de 60 a 108KHz (esto es, $4 \cdot 12 = 48$ KHz).

El rango se determina de acuerdo a varias consideraciones técnicas, destinadas a asegurar una implementación fácil y simple de la operación de multiplexado una de las consideraciones más importantes es que debe seleccionarse un rango de frecuencia que produzca una relación f_m/f_l tan pequeña como sea posible; junto con esto, la frecuencia f_m (la mas alta del grupo) debe ser relativamente pequeña. La razón para la selección de una relación de frecuencias pequeña, es la dificultad técnica de construir un amplificador con acoplamiento para transformador que tenga curva de respuesta plana, si el amplificador debe pasar frecuencias con una razón grande entre la más alta y la más baja de ellas. El

énfasis en la existencia del transformador no es casual, ya que este es uno de los componentes más importantes del equipo de multiplexado. Este multiplexador recibe los 12 canales de audio, a los cuales conectados están los abonados, y debe transmitir la información desde ellos hasta el otro terminal. Dado que hay varios tipos de abonados (dos alambres con llamado por magneto, dos alambres con discado, cuatro alambres con discado, etc.) el multiplexador debe contener una unidad de determinación de línea, la cual convierte las señales recibidas del abonado (voz, discado, llamada) a señales en el ancho de banda de canal normal.

Después de esto, la frecuencia portadora es modulada por el canal y esta operación se realiza generalmente en dos etapas. En la primer etapa se selecciona una frecuencia portadora relativamente baja, y entonces, el rango de frecuencias es trasladado a la frecuencia final, en la cual aparece el canal en la salida del equipo de múltiplex. Cuatro canales son generalmente unidos (subgrupo) antes de la traslación de frecuencia final. La unidad que modula el canal se denomina módem del canal. (La unidad que traslada el rango de frecuencia del subgrupo se denomina módem del subgrupo).

La salida de todos los canales es unida por el amplificador final, el cual adapta las impedancias y los niveles con los del equipo de radio o de líneas usado para la transmisión del grupo. El proceso en el trayecto de recepción es exactamente inverso al de este proceso. La figura 3.5 es un diagrama de bloques del equipo múltiplex

La fuente de poder para el multiplexador: es en general capaz de operar desde dos fuentes, una fuente de C.A (el voltaje de línea) y fuente de C.C (generalmente baterías) usada como reserva en el caso de un corte de luz. Debido a la importancia de proveer servicio continuo al abonado, es esencial asegurar que una falla en la fuente de poder no interrumpa la provisión de servicio continuo. Normalmente se usan dos fuentes de poder,

una de las cuales no está activa, pero es capaz de reemplazar a la fuente de poder principal en el caso de una falla. Esta redundancia es necesaria ya que una falla en la fuente de poder interrumpe todas las operaciones del equipo mientras que una falla en el canal causa sólo una reducción en la capacidad de transmisión del equipo.

El sistema generador de frecuencia portadora y frecuencia de señalización: la función de este sistema es producir todas las frecuencias necesarias para la modulación, demodulación y señalización (discado y llamada) del equipo. Este sistema debe poseer una alta exactitud, y es por lo tanto una clase de sintetizador de frecuencias, operado en base a una frecuencia patrón muy precisa (oscilador de cristal). Debido al método de modulación (en banda lateral única), cualquier desviación entre frecuencias portadoras en los dos terminales del enlace se traduce en una desviación entre la frecuencia entrada en el canal y la frecuencia recibida por el abonado en el otro terminal ; esto es indeseado, ya que se distorsiona severamente la voz, y puede interferir la transmisión digital en los canales.

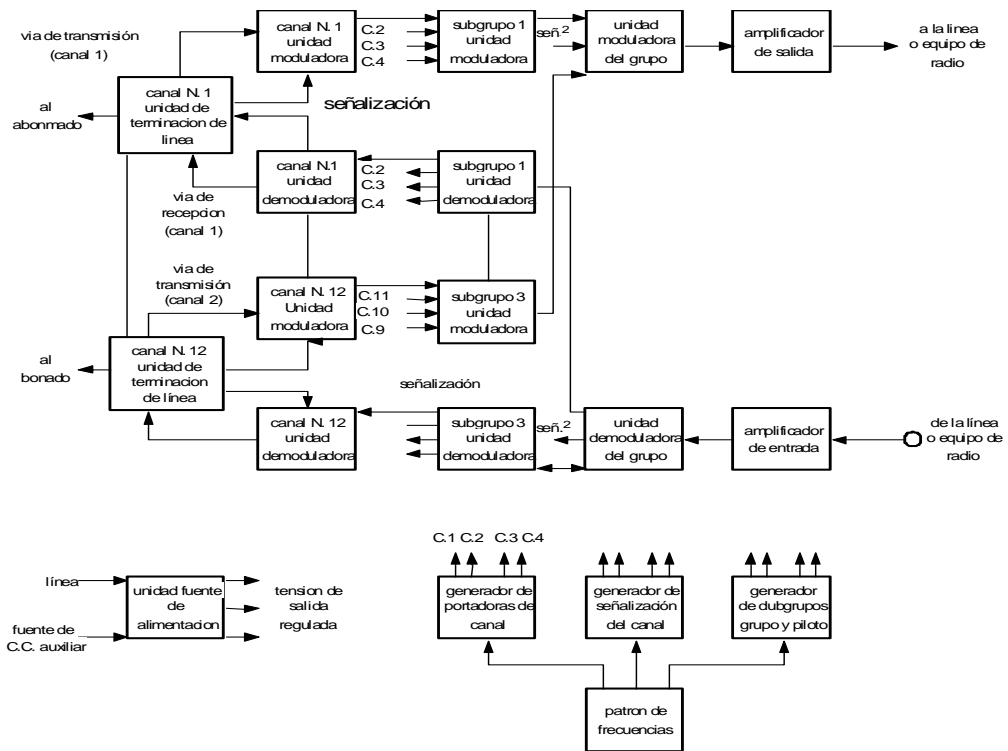


Figura 3.5 Diagrama en bloques básico del equipo múltiplex para 12 canales.

3.2.2 Unidad de Terminación de Línea

La unidad de terminación de línea realiza varias funciones:

1. protección del equipo contra voltajes que pueden aparecer a través de la línea, sea debido a operación normal o por sobrevoltaje causados por rayos, etc.
2. Recepción de señalización desde el abonado - señalización que puede ser discado o llamada.
3. Separación de las vías de transmisión y recepción en operación bifilar.
4. Adaptación de niveles a la unidad de módem del canal.

3.2.3 Protección de la Entrada

La función principal de la unidad de terminación de la línea es la protección de la entrada. Esto es necesario ya que los circuitos electrónicos del equipo de múltiplex pueden ser dañados por voltajes relativamente bajos menores que el voltaje de señalización o los voltajes que pueden aparecer en la línea como resultado de rayos, acoplamiento inductivos o contacto directo (accidental) con líneas de alto voltaje, etc.

La aislación está basada en transformadores y relés: el transformador se usa para transferir la componente de CA deseada (0.3 a 3.4 khz) y debe atenuar en gran medida voltajes de frecuencias mas bajas, como la llamada (la cual se hace a una frecuencia de 16 a 60 Hz, dependiendo del tipo del equipo). Los relés son operados por la señalización enviada por el abonado y son usados también para la aislación física entre la línea y el equipo.

De acuerdo a las normas, la entrada del equipo de múltiplex debe ser protegida contra voltajes de hasta 2,2 KV. Los voltajes que pueden aparecer debido a rayos son mucho mayores. Para la protección de estos casos excepcionales se utilizan protectores

contra rayos hechos de válvulas de gas las cuales sufren ruptura a voltajes de cientos de volts y causan un cortocircuito a través de la entrada del equipo, de modo que este no este dañado. La figura 3.6 es un ejemplo de este tipo de protección.

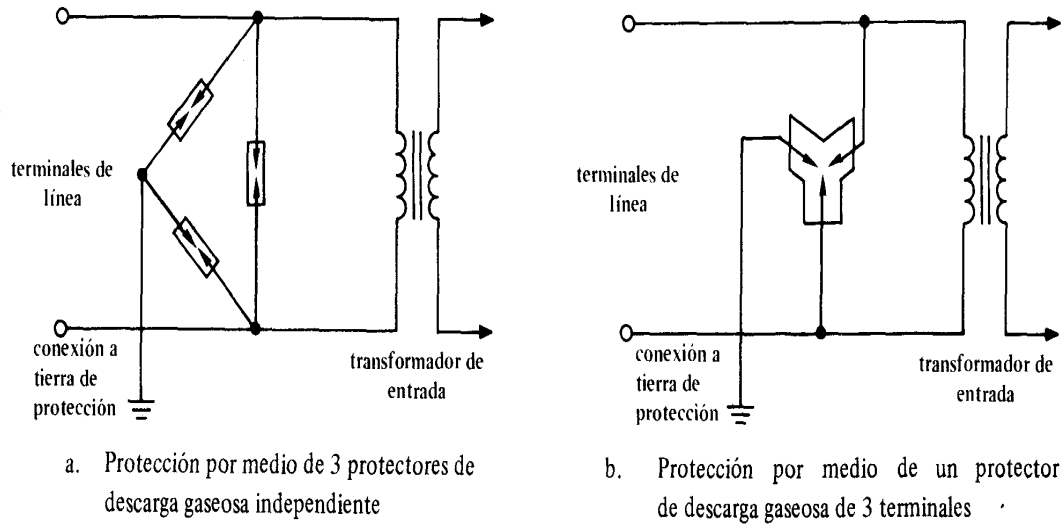


Figura 3.6 Ejemplos de protección contra rayos

La figura 3.6 muestra tres válvulas de gas (protectores contra rayos), las cuales aseguran que el voltaje entre tierra y cada conductor de línea, y entre las líneas, no exceda el voltaje de ruptura del protector.

3.2.4 Tipos de Líneas

El equipo de múltiplex debe permitir la terminación de varios tipos de líneas:

A.- Línea Bifilar con Llamado a Magneto

En esta línea de voz es transmitida a, y recibida de los abonados por el mismo par de alambres, y los circuitos de entrada del equipo de múltiplex deben separar estas señales.

El abonado distante indica al abonado con el que desea hablar, enviando una señal de llamada, la cual es una señal de CA de varias decenas de volts a una frecuencia muy baja (16 a 60 Hz en la mayoría de los países).

B.- Línea Bifilar con Discado

En una línea como esta, la voz es transmitida en el par de alambres en ambas direcciones, pero varios tipos de señalización deben ser separados. Una es la llamada, como en el caso de la línea con llamada a magneto, la segunda es corriente continua interrumpida. El modo de operación es el siguiente: el teléfono del abonado es alimentado desde el equipo de múltiplex con corriente continua (varias decenas de mA) de baterías de 48V. Cuando el teléfono está colgado, el circuito de la corriente está abierto, y se cierra sólo cuando se levanta el auricular, durante el discado, el disco interrumpe la corriente, del circuito durante lapsos cortos (40 milisegundos) y lo cierra nuevamente (por 60 milisegundos), siendo el número de interrupciones igual al dígito discado. El equipo ubicado cerca del teléfono del abonado detecta estas señales y envía señales eléctricas al mismo ritmo pero con una frecuencia de señalización de 3825 Hz, al otro terminal. En este extremo está ubicada la central, y ella transfiere la señalización al equipo de múltiplex en la forma de circuito cerrado y abierto (además de la voz). El equipo de múltiplex posee una entrada para la recepción de esta señalización (llamada generalmente terminal E o TRON): la conexión de esta entrada a tierra causa el envío de la frecuencia de señalización. La salida de señalización está ubicada en el lado receptor (terminal M ó RON), donde nuevamente se recibe la apertura/cierre de circuito y ésta activa la central o el circuito de adaptación para el teléfono.

La principal diferencia en la operación de los dos tipos de equipo es la transmisión de señalización que en un caso consiste en apertura/cierre del circuito y en el otro, en la recepción/envío de señal de llamada.

C. Línea Tetrafililar con Señalización o Discados Automáticos.

Una línea como esta usa el método de señalización de apertura/cierre de circuito descrito antes, pero la voz es transmitida en una dirección por un par de alambres y en la otra dirección por otro par (en total 4 alambres). Junto con los dos alambres de señalización obtenemos lo que se llama un canal de 6 alambres. La operación del canal en forma tetrafililar tiene ventajas desde el punto de vista de la calidad en la comunicación.

3.2.5 Separación de las vías de Transmisión y Recepción en líneas Bifilares.

El equipo de múltiplex es un equipo dúplex, o sea, contiene una vía para transmisión y una vía separada para recepción (es decir, opera naturalmente como una línea tetrafililar).

La mayoría de las líneas telefónicas son bifilares, logrando una economía significativa en material y en circuitos de conmutación. Las señales transmitidas y recibidas aparecen juntas, y deben ser aisladas una de otra en la entrada del equipo de múltiplex.

Esta aislación es realizada en general por un transformador híbrido, este es también el transformador de entrada del equipo de múltiplex.

3.2.6. Separación entre la voz y la llamada

Como se señaló anteriormente, la línea lleva tanto la voz como la señalización o llamada requerida para establecer el enlace de comunicación. La señalización o llamada se caracterizan por frecuencias mucho más bajas que las de la voz y pueden por lo tanto ser separadas por un circuito pasabajos. El método más común es el uso del primario del transformador de línea).

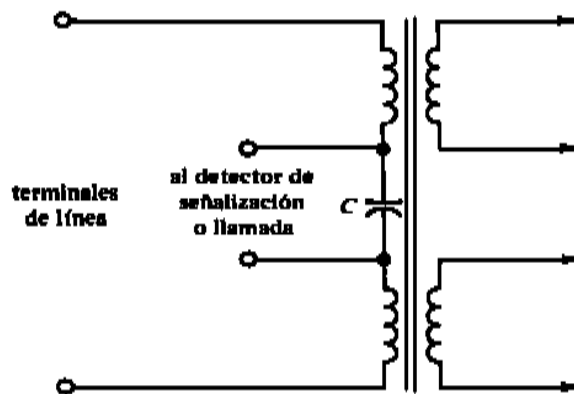


Figura 3.7 Separación de la señalización y la llamada en la línea.

El primario del transformador de línea es dividido en dos arrollamientos iguales, con un condensador de valor alto (en general 2 microfaradios) de alto voltaje de ruptura, conectado entre ellos. El condensador presenta una impedancia baja a las frecuencias de la voz, pero es un circuito abierto a la CC y una impedancia muy alta a la llamada. Es conveniente, por lo tanto, conectar el detector de llamada o el detector señalización de CC en paralelo con este condensador.

Para detección de llamada, se conecta un rectificador de onda completa a través del condensador y esta salida energiza un relé muy sensible. Cuando el relé es operado por el

voltaje de llamada rectificado, el relé causa un cortocircuito entre tierra y el terminal “TRON”, el cual esta en la entrada del equipo múltiplex.

3.2.7 Unidad de Módem de Canal.

La función de esta unidad, es realizar la primera traslación de frecuencia de audio recibida del canal. Esta traslación es hecha generalmente a un rango de hasta 20 Khz, para permitir la implementación simple y efectiva de los filtros requeridos para lograr una aislación adecuada entre los canales.

A pesar que no hay normas que determinen la estructura específica del equipo de módem, la mayoría de los diseñadores han elegido un método en el que primero se producen subgrupos de cuatro canales, como paso intermedio antes de la producción del grupo primario, el cual contiene 12 canales.

Como hemos visto en la figura 3.5 de la construcción de un equipo de múltiplex. El método alternativo es la traslación directa del rango de frecuencia del canal a su frecuencia final. Este método fue desarrollado y mejorado con la ayuda de las tecnologías de filtros de cristal y mecánicos las cuales fueron desarrolladas para equipos BLU. Las cuales permiten lograr suficiente selectividad a altas frecuencias.

Ahora mostraremos primero la unidad clásica, diseñada para la operación en el marco de subgrupos.

3.2.8 Producción de Subgrupos

Antes de entrar profundamente en la estructura de la unidad, expliquemos las consideraciones que guían a los diseñadores en la elección del método de subgrupos como método básico para el diseño de equipos múltiplex.

Un subgrupo contiene cuatro canales en los cuales las siguientes frecuencias portadoras han sido moduladas en banda lateral única (BLU): canal 1, 20khz; canal 2, 16 khz; canal 3, 12 Khz; canal 4, 8 Khz.

A cada canal corresponden por lo tanto 4 Khz, lo que deben incluir el rango de frecuencia de audio transmitida - 0.3 a 3.4 Khz - y la frecuencia de señalización, 3825 Hz.

En la figura 3.8 se muestra el rango de frecuencias del subgrupo. Vemos que cada canal se mezcla con su frecuencia portadora particular, y se selecciona la banda lateral inferior, mientras que la banda lateral superior es fuertemente atenuada por los filtros en la unidad de canal.

El uso de la banda lateral inferior permite el logro de aislación máxima entre los canales, con un mínimo de etapas en cada filtro, por ejemplo, la diafonía (interferencia en un canal debido a otro) entre el canal No. 3 y el canal No. 4 depende del grado de atenuación de la frecuencia más alta del canal No. 3. Si el rango de audiofrecuencias es suficientemente limitado para un filtro pasabajos “agudo” antes de entrar al mezclador y al filtro de banda lateral, no será necesario filtrar las frecuencias altas especialmente, o sea, las más bajas en el espectro de la señal mezclada, debido a que simplemente ellas “no existan” en la señal de entrada al filtro

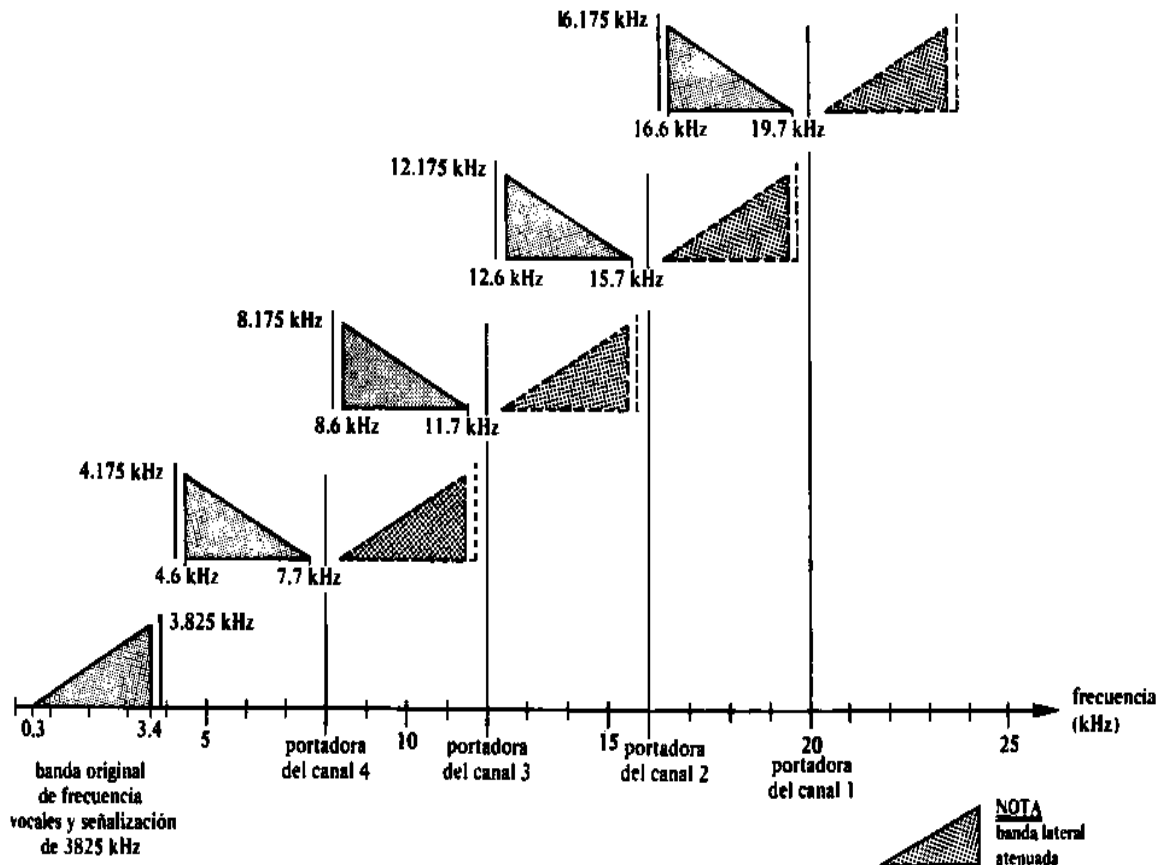


FIGURA 3.8: Estructura y formación de un subgrupo

Con respecto a la diafonía del canal No.4 al canal No.3, la situación no es buena; debemos atenuar las bandas laterales producidas por las señales de frecuencia más baja en el rango de audio, usando sólo el filtro del módem de canal, cuando tenemos disponible un rango de separación de sólo 700Hz (en el cual la atenuación debe cambiar de 3 db a aproximadamente 70 db). A pesar de que los requerimientos del filtro son difíciles, esta ejecución puede lograrse con un grupo de filtros denominado “elíptico”, que contiene características de filtros de Cauer, Chesbyshev, etc. Vemos por lo tanto que el “plan de frecuencia” mostrado en la figura 3.8 permite la división de los requerimientos de filtrado

del canal entre el filtro de entrada, cuya función es limitar el espectro de la voz de 300 a 3400 Hz, y el filtrado de banda lateral, el cual está ubicado después del mezclador en la unidad de módem. Como resultado, pueden usarse filtros de banda lateral más simples. Si se usa el método directo para la producción de la banda base, los pasos intermedios definidos no son necesarios.

3.2.9 Descripción de un módem de canal típico

La unidad de módem de canal recibe la señal de audio y el mando de transmisión de señalización, y los modula juntos, de acuerdo al plan de frecuencia mostrado en la figura anterior. En la vía de recepción realiza la función inversa de demodular la señal de audio del rango transmitido por el módem de subgrupo.

La señal de voz que viene de la unidad de terminación de línea pasa a través de un amplificador, que adapta los niveles de impedancias, y es aplicada al modulador balanceado, el cual recibe la frecuencia portadora del canal del sistema generador de frecuencia portadora. Se usan moduladores balanceados debido a la atenuación significativa de frecuencia portadora que puede lograrse.

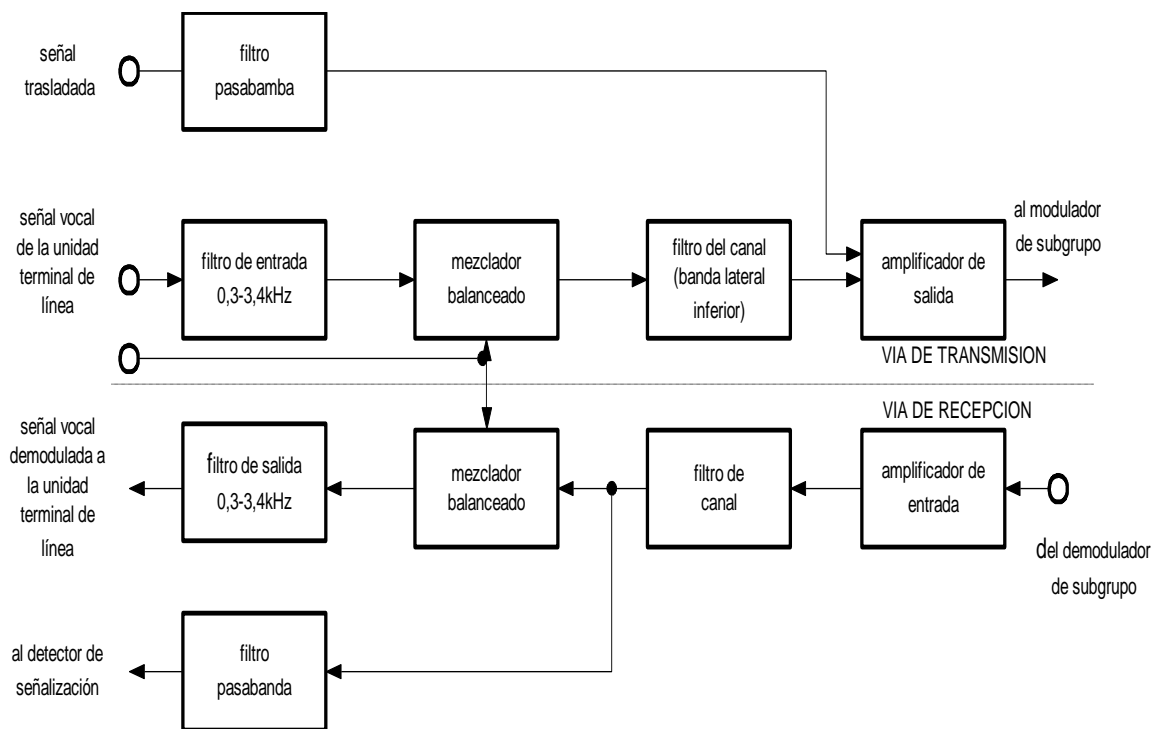


Figura 3.9: Estructura de una unidad de MODEM de canal

El rango deseado es seleccionado por el filtro de banda lateral, y es pasado a través de un amplificador a una unidad moduladora de subgrupo.

La frecuencia de señalización, después de ser pasada a través de un filtro de banda angosta, es sumada también a la entrada del amplificador. Su aparición depende de la operación del relé R2, por la unidad de terminación, este relé puede ser también un circuito de conmutación electrónico.

Los amplificadores a la entrada y salida de la unidad son usados también para asegurar el flujo de la señal en la dirección deseada; dado que tanto los filtros como los

mezcladores permiten el flujo de señal en ambas direcciones, y que la salida de la unidad está conectada junto con las salidas de las otras tres unidades, habría un peligro bastante real de aparición de señales indeseadas en la entrada de la unidad moduladora, sino fuera por los amplificadores unidireccionales.

En la vía de recepción hay un filtro después del amplificador de entrada, para separar el rango de frecuencia del canal del amplio espectro que aparece en la salida del demodulador del subgrupo. Este filtro es completamente idéntico al filtro de la vía de transmisión de la unidad.

El segundo mezclador balanceado, que es alimentado con la misma frecuencia portadora que el mezclador que sirve como modulador, demodula la señal. La banda lateral deseada - la señal de voz - es siempre la inferior y por lo tanto, la salida debe ser pasada a través de un filtro pasabajos (hasta 3.4 KHz) el cual es idéntico al de la vía de transmisión.

La frecuencia de señalización es separada a la salida del filtro de banda lateral y pasa por detección. Esta es solo una de las posibilidades que puede ser usada; la separación puede ser hecha también en el filtro del mezclador demodulador a una frecuencia de audio de 3825 Hz.

La unidad de módem es básicamente una unidad alineal ya que ejecuta la operación de mezclado en oposición a la unidad de terminación de línea, en la cual las señales pasan sólo por amplificación lineal. Se deben por lo tanto tomar medidas apropiadas en esta unidad para asegurar una linealidad razonable, con el objeto de reducir tanto como sea posible la distorsión de la señal transmitida.

Una de las formas comunes de lograr este objetivo es la reducción de los niveles a los cuales opera la unidad, a niveles mucho más bajos que el umbral de alinealidad.

El componente crítico desde el punto de vista de la distorsión es el mezclador balanceado, el cual contiene diodos; un voltaje pico de 1.5 V causa la completa conmutación de los diodos y por lo tanto, perturba la operación de mezclado. Para que el mezclador opere bien, éste debe ser alimentado con señales de menos de 100mV pico a pico, aún si la señal de entrada al canal es mayor.

3.2.10 Unidad de Módem de Subgrupo

Esta unidad toma la salida de cuatro canales de audio y los lleva a la frecuencia final, en el marco del grupo básico.

En una operación de multiplexado con el método de subgrupos, hay tres subgrupos, sus frecuencias portadoras son: 88.72 y 56 KHz. Cada Subgrupo ocupa un rango de frecuencias de 16 KHz, y se necesita un total de 48 KHz para manejar los tres subgrupos.

Examinaremos primero el plan de frecuencia del subgrupo el cual veremos en la figura 3.10

Después del proceso de mezclado, utilizado para la translación de subgrupos, se toma la banda lateral superior y se atenúa la banda lateral inferior. Hay un traslapado entre las bandas laterales atenuadas y las deseadas, pero este traslapado es parcial, y se puede por lo tanto obtener buena separación.

El filtro del grupo básico ubicado en otra unidad del multiplexador se usa también para atenuar la banda lateral indeseada del subgrupo No 3.

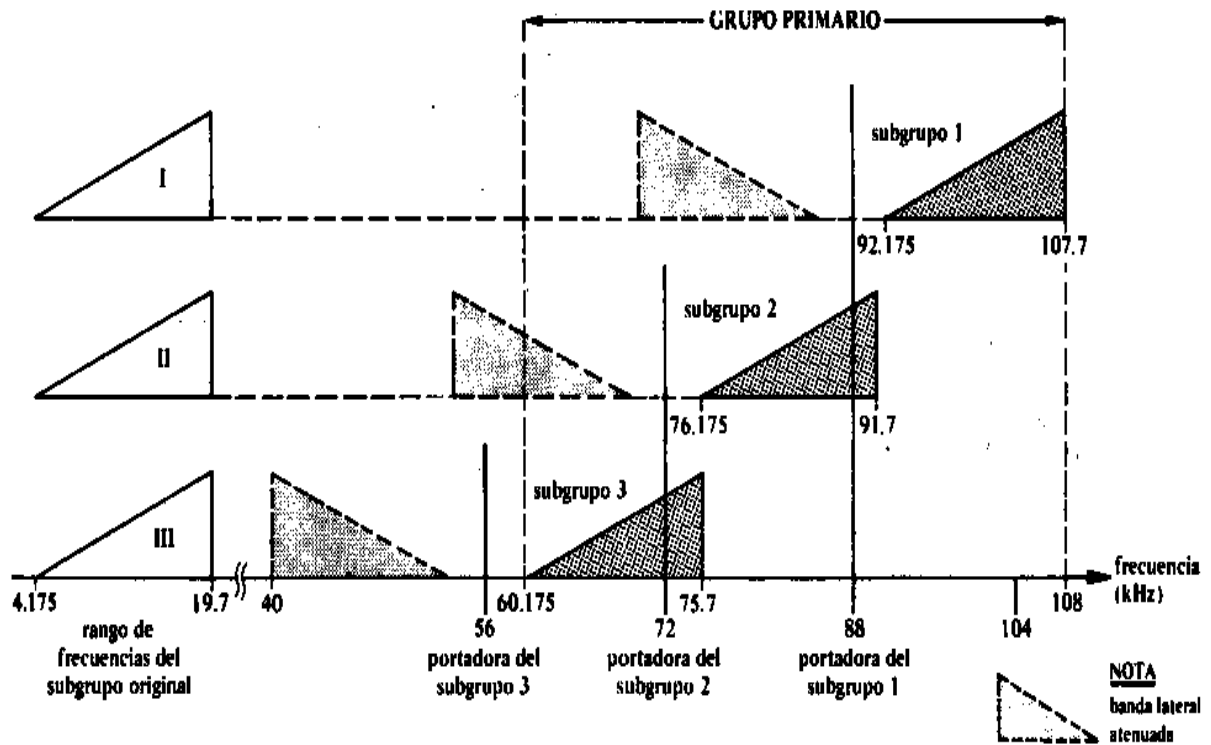


Figura 3.10 Plan de frecuencia para subgrupos

La estructura del módem de subgrupo es extremadamente similar a la del módem del canal; contiene dos mezcladores alimentados con la frecuencia portadora del subgrupo, y amplificadores y filtros usados para separar la banda lateral deseada. Las salidas de las vías de transmisión están conectadas juntas a la entrada de modulador de grupo, y en forma similar lo hacen las tres entradas en la vía de recepción.

3.2.11 Modulador de Grupo

El modulador de grupo es la unidad que determina el rango de frecuencias en el que será transmitido el grupo básico. Hay tres posibilidades de acuerdo a las normas:

- a) El rango normal (denominado B), 60 a 108 KHz.

- b) El rango inferior (denominado A), 6 a 54 KHz. Este es producido mezclando del grupo básico con una frecuencia de 114 KHz y filtrando la banda lateral inferior. El resultado es un descenso al rango mencionado arriba, y una redistribución de los canales en orden ascendente, el canal No 1 a la frecuencia de 6KHz y el canal No 2 a 54 KHz). El rango A se usa para transmitir al grupo en un enlace de radio, el cual debe tener un ancho de banda tan angosto como sea posible.
- c) Rango A:12 a 60 KHz. Este es producido mezclando el grupo básico con una frecuencia de 120 KHz, y filtrando la banda lateral inferior.

Este rango de frecuencia es apropiado para la transmisión de un grupo de 24 canales por un enlace de radio. Entonces el rango entre 12 y 108 KHz es usado en forma continua, y un canal de servicio y/o módems digitales pueden ser “ implantados” en los 12 KHz vacantes en el extremo inferior del espectro.

La función del modulador de grupo es realizar filtrado adicional del rango de frecuencia del grupo, y permitir traslación de frecuencia a uno de los rangos - A o A* - de acuerdo a la frecuencia producida por el generador de frecuencia portadora.

En la vía de recepción, la unidad realiza la operación inversa. La estructura del modulador es idéntica a la del modulador del subgrupo.

3.2.12 El Amplificador de Grupo

El amplificador de grupo es la unidad que adapta los niveles entre el multiplexador y el equipo de radio (o amplificadores de línea) usado para la transmisión entre las distintas estaciones.

Los mezcladores del modulador operan a muy bajos niveles, para asegurar un

mínimo de distorsión e interferencia entre los canales. En general, los niveles requeridos en una entrada de radio son más altos que los niveles internos del multiplexador, y así son los niveles en su salida. Se concluye que todos los niveles de salida del modulador de grupo deben ser amplificados, dando la posibilidad de ajuste fino del nivel de la señal (en un rango particular y alrededor del nivel de salida deseado), mientras que en la vía de recepción (en la mayoría de los casos) se requiere atenuación manteniendo la posibilidad de regular el nivel deseado.

A diferencia del caso de transmisión por radio, cuando se usa transmisión por líneas puede haber amplias variaciones en el nivel de salida del enlace, debido a cambios en la atenuación del cable que conecta los dos extremos; también existen cambios periódicos en la atenuación como resultado de la diferencia de temperatura entre el día y la noche, y entre las estaciones. Para compensar estos cambios se necesita un circuito de control automático de nivel (CAN), lo que no se requiere nunca para equipo de radio.

Vemos por lo tanto, que el amplificador de grupo para enlaces (físicos) por línea es un circuito bastante complicado por lo menos en lo que refiere a la vía de recepción.

En la figura 3.11 muestra un sistema completo incorporado en el multiplexador y que usa un amplificador como este:

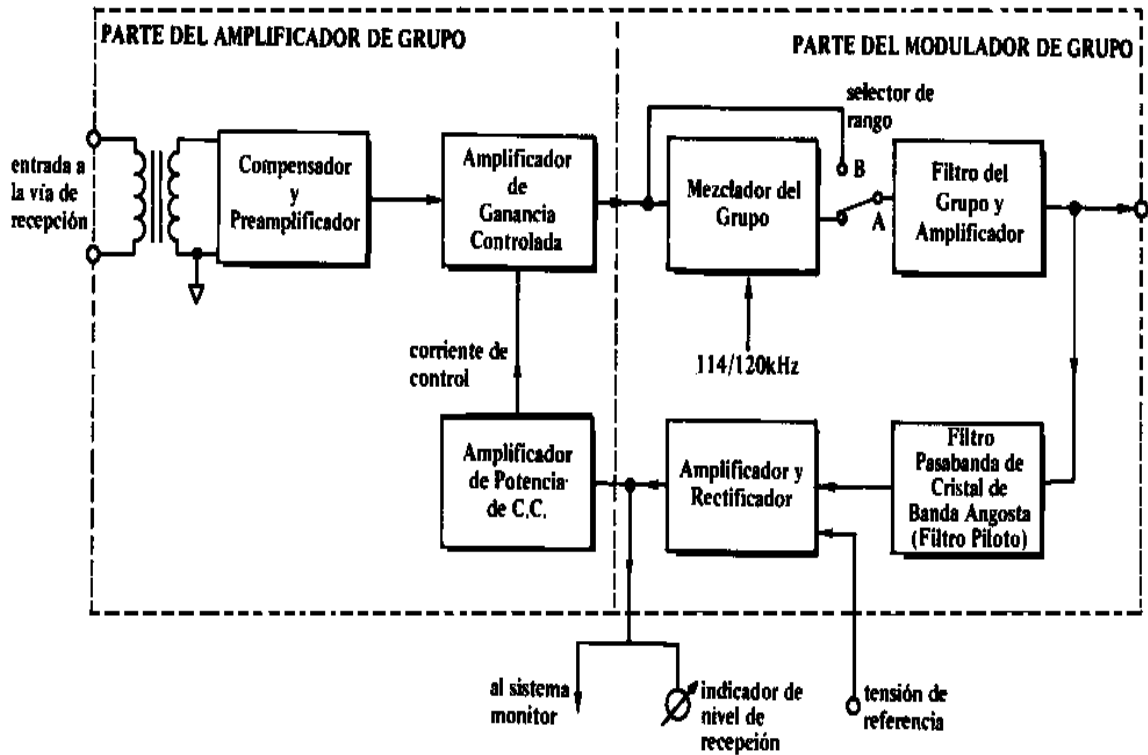


Figura 3.11 Sistema CAN

3.2.13 Sistema de Generación de Frecuencia Portadora

Uno de los sistemas más importantes en el multiplexador es el sistema que suministra las frecuencias portadoras. Este sistema suministra las portadoras para los canales, los subgrupos y el grupo, así como los tonos pilotos y de señalización.

Los requerimientos de este sistema son muy severos; la exactitud requerida es mayor que 10 partes por millón, bajo todas las combinaciones de temperatura y voltajes de alimentación, este comportamiento debe mantenerse con alta confiabilidad por más de decenas de años.

Para demostrar el principio, mostraremos un ejemplo del método empleado para la producción de frecuencias, basado en métodos modernos (osciladores a cristal, divisores de frecuencia y lazos de fijación de fase).

Antes de comenzar a explicar el sistema, mencionemos los conceptos básicos en que está basado:

a) Oscilador a cristal: Un oscilador construido en base a un cristal de cuarzo, que sirve como resonador y determina la frecuencia de oscilación.

El cuarzo (SiO_2) es un material rígido con propiedades piezo-eléctricas, es decir, cuando se le aplica presión se genera una carga, a través de él e inversamente, al conectar un voltaje a su través se produce un leve cambio en sus dimensiones. Cuando se corta un trozo de cuarzo con forma y dimensiones particulares, y se aplica un campo eléctrico periódico (voltaje de CA), éste comienza a oscilar como un diapasón al aplicar un campo cuya frecuencia es igual a la frecuencia de oscilación natural del trozo de cristal (el tono obtenido al golpearlo) se produce la amplificación de las oscilaciones con gran intensidad, precisamente como un circuito resonante. Cuando el cristal de cuarzo es montado correctamente, se produce un circuito resonante con excelentes características, es decir muy buena estabilidad de frecuencia y Q (factor de calidad) extremadamente alto. Es posible por lo tanto construir osciladores con excelentes características.

La construcción del oscilador a cristal es idéntica a la de uno común con circuito resonante de condensador - bobina, pero siendo estos últimos dos componentes reemplazados por el cristal.

Como es usual el amplificador es usado para compensar las pérdidas y la realimentación positiva es determinada por el resonador, estando presente sólo en una banda de frecuencia extremadamente angosta alrededor de la frecuencia de oscilación

natural del cristal. Debido a las propiedades del material es conveniente construir un oscilador a cristal para frecuencias en el rango de 1 a 10 MHz, donde se obtienen los mejores resultados.

b) Oscilador a cristal controlado por voltaje: en un circuito resonante común, se varía la frecuencia resonante cambiando la capacidad; lo mismo se hace en el circuito oscilador a cristal. La frecuencia de oscilación puede variarse en un rango estrecho cambiando la capacidad en serie con el cristal. La variación obtenida es aproximadamente de 0,01%. Para la capacidad variable, podemos usar un pequeño condensador (generalmente alrededor de 32 pF), el cual es variado manualmente, o un diodo de capacidad variable (varactor), cuya capacidad cambia de acuerdo al voltaje inverso que se le aplica. En el último caso podemos variar levemente la frecuencia de oscilación electrónicamente, sin perder las cualidades especiales del oscilador (estabilidad y precisión).

c) Divisor de frecuencia : Este es un circuito electrónico digital compuesto por flip-flops y compuertas el cual genera un pulso de salida por cada N de pulsos que aparecen en la entrada. El circuito completo es producido generalmente en una pastilla de silicio, en forma de circuito integrado.

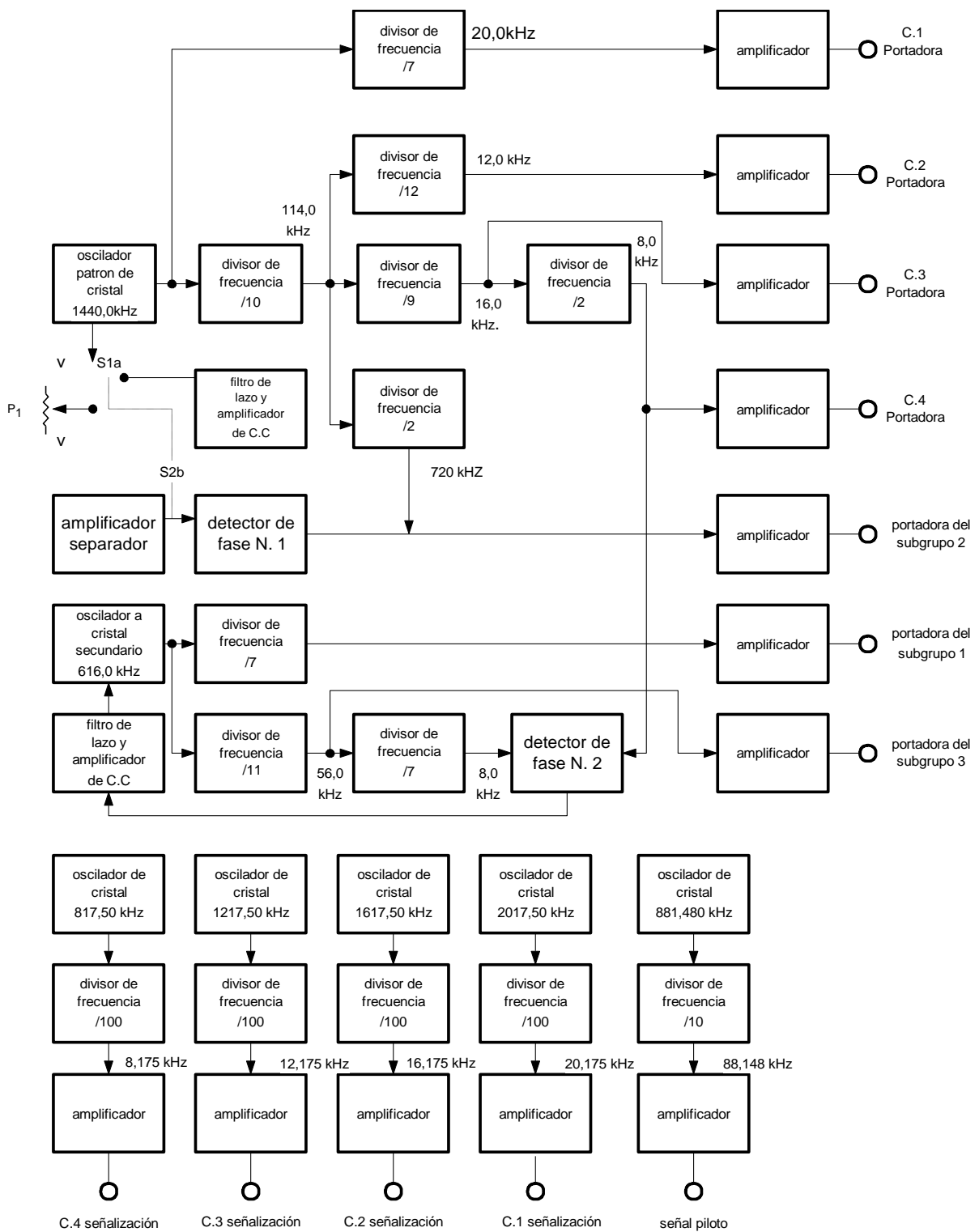


Figura 3.12 Sistema generador de frecuencia portadoras, señalización y tono piloto

d) Discriminador de fase : este es un circuito electrónico que genera un voltaje de CC directamente proporcional a la diferencia de fase entre dos señales de la misma frecuencia aplicadas a sus entradas. Un circuito como éste puede ser construido de varias maneras, algunas digitales y otras analógicas.

e) Lazo de fijación de fase: este circuito construido a partir de un oscilador controlado por voltaje y un discriminador de fase que suministra al oscilador controlado por tensión de voltaje de control. Su conexión está hecha de modo de lograr realimentación negativa: es decir cuando la frecuencia de entrada es suficientemente cercana al oscilador, el voltaje de control producido por el discriminador de fase es tal que causa la generación, por parte del oscilador controlado por voltaje, de una señal cuya frecuencia es idéntica a la de la señal de referencia. Para lograr mayor sensibilidad, se agrega en general un amplificador de CC entre el discriminador de fase y el oscilador controlado por voltaje. Se agrega también un filtro pasabajos con el propósito de atenuar ruidos y frecuencias indeseables que aparecen a la salida del discriminador de fase, además del voltaje deseado.

Una forma especial y muy interesante de lazo de fijación de fase se obtiene cuando se inserta un divisor de frecuencia entre la salida del oscilador y el discriminador. Como resultado de esto, el discriminador de fase genera un voltaje proporcional a la diferencia de fase entre la frecuencia del oscilador dividida por N y la frecuencia de referencia. La acción correctora del lazo, causa que las dos señales estén en fase. El resultado es que en equilibrio (fijado), el voltaje de control es tal que hace que el oscilador oscile a una frecuencia exactamente igual a N veces la frecuencia de referencia. Con este método pueden generarse nuevas frecuencias, donde la relación entre ellas y una frecuencia denominada frecuencia de referencia es constante.

El sistema indicado en la figura 3.12 consta de tres partes principales:

- a.- El oscilador principal que genera la frecuencia de la cual se obtienen todas las frecuencias portadoras de canal, y su lazo de fijación de fase, el cual posibilita la fijación a una frecuencia de referencia externa.
- b.- El oscilador secundario, cuya fase está fijada a la del oscilador principal y del cual se derivan las frecuencias para las portadoras de los subgrupos 1 y 3.
- c.- Un grupo de osciladores independientes, para generar la frecuencia de señalización y el tono piloto.

3.2.14 Sistema de Supervisión e Indicación del Multiplexador

La función de este sistema es supervisar la operación correcta del equipo, dar indicaciones en el caso de una falla y simplificar al operador la supervisión y las operaciones de prueba del multiplexador. El sistema está formado generalmente por varias unidades:

- a.- Canal de servicio del operador.
- b.- Generador de frecuencia de prueba (generalmente 1 KHz) y un sistema de medida de nivel de AF y HF (alta frecuencia - el rango de frecuencias a la salida del multiplexador).
- c.- Sistema de alarma y de indicación de fallas, para fallas en la operación de sistemas esenciales del multiplexador.

El canal del operador - como su nombre lo indica - posibilita al operador mantener conversaciones de servicio con la central del otro extremo y con los abonados conectados a los canales del multiplexador en ambos extremos, cercano y lejano, necesario para la

coordinación de la operación del equipo, prueba de calidad de comunicación con los abonados y coordinación entre operadores cuando se localizan fallas.

El canal de servicio tiene dos funciones una es operar con el canal de servicio en el extremo opuesto, siendo el rango de frecuencias asignado a este canal el rango más bajo.

La segunda función del canal de servicio es la prueba de la comunicación con los abonados ; para este propósito el teléfono del canal en servicio debe poder ser conectado a cualquier abonado.

El sistema generador de pruebas opera de una manera similar a la de la conexión de un generador externo de AF a cada canal y la medición de los niveles obtenidos. Las funciones provistas comúnmente son :

- a.- Medida del nivel de salida del generador de señal de prueba.
- b.- Conexión del generador de prueba en vez del abonado cercano(durante esta prueba esté será completamente desconectado) y medición del nivel de salida en el lado HF (después del multiplexado) causado por la señal de prueba. Es claro que esta prueba puede ser realizada si no hay tráfico en ningún otro canal ; de otro modo su salida aparecerá en la salida de HF junto con la señal deseada.
- c.- Conexión de un voltímetro a la salida de AF de los canales, siendo la señal de prueba enviada desde el extremo opuesto. Esta prueba es necesaria para verificar que la atenuación a través de los multiplexadores y del enlace que los conecta está en el rango permitido.
- d.- Uso del voltímetro para la medida de distintos niveles en los puntos importantes que indican que el multiplexador está operando correctamente.

El sistema de alarma e indicación contiene circuitos de supervisión, distribuidos entre los circuitos principales del multiplexador. Estos circuitos de supervisión miden

continuamente voltajes característicos y cuando estos voltajes se desvían de los rangos permitidos activan un zumbador y lámparas indicadoras.

Algunas veces las operaciones de alarma son acompañadas por operaciones activas, por ejemplo, si hay una fuente de poder de reserva, cuando se descubre una falla en cualquier voltaje de la fuente de poder principal, la fuente de reserva reemplaza a la principal automáticamente.

3.3 Estructura de Multiplexadores de Alto Nivel

Las normas internacionales fijan la frecuencia y los planes del multiplexado para producir grupos de muchos canales, para su transmisión a través de un cable o un enlace de radio. Estos planes son construidos alrededor de múltiplos de 60 canales, y hay varios grupos muy comunes que han recibido nombres definidos.

3.3.1 Formación de un Supergrupo

Se acostumbra a llamar a la operación de formar el grupo básico de 12 canales, una operación de primer orden. Una operación de segunda orden es usada para formar el supergrupo de 60 canales, multiplexando cinco grupos básicos. La figura 3.13 muestra el plan de frecuencia para el supergrupo y el método recomendado para reproducirlo con el multiplexador apropiado.

Los tonos pilotos que pueden usarse en un supergrupo son 411.680, 411.920 ó 547.920 KHz. La selección de la frecuencia depende de la selección de los pilotos para la regulación de los grupos básicos, ya que después de la traslación de frecuencias, alguna de las frecuencias se traslapan (o son demasiado cercanas para permitir separación adecuada).

Para permitir la transmisión a través de cables o enlaces de radio cuyos anchos de banda son limitados, se acostumbra (como en el caso del grupo básico) a realizar la traslación de las frecuencias del supergrupo al rango más bajo: 12 a 252 KHz.

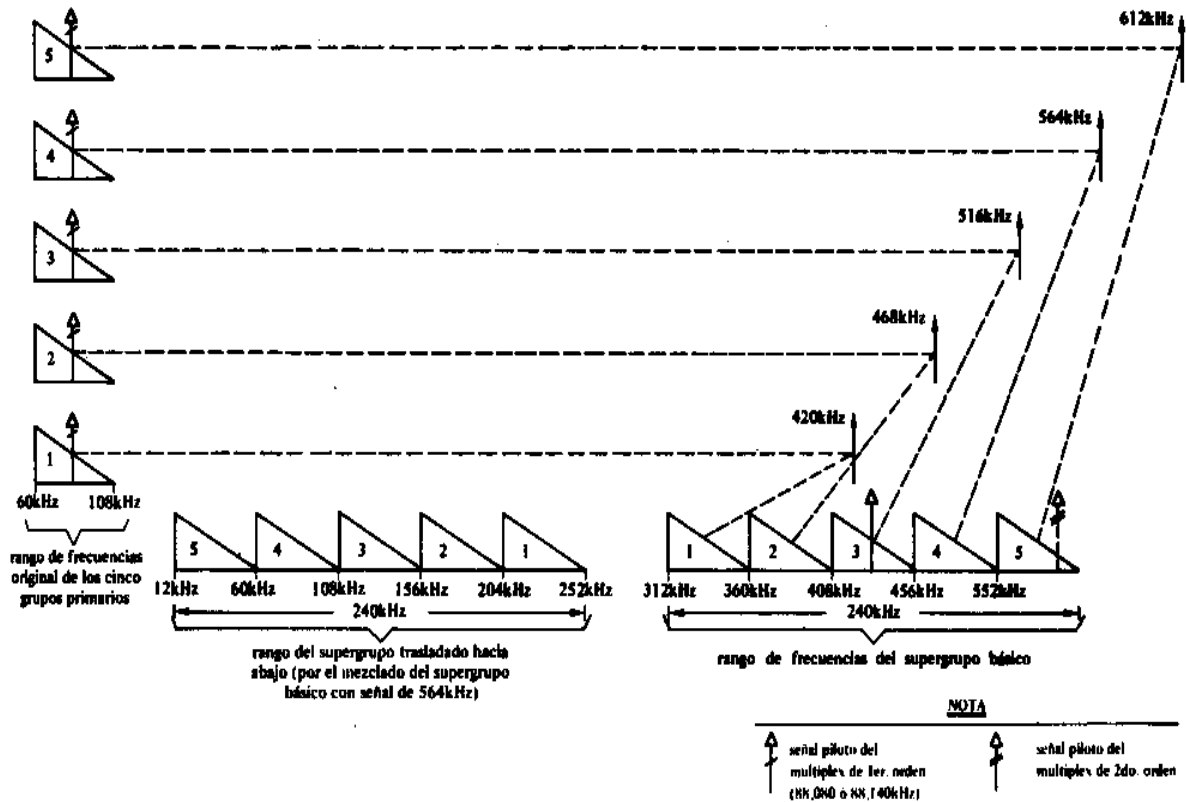


Figura 3.13: Producción de un supergrupo de 60 canales

3.3.2 Formación de 300 canales (Grupo Maestro Básico)

El multiplexado de tercer orden standard se obtiene multiplexando 5 supergrupos para formar un grupo de 300 canales, que ocupa el rango de frecuencia de 812 a 2044 KHz. En la figura 3.14 se indica el método para formar el grupo

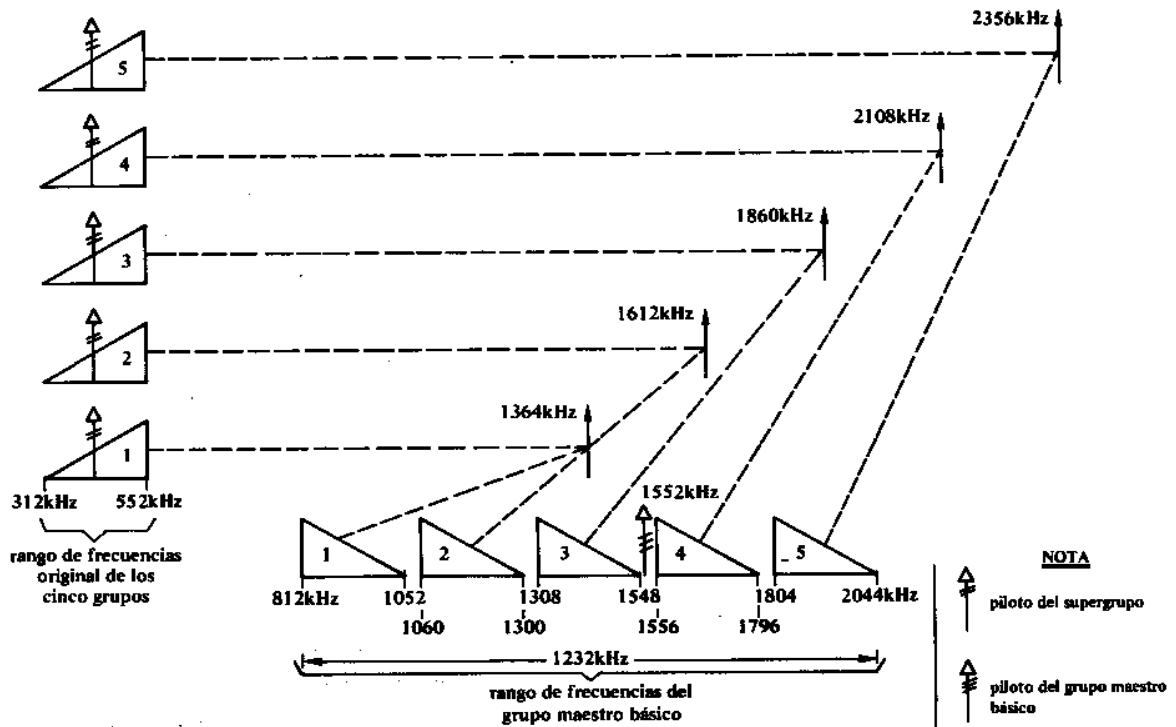


Figura 3.14 Formación de un grupo de 300 canales (grupo maestro básico)

3.3.3 Formación de un Grupo de 900 Canales (Grupo Supermaestro Básico)

Este grupo se forma multiplexando 3 grupos maestros, ocupa el rango de frecuencia de 8516 a 12.388 KHz.

El grupo de 900 canales puede ser formado también en el rango de 312 a 4028 KHz sumando directamente 15 supergrupos. Esto es conveniente y útil para la transmisión por radio o por línea o para formar un grupo de 800 canales, sumando 900 canales en el rango superior con 900 canales en el rango inferior. Es posible también formar un grupo de 1700 canales que contiene otros 900 canales en la región entre 4028 y 8516 KHz. Ver en la figura 3.15

Debe hacerse notar que la formación standard de más alto nivel es de :

$4 * 2700 = 10.800$ canales.

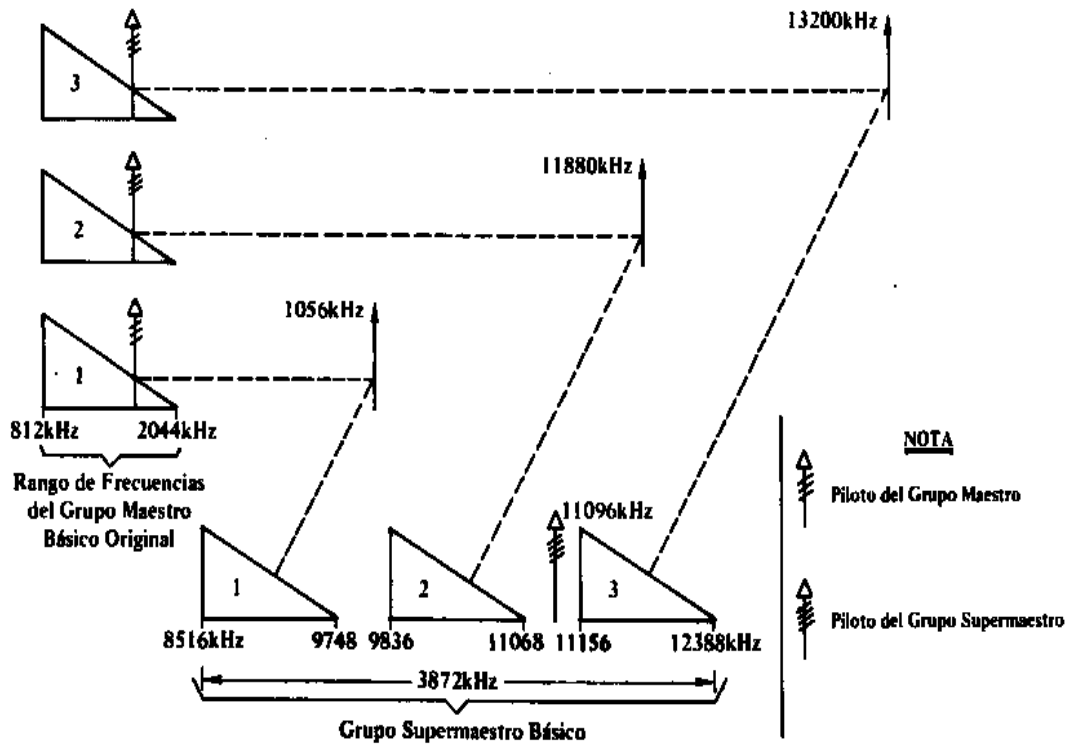


Figura 3.15 Construcción de un grupo de 900 canales

3.3.4 Plan de Frecuencia para Transmisión por Cable

Cuando se deben transmitir grupos de canales a través de cables (o a través de enlaces de radio), las distintas formaciones de canales descritas más arriba deben ser trasladadas en frecuencia a las frecuencias más bajas que pueden lograrse técnicamente. La razón de esto deriva de las propiedades del cable, el cual actúa como un filtro pasabajos y atenúa significativamente las frecuencias altas, tanto en forma absoluta como con respecto a las frecuencias bajas. Se acostumbra a transmitir los grupos de 60 canales en el rango de 12 a 252 KHz y a construir formaciones especiales para el uso óptimo del rango transmitido por ejemplo, un grupo de 120 canales ocupará el rango de 12 a 552 KHz y será

formado sumando dos supergrupos, uno en el rango ordinario, y el otro en el rango inferior.

Se acostumbra a clasificar los sistemas de transmisión de acuerdo al ancho de banda que puede obtenerse en la operación con un cable dado. Por ejemplo, con un cable coaxial de diámetro de 2.6/9.5 mm. (diámetro interno/ externo de los conductores), pueden construirse sistemas con un ancho de banda de 6 MHz. En este caso, la distancia entre los amplificadores que deben ser instalados a lo largo de la línea es relativamente pequeña un amplificador cada 1.5 Km. mientras que si un ancho de banda de 6 MHz es suficiente, la distancia entre los amplificadores puede aumentar a 9.0 a 9.7 Km. reduciendo por lo tanto, en gran medida, el costo del sistema. Los grupos acostumbrados con un cable de 2.6/9.5 mm.

Este cable es definido por normas internacionales y fabricado por un gran número de fabricantes que aparecen en la tabla 3.1.

Ancho de banda del sistema(MHz)	4	6	12	60
Distancia entre repetidoras (Km.)	aprox. 9	aprox. 9	aprox. 9	aprox.1.5
Capacidad de transmisión del sistema (canales de voz o canales de televisión	16 supergrupos (960 canales) en el rango de 600-4028KHz o canal único de televisión de 3 MHz	16 supergrupos (900) canales o canal único de televisión de 5 MHz	40 a 45 supergrupos(2400 a 2700 canales) o canal de televisión de 5 MHz y 15 supergrupos (900) canales	Hasta 180 supergrupos (10.800 canales)

Tabla 3.1 Capacidad del cable coaxial de 2.6 / 9.5 mm.

Además del cable de 2.6/4.4 mm. , el cual es un cable muy caro y complejo, se acostumbra a usar un cable standard definido como 1.2/4.4m.m .Su ventaja es que un gran número de estos cables pueden ser unidos con una envoltura protectora común produciendo un cable que es capaz de llevar un gran número de circuitos paralelos (entre dos puntos), instalados simultáneamente, con una inversión de infraestructura dada (excavación, preparación de perforaciones de acceso, instalaciones, etc.) Las propiedades de este cable limitan su operación a 12 MHz con amplificadores espaciados aproximadamente cada 2Km . Otros sistemas de menor capacidad que emplean este cable son: 6MHz . Con espaciamiento de 3Km ,4MHz con espaciamiento de 4Km y 1.3 MHz con espaciamiento de 6 u 8Km entre los amplificadores a lo largo de la línea . La capacidad de transmisión de estos sistemas es idéntica a la de los sistemas con ancho de banda correspondiente en un cable de 2.6/9.5mm.

En resumen, hagamos notar que los sistemas de radio especiales destinados a transmitir grupos de canales poseen propiedades idénticas (desde el punto de vista del ancho de banda) a los sistemas de cables descritos anteriormente, ya que ellos son a menudo conectados en tandem para cubrir una distancia determinada.

3.3.5 La Estructura de un Multiplexador de Supergrupo Típico

Para permitir la mejor comprensión de los problemas de los problemas involucrados en el multiplexado a altos niveles, estudiaremos la estructura de un multiplexador de supergrupo típico (60 canales).

El multiplexador contiene una vía de transmisión y una de recepción, cada una de las cuales es capaz de multiplexar / demultiplexar 5 grupos básicos de 12 canales cada uno ocupando el rango de 60 a 108 KHz.

La vía de transmisión para cada grupo básico comienza con un transformador híbrido, lo que permite la inyección de señales para la prueba de operación correcta, a frecuencias y niveles determinados por el usuario, logrando al mismo tiempo un grado de aislación entre la vía principal y la vía de prueba. La señal es amplificada por un amplificador cuya ganancia puede ser variada en incrementos finos. La banda lateral inferior llega a través de un filtro pasabanda a un amplificador sumador el cual combina las señales de salida de los cinco grupos, cada uno trasladado en frecuencia al rango apropiado.

Después de la suma, la señal pasa por otro transformador híbrido, en el cual se inyecta la señal piloto seleccionada cuya frecuencia puede ser 411.920 o 547.920 KHz. La señal es amplificada y aplicada al equipo de línea o de radio a través de un transformador de medición el cual permite la medida del nivel de la señal a la salida de la vía de transmisión.

En la entrada de los grupos 3 y 5, deben agregarse filtros de rechazo para frecuencias de 104.080 y 64.080 respectivamente. La razón para esto es que la frecuencia de 104.080 KHz, es trasladada mezclándola con la portadora del tercer grupo a una frecuencia de 411.920 KHz, la cual es una de las frecuencias piloto recomendadas para supergrupo. La frecuencia de 64.080 es trasladada mezclándola con la frecuencia portadora del quinto grupo a 547.920 KHz, la cual es también una frecuencia piloto standard de supergrupo. Dado que la frecuencia piloto de supergrupo se usa siempre para asegurar la exactitud de los niveles, al pasar por los cables no se puede aceptar batido entre las dos frecuencias, ya que este batido causaría variaciones periódicas en los niveles de supergrupo. Para impedir este fenómeno se usa el filtro supresor de banda para atenuar la señal que podría crear la interferencia potencial. El mismo efecto puede producirse en la

vía de recepción pero acá la interferencia será transferida al grupo básico lo que es también indeseable.

En la vía de recepción se encuentran los mismos circuitos: primero el transformador de medición y luego un amplificador, el cual excita el divisor de potencia. La banda seleccionada es mezclada con la portadora de grupo apropiada, en un modulador balanceado, y la banda lateral inferior pasa a través de un filtro pasabajos el cual asegura que las interferencias de alta frecuencia, no lleguen a la entrada de los multiplexadores de primer orden.

La señal de salida del filtro pasa a través de un transformador de medición, lo que permite medir la operación correcta, y la señal es aplicada al multiplexador correspondiente.

El nivel de salida de cada grupo puede ser ajustado en incrementos finos, cambiando la ganancia del amplificador que excita al mezclador balanceado de cada grupo.

3.4 Equipo de Transmisión

El propósito principal del multiplexador es permitir la transmisión económica y efectiva del mayor número posible de canales telefónicos entre lugar y lugar. Esto es fácil de captar cuando se considera el hecho de que un multiplexador puede agrupar juntos hasta 10.800 canales y transmitirlos a través de un único cable o por radio a través de una distancia de miles de Km. Si estuviéramos forzados a transmitir cada canal en un cable, llegaríamos a sistemas caros y enormes, requiriendo miles de toneladas de material para fabricar los cables, requiriendo grandes excavaciones y sería muy poco confiable.

Hay varios métodos usados comúnmente para la transmisión de los grupos de canales formados por multiplexadores:

La transmisión por cable (generalmente subterráneo) es el método más común y el preferido.

La transmisión mediante equipos de radio especiales con ancho de banda apropiados, los cuales operan en la región de las microondas (actualmente de 0.5 GHz, pero existen planes de operación a frecuencias aún mayores). La transmisión por radio es común cuando es imposible hacer la excavación y proveer caminos de acceso al cable, como en el caso de áreas desérticas o regiones frías o montañosas. Hay varias posibilidades para la transmisión por radio:

Redes de equipo de microonda desplegadas en una línea entre los dos extremos del enlace, manteniendo la visual y con rangos de 30 a 50 Km entre las distintas estaciones en la cadena.

Estas distancias relativamente cortas son requeridas para asegurar comunicación buena y confiable durante todo el año y en todas las condiciones atmosféricas.

Equipo de dispersión troposférica - equipo de radio que opera en la región inferior de microondas y que comunica sobre grandes distancias (típicamente de 200 a 500 Km y algunas veces hasta miles de Km) sin estaciones intermedias. Con este equipo se transmite un haz de radio concentrado, de potencia muy alta, dirigido en un pequeño ángulo sobre el horizonte. En la estación opuesta, la cual no “vé” a la estación distante, se recibe la energía dispersada como resultado de la dispersión en las capas bajas de la atmósfera (debido a humedad, polvo, nubes, etc.). La calidad de la comunicación obtenida por este método es inferior a la de los sistemas de microonda standard de línea visual y el número de canales que pueden ser transmitidos es menor que en el caso anterior. Tiene la ventaja, sin embargo, de que no se requieren estaciones intermedias para cubrir amplias distancias.

Comunicación por satélite : En este caso la señal es transmitida a un satélite de comunicaciones ubicado encima de la estación terminal. Puesto que el satélite se encuentra en línea visual con las dos estaciones, pueden alcanzarse muy grandes distancias sin usar estaciones intermedias. El uso de este método está aumentado debido a sus ventajas inherentes.

En un futuro no distante, se anticipa el uso de otros medios especiales primeramente comunicación óptica: el uso de luz modulada en vez de ondas de radio para la transmisión de canales telefónicos. La comunicación óptica puede llevarse a cabo de dos maneras :

Mediante un haz propagado en el espacio vacío (o en el aire). En este caso, se usa como transmisor un láser, el cual envía un rayo de luz muy angosto e intenso, que puede atravesar grandes distancias sin divergencias y puede ser recibido con relativa facilidad. La desventaja de la transmisión es la gran sensibilidad a la lluvia, nieve, polvo y aún pájaros, los cuales pueden bloquear la línea de visión y causar la pérdida de la comunicación. En la práctica, excepto en casos especiales como las comunicaciones en el espacio exterior, éste método no es apropiado para la transmisión telefónica.

Mediante conductores de luz especiales llamados fibras ópticas. Estas fibras son hechas de vidrio muy puro a través del cual es radiado un rayo de luz de un diodo emisor de luz (LED) o un láser. El rayo es conservado en un pasaje a través de la fibra transparente, debido a las reflexiones en las paredes. Debido a la gran fortaleza del vidrio, estas fibras (cuyo diámetro es del orden de algunas decenas de micrómetros) son flexibles y no se rompen fácilmente. Es por lo tanto posible usarlos de una manera muy similar al uso de cables. En oposición a los cables, el ancho de banda de estas fibras es muy grande

(hasta 1000 MHz) y la atenuación en ellos puede ser extremadamente baja (tan baja como 0.5dB/Km), de modo que constituye un modo de comunicación prácticamente ideal.

Otro medio, similar en sus propiedades a las fibras ópticas es la guía de ondas, al cual es usada en vez de cable ordinario para la transmisión de un gran número de canales (varias miles o más), usando frecuencias muy altas (más que varias decenas de GHz). El diámetro de la guía de ondas requerida para la transmisión de microondas a estas frecuencias es muy pequeño y permite explotar el muy amplio ancho de banda que puede usarse a frecuencias de portadora tan altas (varios cientos de MHz), sin reducción del alcance obtenible.

Como se sabe frecuencias de varios GHz o más, la propagación de las ondas de radio es similar a la de la luz y no es confiable por lo tanto cuando se hace a través de la atmósfera.

Las guías de onda permiten concentrar la energía transmitida en un espacio pequeño bajo condiciones controladas, lográndose por lo tanto atenuación muy baja. Es decir que en el rango en el que puede transmitirse sin necesidad de estaciones intermedias aumenta. La guía de ondas combina por lo tanto las propiedades del cable ordinario con las características de los sistemas de radio de manera óptima y permite la transmisión de anchos de banda muy amplios a través de distancias relativamente grandes ; esto no puede hacerse con un cable ordinario (ni aún con cables especiales para este propósito).

El método descrito arriba complementa la transmisión por cable coaxial ordinario, el cual es hoy en día el método más común usado en la mayoría de los enlaces de comunicación.

3.5 Características de Cables para Transmisión Multicanal

Los cables para transmisión multicanal fueron desarrollados gradualmente, junto a la transición a los cables subterráneos. (En un comienzo las líneas telefónicas eran tendidas en pares de alambres de cobre descubierto, sujetos a postes. La impedancia característica de estas líneas era, con buena aproximación 600ohms. Y éste hecho es el que dictó el amplio uso de esta impedancia). Los cables subterráneos de “par retorcido” son hechos de muchos pares de alambres retorcidos en pares y aislados generalmente con papel uno de otro y un par de otro. Cada par es retorcido en general aparte; esto causa buena aislación eléctrica entre los pares a bajas frecuencias, a pesar de su proximidad.

A pesar de que las características de transmisión de estos cables son buenas hasta varios cientos de kHz, esto no es suficiente para la transmisión de miles de canales. Para este propósito se desarrollaron cables coaxiales muy similares a los usados como línea de transmisión de radio frecuencias, pero su construcción ha sido cambiada para proveer mayor fortaleza. Su impedancia característica es de 75 ohms (con buena aproximación), en oposición a impedancias al rededor de 150 ohms que se obtienen con cables hechos de pares retorcidos.

Para posibilitar la operación del equipo fabricado en distintos países y por distintos fabricantes con cables de cualquier fabricante, se han definido las características requeridas de estos cables en recomendaciones del CCITT.

Los cables coaxiales más comunes son 1.2/44 mm y 2.6/9.5mm. El primero se usa generalmente en sistemas con un ancho de banda de hasta 12Mhz y el último hasta 60MHz.

La estructura de estos cables es la siguiente: un conductor interno de cobre blando de 1.2 ó 2.6mm. de diámetro, respectivamente, es rodeado por un aislador rígido (polietileno o similar) de 4.4 o9.5mm de diámetro exterior. El conductor exterior es

enrollado al rededor de este aislador y está echo de una cinta de cobre blando de 0.15 ó 0.25mm. de diámetro respectivamente. Esto es cubierto por otra capa aisladora. En el cable de 9.5mm. de diámetro exterior, es común agregar otro arrollado helicoidal abierto sobre el conducto exterior, hecho de dos cintas de acero blando muy delgado para agregar fortaleza mecánica al cable y para reducir al acoplamiento con otros cables en la misma trenza.

En el cable de pares retorcidos, se retuercen juntos grupos de cuatro conductores, donde cada par es retorcido separadamente y los pares retorcidos juntos nuevamente, resultando una estructura denominada “cuaterna en estrella”. Esta estructura asegura el mejor balance entre los distintos pares. El grosor del conductor puede ser 0.9,1.2 ó 1.3mm. y esto determina en gran medida la atenuación del cable. El tipo de aislación juega también un papel importante hoy en día pueden adquirirse cables con aislación estiroflex, siendo la atenuación de tales cables de 5 a 6 dB/Km. Más baja que la de los cables con aislación de polietileno. Estos cables mejorados permiten la operación de hasta a 552 KHz lo cual es equivalente a transmitir hasta 120 canales con un par.

Tipo de Cable	Atenuación (db/Km) vs. Frecuencia (MHz)									Diafonía (dB/km)	Zo (Ω)	Máxima cantidad de canales
	0.06	0.3	0.55	1.0	4.0	12	20	40	60			
Par retorcido 0.9 m	22.60	-	-	-	-	-	-	-	-	< 62	150	24
Par retorcido 1.2 mm	20.00	30.00	47.80	-	-	-	-	-	-	< 62	175	120
Par retorcido 1.3 mm	18.20	27.50	44.30	-	-	-	-	-	-	< 62	165	120
Coaxial 1.2/4.4mm	1.60	2.90	4.00	5.30	10.50	-	-	-	-	< 99	75	2700
Coaxial 2.6/9.5 mm	0.59	1.27	-	2.32	4.62	8.00	10.35	14.67	18.00	< 130	74.4	10800

Tabla 3.2 Propiedades de cables portadores.

Uno de los problemas más graves encontrado en el uso de los cables es la dependencia de la temperatura de la atenuación. Los valores que aparecen en la tabla 3.2 superior son para una temperatura de + 10° C. (la cual es típica para un cable enterrado en un suelo europeo). La atenuación aumenta significativamente con la temperatura, para un cable coaxial de 1.2/4.4mm el coeficiente de temperatura es de 2.8×10^{-4} /°C a la frecuencia de 60 kHz, y de 2×10^{-4} /°C. sobre los 500kHz (este coeficiente es aplicable también para el cable de 2.6/9.5mm.) Para lograr mejor comprensión de la influencia de esta variación.

Un sistema destinado a transmitir grupos de canales a través de cable contiene varios subsistemas:

Amplificadores finales relativamente espaciados (decenas de Km.). Su nombre implica que están ubicados en los extremos del cable.

Repetidores esparcidos a lo largo el cable a distancias relativamente cortas (algunos Km).

Medios de alimentación y supervisión, incorporados generalmente en los amplificadores finales.

3.6 Descripción de un Sistema de transmisión por cable multicanal.

Un sistema destinado a transmitir grupos de canales contiene varios subsistemas:

- Amplificadores finales relativamente espaciados (Decenas de Km). Su nombre implica que están ubicados en los extremos del cable.
- Repetidores esparcidos a lo largo del cable a distancias relativamente cortas (algunos Km).

- Medios de alimentación y supervisión, incorporados generalmente en los amplificadores finales.

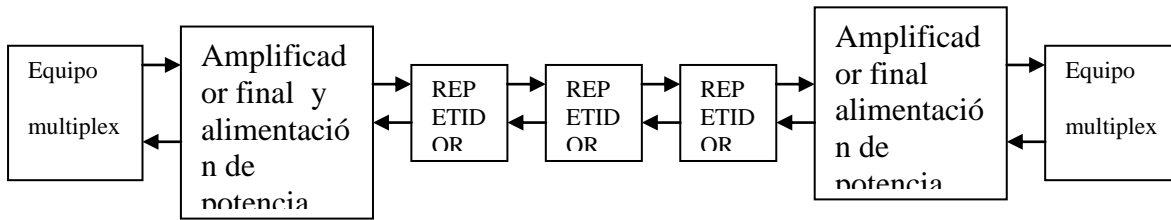


Figura 3.16. Estructura de un sistema de transmisión por cable.

3.6.1 Alimentación de los Amplificadores a lo largo del Cable y localización de fallas.

Los amplificadores finales contienen en general medios para alimentar y supervisar el funcionamiento adecuado de los repetidores. Los repetidores son alimentados a través del mismo cable.

Los repetidores son construidos en forma muy compacta y están encapsulados en envoltorios sellados, en los cuales el cable (conteniendo generalmente un gran número de cables coaxiales) penetra a través de una manga de conexión especial. Se acostumbra a construir los amplificadores que pertenecen a un circuito (de la vía de transmisión y recepción) como una unidad. El consumo de corriente de un repetidor es muy bajo algunas decenas de miliampers aún para un gran número de canales.

El método de alimentación es generalmente tal que se fuerza el flujo de la misma corriente a través de los repetidores (fuente de corriente constante), y es derivada de una fuente con alto voltaje de salida (ciento de volts) ubicada en el amplificador final.

Cada repetidor aplica la señal del amplificador a la línea (por un lado) y recibe la señal (del otro lado) a través de transformadores de línea especiales. El circuito de

alimentación típico se llama “alimentación a través de un circuito fantasma”, y se muestra en la figura 3.17

El término “circuito fantasma” nace del hecho de que el circuito principal “no se ve y no siente” la presencia del segundo circuito eléctrico, el cual es conectado a los dos pares coaxiales (o retorcidos) simultáneamente. La corriente en el circuito fantasma fluye simultáneamente en la misma dirección en ambos conductores del circuito principal, de modo que su efecto es cancelado. Los amplificadores son alimentados por el voltaje desarrollado a través de diodos zener (del orden de 9 a 12 volts) La corriente constante, aplicada a la línea al pasar a través del amplificador, se divide entre el consumo de corriente de sus circuitos electrónicos y el diodo zener, el cual deriva la corriente de exceso y permite, por lo tanto, la conexión en serie de los amplificadores.

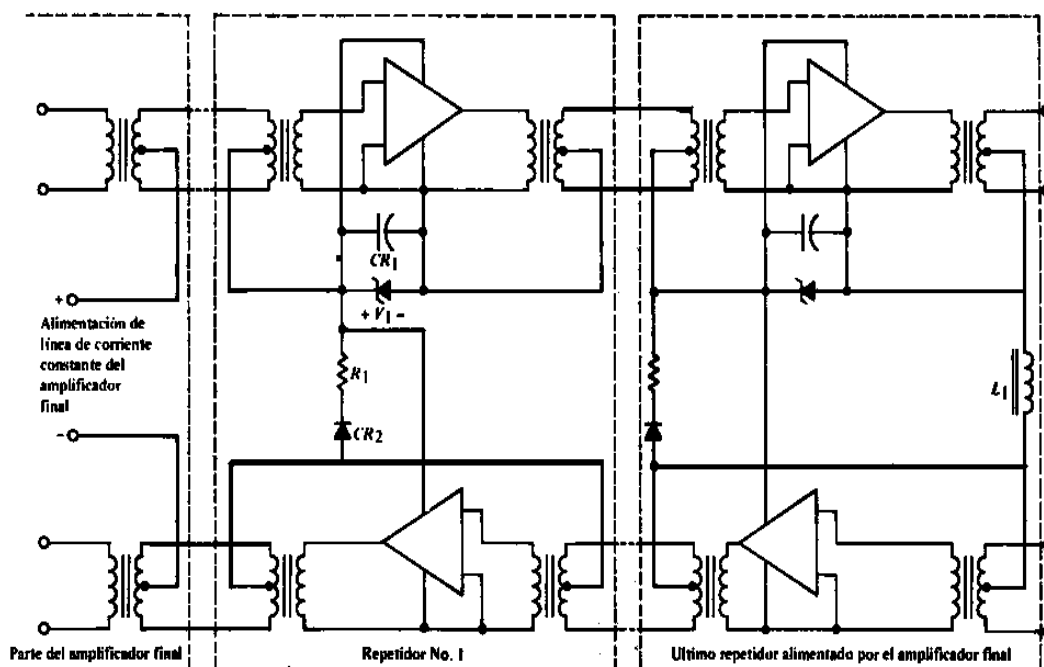


Figura 3.17. Método de alimentación de repetidores por corriente constante

El voltaje que aparece a través de la línea, es la suma de los voltajes requeridos para alimentar los amplificadores, más la caída de tensión a través de la resistencia óhmica de los cables coaxiales ; este voltaje puede llegar a varios cientos de volts.

A veces ocurren fallas en un cable o en amplificadores y éstas deben ser localizadas. Hay dos casos típicos: daño en él (desconexión del) cable o una falla en los amplificadores. Si se tienen que localizar una falla en los amplificadores, la supervisión se realiza mediante frecuencias especiales enviadas a través del circuito fantasma por cada amplificador.

Cada amplificador posee un oscilador, el cual genera una frecuencia característica, la que es enviada a la línea cuando éste está operando correctamente. Midiendo estas señales en la estación terminal es posible identificar cual amplificador es el que no opera correctamente. Comúnmente son provistas otras alarmas enviadas de los envoltorios que contienen a los amplificadores, entre las alarmas usuales están la pérdida de presión de aire y entrada de agua en el envoltorio. Cada envoltorio después de la instalación, es llenado con aire seco a una presión de alrededor de una atmósfera por encima del ambiente. La pérdida de presión de aire detectada por simples manómetros, indica una pérdida, la que puede causar la inundación o la entrada de humedad al envoltorio, dañando los amplificadores. La entrada de agua es detectada por un higrómetro ; su significado es que se debe prestar servicio urgente al amplificador.

Otro caso es cuando el cable se desconecta por daño físico ; entonces la alimentación a los amplificadores es interrumpida y debe usarse otro método para localizar la falla. La localización de fallas se lleva a cabo en dos etapas : primero se localiza la sección dañada y luego se envía un equipo de trabajadores al sitio para la ubicación exacta del lugar dañado.

La localización de la sección se hace invirtiendo la polaridad del voltaje aplicado a la línea. Para el circuito mostrado en la figura 3.17 se obtiene el circuito equivalente en la figura 3.18

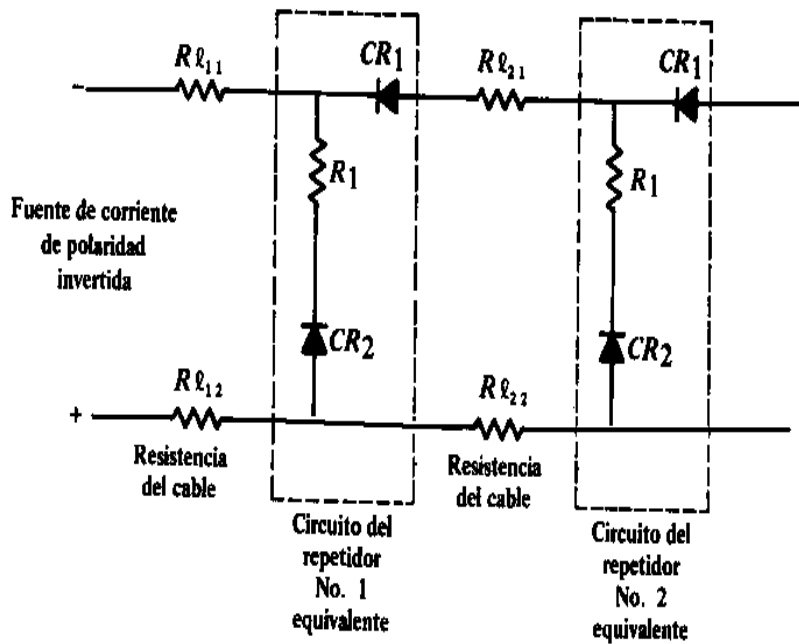


Figura 3.18 Circuito equivalente para el caso de un cable desconectado, alimentado por una fuente de polaridad invertida.

Se genera una red cuya resistencia equivalente depende del número de secciones hasta el punto de desconexión: parte de la corriente que entra a la línea circula a través de CR_2 y R_1 (los cuales son instalados en cada amplificador), hasta el último amplificador antes de la desconexión. Mediante cálculos (o calibración), se puede localizar la sección fallada, mediante la caída de tensión a través del cable (a la salida de la fuente de poder

del amplificador final), cuando la línea es alimentada con la corriente constante normal, pero con polaridad invertida.

Después de localizar la sección que contiene la falla se envía un equipo de reparación. Entonces, el cable es desconectado de la fuente de poder y una señal especial a una frecuencia de varios cientos de kHz es inyectada a través del circuito fantasma. Esta señal es radiada por el cable, como si fuera una antena. La señal no puede pasar el punto de la desconexión y por lo tanto, el punto del daño puede ser ubicado con gran exactitud caminando a lo largo del cable y rastreando la señal con un receptor adecuado.

3.6.2 El repetidor y los Problemas Hallados en su Diseño.

El repetidor es requerido para realizar dos funciones. La primera para compensar la curva de respuesta de la sección de línea que lo precede (la cual opera, como es sabido, como un filtro pasabajos, y la segunda para amplificar la señal, con el objeto de asegurar que llega a un nivel adecuado a la entrada de la próxima estación de amplificación.

El ajuste de la ganancia de cada amplificador depende, ante todo del largo de la sección que debe ser compensada.

La longitud de la sección es determinada por tres importantes parámetros :

La atenuación promedio.

La diferencia de atenuación entre el extremo superior y el inferior del rango de frecuencias transmitido.

Diafonía entre la vía de transmisión y la de recepción. La experiencia práctica en el diseño de sistemas de cables, indica que el factor de mayor influencia en la selección de la longitud de una sección de cables entre dos amplificadores es la diafonía.

Diafonía es el acoplamiento entre dos pares o dos conductores coaxiales en el mismo cable, que causa la transferencia (indeseable) de energía entre ellos.

De la información de cables sabemos que el nivel de diafonía es de 99dB/Km, y su atenuación a la frecuencia de 4 MHz es de 10.5 dB/Km. de acuerdo a esta información podemos calcular la diafonía (o sea el acoplamiento) que aparecerá entre los pares en el cable.

Supongamos ahora un nivel de transmisión de +10dBm. La señal recibida a la entrada del amplificador en la vía de recepción será de $+10 - 52.5 = 42.5$ dBm, mientras que la señal interferente causada por diafonía tendrá un nivel de $+10 - 92 = -82$ dB. La relación señal a ruido debido a la diafonía será por lo tanto, 40,5 dB.

El ruido térmico producido a la entrada del amplificador. Como se sabe, el valor del ruido térmico (blanco) a la temperatura ambiente es de -174 dBm/Hz. Supongamos que el factor de ruido de un repetidor típico es de 15 dB y que su ancho de banda equivalente es aproximadamente 5 Mhz. El ruido equivalente Nth, en la entrada del repetidor, será :

Vemos por lo tanto, que la potencia de ruido térmico total en la entrada del amplificador, es menor que la diafonía. Los cálculos arriba realizados son algo simplificados, con el objeto de enfatizar el problema de la diafonía, sin profundizar demasiado en el método de su medida (debido a que la diafonía depende de la frecuencia y las señales a distintas frecuencias deben ser por lo tanto ponderadas), ni realizar los cálculos detallados, tomando en cuenta el hecho que la potencia de salida del repetidor está esparcida en un amplio rango de frecuencia (para todos los canales transmitidos).

El segundo problema que dificulta el diseño de los repetidores es al compensación precisa de la curva de atenuación del cable.

3.7 Evaluación de la Operación de un Multiplexador y Métodos de Medida

El funcionamiento de un multiplexador es en general de un alto nivel de precisión, por lo que se necesitan métodos de medida y equipo de pruebas especiales y extremadamente precisos.

Debido a la reacción en cadena producida en el funcionamiento del sistema en el caso de una falla o un empeoramiento en el funcionamiento del equipo, existe un incentivo muy fuerte para localizar fallas en las primeras etapas de su aparición, mediante mediciones periódicas, cuando no se ha provocado aún la interrupción de la comunicación en un enlace dado.

Debido a la precisión requerida y debido a la señal particular con la que opera el equipo, señales de voz, se han desarrollado conceptos y métodos de medida únicos.

3.7.1 Unidades para Medida de Potencia y Relaciones de Potencia

Las razones para esto están relacionadas sin duda con las propiedades y problemas especiales de los sistemas de comunicación los cuales son los siguientes:

- a.- El rango muy amplio de señales transmitidas y la potencia relativamente baja de estas señales.
- b.- El requerimiento de realizar medidas de señales que varían con el tiempo, tales como voz y ruido.
- c.- El requerimiento de pruebas con una distancia apreciable entre la fuente de señal y el instrumento de medida, no siendo posibles las medidas relativas directas.
- d- El requerimiento de medir señales que pasan por traslación de frecuencia en puntos de impedancia variable, etc.

3.7.2 Definición de Potencia y Relación de Potencia

Dado que un gran número de señales que pasan a través de un sistema de transmisión no son sinusoidales, la mayor parte del tiempo se requiere medir potencia y no voltaje. De la experiencia práctica se sabe que la potencia requerida por un teléfono para producir una señal de intensidad razonable es del orden de los miliwatts, por lo tanto, es común usar esta potencia como nivel de referencia.

Con el objeto de sobreponerse al problema de la medición de un rango dinámico muy alto, se necesita una forma de registrar las medidas que permitan expresar convenientemente tanto números grandes como pequeños. Para asegurar que la probabilidad de errores durante el uso de este método de registro sea extremadamente baja, éste debe cumplir con varios requerimientos básicos:

- a.- El uso de una mínima cantidad de dígitos.
- b.- El uso de una única unidad de modo que no se requiera subunidades.
- c.- La precisión en la expresión de un número debe ser idéntica independientemente de la magnitud del número.

Estos requerimientos pueden ser cumplidos naturalmente por una escala logarítmica. Esta escala permite el registro simple y fácil de números de distintas magnitudes, manteniendo la precisión deseada. El número de dígitos requerido para ubicar un voltaje de varios milivolts con una precisión del uno por ciento es exactamente el mismo número de dígitos con que se indica un voltaje de varios volts con la misma precisión.

3.7.3 Definición y Medida de Niveles de un Multiplexador Básico

En el multiplexador básico de 12 canales, se distinguen dos grupos de niveles:

- Niveles de AF en las entradas de abonados.
- Niveles de alta frecuencia (HF) en la salida del multiplexador.

Estos niveles están muy relacionados, ya que la entrada en el lado de AF determina el nivel de transmisión en el lado de HF y la señal de HF a la entrada de la vía de recepción determina la salida de AF en el lado del abonado.

A pesar de esta dependencia mutua, la cual dificulta la determinación de niveles, se pueden definir niveles preferidos, que tengan significado especial para nosotros y la relación mutua se puede escribir a estos niveles.

A pesar de esta dependencia mutua, la cual dificulta la determinación de niveles, se pueden definir niveles preferidos, que tengan significado especial para nosotros y la relación mutua se puede escribir a estos niveles.

Podemos sin embargo, evitar este requerimiento definiendo niveles en unidades de potencia relativa (dBr).

Niveles de entrada a un multiplexador típico, en operación bifilar, pueden ser 0.5 dbm, y niveles de salida de AF 7.8 dBm; mientras que en operación tetrafilar lo típico es 0 dBm en la entrada y la salida. Los niveles precisos a los cuales está adaptado el equipo dependen de varios factores, determinados por las administraciones de telecomunicaciones nacionales, de acuerdo con el tipo de aparatos telefónicos usados, la atenuación promedia entre la central y los abonados en cada país, etc. Estos niveles son determinados mediante medidas estadísticas de calidad de conversación, con la participación de un gran número de abonados.

El nivel de la voz promedio de los abonados tal como aparece en la entrada de la central, depende del tipo de teléfono y de la atenuación hasta la central, de modo que éste medido en forma estadística para un gran número de teléfonos. Se hace una medida similar

para niveles de recepción de acuerdo a la inteligibilidad de las conversaciones transmitidas. Inteligibilidad se define como el porcentaje de palabras, o frases que son entendidas correctamente por la escucha, de un gran número de palabras o frases transmitidas.

3.7.4 Medida de Nivel: Características del Equipo de Prueba

La medición del nivel en sistemas con portadora debe hacerse con un instrumento de banda angosta ya que en la mayoría de los casos, la señal de medida está rodeada de ruido y otras señales, lo que afecta la exactitud de la medida. El ancho de banda requerida para este instrumento de prueba selectivo debe ser lo más angosto posible, para permitir alcanzar la separación máxima, sin embargo, deben tomarse en cuenta también los problemas de estabilidad de frecuencia y de precisión del instrumento de prueba y la dificultad técnica de lograr el ancho de banda angosto.

Los instrumentos de prueba deben contener una fuente de señal y un voltímetro selectivo, el cual cubra el rango de frecuencia requerido para medir las características de cierta clase de multiplexadores y que posean los niveles e impedancias correspondientes a las normas internacionales. De acuerdo a esto, puede encontrarse un equipo de prueba que es capaz de operar en el rango de 0.2 a 160 KHz o aún hasta 612 KHz, diseñado para medir las características desde los multiplexadores básicos hasta los multiplexadores de subgrupo. Otros instrumentos están diseñados para cubrir el rango desde 2 KHz a 4 ó 6 MHz, para medidas en el rango del grupo maestro, donde se opera con cables coaxiales, o instrumentos de prueba de multiplexadores de hasta 2700 canales.

La mayoría de los instrumentos tienen impedancia variable; en general tienen impedancias de 75 a 150 ohms y los instrumentos que operan a las frecuencias inferiores tienen también 600 ohms. Los instrumentos son calibrados generalmente en unidades de

dbm, pero hay también instrumentos calibrados en dBv. Para permitir la medida de voltajes mientras el enlace está operando, la mayoría de los instrumentos tiene la capacidad de desconectar la terminación interna y conectarse en paralelo con una impedancia alta.

Cuando se selecciona una impedancia, el estado de puente debe usarse para medir potencia en unidades absolutas (dBm), ya que el instrumento queda calibrado para esto.

3.7.5 Relación de Señal a Ruido en Multiplexadores Requerimientos y Métodos de Medición

La medida de ruido en sistemas de múltiplex es uno de los asuntos más complicados, pero es esencial para asegurar una calidad de servicio razonable. El ruido en un sistema como éste es producido por varias fuentes:

- a.- Ruido térmico del equipo
- b.- Ruido de intermodulación del equipo
- c.- Ruido causado por la diafonía en el equipo o en los cables

Además, el abonado en el extremo de la línea se puede sufrir también de ruido ambiental de su alrededor, el cual interfiere directamente, así como el acoplamiento entre el micrófono y el auricular en teléfonos bifilares.

Para asegurar la operación adecuada del equipo, cada una de las tres componentes mencionadas debe ser calculada en las condiciones reales que se presentaran en la comunicación y con las señales típicas producidas.

Después del cálculo quedan los problemas de medición. Primero, definamos las características de la voz y de las señales de prueba que la simulan.

3.7.6 Diafonía (Crosstalk) Causas y Medición

La diafonía es una de las causas principales de ruido en sistemas multicanales. La razón por la que será tratada acá es el hecho que la misma es un ruido que interfiere severamente en las conversaciones telefónicas, mucho más que otras formas de ruido y puede causar resultados indeseables tales como la pérdida de privacidad de las conversaciones telefónicas.

La diafonía es causada por el acoplamiento de energía entre dos circuitos de voz. Debido a la gran sensibilidad del oído, niveles extremadamente bajos de diafonía, a los cuales ruido ordinario no sería notado, causan interferencia en el caso de la diafonía. También existe en sistemas que no contienen equipos de múltiplex, sino sólo cables de pares múltiples.

La intensidad de la señal para la cual la diafonía es audible depende de un gran número de factores: entre ellos están el ruido en el enlace interferido, el ruido ambiental en el extremo del abonado oyente, el nivel tonal en el lado receptor, la existencia o ausencia de conversación en el momento de la interferencia y la sensibilidad del oído. En condiciones típicas el 50 por ciento de los oyentes escucha diafonía con atenuación hasta 65 dB entre los circuitos. Cuando no hay ruido apreciable en la línea, la diafonía será escuchada si su intensidad es alrededor de 6 dB más que el ruido de fondo.

CAPITULO IV

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS GENERALES

4.1. Reparación de instalaciones eléctricas.

4.1.1 Inspección del Estado de las instalaciones.

Después de haber realizado la inspección en cada una de las instalaciones y mesas de trabajo del Laboratorio de Comunicaciones procedimos a sacar todas las novedades existentes en el mismo y detallar la lista del material a utilizar.

4.1.2 Estadística de la inspección.

<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>ESTADO</i>	<i>OBSERVACIÓN</i>
Toma corrientes	36	2 malos	Reparar
Breakers	4	buenos	Sin novedad
Luces piloto	4	malas	Instalar
Fusibles	50	malos	Instalar
Cable flexible	10m	malos	Instalar
Lagartos	40	malos	Instalar
Cautines	4	inexistentes	Comprar
Focos	2	buenos	Reemplazo por fluorescentes
Puntas de prueba	13	buenos	Sin novedad

4.1.3 Requerimientos para la Instalación.

Luego de realizar una estadística de la inspección al laboratorio de comunicaciones sacamos todos los requerimientos del mismo que a continuación se detallan:

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

4.1.4 Instalación

Una vez obtenidos los materiales y el equipo necesario para la instalación, procedimos a reemplazar por los dañados para de esta manera dejar operativo el sistema eléctrico del laboratorio.

4.2 Revisión de instrumentos

4.2.1 Inspección de los instrumentos

Al realizar la respectiva inspección a los instrumentos existentes en el laboratorio hemos detallado a continuación la siguiente estadística.

4.2.2 Estadística de la inspección

<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>ESTADO</i>	<i>OBSERVACION</i>
Fuente de poder	7	1 dañado	Reparar
Fuente de alimentación	4	buenas	Sin novedad
Osciloscopio	7	3 dañados	4 de calibrar
Multímetros	5	3 dañados	reemplazar fusibles
Frecuenciómetros	7	3 dañados	106162 dañado selector 10571 dañado el display 10613 no funciona
Generador de frecuencias	1	Dañado	
Pu-253	7	Buenos	sin novedad
COM 6 A/B/C	18	7 dañados	reparar
COM 7 A/B	14	4 dañados	reparar

4.2.3 Requerimientos de instrumentos

Los requerimientos de los instrumentos son un respectivo mantenimiento y calibrarlos adecuadamente ya que son unos equipos que se a utilizado para la capacitación de promociones anteriores, sabemos que el uso incorrecto de los equipos tiene que ver con el estado actual de los mismos, por tal razón realizamos un análisis de su funcionamiento y comportamiento de los equipos y dejarlos habilitados para las promociones futuras.

4.3 Reparación de las unidades

4.3.1 Inspección del estado de los módulos

Con cada modulo realizamos los experimentos para ver si se encontraban en una correcta operabilidad, y si no para encontrar el daño basándonos en el diagrama de cada uno de los módulos a reparar.

4.3.2 Estadística de la inspección

UNIDAD	ESTADO	OBSERVACIONES
COM 6 A/1	3 dañados	1 potenciómetro 100 K Ω
		4 resistencias 47 K Ω
		2 condensadores 1nf
		2 transistores 2N 4124
COM 6 A/2	1 dañado	1 resistencia 2.2 K Ω
		2 capacitores 10 uf 25V
		3 “ 0.1uf
		5 “ 50 uf
		1 socket 16 Dil

COM 6 B/1	4 dañado	1 amplificador 2 transistor 2N 4124 3 resistencias 100 KΩ
COM 6 B/3	1 dañado	2 resistencias de 10 KΩ
COM 6 C/2	2 dañados	2 potenciómetros 100 KΩ 1 oscilador 1 capacitor 22nf 2 resistencias 5,10,20 KΩ
COM 7 B/3	1 dañado	1 generador de A.F. 2 Sw 8125 “ 7301

4.3.3 Requerimientos de componentes electrónicos

- 3 potenciómetros 100 KΩ
- 4 resistencia de 47 KΩ
- 1 resistencia de 2.2 KΩ
- 3 resistencias de 5 y 20 KΩ
- 1 amplificador
- 1 oscilador
- 1 generador de A.F.
- 3 transistores 2N 4124
- 2 Sw 8125 - 7301

- 5 condensadores 10uf, 0.1uf, 50pf
- 2 U LM 348
- 3 U 4027
- 1 socket 16 Dil

4.3.4 Sustitución de elementos

Una vez realizada la estadística y los requerimientos de los componentes ha reemplazar en cada uno de los módulos, procedimos a sacar los componentes dañados y reemplazarlos.

CAPITULO V

PRUEBAS DE OPERABILIDAD Y EFICIENCIA DE RESULTADOS

5.1 Pruebas en las unidades COM 6A, COM 6B, COM 6C

El sistema COM-6A presenta los experimentos de muestreo y múltiplex por división de tiempo, se enseña al alumno los temas de muestreo natural, muestreo de techo plano (circuitos de muestreo y retención) reconstrucción de las señales muestreadas, modulación por amplitud de pulso (PAM), fundamentos de múltiplex, sincronización de sistemas de comunicación digital.

El sistema COM-6B trata sobre modulación por codificación de pulsos y sistemas TDM-PCM, se examina un modulador PCM y se analizan los distintos bloques de componentes, también un sistema PCM de compresión-expansión (compansion).

El sistema COM-6C trata sobre modulación delta y TDM-DM y se realizan mediciones de RNS, también indagan los efectos de errores sobre la RNS de la señal transmitida y la relación entre la proporción de error de la línea de transmisión y la RNS del sistema.

5.2 Pruebas en las unidades COM-7A, COM-7B

El sistema COM-7A muestra los fundamentos de múltiplex por división de frecuencia: el canal modulador, el canal demodulador y el generador de frecuencia portadora. Por medio de este sistema se estudia los problemas básicos en la realización de múltiplex, mostrando también el método moderno de implementación del equipo.

El sistema COM-7B, se estudia más con profundidad los problemas relacionados con la operación de un sistema múltiplex: interferencia entre canales, integración del

teléfono del abonado, problemas de transmisión de señales y de transmisión de una línea bifilar a una tetrafilar.

Los sistemas DEGEM en los temas de comunicaciones, entre ellos los sistemas COM-7A y COM-7B se basan en componentes muy modernos, métodos de diseños y circuitos tales como se dan en los equipos profesionales de las ultimas generaciones. De este modo estos sistemas sirven a maestros e instructores como una muy importante herramienta en temas de laboratorio electrónico.

CAPITULO VI

6.1 Cronograma de actividades.

ACTIVIDADES	<i>JUNIO</i>				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE			
Elaboración del perfil de tesis	X	X																		
Inspección de los módulos de laboratorio			X	X																
Recopilación de datos			X	X	X	X														
Cotización, adquisición de elementos electrónicos				X	X	X														
Reparación de módulos de comunicaciones						X	X	X	X	X	X	X								
Verificación de módulos reparados											X	X	X							
Elaboración de guías de laboratorio										X	X	X	X	X	X					
Elaboración y entrega de la monografía														X	X	X	X	X	X	X

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Al habilitar los módulos nos hemos dado cuenta cuan importante es el estudio y mantenimiento de los mismos ya que en la vida moderna los medios de comunicación se han desarrollado fuera de los limites, por tal razón podemos decir que el transmitir una cantidad de información simultáneamente trata uno de los temas de la comunicación múltiplex y así obtener una comunicación eficiente.
- Los módulos de los Sistemas COM 6 y COM 7, cubren uno de los temas más adelantados en el campo de comunicaciones electrónicas: el de comunicación digital. En los cuales podemos desarrollar los temas de muestreo, múltiplex, modulación y sincronización de sistemas de comunicación digital.
- Los capítulos teóricos proveen todos los fundamentos teóricos requeridos para la realización y comprensión de los experimentos y pueden integrar la base de una serie de clases sobre comunicación digital.
- Al realizar las guías para los experimentos con la finalidad de facilitar al estudiante una comprensión amplia y detallada de los pasos a seguir y así obtener los resultados deseados.
- El diseño funcional del tablero maestro y de las unidades enchufables facilita en gran medida la realización de los experimentos, ya que el estudiante puede utilizar bloques de distintos sistemas para un sistema específico.

7.2 RECOMENDACIONES.

- Antes de realizar las prácticas verificar que las tensiones estén correctamente funcionando.
- Las unidades son automáticamente alimentadas al ser encajadas en el bastidor de montaje, por tal razón no necesitan alguna alimentación adicional.
- Para un funcionamiento normal, se recomienda probar el equipo en forma rutinaria una vez cada 12 meses, si el uso es intensivo por una gran cantidad de alumnos, se recomienda realizar una prueba de rutina cada semestre.
- La prueba de rutina debe llevarse a cabo con todas las unidades insertables del sistema, en el orden y según las instrucciones indicadas.
- Se recomienda que el jefe instructor observe el curso de los resultados de los experimentos hechos por los alumnos, con el fin de señalar los resultados desviados que pueden provenir de una falla en el equipo.
- Algunas fallas pueden provenir de una operación incorrecta o maltrato por parte del alumno, por lo que se recomienda el uso correcto de los mismos.
- Llevar a cabo la prueba de acuerdo con las instrucciones de prueba rutinaria y en el orden de ejecución recomendado, hasta localizar las unidades defectuosas. En esta etapa, realice la reparación, luego repita la secuencia de prueba rutinaria que debe pasar la unidad para verificar que es utilizable.

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

ELABORADO POR

Cbos. Chiluisa Morales Oscar Mauricio

Cbos. Flores Chiluisa Juan Carlos

DIRECTOR DE LA ESCUELA TELEMÁTICA

**Ing. Eduardo Castillo
Mayo. Téc. Avc.**

Latacunga Diciembre 17 del 2001