

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**APLICACIÓN DE TRANSMISIÓN SIMULTÁNEA DE VOZ Y DATOS
SOBRE LA RED TELEFÓNICA DEL CABLE MULTIPAR DE
GUATEMALA.**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA

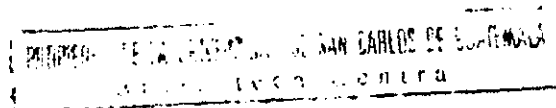
POR

LUIS ROBERTO VELARDE MORALES

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO EN ELECTRONICA

GUATEMALA, 7 DE FEBRERO DE 1996



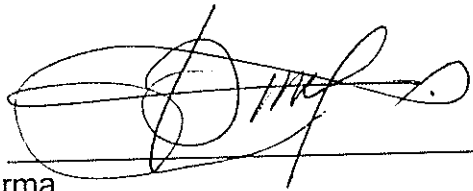
08
T(3737)
C-4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

Aplicación de transmisión simultánea de voz y datos sobre la red telefónica de cable multipar de Guatemala.

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Eléctrica
con fecha 13 de agosto de 1,992 No. _____


Firma

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
VOCAL 1	ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
VOCAL 2	ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO
VOCAL 3	ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ
VOCAL 4	BR. FERNANDO WALDEMAR DE LEON CONTRERAS
VOCAL 5	BR. PEDRO IGNACIO ESCALANTE PASTOR
SECRETARIO	ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO	ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
EXAMINADOR	ING. EDWIN ALBERTO SOLARES MARTINEZ
EXAMINADOR	ING. ERMINIO QUIROA GIRON
EXAMINADOR	ING. ENRIQUE RUIZ CARBALLO
SECRETARIO	ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

ACTO QUE DEDICO A:

mis padres: Francisco Guillermo Velarde
Alma Lily Morales de Velarde

mi esposa: Ingrid Roxanda Gacia de Velarde

mi hijo: Luis Roberto Velarde Garcia

mis hermanos: Ileana
Carlota
Federico
Evelin

la familia: Garcia Santiago

Todos los que de alguna manera hicieron posible la realizacion de este trabajo.

Guatemala, 31 de mayo de 1995.
REF.: C-586-95.

Ingeniero
Julio César Solares
COORDINADOR DEL AREA DE ELECTRONICA
ESCUELA DE MECANICA ELECTRICA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Ciudad.

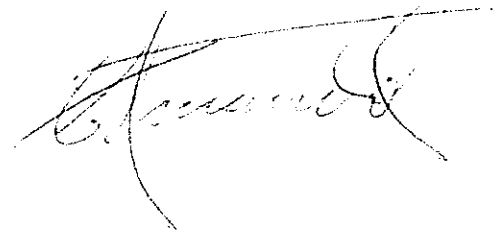
Estimado Ingeniero:

De acuerdo al nombramiento recibido de Asesor del trabajo de tesis " APLICACION DE TRANSMISION SIMULTANEA DE VOZ Y DATOS SOBRE LA RED TELEFONICA DE CABLE MULTIPAR DE GUATEMALA ", me permito manifestar que el mismo ha sido completado a satisfacción.

Por lo tanto, el autor de esta tesis y yo como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Sin otro particular, deseándole éxitos al frente de sus labores profesionales, me suscribo.

Atentamente,



Ing. Carlos Durando Gallo.

c.c. CORR.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 31 de agosto de 1,995

Señor Director
Ing. Edgar F. Montúfar Urizar
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.


Señor Director.

Me permito dar aprobación al trabajo de tesis titulado: **Aplicación de transmisión simultánea de voz y datos sobre la red telefónica de cable multiplex de Guatemala**, desarrollada por el señor Luis Roberto Velarde Morales, ya que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, me suscribo de usted,

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador del Area de Electrónica

JCSP/sdem.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

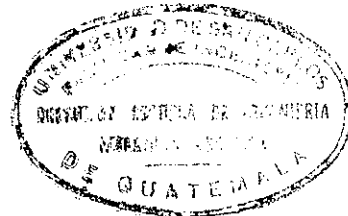
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante Luis Roberto Velarde Morales, titulada: Aplicación de transmisión simultánea de voz y datos sobre la red telefónica de cable multipar de Guatemala, procede a la autorización del mismo.


Ing. Edgar F. Montúfar Urizar
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Guatemala, 3 de noviembre de 1,995.





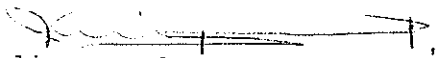
FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

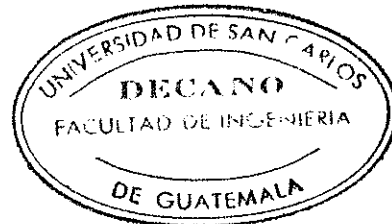
El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: Aplicación de transmisión simultánea de voz y datos sobre la red telefónica de cable multipar de Guatemala, del estudiante Luis Roberto Velarde Morales, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Julio Ismael González Podszueck

Decano

Guatemala, 7 de febrero de 1,996.



INDICE

Objetivos	1
Justificacion	2
Introduccion	3
CAPITULO 1	
1.1 Descripción general	5
1.2 Descripción fucional	8
1.3 Funcionamiento eléctrico	10
1.4 Facilidades de transmisión	11
1.5 Impedancia del sistema	11
1.6 Frecuencias de operacion	12
1.7 Interfaz de teléfono	13
1.8 Requerimientos de transmisión	13
CAPITULO 2	
2.1 Conceptos generales sobre transmisión de datos	15
2.2 Tipos de transmision	17
2.3 Modos de explotacion del circuito de datos	21
2.4 Caracteristicas del canal de transmisión de datos	23
2.5 Transmision digital	39
2.6 Predicción teórica del comportamiento de la técnica en la red	52
CAPITULO 3	
Mediciones de campo y resultados	66
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES	78
Referencias	
APENDICE	
A Interfase 232-D	i
B Transformada de Fourier	iii
C Señales de control	v

LISTA DE ILUSTRACIONES

- 21.1 Línea conmutada.
- 21.2 Línea dedicada.
- 21.3 Transmisión simultanea de voz y datos.
- 25.1 Impedancia de datos.
- 25.2 Impedancia de voz.
- 32.1 Secuencia de un carácter sincrónico.
- 33.1 Transmisión en modo half-duplex.
- 33.2 Transmisión en modo full-duplex.
- 33.3 Transmisión en modo simplex.
- 34.2 Espectro de amplitud y fase.
- 34.3 Atenuación vrs. frecuencia.
- 34.5 Características del canal telefónico vrs. canal ideal.
- 34.6 Efectos del ruido impulsivo.
- 35.2 Espectro para una forma de onda FSK periódica de frecuencia positiva.
- 35.5 Representación esquemática de un modulador MSK.
- 36.1 Sistema de transmisión general.
- 36.2 Representación gráfica del sistema telefónico.
- 36.3 Elementos eléctricos del circuito telefónico en una dirección.
- 36.4 División de la línea de abonado desde la central.
- Gráfica A. Representación gráfica de L, R, C, G.

OBJETIVOS

GENERAL

- Determinar la correcta aplicación del equipo de transmisión simultánea de datos y voz sobre la red telefónica existente en el área metropolitana de Guatemala, dejando la base para la posterior aplicación en el área rural.

ESPECÍFICOS

- Describir el funcionamiento teórico de la transmisión simultánea de datos y voz de acuerdo al equipo DATA-OVER-VOICE.
- Analizar el funcionamiento teórico y práctico de la transmisión simultánea de datos y voz de acuerdo con el equipo DATA-OVER-VOICE.
- Realizar pruebas de alcance en diferentes cables de dos nodos de transmisión.
- Determinar distancia media de alcance para su efectivo funcionamiento.
- Especificar cuáles son los tipos de cables más adecuados según la red telefónica existente para la correcta implementación de la transmisión simultánea de datos y voz con base en el equipo DATA-OVER-VOICE.

JUSTIFICACIÓN

Aparte de estar dando a conocer una nueva tecnología, a través del equipo DATA-OVER-VOICE con la facilidad de transmitir datos y voz, simultáneamente, lo cual trata de vencer la inminente resistencia al cambio, el tener parámetros de alcance para su adecuado funcionamiento es una guía útil tanto para el oferente como para el demandante de éste cada vez más importante servicio como lo es la transmisión de paquetes de información sin tener que utilizar líneas dedicadas para esta tarea. Se utiliza un par de hilos telefónicos sin perder la posibilidad de entablar una conversación telefónica; al contrario, se gana una línea para la transmisión de datos, lo cual es de suma importancia en Guatemala, debido a la escasez de planta externa, lo cual hace difícil obtener líneas telefónicas extra. Existen indicadores que muestran la creciente demanda del servicio de MAYAPAQ, pero, debido a la falta de red no se ha podido cubrir, completamente, el mercado. Al implementar, adecuadamente, este equipo, con base en pruebas que se pretenden en realizar en esta investigación, se desea dejar base para disipar cualquier duda del efectivo funcionamiento del equipo DATA-OVER-VOICE.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en Guatemala se transmiten bloques de información electrónica, utilizando la red telefónica, para conectarse a centrales que conmutan datos. La interconexión de estas centrales se conoce como red de datos. La conexión a la red de datos puede realizarse de dos maneras: 1) por medio de una línea directa o dedicada, con la cual se mantiene una conexión inmediata y permanente a la red de datos, ó, 2) mediante una línea conmutada, la cual puede usarse alternativamente para transmitir datos o voz; en este caso la conexión no es inmediata ni permanente.

El costo de tener una conexión mediante línea directa es mayor, debido a que requiere, físicamente, de un par de cables que va desde el terminal del usuario hasta la red de datos. Al utilizar la conexión por medio de línea conmutada, este par de cables no es necesario puesto que se utiliza la red telefónica nacional. Esta conexión está limitada debido a que la señal de voz de tipo analógico y la señal de datos de tipo digital, no pueden transmitirse simultáneamente por el par de cables con el equipo que actualmente se conoce. Por medio del equipo DATA-OVER-VOICE, es posible transmitir estas dos diferentes señales por un mismo cable simultáneamente. Esta última forma de conexión, es una opción para aquellas empresas que tienen poca capacidad en cuanto al número de líneas telefónicas de las que pueden disponer, para usarlas como líneas dedicadas, exclusivamente, a la transmisión de datos. Sin embargo, se hace necesario el análisis y la verificación de los parámetros del equipo y de la red

telefónica de Guatemala que se ofrecen, para determinar si es factible el introducir este equipo sin mayores inconvenientes.

La base para hacer el análisis son los parámetros del fabricante que ofrece para el funcionamiento de este equipo. Tomando como referencia estos parámetros se calcula el valor teórico de los parámetros más importantes y se comparará con los valores que se obtendrán en las mediciones de campo.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Como anteriormente se mencionó, para transmitir bloques de información (los cuales no son más que señales digitales) el usuario tiene como una opción fiable y segura conectarse a una red de datos. Se utiliza el término "opción", por el hecho de que para transmitir datos se puede utilizar la red de teléfonos. Lo indispensable es un módem y una línea telefónica, al igual que al utilizar una red de datos con línea conmutada. La diferencia está en que al utilizar la red de teléfonos, para el caso de transmisión de datos a nivel internacional, primero que todo, el costo es el de una llamada telefónica internacional, con las implicaciones que trae esta en el intercambio de información, no existe detección de error y una mayor posibilidad de ruido, lo que tiene como consecuencia una mala transmisión de datos. Por esta razón es más aconsejable utilizar una red de datos, ya sea por línea dedicada o por línea conmutada, esta última es la que la mayoría de usuarios utiliza cuando la cantidad de datos no es voluminosa. Cuando la cantidad de datos no es significativa no es aconsejable utilizar la línea dedicada debido a lo complejo y costoso de tener cables especiales para la transmisión de señales digitales, éstas son algunas de las razones por las que cada vez se está incrementando más la conexión a redes de datos por línea conmutada, las ventajas que se obtienen al utilizar redes de datos es la detección de errores y un menor costo de conexión a la red de datos a través de una llamada local.

Se conocen dos formás para hacer esta conexión:

Por medio de una línea conmutada y utilizando una línea directa o dedicada.

1.1.1 LÍNEA CONMUTADA

Para la conexión con línea conmutada existen números telefónicos especiales. El usuario sabe que al marcar uno de estos números puede hacer efectiva la conexión de su computadora con la red de datos; al quedar establecida esta conexión, la computadora está lista para comunicarse con cualquier otro sistema de información; en el tiempo en el cual se hace la transferencia de datos, la línea telefónica no puede ser utilizada para establecer una conferencia, el canal de voz queda bloqueado.

Al terminar la transferencia de información, la línea telefónica utilizada le queda habilitado de nuevo el canal de voz.

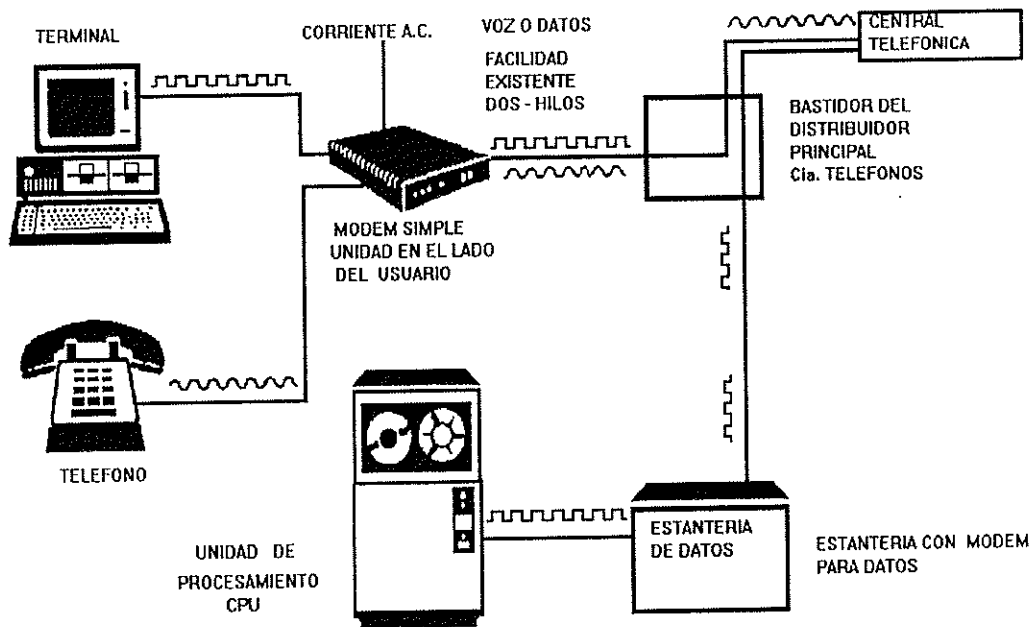


Fig. 21.1 Línea conmutada

1.1.2

LÍNEA DEDICADA

El conectarse a la red de datos por medio de una línea dedicada tiene sus ventajas y sus desventajas. Le permite al usuario tener fácil y rápido acceso a la red de datos al no tener que conmutarse para esta conexión, pero, esta facilidad y velocidad se compensa al saber que nunca se podrá utilizar este par de hilos de cobre para una conversación telefónica.

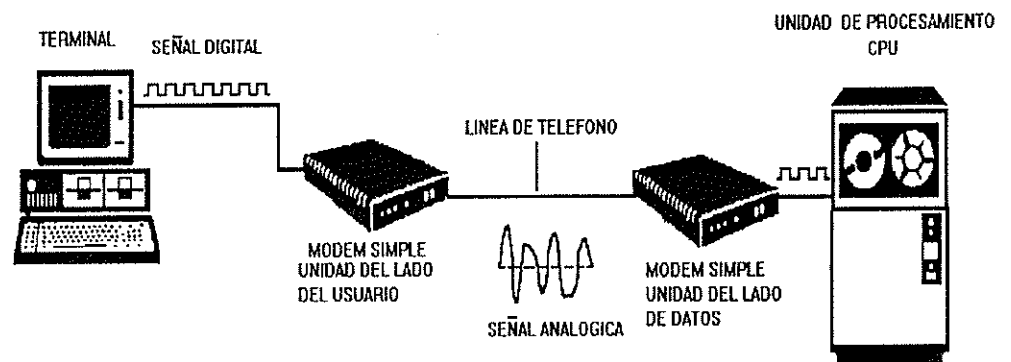


Fig. 21.2 *Línea Dedicada*

La tecnología DATA-OVER-VOICE combina estas dos formas de conexión en una sola, tener la línea dedicada con su facilidad y velocidad de acceso a la red de datos sin perder el canal de voz, con la posibilidad de transmitir **simultáneamente** datos, señales digitales y voz, señales analógicas.

Esta es una opción viable que es funcional a corto plazo en la red telefónica nacional; esta tecnología es una opción a la característica de abonados RDSI que funciona de igual forma, pero, con un mayor costo de implementación para las administraciones de telecomunicación.

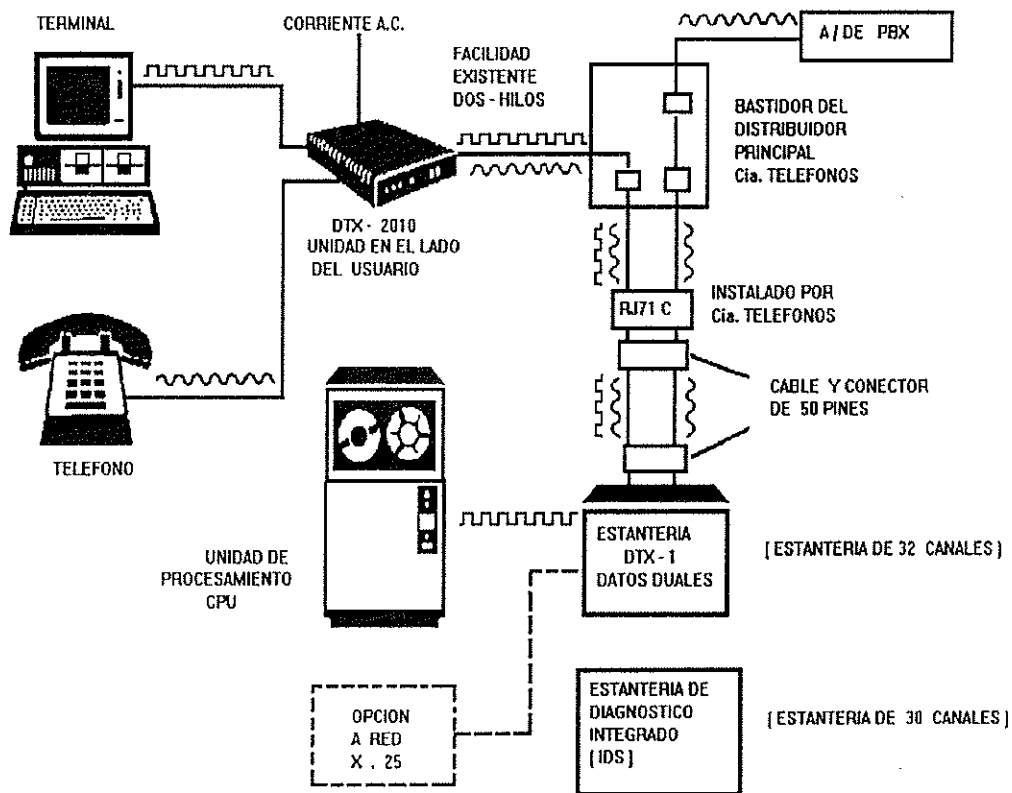


Fig. 21.3 *Transmisión simultánea de voz y datos.*

1.2 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

Para entender de una mejor manera la tecnología de transmisión simultánea de voz y datos, debe tenerse, como referencia, un equipo que ofrezca esta capacidad de transmisión simultánea de voz y datos. A continuación se mencionarán algunas de las características del equipo DTX 2010 que permite la transmisión simultánea de datos y VOZ.

El sistema puede operar con modalidad de transmisión half o full dúplex con datos en sincronismo o asincronos con una velocidad máxima de 19.2 Kbps simultáneamente con la voz. En el siguiente capítulo se explicarán estos modos de transmisión.

Todo es normal para las señales de banda de voz entre la central de conmutación de voz y el aparato telefónico del abonado; todo lo que pasa a través de este trayecto en ningún momento será afectado. Esto será posible por el uso de filtros pasivos bidireccionales, los cuales atenuarán las señales portadoras que transmiten datos antes de alcanzar el aparato telefónico o cualquier planta pequeña privada de conmutación de voz. Un pasivo más un filtro activo atenuarán las señales de canal de voz, como voltajes de timbrado, el cual no debe afectar la transmisión de datos.

El sistema consta de una unidad independiente remota, standalone. Esta unidad es la que hace la conexión entre el aparato telefónico del abonado y la terminal ó computadora. La parte con la cual se comunica la unidad independiente remota se encuentra en la central de conmutación de datos. Es un bastidor, el cual contiene la mitad de tarjetas que de aparatos independientes remotos; esto quiere decir que a cada tarjeta en el bastidor de la central de datos se podrán conectar dos usuarios.

La unidad standalone hará interfaz a través de un conector standard EIA 232D para ambos modos de transmisión asincrónica y sincrónica. La unidad en el bastidor hace interfaz por medio de un conector EIA 232D DB25 o a través de un conector de 50 pines. Las dos unidades serán asincrónicas para las velocidades de 0 bps a 19.2 Kbps y sincrónicas para las velocidades de 1.2, 2.4, 4.8, 7.2, 9.6, 14.4 y 19.2 Kbps.

El bastidor dual de datos o Unidad Central DTX-1 dispone de una capacidad de 32 canales, estos pueden hacer interfaz con un conmutador digital de datos que permite la comunicación entre diferentes terminales, computadoras u otros módems.

Alternativamente, el bastidor dual de datos DTX-1 hace interfaz directamente con puertos de una Unidad Central de Procesamiento o

con dispositivos con puertos tipo RS-232C sin necesidad de un conmutador de datos.

1.3. FUNCIONAMIENTO ELÉCTRICO

1.3.1 Formato de datos

Los datos transmitidos son del formato binario serial.

1.3.2 Velocidades de datos

Desde 0 bps a 19.2 Kbps para operación asincrónica.
1.2, 2.4, 4.8, 7.2, 9.6, 14.4 y 19.2 Kbps para operación sincrónica.

1.3.3 Esquema de modulación

El esquema de modulación es FSK de fase continua o corrimiento en frecuencia con fase continua. Este esquema de modulación se explicara en el próximo capítulo.

1.3.4 Modo de operación

El modo de operación será a dos hilos full-duplex. Como también puede ser adaptado para dos hilos half-duplex.

1.4. FACILIDADES DE TRANSMISIÓN

El sistema podrá operar con pares de cables telefónicos de calibre 19 a 26 AWG no cargados, quiere decir no pupinizados o que no exista cualquier carga inductiva.

- 1.4.1 Distancias de operación. En el sistema los receptores tendrán un rango dinámico mínimo de 43 dB en el equipo que posee el usuario y 49 dB en el equipo que esta en la central de datos. La distancia sugerida 4.7 Km. ó 15 mil pies con pares de cables telefónicos de 19 a 26 AWG.

1.5. IMPEDANCIAS DEL SISTEMA

- 1.5.1 Impedancia para datos

120 Ohm +/- 30%

desde 50 KHz a 125 KHz viendo la impedancia del lado del dato como se muestra en la Figura 25.1

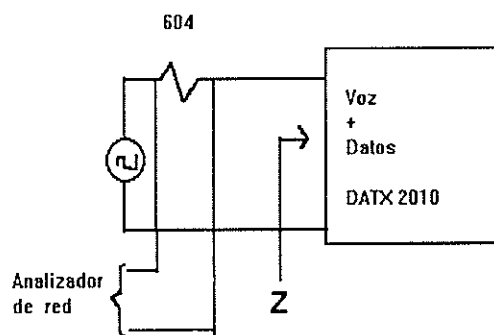


Fig. 25.1 Impedancia de Datos

1.5.2 Impedancia para Voz

600 Ohm +/- 20% desde 300 Hz a 3.3 KHz como se muestra en la Fig. 25.2. La pérdida de retorno en la banda de voz deberá estar por encima de los 16,5 dB para ERL, 16 dB para SRLL y 10.5 dB para SRLH cuando se mida de extremo a extremo R/M S/A con una carga de 2.2u +600 Ohm.

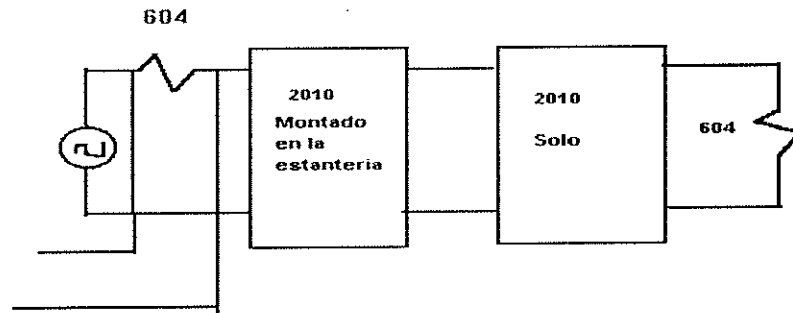


Fig. 25.2 Impedancia para voz

1.6 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN

1.6.1 Frecuencias para la operación de la Banda de Voz de 300 a 3300 Hz.

La máxima pérdida de inserción por canal para las bandas de frecuencias ERL, SRLL y SRLH será de 2 dB a 600 Ohm.

La máxima distorsión del total de armónicos será más pequeña de 60 dBm.

1.6.2 Frecuencias para la operación de Datos

El espectro de frecuencias de datos tendrá un canal superior centrado a 114 KHz y un canal inferior centrado en 57 KHz. Para el canal

superior el espacio estará a 105 KHz y la marca a 122 KHz, el tono de caída de portadora a 98 KHz

Para el canal inferior será exactamente la mitad de las frecuencias anteriores, respectivamente, para espacios, marcas y tono de disminución de portadora.

El tono de caída de portadora ha sido sumado a cada banda para incrementar la capacidad del sistema. Este es generado cuando la señal RTS está disminuyendo. Lo anterior permite que la señal de control (RTS) pase a través del canal sin que la energía disminuya.

1.7 INTERFAZ DE TELÉFONO

Para la unidad independiente remota, la interfaz para la línea y el aparato telefónico es un conector RJ11C.

Las señales de línea entre el aparato de teléfono y la central responderán de la misma forma como antes de instalar un aparato de transmisión simultánea de voz y datos. La energía del teléfono, el voltaje de timbrado, los pulsos de marcación, las señales de colgado y descolgado no se deben afectar.

1.8 REQUERIMIENTOS DE TRANSMISIÓN

1.8.1 Potencia de salida.

Rango de selección:

- 0 dBm +/- 2 dBm, ó
- 20 dBm +/- 2 dBm con 120 ohm.

1.8.2

ENERGÍA

La atenuación de un par de hilos telefónicos de calibre 26 para 4700 Mts. (15 Kft) requiere de lo siguiente:

- nivel máximo de enganche: -49 dBm R/M y -43 dBm S/A a 120 ohm.
- nivel mínimo de liberación: -61 dBm R/M y -51 dBm S/A a 120 ohm.
- histéresis: 2 dBm mínimo.
- tiempo de enganche: 5 milisegundos máximo.
- tiempo de liberación: 25 milisegundos máximo.

Esto puede ser medido a la salida del receptor como referencia de extremo a extremo.

CAPÍTULO 2

BASE TEÓRICA DE LA TRANSMISIÓN SIMULTÁNEA DE DATOS Y VOZ

Es necesario apuntar algunos conceptos básicos para analizar los parámetros más importantes que se desprenden de la teoría matemática en la cual sustenta esta tecnología su funcionamiento; al igual cabe hacer mención de conceptos relacionados con la transmisión de datos.

2.1 CONCEPTOS GENERALES SOBRE TRANSMISIÓN DE DATOS

2.1.1 VELOCIDAD DE MODULACIÓN

Esta es la velocidad de interés en comunicaciones para fijar las características de la línea de transmisión. La velocidad de modulación se define como el número máximo de veces por segundo que puede cambiar el estado de señalización en la línea. La unidad de medida es el BAUDIO, este debe asociarse al concepto de línea de transmisión y no al de circuito de datos.

$$V_m = \frac{1}{t} \text{ baudios}$$

t = duración en segundos del intervalo significativo mínimo.

2.1.2

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN SERIE

Está definida como el número máximo de elementos binarios (bits) que puede transmitirse por un determinado circuito de datos durante un segundo. Por consiguiente, su unidad es el bit/segundo (bit/s).

$$C = \frac{1}{t} \log_2 n = V_m \log_2 n \text{ bits/seg.}$$

Hay que hacer notar que cuando el tipo de modulación es tal que, a cada estado significativo en línea se le hace corresponder un bit de información, el número de bits/s coincide con el de baudios.

2.1.3

VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE DATOS

Para el análisis de sistemas de información, esta velocidad es de gran interés, representa la cantidad de información que puede transmitirse por unidad de tiempo. De acuerdo al CCITT esta velocidad se define como:

“promedio de bits, caracteres o bloques por unidad de tiempo que pasan entre dos equipos correspondientes en un sistema de transmisión de datos”. El cálculo de esta velocidad es complejo, debido a que los bits, caracteres o bloques a los que se hace referencia son netos, esto quiere decir, que para calcular esta velocidad no se deben tomar en cuenta los bits necesarios para llevar a cabo la transmisión (bit de parada, bit de sincronismo, etc.) así como los erróneos y las repeticiones que generan. El cálculo se facilita si se parte de una serie de supuestos en cuanto a frecuencia y distribución de errores, etc.

La unidad de medida es: bits, caracteres, bloques por segundo, minuto u hora.

Luego de haber definido estos tres tipos de velocidades se puede hacer una correlación entre éstos y las partes de un sistema de transmisión de datos:

Velocidad de Modulación (V_m) se relaciona con la línea de transmisión (LT).

Velocidad de Transmisión (V_t) se relaciona con el circuito de datos (CD).

Velocidad de Transferencia de Datos (V_{td}), se relaciona con enlaces de datos (ED).

2.2 TIPOS DE TRANSMISIÓN

No se pretende con este título desarrollar todos los tipos existentes para la transmisión de la información que en la actualidad se conocen, de nuestro interés es: asincrónico y sincrónico.

2.2.1 TRANSMISIÓN ASINCRÓNICA

También llamada de arranque-parada. Se envía un sólo carácter a un tiempo. La transmisión de cada carácter se inicia con un pulso binario de arranque y termina con un pulso binario de parada. Por esto los intervalos de tiempo entre caracteres transmitidos pueden ser de longitud desigual y su transferencia será a una velocidad no uniforme.

La transmisión de datos ocurre cuando la corriente en la línea se interrumpe de un modo específico. Por convención, el estado libre es llamado estado "1" o condición de MARCA y el estado falta de corriente es llamado el estado "0" o condición de ESPACIO.

El mecanismo de este tipo de transmisión es el siguiente: la línea es puesta al estado "0" en el intervalo de tiempo de duración de un bit,

en el caso de un código de ocho bits este es llamado el bit de inicio. En los próximos ocho sucesivos intervalos de bit la línea es puesta a 0 o 1 según lo requiera la representación del carácter que se está enviando. El intervalo de tiempo del bit de parada es mayor al intervalo de tiempo de un bit de estado "1".

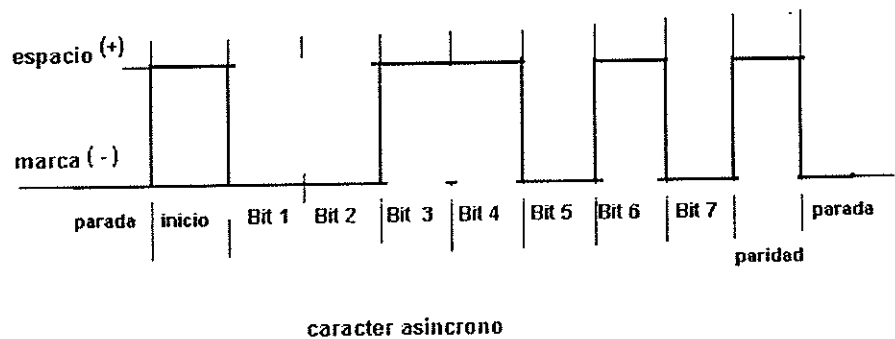


Fig. 32.1 Secuencia de un carácter asincrónico

Este mecanismo de recepción permite conocer la posición en el tiempo para empezar el próximo carácter. Excepto para el requerimiento de una línea libre para el último intervalo de tiempo del bit de parada, la transmisión del próximo carácter puede empezar en cualquier intervalo de tiempo. La falta de un continuo sincronismo entre el transmisor y receptor, específicamente la falta de una señal de reloj dentro o acompañando el canal de datos, causa este tipo de transmisión asincrónica o literalmente "sin sincronismo".

Como toda transmisión, no está exenta de errores. En este modo de transmisión existen dos tipos básicos de error.

El **Error OVERRUN**, generalmente, resulta cuando el receptor ha perdido la marca de cuáles ceros en la transmisión son los bits de inicio y cuáles en el dato son justamente cero.

Si por alguna razón las marcas recibidas en un bit del dato como un bit de inicio y por esta razón tomará los próximos ocho bits como un carácter, que en realidad estos ocho bits son realmente parte de dos caracteres, el final de uno y el inicio del otro, el noveno bit en arribar no será el bit de parada, más bien será un bit de dato del segundo carácter, si es un cero, el circuito encargado de reconocerlo detectará un error (Overrun).

También existe el DATO OVERRUN, esto ocurre cuando al arribo de un carácter el cual no puede ser manejado porque el carácter anterior no ha sido leído se conoce como "Dato-Sobrecorrido" (Data Overrun).

El **error FRAMING**. El proceso de decisión de qué grupo de ocho bits constituye un carácter se conoce como Framing, al no realizarse este proceso de determinar qué grupo es el que constituye un carácter por falla en dicho proceso se conoce como **Error de Framing**.

2.2.2 TRANSMISIÓN SINCRÓNICA

En este tipo de transmisión se envía un bloque de caracteres a un tiempo, siendo necesario que la terminal receptora y la terminal transmisora estén en fase durante el tiempo de la transmisión del bloque. La terminal receptora comprueba si el bloque recibido no tiene error por algún método de comprobación. Por ejemplo el de comprobación de paridad vertical (VRL) y longitudinal (LRC).

Para establecer la sincronización, el MÓDEM envía caracteres de sincronía al receptor al comienzo de la transmisión.

La sincronización de la terminal transmisora y receptora es controlada por osciladores, la señal de reloj o base de tiempo de los osciladores es proporcionada por el módem cuando se usa, de lo contrario, va incluida en el dato. Un ejemplo típico de sincronismo es la modulación PSK.

La señal de reloj es recuperada desde las bandas laterales de la señal recibida y es obtenida del módem separadamente. Esto indica al circuito, al envío de un dato, el instante apropiado para hacer el muestreo del dato recibido que lleva la información.

Ya que los bits de inicio y parada no se requieren en este tipo de transmisión, todos los bits son usados en el envío del dato, esta acción elimina el 20 % de pérdida que posee la característica de la transmisión asincrónica.

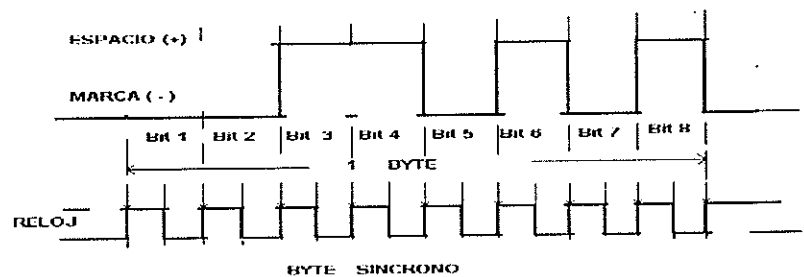


Fig. 32.1 Secuencia de un carácter sincrónico

Existe un método con el cual se puede identificar qué grupo de bits son los que constituyen un carácter, este proceso se conoce con el nombre de FRAMING. Este método de delimitación o decisión, para el caso de sincronismo, se hace mediante la definición de un carácter especial comúnmente llamado "SYNC".

Este carácter es diferente de los caracteres que se transmiten, tal que tiene una forma irregular. Así, cuando un carácter "sync" es precedido o seguido por un carácter regular, no es posible una forma sucesiva de bits iguales a la forma del carácter "sync", excepto los bits que actualmente están en el carácter "sync".

2.3

MODOS DE EXPLOTACIÓN DEL CIRCUITO DE DATOS

2.3.1

TRANSMISIÓN EN MODO HALF-DUPLEX

Señales de datos van en una dirección y señales de control van en dirección contraria, para indicar que los mensajes han sido recibidos de manera correcta o que habiendo detectado error es necesario retransmitirlos, este modo de transmisión permite el flujo de información en ambas direcciones del enlace, pero, no simultáneamente.

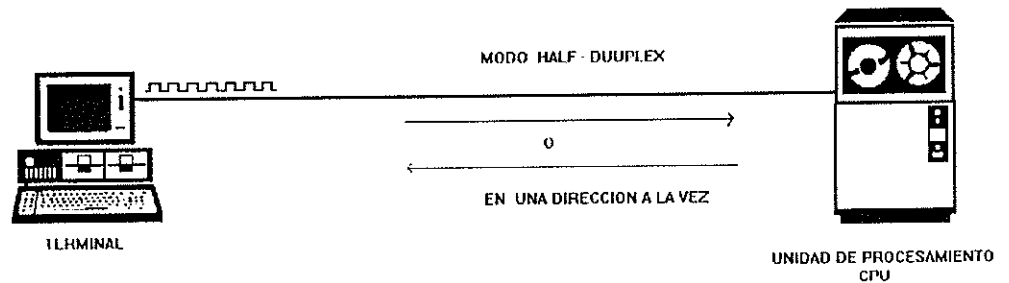


Fig. 33.1 Transmisión en modo half-duplex

2.3.2

TRANSMISIÓN EN MODO FULL-DUPLEX

Aquí la información fluye en ambas direcciones, simultáneamente.

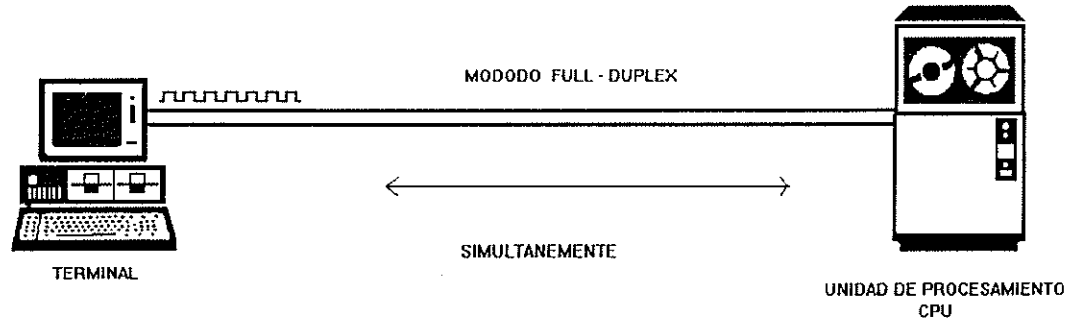


Fig. 33.2 Transmisión en Modo full-duplex

La transmisión simultánea en las dos direcciones, puede realizarse en un enlace de 4 hilos o, bien, en uno de dos hilos, empleando una banda de frecuencia para transmisión en una dirección y la otra banda para la dirección contraria. Hay que hacer notar que las velocidades en las dos direcciones no son iguales.

Estos dos modos son los que se emplean en transmisión de datos por que es necesario tener flujo de información en ambas direcciones, aunque no siempre simultáneamente.

Existe un tercer modo de explotar el circuito de datos, al cual se hará mención como referencia, es poco usado en transmisión de datos pero existe, es el modo "simplex", en este modo la transmisión se realiza solamente en un sentido, sin posibilidad de hacerlo en el opuesto. Este modo es usado en el campo de la telemetría o, sea, la medición a distancia.

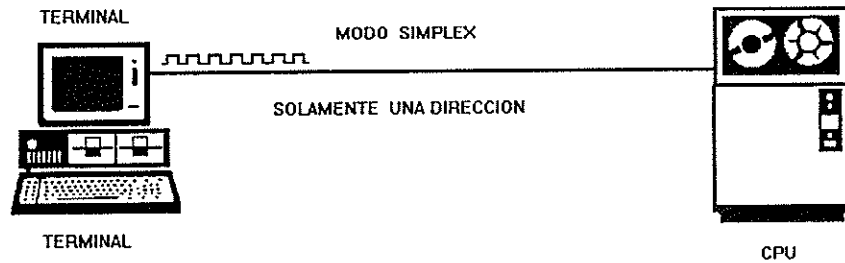
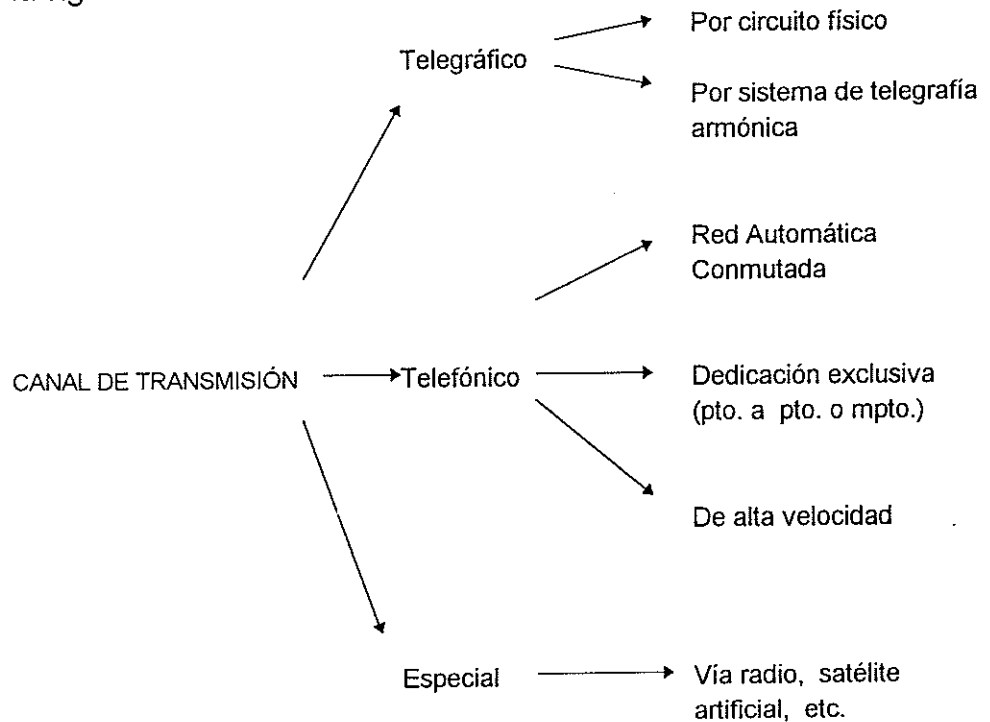


Fig. 33.3 Transmisión en modo Simplex

2.4 CARACTERÍSTICA DEL CANAL DE TRANSMISIÓN DE DATOS

2.4.1 TIPOS DE CANAL

Atendiendo a su constitución que vendrá condicionada, entre otras cosas, por la velocidad que se pretenda transmitir, los datos se hace la siguiente división:



División del canal de transmisión

Dado lo complejo y costoso de tener cables dedicados o algún otro medio especial local para la transmisión de señales digitales (datos), cada vez se está incrementado más el uso de los canales telefónicos para el envío de este tipo de señales. Tomando en consideración que el ancho de banda para el canal telefónico universal es aproximadamente, de 3 KHz (banda de frecuencia de 300 a 3400 Hz) y está diseñado originalmente para transmitir señales de voz (analógicas).

De acuerdo con lo anterior, se continuará el desarrollo con el canal telefónico. En las secciones posteriores se hablará de los fenómenos adversos o imperfecciones que se deben tomar en cuenta al utilizar una línea telefónica, los cuales alejan del objetivo ideal: reproducir en el extremo receptor con absoluta fidelidad la señal de origen.

2.4.2 Cable multipar.

Es un cable formado por pares de conductores sólidos de cobre aislados con una cinta de papel envuelto en cada conductor. Sobre el conjunto de pares lleva un tubo de plomo, como también puede ser un tubo derivado del petróleo que le sirve de cubierta exterior. Cada par de cables conductores forman un circuito telefónico por donde se cruza una señal de voz analógica.

La instalación de los cables multipares puede ser aérea, mural o en tubería subterránea.

En la siguiente tabla se muestran los calibres de algunos conductores, multipares, su resistencia por conductor y capacidad de pares de hilos telefónicos de cable.

TABLA I
RELACIÓN ENTRE CALIBRE Y RESISTENCIA

CALIBRE (d)	CAPACIDAD DE PARES HILOS TELEFÓNICOS	RESISTENCIA POR CONDUCTOR
26 AWG (0.41 mm)	10 - 1800	143 ohms/km.
24 AWG (0.51 mm)	10 - 1200	90 ohms/km.
22 AWG (0.64 mm)	50 - 900	57 ohms/km.
19 AWG (0.91 mm)	50 - 450	27 ohms/km.

d = diámetro

2.4.1 DISTORSIÓN DE LA SEÑAL EN EL CANAL DE TRANSMISIÓN

Cualquier canal de comunicación introduce alguna modificación en la señal de información, sin embargo, algunos factores que no causan mayor daño en una comunicación de voz, si lo ocasionan en una transmisión de datos. Así, por ejemplo, el oído humano es insensible a algunas características del circuito telefónico que hacen casi imposible la transmisión de datos a alta velocidad. Además, la redundancia del habla permite que se pueda entablar una conversación sobre un canal ruidoso que producirá una cantidad de errores inaceptable en las señales de datos

2.4.3.1 Canal ideal

Supóngase un canal con una característica de frecuencia $H(w)$. Si $S(w)$ es la señal de entrada, la señal de salida $R(w)$ es:

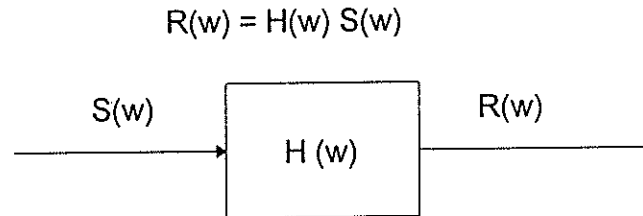


Fig. 34.1 Representación esquemática de un fusión de transferencia ideal.

Si el canal de comunicación no introdujera ninguna modificación en la señal de entrada, la salida sería $S(w)$; sin embargo, como se ve de la ecuación (54.1), $S(w)$ está influida por la característica del canal $H(w)$.

Si la modificación de la señal de entrada consiste solamente en la modificación por una constante K y en un retardo de tiempo t_0 , es decir si la señal de salida es:

$$S(t) = A \cos[2\pi f_0 t + \Phi(t, \alpha)]$$

$$r(t) = K S(t-t_0) \quad (34.2)$$

entonces, se dice que la señal de entrada no ha sido distorsionada, ya que la señal recibida es diferente de la entrada, sólo en un factor de amplitud constante.

¿Cuáles son las características del canal que satisface la ecuación? Para responder a esto sáquese la transformada de Fourier de la ecuación (34.2)

$$r(t) = R(w) = K S(t-t_0) = K e^{-j\omega t_0} S(w) \quad (34.3)$$

comparando al ecuación (34.3) con la (34.1) se deduce que la característica del canal $H(w)$ es:

$$H(w) = K e^{-j\omega t_0} \quad (34.4)$$

En consecuencia, el espectro de amplitud debe ser constante y el espectro de fase debe ser una línea con pendiente igual a $-t_0$

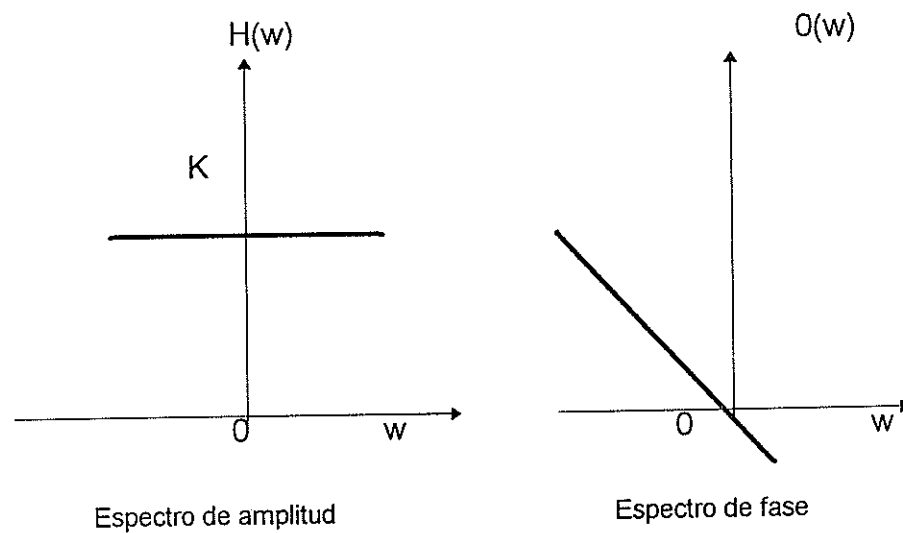


Fig. 34.2 Espectros de amplitud y de fase

2.4.3.2

Distorsión por Atenuación

Para que no hubiera distorsión de atenuación, se requeriría que el espectro de amplitud del canal de comunicación fuera ideal. En éste, todos los componentes de frecuencia de la señal de entrada son atenuados en la misma cantidad; sin embargo, debido a los parámetros reales del medio de transmisión, no tienen esta característica de amplitud de frecuencia.

En la siguiente figura se muestra la gráfica de atenuación vs. frecuencia para un cable cargado, relativo a la atenuación a 1000 Hz. Como se ve en dicha figura, la atenuación espectral que sufre la componente espectral de 3000 Hz es mucho mayor que la componente de 500 Hz. Para vencer esta distorsión se utilizan igualadores de atenuación.

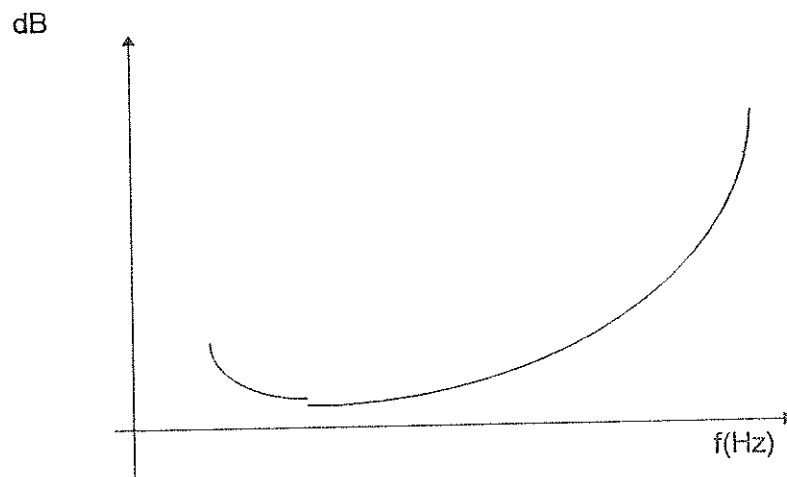


Fig. 34.3

Atenuación vs. Frecuencia

2.4.3.3

Distorsión de retardo de envolvente

Un cambio de fase lineal con la frecuencia, implica un retardo de tiempo igual para todas las componentes de frecuencia y no hay distorsión de la forma de onda de la señal en el canal.

Si el cambio de fase con la frecuencia no es lineal, las diferentes componentes de frecuencia sufren retardos de tiempo diferentes, lo cual origina distorsión en la señal (distorsión de fase). Es la causante de mayor distorsión a la señal de datos.

Cuando la distorsión de retardo es muy grande, la última energía de llegada de un pulso puede intervenir con el comienzo del pulso siguiente, dando origen al fenómeno de la interferencia entre símbolos.

Se define este retardo:

$$\text{retardo de envolvente} = \frac{d\phi}{dw}$$

donde: ϕ = fase

w = frecuencia en rad./seg.

Para que no hubiera distorsión de retardo, el canal debería tener una característica de retardo de envolvente contra frecuencia, como se muestra en la siguiente figura.

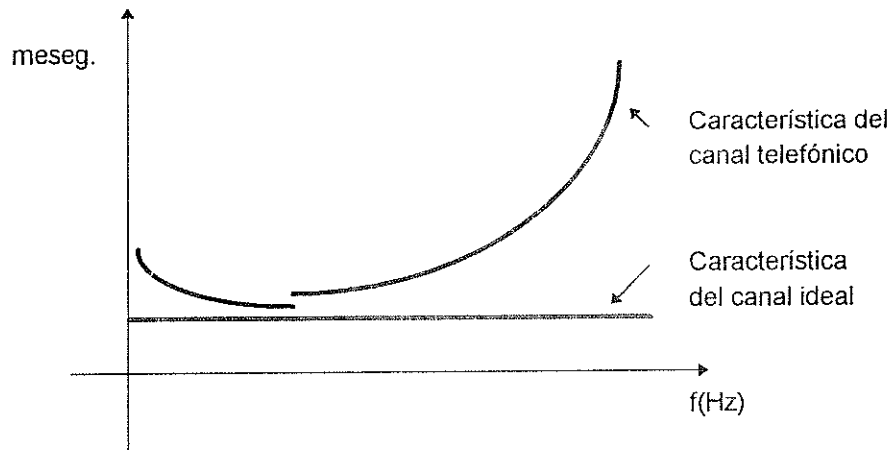


Fig. 34.5 Característica del canal telefónico Vrs. canal ideal

Sin embargo, una línea telefónica tiene una característica de retardo como se ilustra en la figura anterior. Las fuentes características de distorsión de retardo de envolvente son:

- ⇒ los filtros pasabanda,
- ⇒ las características de filtro pasabajo o pasaalto exhibidas por todos los medios de transmisión

2.4.3.4 Distorsión no lineal

La distorsión no lineal sobre una señal de datos es causada, principalmente por:

- ⇒ no linealidades en el canal de transmisión, por ejemplo, los efectos de saturación de núcleo magnético y amplificadores,
- ⇒ ruido de intermodulación que se produce en sistemas de división múltiple de frecuencia,

⇒ compensadores en canales telefónicos.

Las no linealidades en aparatos electrónicos causan distorsión armónica y la creación de frecuencias **espurias**.

El ruido de intermodulación se origina en un canal de división múltiple de frecuencia cuando una desviación de la linealidad del equipo causa que un canal intermodule a otro canal independiente. El producto de los dos canales intermodulados cae en una banda de frecuencia reservada a otra señal, lo que ocasiona interferencia en este canal. El efecto es más nocivo si un tono (señal de una sola frecuencia) intermodula a una señal de voz. Esto puede conducir a que la señal de voz intermodulada por el tono, sea escuchada en otro canal telefónico. Pone limitaciones a la transmisión de datos en el canal telefónico, porque es costumbre que en la comunicación con computadoras se transmitan señales de una sola frecuencia.

Otros factores que van en detrimento de la buena calidad de la transmisión de datos son los siguientes:

golpes de ganancia, son cambios abruptos en la pérdida del circuito,

golpes de fase, son cambios abruptos relativamente grandes en la fase de la señal recibida. Causados por el *switching* de fuentes de portadoras alternas que no están en fase. Un sólo golpe de fase puede borrar varios bits de una señal de datos,

caídas instantáneas (dropouts) son pérdidas de cierta duración de la señal, ocasionadas por condiciones de circuito abierto o corto circuito de la línea.

2.4.4 Pérdida de información

Es aquella que está asociada con el nivel de la señal recibida. La pérdida puede ocurrir por las siguientes razones:

- a) absorción,
- b) radiación,
- c) ajustes inadecuados.

2.4.5 Pérdida de retorno

Es una medida de la capacidad de acoplamiento de impedancias, entre la impedancia de la fuente y la de la carga. Su ecuación es:

$$\text{Pérdida de retorno} = 20 \log \left(\frac{z_1 + z_2}{z_1 - z_2} \right) \text{ db}$$

z_1 = impedancia de la fuente

z_2 = impedancia de la carga

Una medida de pérdida de retorno pobre significa que hay una baja transferencia de potencia de la fuente a la carga.

2.4.6 Ruido

La cuantía de un nivel de ruido se realiza expresándolo en dBm0p, que representa la relación entre la potencia del ruido y la de una señal de prueba expresada en decibelios, esto, en un punto particular del circuito conocido como de nivel relativo cero (1 mW normalmente).

Principalmente, hay dos tipos de ruido eléctrico en canales telefónicos;

a) ruido gaussiano, también llamado ruido estacionario o ruido blanco;

b) ruido de impulso.

2.4.6.1 Ruido gaussiano.

El ruido gaussiano se debe al movimiento aleatorio de los electrones en un circuito electrónico. El nivel de este ruido determina el nivel de potencia mínimo absoluto que debe tener la señal transmitida, a fin de mantener una relación señal a ruido aceptable en el extremo final de la transmisión. Mientras no sobrepase el nivel de decisión para determinar en el receptor si hay unos o ceros, el ruido gaussiano no causa ningún problema en la transmisión de datos. En cambio, en la transmisión de voz, este ruido es bastante problemático.

Para medir este tipo de ruido se emplea un aparato llamado "sofometro" de aquí también que se conozca como "ruido sofométrico".

2.4.6.2 Ruido de impulso.

El ruido de impulso o ruido impulsivo, está caracterizado por ser impulsos aleatorios de gran intensidad y poca duración (del orden de milisegundos).

Este ruido tiene poco efecto en el oído humano, ya que es escuchado simplemente como un chasquido sin distribuir la señal de voz. En cambio tiene efectos muy serios en la transmisión de datos.

Por los efectos que causan sobre la señal, el ruido blanco y el ruido térmico, otra vez se pone de manifiesto que lo que es funcional para la transmisión de voz, no siempre lo es para la transmisión de datos.

El ruido de impulso debido a su duración tan baja para sistemas de comunicación cuya velocidad es baja, no tiene efecto negativo alguno. En cambio, el efecto de este tipo de ruido en sistemas de alta velocidad como los de transmisión de datos, es uno de los factores principales de error; en la figura anterior se muestra cómo este ruido da lugar a error en la detección de la señal digital de alta velocidad.

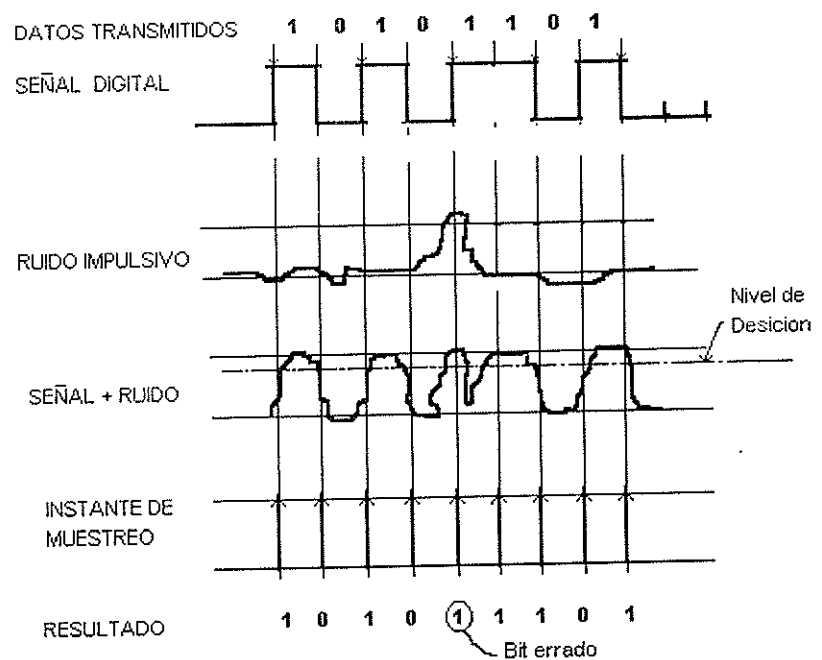


Fig. 34.6 Efectos del Ruido de impulso

El ruido de impulso es causado por:

- * transitorios de switcheo de relevadores, principalmente electromecánicos,

- * tormentas eléctricas,
- * operación de maquinaria.

Hay otro tipo de ruido que no está de más tener conocimiento de él, se trata de la cuantificación.

2.4.6.3 **Ruido de cuantificación.**

Aparece únicamente cuando algún tramo del circuito está constituido por sistemas MDT y tiene su origen en el error que, inevitablemente se comete, tanto en el muestreo como en la cuantificación de la señal. Los efectos de ese error se presentan igual a otros fenómenos, como, fluctuación de fase, des-adaptación compresor-expansor, etc., confundiendo con ellos y dificultando su medida.

2.4.7 **Fluctuaciones de fase**

En sentido muy general, se define como: "desplazamiento de paso por cero de una señal, con respecto a los instantes previstos."

La interpretación que se le puede dar es una variación lenta y permanente de la fase, la cual se puede apreciar por medio de un osciloscopio como el temblor de la imagen que, por la persistencia de la misma en la pantalla se convierte en un trazo muy grueso.

Como causas productoras de este fenómeno se pueden mencionar:

- ⇒ rizado de alimentación,
- ⇒ inestabilidad de la frecuencia de la red,
- ⇒ interferencias de corrientes de llamada,
- ⇒ variaciones de carga de los osciladores.

Esta perturbación que no tiene incidencia en las conversaciones telefónicas, se detectó en las primeras transmisiones de datos a 4,800 bits/seg., creando serios problemas. Actualmente, esta

perturbación ha perdido importancia, pues, se han eliminado las causas productoras, mejorando los equipos y las redes de telefonía.

2.4.8

Eco.

Se define como, "una señal de las mismas características que la original, pero, atenuada y retarda respecto a la misma." El efecto del eco es mayor, cuanto menos, atenuada y más retardada llega la señal perturbadora.

Este fenómeno tiene su origen en el desequilibrio de los transformadores híbridos de conversación de dos a cuatro hilos, así como en cualquier punto en donde existe una reflexión de energía por des-adaptación de impedancias, teniendo efecto nocivo tanto en transmisión de voz como de datos. Lo que hay que hacer notar es que este fenómeno se produce cuando la señal viaja grandes distancias o, sea, que sólo se produce en comunicaciones transcontinental o intercontinentales, vía satélite, etc.

2.4.9

Salto bruscos de fase y ganancia.

A lo largo de una comunicación puede aparecer una serie de fenómenos transitorios de muy corta duración en forma de saltos bruscos de fase, variaciones de nivel, microcortes, etc., la mayor parte de veces, debido a conmutaciones de equipos normales por reserva y viceversa, en algún punto de la ruta seguida por el circuito.

Estos fenómenos que no son apreciables en la conversación telefónica, producen una ráfaga de errores en transmisión de datos. De todas formas su aparición no es afortunadamente muy frecuente, suelen pasar horas entre saltos sucesivos. Un ejemplo claro de esto sería la señal de timbrado, la cual podría causar errores al transmitir datos y voz simultáneamente.

UNIDADES DE MEDIDA BÁSICAS EN TRANSMISIÓN DE DATOS.

Los niveles de las señales se miden en términos de potencia y los de potencia se expresan en términos de decibeles.

La potencia se prefiere al voltaje o a la corriente, debido a que es una cantidad absoluta, mientras que el voltaje y la corriente dependen uno de otro pudiendo intercambiar sus valores sin modificar la potencia real de la señal.

El decibel resulta 10 veces el logaritmo de base 10 de la relación de 2 niveles de potencia:

$$10 \log P_2 / P_1 = x \text{ decibeles}$$

donde: x es la diferencia de potencia entre las dos señales.

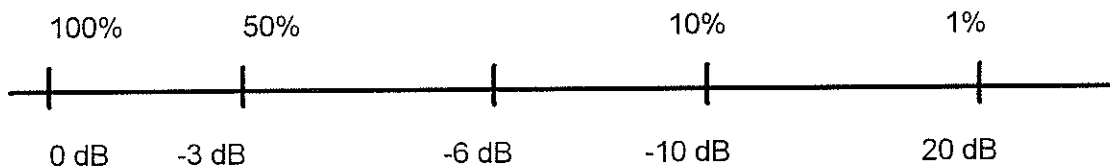
Si se utiliza un nivel de referencia para uno de los dos niveles de potencia formando la relación, el valor resultante expresa la potencia real de la señal.

La potencia de referencia más ampliamente empleada en comunicaciones es un miliwatt, al usar esta referencia el nivel de potencia resultante se acostumbra simbolizar **dBm** y significa el valor absoluto o el milivatio del dB. También existe el valor relativo del **dB** o **dBr**.

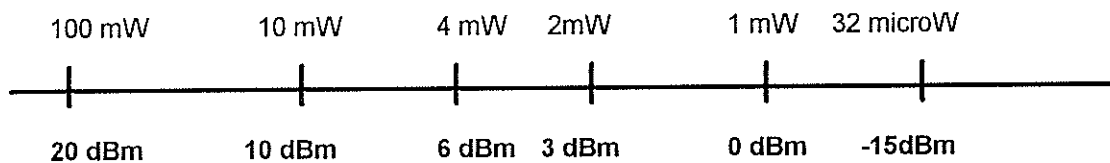
Para ejemplificar se proporcionan varios valores:

- 0 dB = sin atenuación
- 3 dB = índice de atenuación 0.5
- 6 dB = índice de atenuación 0.25
- 10 dB = índice de atenuación 0.1
- 20 dB = índice de atenuación 0.01

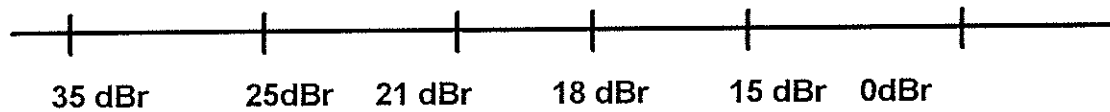
Los valores en dB significan la pérdida de un punto a otro y no el nivel real de la señal.



Nivel de señal (Pérdida de un punto a otro)



Nivel de señal absoluto



Nivel de señal relativo

Fig. 34.7 Diferentes niveles de una señal

Las señales digitales o de datos presentan, en general, la misma apariencia, independientemente de la fuente que les dio origen.

Estas señales tal como se presentan son aptas para su transmisión sobre líneas o cables, es decir en banda base.

Sin embargo, en el caso en particular de transmisión por otro medio o combinada, como en el caso de la transmisión simultánea de voz y datos, se hace necesaria la adaptación de estas señales digitales al medio o a la forma en la cual se combina esta señal de datos, como se realiza en el caso de las señales analógicas. Como se sabe, este proceso de adaptación recibe el nombre de modulación, en el caso de ser la señal modulante una señal digital, surge el nombre de modulación digital. En este punto hay que hacer notar que el término modulación digital también es usado para los procesos de *digitalización* de señales analógicas tal como el PCM, DPCM, etc. y también es usado en las técnicas en las cuales se inscribe información analógica sobre un tren de pulsos, variando su amplitud (PAM) su posición (PPM) o su duración (PDM).

Con todo, estas señales donde la información está contenida en alguna característica de tren de pulsos son sólo aptas para transmitirse en banda base. Consecuentemente, para adaptar una señal digital a un medio diferente de una línea deberá realizarse la modulación de una onda senoidal, también llamada modulación de onda continua (CW).

Resumiendo, modulación digital es el conocido proceso de modulación de una onda senoidal con la salvedad que la señal modulante es digital.

Un concepto importante en el análisis de este tipo de modulación es el concepto de *eficiencia* en la utilización del espectro aplicando el concepto de densidad de información.

$$\cdot \mathcal{S} = R / B \quad (35-1)$$

donde

R: tasa de señalización en bits/seg.

B: ancho de banda en Hz

en consecuencia, la densidad de información d se expresa en bit/seg./Hz o simplemente en bits/ciclo o impropriamente bits/Hz.

Recuerdese que, teóricamente, la máxima densidad de información para una señal binaria es de 2 bits/seg./Hz la cual se reduce a la mitad para modulación con doble banda lateral. Estos valores se incrementan mediante las técnicas multinivel lográndose por ejemplo para el caso de líneas telefónicas no conmutadas densidades de 3.1 bits/seg./Hz ($R=9600$ bits/seg.).

De interés es el estudio de la modulación digital en frecuencia, básicamente, existen dos métodos: Modulación por desplazamiento de Frecuencia (F.S.K) y Modulación por desplazamiento de Frecuencia de Fase Continua (C.P.F.S.K.).

2.5.1 F.S.K MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA

En este método de modulación la señal digital $x(t)$ controla una llave que selecciona la frecuencia modulada de un banco de osciladores, dos en el caso binario. Por esta razón la señal modulada presenta discontinuidades en cada instante de conmutación a menos que la amplitud, la frecuencia y la fase de cada oscilador haya sido cuidadosamente ajustada. Esto trae como consecuencia la dispersión del espectro de la señal modulada, la cual dependerá de dichas discontinuidades.

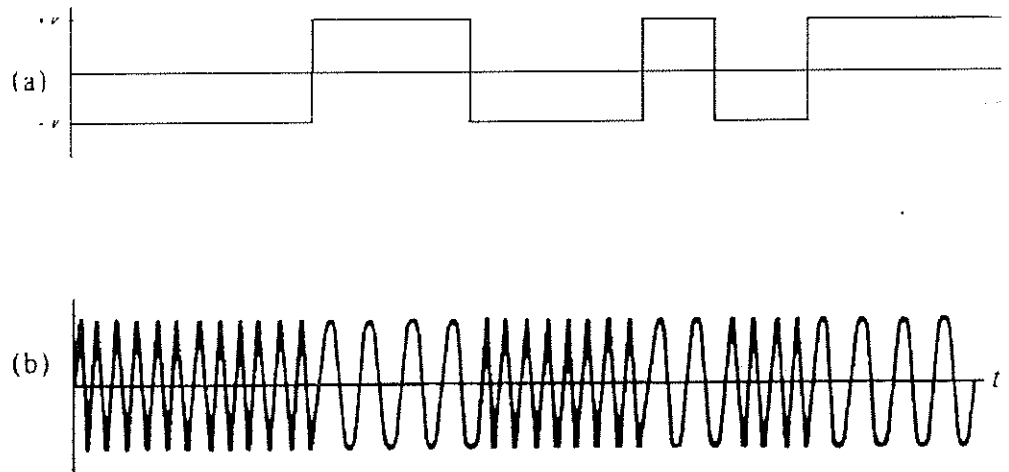


Fig. 35.1 (a) señal Banda Base (b) señal modulada FSK

La expresión de una señal binaria F.S.K. es

$$x_c(t) = K \cos[2\pi \{f_c + x(t) \cdot \Delta f\}t] \quad (35-2)$$

donde f_c es la frecuencia central, portadora virtual. $x(t)$ es la señal digital de banda base, simétrica NRZ de 2 niveles y Δf es la denominada desviación de frecuencia.

Generalmente $f_c \gg 1/T$ aunque en algunos sistemas, particularmente cuando el vínculo es una línea telefónica, son magnitudes del mismo orden. Por ejemplo para tasas de señalización de 1200 bits/seg. la utilización de modulación FSK con portadora virtual de 1700 Hz y desviación de 500 Hz.

El espectro de frecuencia de una señal FSK es en general difícil de obtener y puede visualizarse a partir de la superposición de dos señales O.O.K. desplazadas relativamente en T con lo cual se obtiene que el espectro de frecuencia resulte:

$$X(f) = 1/2 \text{ comb}_{1/2T} \{ [\text{sinc}(f - f_1)T + \text{sinc}(f + f_1)T] [\text{sinc}(f - f_2)T + \text{sinc}(f + f_2)T] \exp^{-j2\pi ft} \} \quad (35-3)$$

donde

$$\begin{aligned} f_1 &= f_c - \Delta f \\ f_2 &= f_c + \Delta f \end{aligned} \quad (35-3-1)$$

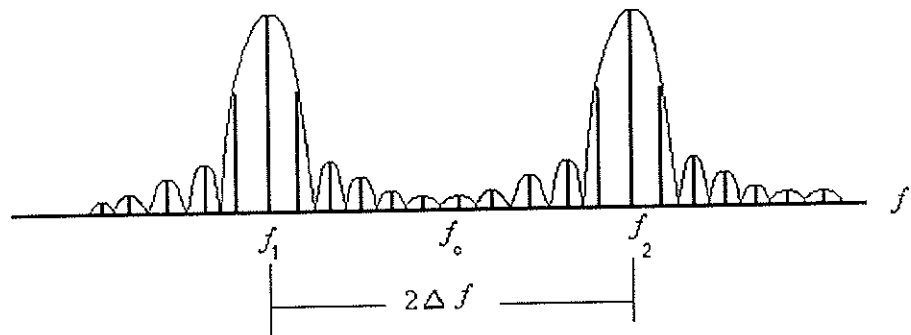


Fig. 35.2 Espectro para una forma de onda FSK periódica de frecuencias positivas

El ancho de banda de esta señal resulta $2\Delta f + 2B$ donde $B = 1/2T$ es el ancho de banda de la señal de banda base.

2.5.2

Modulación por desplazamiento de frecuencia de fase continua (C.P.F.S.K.)

En F.S.K. se presentan discontinuidades en el instante de conmutación de frecuencia, en la modulación de CPFSK se intenta evitar estas discontinuidades y producir consecuentemente espectros más compactos. Estas cualidades hacen tener a este tipo de modulación ventajas sobre la F.S.K. Este tipo de modulación se basa en la modulación en frecuencia de un único oscilador por medio de una señal digital en función del tiempo $x(t)$.

La información transmitida está contenida en la fase, partiendo de una expresión con amplitud constante:

$$S(t) = \sqrt{2 \frac{E}{T}} \cos[2\pi f_c t + \phi(t, \underline{\alpha})] \quad (35-4)$$

donde la información está contenida en la fase.

$$\phi(t, \underline{\alpha}) = 2\pi h \sum_{i=-\infty}^{\infty} \alpha_i q(t - iT) \quad (35-5)$$

con

$$q(t) = \int_{-\infty}^{\infty} g(\tau) d\tau \quad (35-6)$$

Normalmente, la función $g(t)$ está formada por un pulso sobre un intervalo de tiempo finito $0 \leq t \leq LT$ y fuera de este intervalo

$$g(t) = \begin{cases} 1/2LT ; & 0 \leq t \leq LT \\ 0 & ; \text{ en otra parte} \end{cases} \quad (35-7)$$

Donde:

L = longitud del pulso (por unidad de tiempo)

T = símbolo de tiempo

fo = frecuencia portadora

h = índice de modulación

E = energía del pulso

La energía en función de la amplitud, entonces:

$$E = \int_0^L S_r^2(t) dt = P_m T = A^2 \frac{T}{2} \quad (35-8)$$

Dependiendo del pulso $g(t)$ el cual está en función del tiempo, se pueden derivar distintos análisis para las diferentes funciones del pulso $g(t)$. Del interés del autor de esta tesis es la función rectangular LREC ó pulso rectangular de longitud L. Al substituir la longitud y hacerla igual a la unidad ($L=1$) se obtiene el pulso para la modulación CPFSK, entonces se da:

función 1REC = pulso rectangular de longitud 1

Es importante notar que la Modulación de Fase Continua (MFC) es una generalización de la MSK (Conmutación de Mínimo Corrimiento) la cual se obtiene como un caso especial de la señal definida en la ecuación (3-5) seleccionando la longitud del pulso igual a 1 ($L=1$) y usando datos binarios ($M=2$) con $n=1/2$ en la función general LREC.

Entonces se obtiene con las condiciones anteriores:

$$g(t) = \begin{cases} \frac{1}{2t}; & 0 \leq t \leq T \\ 0; & \text{otra parte} \end{cases} \quad (35-9)$$

entonces:

$$g(t) = \int_{-\infty}^t g(\tau) d\tau = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^t \frac{d\tau}{\tau} \quad (35-10)$$

Sustituyendo en la ecuación (35-5) en términos de las dos f_1 y f_2 y sus respectivas velocidades angulares w_1 y w_2 , que se utilizan para representar los símbolos binarios 0,1 respectivamente. De esta última ecuación se puede observar que es una función continua del tiempo.

$$S(t) = A \text{Cos}[W_c t + \Delta W + \phi(0)] \quad (35-11)$$

$$\begin{aligned} W_c &= \frac{W_1 + W_2}{2} \\ \Delta W &= \frac{w_2 - w_1}{2} \end{aligned} \quad (35-13)$$

la cual se puede deducir de la ecuación (35-3-1) comparando esta ecuación (35-11) con la (35-4) se halla que la fase es una función lineal del tiempo.

$f(0)$ depende del desarrollo anterior del proceso de modulación y debe elegirse tal que se evite toda discontinuidad.

La condición para la condición ortogonal es: $2 \omega T_b = n \pi$ y, puesto que el objetivo es la eficiencia espectral, se elige la condición mínima, igual a uno.

$$\Delta W T_b = \frac{\pi}{2}$$

ó

$$2\Delta f T_b = \frac{1}{2} \quad (35-14)$$

Como éste es el mínimo espaciado de frecuencias entre ω_1 y ω_2 que permite que las dos ondas de señal FSK sean ortogonales entre si, esta selección particular de la CPFSK se llama MSK (conmutación de mínimo corrimiento) La última ecuación indica que se requiere de una separación de frecuencia entre f_1 y f_2 tal que haya una diferencia de medio ciclo en intermedio de un bit.

M.S.K. (Conmutación de Mínimo Corrimiento)

En base a la ecuación que representa F.S.K.:

$$X_c(t) = A \cos\{2\pi [f_c + x(t)\Delta f]t\} \quad (35-15)$$

referida con anterioridad, se puede representar el par de señales $s_1(t)$ y $s_0(t)$ que representa los dígitos binarios en esa forma de modulación:

$$\begin{aligned} S_1(t) &= A \cos(\omega_1 t + \theta) \\ S_0(t) &= A \cos(\omega_0 t + \theta) \end{aligned} \quad (35-16)$$

donde

$$\begin{aligned}w_1 &= 2\pi(f_c + \Delta f) \\w_0 &= 2\pi(f_c - \Delta f)\end{aligned}\quad (35-17)$$

la energía de ambos pulsos es la misma igual a:

$$E = \frac{A^2 T}{2} \quad - \quad A = \sqrt{\frac{2E}{T}} \quad (35-18)$$

sustituyendo:

$$\begin{aligned}S_1(t) &= \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(w_1 t + \theta) \\S_0(t) &= \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(w_0 t + \theta)\end{aligned}\quad (35-19)$$

Al receptor le será más fácil reconocer cuál de los dos dígitos le han sido enviados cuando éstos son más disímiles.

El grado de semejanza entre dos señales se mide mediante el coeficiente de correlación ρ el cual se define como:

$$\gamma = \frac{\int_0^T S_1(t) S_0(t) dt}{E} \quad (35-20)$$

De aquí se tendrán tres casos:

1.- Cuando $S_1(t) = S_0(t)$, $t = 1$, ésta es la peor condición de trabajo para el receptor en la cual la probabilidad de error aumenta.

2.- Cuando

$$\int_0^T S_1(t) \bullet S_0(T) = 0 \quad (35-21)$$

en este caso las señales $S_1(t)$ y $S_0(t)$ son ortogonales, para esta condición el receptor trabaja de mejor forma y la probabilidad de errores disminuye.

3.- Cuando $S_1(t) = -S_0(t)$ entonces $t = -1$;

ésta es la condición óptima de trabajo para el receptor y la probabilidad de error es la mínima en la cual se puede dar esta condición; se conoce como **antipodal**.

Sustituyendo en la ecuación del coeficiente de correlación las ecuaciones (35-19)

$$\gamma = \frac{\text{Sen}(w_1 - w_0)T}{(w_1 - w_0)T} = \text{sinc}(4 \Delta f T) \quad (35-22)$$

La cual se representa en la figura (35.3)

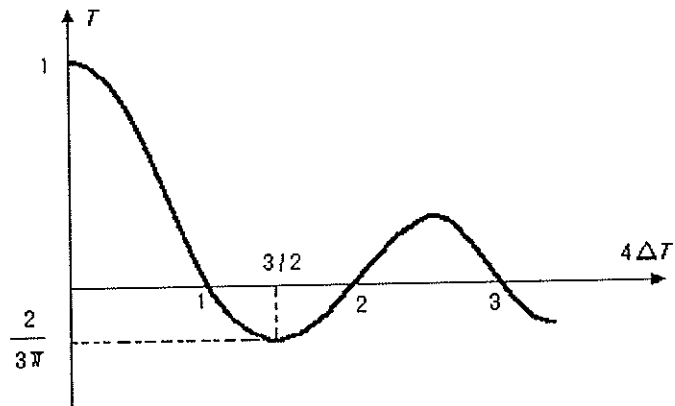


Fig. 35.3 Valores de *sinc* en función de la desviación de frecuencia en modulación FSK.

Este caso de interés se produce, sin embargo, para el primer cruce por cero. Cuando $4 \cdot \Delta f \cdot T = 1$ es decir una separación mínima dada por:

$$2\Delta f = f_1 - f_0 = \frac{1}{2T} \quad (35-23)$$

sea la mitad de la tasa de señalización. Esto significa que en un intervalo T un cero (espacio) produciría f_0 períodos de la portadora y un uno (marca) produciría $f_0 + 0.5T$ es decir una diferencia de 180° . Más aún, la señal M.S.K. mantiene continuidad de fase en la transición, por lo cual es una señal F.S.K de fase continua. En la figura (35.4) se representa, esquemáticamente, las formas de onda correspondientes.

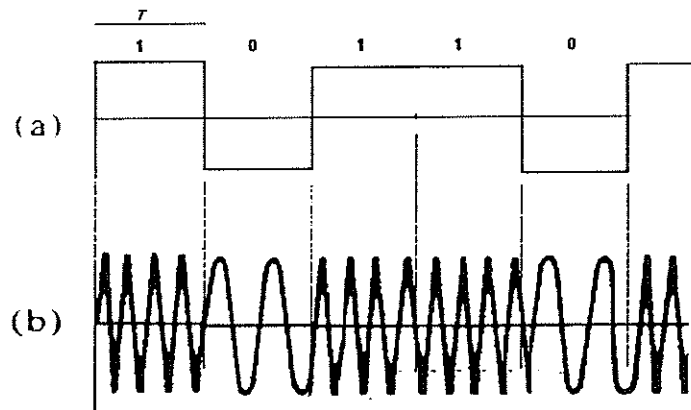


Fig. 35.4 Modulación C.P.F.S.K. (a) banda base (b) señal modulada

La ecuación (35-21) muestra, además, que existe una relación coherente entre las frecuencias transmitidas y la tasa de señalización requerida.

Así, la señal M.S.K. está descrita por

$$S_{M.S.K.}(t) = A \cos[2\pi(f_c + \Delta f)t] \quad (35-24)$$

Usando identidades trigonométricas, se puede expresar la ecuación (35-24) en términos de componentes de fase y cuadratura como:

$$S_{M.S.K.}(t) = A[\cos(\pm 2\pi\Delta ft) \cos \omega_c t - \text{sen}(\pm 2\pi\Delta ft) \text{sen} \omega_c t]$$

la cual puede generarse usando conformadores de onda senoidal.

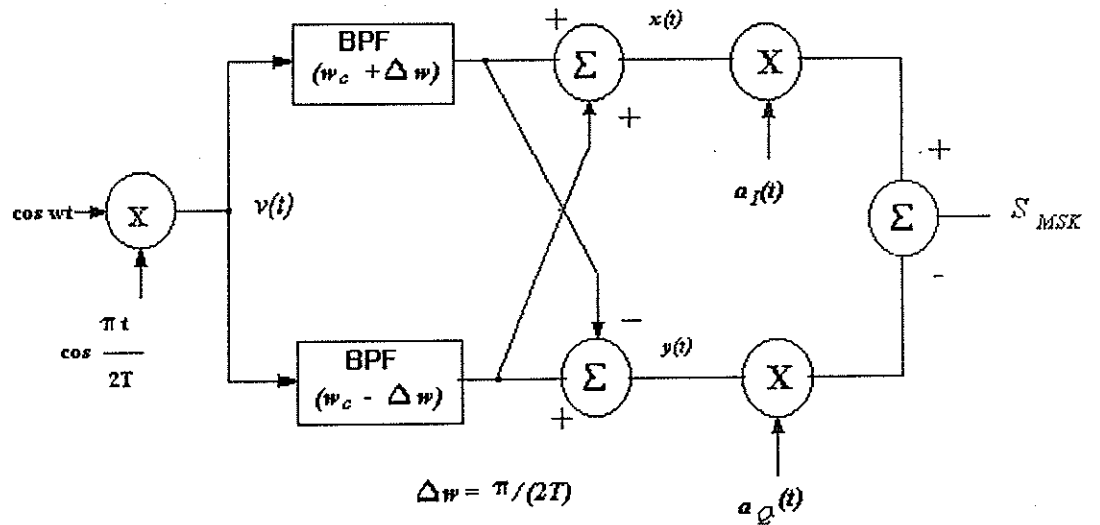


Fig. 35.5 Representación esquemática de un Modulador MSK

Los conformadores senoidales pueden implementarse con filtros conmutados no lineales. La amplitud y fase de las señales de salida de los moduladores es tal que su suma tiene una envuelta de amplitud constante, lo cual permite su transmisión a través de dispositivos saturables.

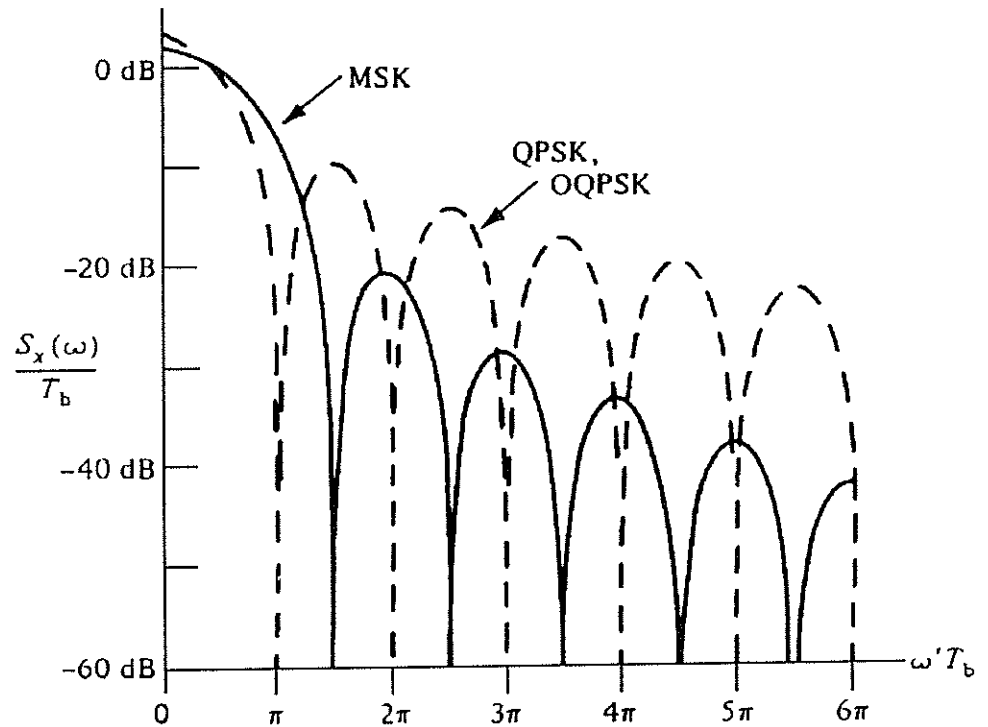


Fig. 35.6 comparación de las densidades de los espectros de potencia entre las señal MSK, OPSK y OQPSK.

PREDICCIÓN TEÓRICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA TÉCNICA EN LA RED

Aparte de conocer las diferentes pérdidas que sufren los cables multipares, en esta sección se hace un repaso de los parámetros que deben tomarse en cuenta para efectos de cálculo en medios de transmisión, específicamente, cables múltipares. Algo importante, en este caso, es la dependencia de estos parámetros con la frecuencia, debido a que el funcionamiento de esta técnica utiliza frecuencias de operación fuera de la banda de voz.

A continuación se describirá en forma general un sistema de transmisión.

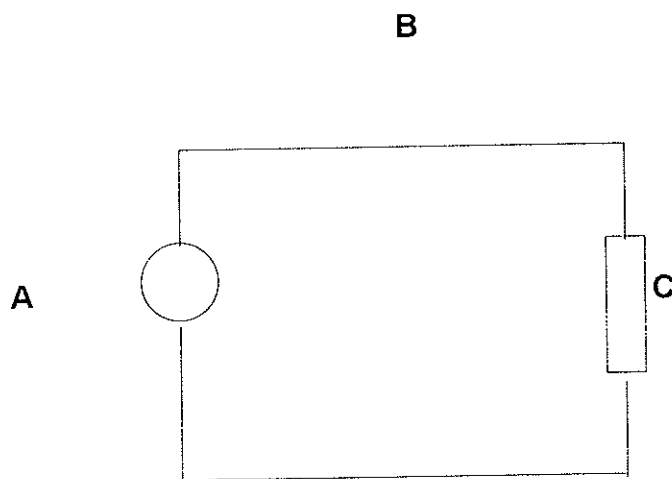


Fig. 36.1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN GENERAL

Consta de 3 partes esenciales:

A) fuente de energía,

- B) un medio sobre el cual se puede transmitir la energía hacia el dispositivo receptor,
- C) un receptor que transforma la energía eléctrica en cualquier otra forma de energía.

Tomando este sistema general de transmisión y trasladándolo a términos de telefonía, el sistema es el siguiente:

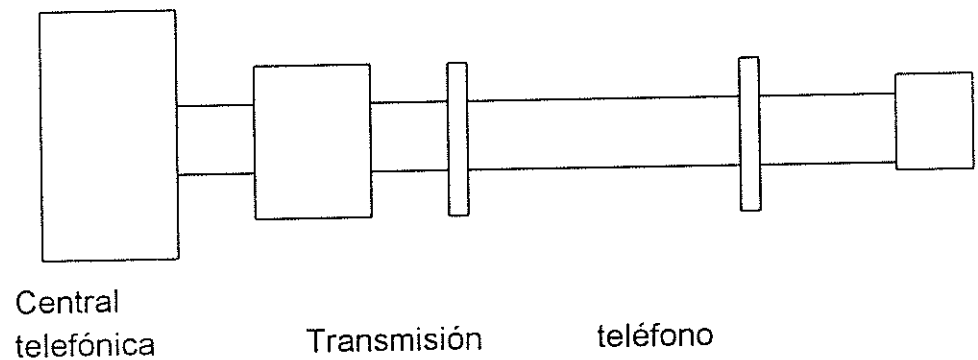


Fig. 36.2 Representación gráfica de un sistema de telefonía

2.6.1

PARÁMETROS ELÉCTRICOS DEL CIRCUITO DE TRANSMISIÓN PARA VOZ Y DATOS

Estos parámetros dependen de características y variables internas y externas de los cables telefónicos. De acuerdo a esto se han clasificado como:

PARÁMETROS PRIMARIOS	PARÁMETROS SECUNDARIOS
RESISTENCIA SERIE (R)	ATENUACIÓN
INDUCTANCIA SERIE (L)	CONSTANTE DE FASE
CONDUCTANCIA MUTUA (Gm)	IMPEDANCIA CARACTERÍSTICA
CAPACITANCIA MUTUA (Cm)	

Los parámetros primarios determinan completamente a los parámetros secundarios. Esto indica que, para efectos de cálculo, no se pueden obtener los valores de los parámetros secundarios, sino, antes se calculan u obtienen los parámetros primarios. También para este cálculo se debe tomar en cuenta la forma geométrica de los conductores y la variación de la frecuencia.

A frecuencia cero, el cálculo no es tan complicado y es más fácil si se hace sobre formás ideales: esferas concéntricas, cilindros circulares concéntricos o planos paralelos infinitos.

Cuando la frecuencia no es cero, los cálculos de resistencia y reactancia en algunos rangos de frecuencia, requieren, para su expresión, funciones matemáticas poco comunes, aún sobre formás ideales. El cálculo se complica, para formás geométricas un poco menos simples, tales como conductores paralelos, cuadrados concéntricos o rectangulares, que sí ocasionan problemás matemáticos muy difíciles.

Para su resolución se necesita de un computador y los resultados se dan, generalmente, en tablas o gráficas.

Debido a que la frecuencia de operación para hacer posible la transmisión de datos y voz está por encima de las frecuencias ordinarias para transmisión en cables telefónicos, el siguiente análisis se hace con base en gráficas y tablas que reflejan el comportamiento de cables telefónicos a distintas frecuencias, en rangos por encima de los normales para transmitir conversaciones telefónicas.

PARÁMETROS PRIMARIOS

De acuerdo con el sistema básico de transmisión es de interés conocer más profundamente y eléctricamente el medio de transmisión, el cable multipar.

Para tener un adecuado nivel de transmisión se deben utilizar conductores con buena conductividad. Pero, cualquier conductor tiene la naturaleza de impedir el paso de la electricidad, a esta oposición se conoce como RESISTENCIA (R).

Se define como el valor de ida y vuelta por Kilómetro, su unidad el ohm. La resistencia está en razón inversa de la sección del conductor y es proporcional a la longitud del conductor.

La resistencia aumenta cuando aumenta la frecuencia, esto es debido al efecto piel, el efecto de proximidad y las pérdidas por corrientes parásitas.

Por aparte, el cable multipar tiene más de dos conductores con poca separación entre ellos, esto hace que se acumule electricidad entre ellos, lo cual origina la CAPACITANCIA (C).

Es la capacidad que tienen los conductores de acumular una carga eléctrica entre los mismos, su unidad, el Faraday. Su valor se determina según la clase de aislante entre conductores, este casi no varía debido a la frecuencia.

Además, al fluir la corriente eléctrica en los conductores, se produce el campo magnético alrededor de ellos. Al aumentar la corriente, este campo magnético se opone al aumento, al disminuir la corriente el campo magnético se opone a esta disminución, esto es lo que se conoce como la acción de autoinducción y lo que nos da la magnitud de esta acción es la INDUCTANCIA (L).

La inductancia es la resistencia que obstaculiza el paso de corriente alterna, esta se va reduciendo al ir aumentando la

frecuencia, al llegar a una frecuencia alta la inductancia se mantiene en un valor constante.

Otra característica que se debe tomar en cuenta es la corriente de fuga que se escapa entre conductores, aún teniendo en cuenta los aislamientos que tiene un cable telefónico, papel, polietileno, etc.

Entonces, la relación entre el voltaje añadido y la corriente escapada es la CONDUCTANCIA (G) El valor de G es el recíproco de la resistencia de aislamiento.

Se debe tomar en cuenta que el valor de la conductancia aumenta conforme aumenta la frecuencia.

En este punto es claro que la línea de transmisión consiste en un circuito eléctrico continuo con los elementos R, L, C, y G.

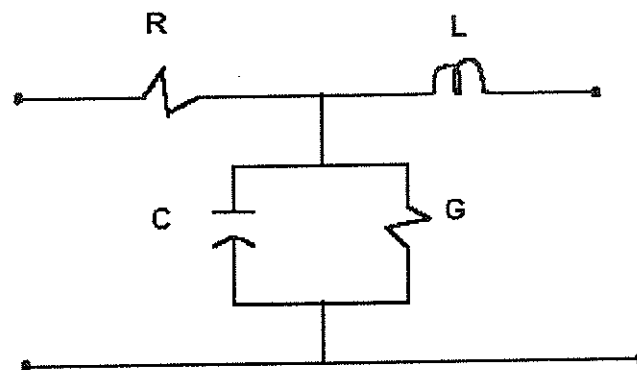
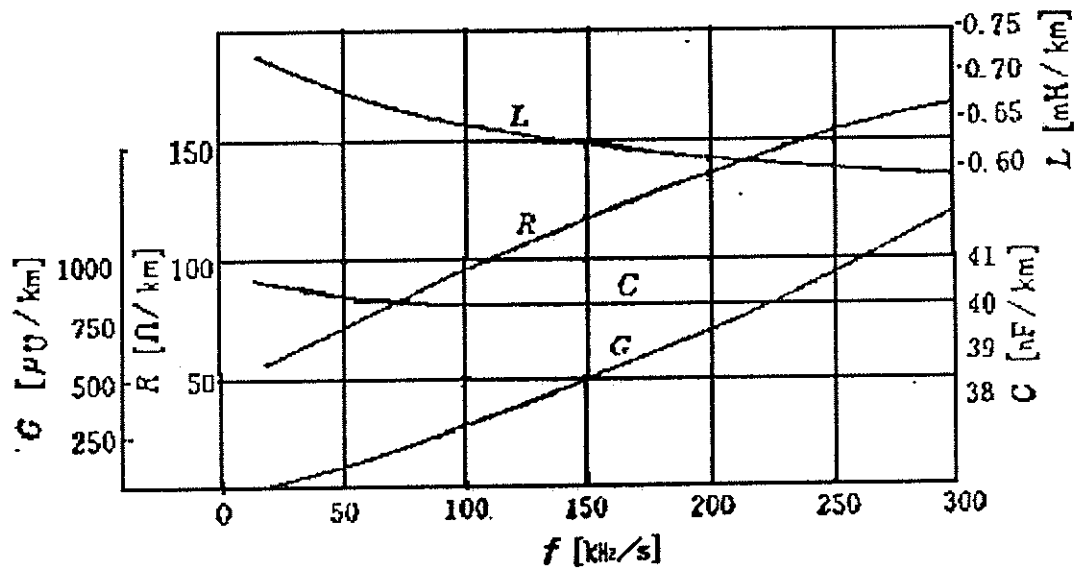


Fig. 36.3 Elementos eléctricos del circuito telefónico en una dirección

Debido a la naturaleza del análisis que se desea, es de interés el visualizar el cambio que sufren estos valores con la frecuencia. Es más práctico calcular los parámetros primarios con base en las gráficas que a continuación se presentan.



Gráfica A Representación gráfica de L, R, C, G

2.6.1.2 PARÁMETROS SECUNDARIOS

Como división principal se tiene: *Constante de propagación e Impedancia característica.*

La Constante de propagación esta compuesta por la *atenuación* y la *constante de fase.*

La *atenuación* es la que indica las pérdidas en la onda de la señal, se indica por atenuación por kilómetro de la línea. Su cálculo depende de la frecuencia de operación. En la práctica, dependiendo de la frecuencia se utilizan las siguientes fórmulas aproximadas:

Bajas frecuencias ó frecuencias de voz:

$$= \sqrt{\frac{wCR}{2}} \times 8.686 \quad (1)$$

Altas frecuencias:

$$= \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \times 8.686 \quad (2)$$

La constante de fase es la que indica la tardanza de la onda de una señal por kilómetro de la línea. En realidad el valor indicativo de si la señal va lenta o rápida es la velocidad de propagación (v) pero, está en función de la constante de fase:

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{2\pi}{\beta} f \text{ (Kms/s)} \quad (3)$$

donde v: Velocidad de propagación

B: constante de fase

f: frecuencia

Al igual que la atenuación, la constante de fase se puede indicar para frecuencias de voz y frecuencias altas.

Frecuencias de voz:

$$\beta = \sqrt{\frac{\omega CR}{2}} \text{ (rad./Km)} \quad (4)$$

Altas frecuencias (corriente portadora):

$$\beta = \omega\sqrt{LC} \text{ (rad./Km)} \quad (5)$$

La Impedancia característica es importante, pues, si se hacen conexiones a diferentes impedancias, la onda de la señal no se transmite eficazmente. Al no ser iguales las impedancias, la onda sufre reflexión en el punto de empalme o de conexión. Existe una fórmula general para el cálculo de la impedancia, pero, en la práctica, se utilizan las fórmulas aproximadas para frecuencia de voz y altas frecuencias.

Frecuencias de voz:

$$Z_o = \sqrt{\frac{R}{wC}} (\Omega) \quad (6)$$

Frecuencias altas:

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} (\Omega) \quad (7)$$

2.6.2

CÁLCULO DE LA ATENUACIÓN POR KILÓMETRO PARA FRECUENCIAS MAYORES A LA BANDA DE VOZ.

Para obtener estos valores de atenuación se utilizarán las gráficas y fórmulas de la sección anterior.

De la fórmula (2) se puede obtener la atenuación por kilómetro la cual da diferentes calibres de cable. Se nota que esta fórmula no está en función de la frecuencia, no quiere decir que la atenuación es independiente de la frecuencia, pues, la frecuencia es tomada en cuenta en los parámetros primarios según la gráfica (A). Esta gráfica esta indicada para un calibre

de alambre, pero, por relación a la siguiente tabla se pueden obtener los valores para otros calibres.

TABLA II
CONSTANTE PRIMARIO PARA CABLES QUE SE UTILIZAN
PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN

Diámetro de conductores	R ohm/Km	L(mH/Km)	G(micro mho/Km)	C(nF/Km)
26 AWG (0.4 mm)	286	0.6	0.6	52
24 AWG (0.5 mm)	180	0.6	0.6	52
22 AWG (0.6 mm)	114	0.6	0.6	52
19 AWG (0.9 mm)	54	0.6	0.6	52

R : resistencia ohmica

L : autoinductancia nominal

G : conductancia máxima

C : capacitancia normal

Las tablas que a continuación se presentan se calculan en relación a la tabla para un cable de distribución de 0.9 milímetros.

TABLA III
TABLA DE RESISTENCIA

CALIBRE	57 KILOHERTZ	114 KILOHERTZ
19 AWG (0.9 mm)	75 Ohm/Km	100 Ohm/Km
22 AWG (0.6 mm)	125 Ohm/Km	150 Ohm/Km
24 AWG (0.5 mm)	190 Ohm/Km	215 Ohm/Km
26 AWG (0.4 mm)	290 Ohm/Km	315 Ohm/Km

TABLA IV
TABLA DE CAPACITANCIA

CALIBRE	57 KILOHERTZ	114 KILOHERTZ
19 AWG (0.9 mm)	40.2 nF/Km	40 nF/Km
22 AWG (0.6 mm)	40.2 nF/Km	40 nF/Km
24 AWG (0.5 mm)	40.2 nF/Km	40 nF/Km
26 AWG (0.4 mm)	40.2 nF/Km	40 nF/Km

TABLA V
TABLA DE INDUCTANCIA

CALIBRE	57 KILOHERTZ	114 KILOHERTZ
19 AWG (0.9 mm)	0.68 mH/Km	0.65 mH/Km
22 AWG (0.6 mm)	0.68 mH/Km	0.65 mH/Km
24 AWG (0.5 mm)	0.68 mH/Km	0.65 mH/Km
26 AWG (0.4 mm)	0.68 mH/Km	0.65 mH/Km

Lo que interesa conocer es la atenuación que sufren los diferentes calibres a estas dos específicas frecuencias. Debido a que la fórmula para frecuencias fuera del ancho de banda de voz, se pueden considerar como frecuencias altas, que, de hecho, no lo son, sino, en realidad, son frecuencias medias. Sin

embargo, si el cálculo se hace con la fórmula para frecuencias bajas, el resultado no estaría reflejando; lo que realmente ocurre, pues, se desprecia la variación que sufren los parámetros primarios con la frecuencia. Por este motivo se emplea la fórmula de alta frecuencia aunque no es un cálculo cien por ciento exacto, pero, en mayor cuantía se apega a la realidad.

Entonces se conoce la fórmula:

$$= \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \times 8.686$$

Y se saben las frecuencias de 57 kHz y de 114 KHz. Utilizando los datos de las tablas anteriores para los diferentes calibres, se obtiene una tabla para atenuación por kilómetro por calibre y frecuencia:

TABLA VI
ATENUACIÓN POR KILÓMETRO

CALIBRE	57 KILOHERTZ	114 KILOHERTZ
19 AWG (0.9 mm)	2.517 dB/Km	3.406 dB/Km
22 AWG (0.6 mm)	4.174 dB/Km	5.110 dB/Km
24 AWG (0.5 mm)	6.345 dB/Km	7.325 dB/Km
26 AWG (0.4 mm)	9.684 dB/Km	10.730 dB/Km

De acuerdo con las especificaciones técnicas utilizadas por la compañía telefónica local, los diámetros de cables más utilizados para la red primaria y secundaria es 0.5 y 0.6 mm (24 y 22 AWG), por lo general, se utiliza para la red de abonado un diámetro de 0.9 mm (19 AWG). Si se acumula la atenuación por kilómetro de una red telefónica, tomando en cuenta tanto red primaria como secundaria y de abonado, lo más lógico es hacer

un promedio de los diferentes valores de atenuación para los distintos tipos de calibres y para dar un dato más apegado a la realidad, tomar en cuenta los cuatro calibres de alambres más utilizados en la red telefónica del área metropolitana de Guatemala.

Tomado esto como premisa y ,también, tomando en cuenta que el funcionamiento del equipo estará condicionado a la situación extrema, que, en este caso, será la frecuencia portadora más alta que es la de 114 kilohertz, el promedio por atenuación será: 6.25 dB/Km.

Con el fin de hacer un cálculo más rápido para la implementación de esta aplicación, se dará una regla rápida para hacer este tipo de cálculo, que, técnicamente, hacer el cálculo de esta manera es mucho más rápido y más apegado a la realidad que tomar un promedio, se dará un ejemplo para ilustrar mejor como hacerlo. Tomando en cuenta los valores de atenuación calculados y haciendo una aproximación de los valores de la atenuación para la frecuencia más alta de operación, para facilidad de cálculo, se tiene la siguiente tabla:

**TABLA VII
ATENUACIÓN POR KILÓMETRO**

CALIBRE	114 KILOHERTZ
19 AWG (0.9 mm)	4 dB/Km
22 AWG (0.6 mm)	6 dB/Km
24 AWG (0.5 mm)	8 dB/Km
26 AWG (0.4 mm)	11 dB/Km

Se debe tomar en cuenta la atenuación de los empalmes entre un calibre y otro:

ATENUACIÓN POR EMPALME ENTRE CALIBRES : 1 dB

Y como regla rápida de cálculo se toma:

ATENUACIÓN PARA DERIVACIÓN ENTRE CALIBRES: 0.028 dB/mt.

Si se asume que no existen terminaciones con diferentes tipos de calibre.

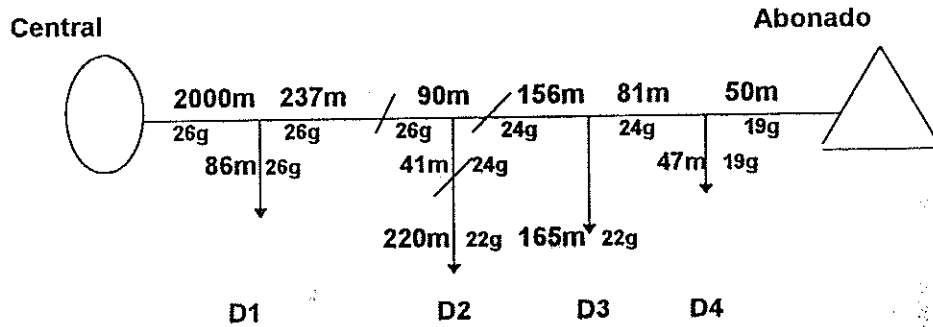


Fig. 36.4 División de la línea de abonado desde la central

De acuerdo con la figura anterior en la red externa en cuestión, se está utilizando diferentes tipos de calibre desde 19 a 26 AWG, el calibre se indica con una **g** y las distancias en metros, partiendo de este esquema se calcula de la siguiente manera:

EJEMPLO DE EL CÁLCULO PARA LA ATENUACIÓN A FRECUENCIAS MEDIAS

DATOS	LONGITUD	dB/Km dB	
26 AWG 2327 mseg.	2.327 Km	*(11)=	25.6
24 AWG 237 mseg.	0.237 Km	*(8)=	1.9
3 empalmes	3	*(1)=	3

30.5

DERIVACIONES	LONGITUD dB/m	dB
D1 86 mseg.. (26 ~ 26 AWG)	86 mseg. *(0.028) =	2.4
D2 220 mseg.. (22- 26 AWG)	220 mseg. *(0.028) =	6.2
D3 206 mseg..(mezclado 22-24 AWG)	206 mseg. *(0.028) =	5.8
D4 47 mseg.. (19-19 AWG)	47 mseg. *(0.028) =	1.3
		15.7

46.2 dB

De esta manera se obtiene un cálculo sencillo y tomando factores que afectan en la práctica.

Se ha tomado el caso que existan derivaciones, el cual no es el caso para la red de Guatemala, en el caso de que no existan derivaciones se debe tomar en cuenta sólo la mezcla de calibres, al observar esto, el total de la atenuación para el enlace del ejemplo sería solamente de 30.5 dB para una distancia aproximada de 2.5 Kmts.

CAPÍTULO 3

MEDICIONES DE CAMPO Y RESULTADOS

MEDICIONES CON EL DTX 2010 (DATA-OVER-VOICE)

Según la estructura de una red telefónica, se divide en: red primaria, red secundaria y red de abonado. Las especificaciones de La Empresa Guatemalteca de Telecomunicaciones para la red telefónica son las siguientes: para la red primaria y secundaria los calibres más utilizados son 0.4 y 0.5 mm, la distancia media para la red primaria y secundaria es de 4 Km. y la distancia media para la línea de abonado es de 500 metros con un calibre de 0.9 mm.

Las mediciones de campo se dividieron en dos tipos :

- * las mediciones de tipo analógico y
- * las mediciones de datos

Mediciones de tipo analógico.

Básicamente, se trata de obtener la atenuación de la línea a las frecuencias centrales de operación del equipo que provee la transmisión simultánea de datos y voz.

Las mediciones de datos.

muestran los parámetros básicos que deben tenerse en cuenta para enlaces de datos. En este tipo se realizaron dos mediciones en la misma fecha por fiabilidad.

MEDICIONES ANALÓGICAS

PRIMERA MEDICIÓN

FECHA: 31 de octubre de 1,992

hora: 11:00 hrs.

Calibre: 0.4 mm (26 AWG)

Distancia: 1,074 mts.

MEDICIÓN A

Generando un tono de 57 KHz. en un extremo de la línea y detectándolo en el otro extremo con el equipo adecuado (en este caso se utiliza un SELECTIVO) a una impedancia de 120 ohms:

FRECUENCIA	NIVEL DE ATENUACIÓN	f DEL FILTRO ÚTILIZADO.
57 KHz	-12.87 dBm	25 Hz
114 KHz	-13.3 dBm	25 Hz

MEDICIÓN B

Detectándole al enlace el ruido de fondo en un extremo del enlace con el selectivo y el otro lado solamente cargado.

NIVEL DE ATENUACIÓN	ANCHO DE BANDA
-112.2 dB	Filtro de 400 Hz
-111.0 dB	Filtro de 1740 Hz
-110.4 dB	Filtro de 3100 Hz
- 98.7 dB	Filtro de 48000 Hz

Ruido de fondo, sin ningún tono, solamente con carga.

MEDICIÓN C:

Atenuación para las configuraciones de línea corta y larga.

LÍNEA CORTA - 12 db

LÍNEA LARGA + 8 db

MEDICIÓN D

Con un tono en el rango de frecuencia de voz obtener la atenuación

Frecuencia: 1 KHz

Nivel de Atenuación: - 3 db

SEGUNDA MEDICIÓN
1992

FECHA: 27 de noviembre de

Calibre: 0.4 mm (26 AWG)

Distancia: 1,012 mts.

MEDICIÓN A

Generando un tono de 57 KHz. en un extremo de la línea y detectándolo en el otro extremo con el equipo adecuado (en este caso se utiliza un SELECTIVO) a una impedancia de 120 ohms:

FRECUENCIA	NIVEL DE ATENUACIÓN	f DEL FILTRO ÚTILIZADO.
57 KHz	-10.63 dBm	25 Hz
114 KHz	-11.67 dBm	25 Hz

MEDICIÓN B

Detectándole al enlace el ruido de fondo en un extremo del enlace con el selectivo y el otro lado solamente cargado.

NIVEL DE ATENUACIÓN	ANCHO DE BANDA
-133.1 dB	Filtro de 25 Hz
-119.0 dB	Filtro de 1740 Hz
-116.1 dB	Filtro de 3100 Hz
	Filtro de 48000 Hz

Ruido de fondo, sin ningún tono, solamente con carga.

Las medidas anteriores fueron hechas en tramos de cable de 10 pares con aislante de polietileno, en una distancia aproximada de 1,000 metros.

Se realizó una tercera prueba sobre un tramo mayor, con el mismo calibre de cable 0.4 mm (26 AWG) Se muestra solamente la medición A.

TERCERA MEDICIÓN
1,992

FECHA: 27 de noviembre de

Calibre: 0.4 mm (26 AWG)

Distancia: 6,008 mts.

MEDICIÓN A

Generando un tono de 57 KHz. en un extremo de la línea y detectándolo en el otro extremo con el equipo adecuado (en este caso se utiliza un SELECTIVO) a una impedancia de 120 ohms:

FRECUENCIA	NIVEL DE ATENUACIÓN	f DEL FILTRO ÚTILIZADO.
57 KHz	-68.28 dBm	25 Hz
114 KHz	-76.14 dBm	25 Hz

Al sacar el promedio por Kilómetro se nota que es:
para 57 KHz. = 11.38 dBm y
para 114 KHz = 12.69 dBm.

MEDICIONES DE DATOS

En estas mediciones se trató de detectar algún tipo de error mientras la línea estaba timbrando, en resumen, si se detectaba:

- ruido impulsivo
- tasa de error

Seguidamente, se muestran los resultados para un enlace de una distancia de 3 Kmts. el cual estaba conformado de varios calibres, de 0.4 mm a 0.6 mm.

PRIMERA MEDICIÓN

FECHA: 31 de octubre de 1,992

BERT: _____ $0.0 * 10^0$
BLERT: _____ $0.0 * 10^0$
PÉRDIDA DE
SINCRONISMO: _____ 0.0
TIEMPO FUERA: _____ 0.0
SEGUNDOS LIBRES
DE ERROR: _____ 1028
SEGUNDOS CON ERROR: __ 0.0
BLOCKS RECIBIDOS: _____ 9880
BLOCKS ERRADOS: _____ 0
BITS RRECIBIDOS: _____ $988 * 10^4$
BITS ERRADOS: _____ 0
TRAMÁS ERRADAS: _____ 0
SEGUNDOS CON ERROR: __ 0

SEGUNDA MEDICIÓN

Fecha: 27 de noviembre de 1,992

BERT: _____ $0.0 * 10^0$
BLERT: _____ $0.0 * 10^0$
PÉRDIDA DE
SINCRONISMO: _____ 0.0
TIEMPO FUERA: _____ 0.0
SEGUNDOS LIBRES
DE ERROR: _____ 2672
SEGUNDOS CON ERROR: __ 0.0
BLOCKS RECIBIDOS: _____ 25675
BLOCKS ERRADOS: _____ 0
BITS RECIBIDOS: _____ $256 * 10^5$
BITS ERRADOS: _____ 0
TRAMÁS ERRADAS: _____ 0
SEGUNDOS CON ERROR: __ 0

TERCERA MEDICIÓN

Fecha: 27 de noviembre de 1,992

BERT: _____ $0.0 * 10^0$
BLERT: _____ $0.0 * 10^0$
PÉRDIDA DE
SINCRONISMO: _____ 0.0
TIEMPO FUERA: _____ 0.0
SEGUNDOS LIBRES
DE ERROR: _____ 1702
SEGUNDOS CON ERROR: _____ 0.0
BLOCKS RECIBIDOS: _____ 16353
BLOCKS ERRADOS: _____ 0
BITS RECIBIDOS: _____ $163 * 10^5$
BITS ERRADOS: _____ 0
TRAMÁS ERRADAS: _____ 0
SEGUNDOS CON ERROR: _____ 0

OBSERVACIONES HECHAS CON EL ANALIZADOR DE ESPECTROS

Se observa el ancho de banda para las diferentes velocidades, comprobándose la distribución de la energía al aumentar la velocidad alrededor de la portadora y disminuir o condensarse la energía en los puntos de desviación de la portadora:

Frecuencia para la marca = 1:

f central = 105.33 KHz f portadora = 114 KHz
f central = 52.4 KHz f portadora = 57 KHz

Frecuencia para el espacio = 0:

f central = 122.8 KHz f portadora = 114 KHz
f central = 88.6 KHz f portadora = 57 KHz

DELTA f = 8.7 KHz

ANCHO DE BANDA:

Ancho de banda = 35.6 KHz

Velocidad = 9600 bps

Para otras velocidades se vé la distribución de la energía, pero, el espectro se comienza a levantar siempre para tener un ancho de banda $B= 35$ KHz.

La figura 4.3 muestra el espectro de salida de la unidad puesta en el modo de auto prueba. Ver apendice D.

SEÑAL A RUIDO. El funcionamiento del equipo será tan bueno o mejor de lo que se muestra en la Figura 4.1.

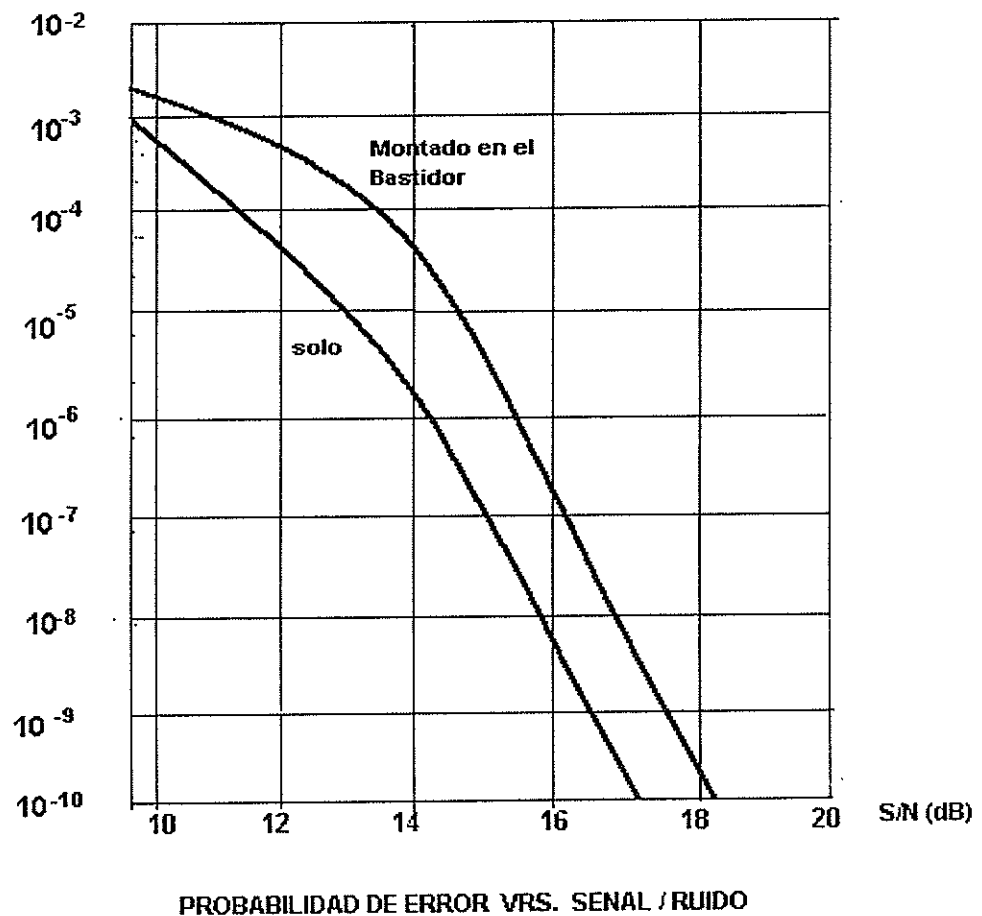


Figura 4.1 Probabilidad de error VRS. señal / ruido

TASA DE ERROR. La tasa de error es más o menos un bit en 10^6 bits para un voltaje de timbrado normal y aplicaciones de golpe de horquilla. Por ejemplo, para 52 segundos de un ciclo de timbrado a 19.2 Kbps están libres de error.

La pérdida de retorno en la banda de voz deberá estar por encima de los 16,5 dB para ERL, 16 dB para SRLF y 10.5 dB para SRLH cuando se mida de extremo a extremo R/M-S/A con una carga de 2.2u +600 Ohms.

La máxima pérdida de inserción por canal para las bandas frecuencias ERL, SRLF y SRLH será de 2 dB a 600 Ohms cuando esté puesto como se muestra en la figura 4.2

El máximo retardo en la banda de voz será de 500 microsegundos.

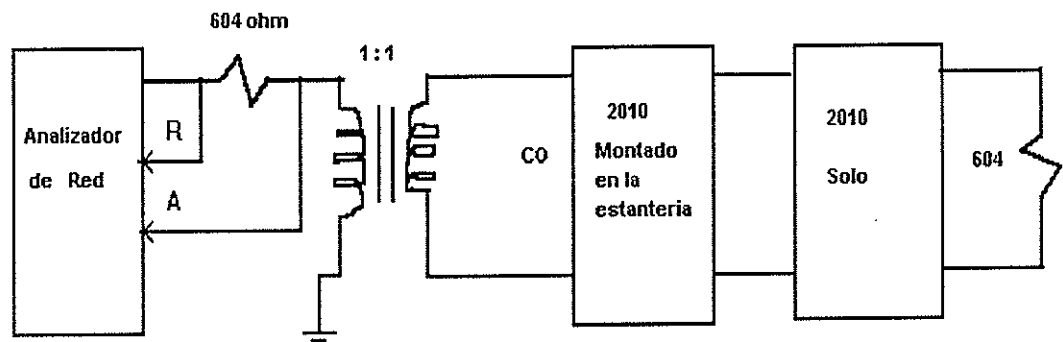


Figura 4.2 Circuito con el que se mide la pérdida por inserción

La máxima compresión de una señal de 6 dBm referida a 900 Ohms será de 0.5 dB.

La distorsión máxima del total de armónicos será más pequeña de -60 dBm.

La máxima resistencia para D.C. tomando en cuenta R/M y la unidad independiente remota es más o menos 85 ohms en una medición de extremo a extremo o de 42 ohms para cada unidad.

De acuerdo con las mediciones realizadas, se ha observado que solamente los abonados que están directamente conectados a

la central de teléfonos pueden hacer uso de la facilidad de transmisión simultánea de datos y voz. Aquellos abonados cuyo número telefónico pertenezca a una unidad remota, no podrán utilizar la facilidad de transmisión simultánea de datos y voz. Esto se debe a que las unidades remotas de telefonía utilizan la modulación por pulsos codificados, PCM para comunicar la central matriz con la unidad remota.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con las mediciones hechas y, respecto de los cálculos teóricos se determinó que la atenuación esta en función del tipo de calibre que se utilice y se estableció la atenuación por kilómetro para cuatro diferentes tipos de calibres:

calibre de 0.4 mm (26 AWG) atenuación 12.5 dB/Km

calibre de 0.5 mm (24 AWG) atenuación 9 dB/Km

calibre de 0.6 mm (22 AWG) atenuación 7 dB/Km

calibre de 0.9 mm (19 AWG) atenuación 5 dB/Km.

2. De acuerdo con la medida de atenuación en una línea telefónica, se obtienen los siguientes porcentajes de probabilidad de funcionamiento:

Atenuación	Porcentaje
- 50 dB	100 %
- 55 dB	50 %
- adelante	0 %.

3. Según el calibre utilizado en la red telefónica de la ciudad de Guatemala, las distancias marginales de operación del equipo son:

CALIBRE	DISTANCIA
mm	4.5 Km
mm	5.5 Km.

4. El funcionamiento del equipo depende de: el calibre del cable, degradación del cable por tiempo de uso y cambios atmosféricos que se producen dentro de la canalización que lleva el cable.
5. La distancia más adecuada para el óptimo funcionamiento de la facilidad de transmisión simultánea de datos y voz, tomando en cuenta todos los parámetros de una línea telefónica, sin que estos parámetros excedan los límites normales de la línea telefónica fuera de la banda de voz, no debe ser mayor de 5 Kilómetros.

RECOMENDACIONES

1. Es recomendable utilizar un par de hilos telefónicos con un total de atenuación de no más de 55 db.
2. Debe utilizarse el par de hilos telefónicos en el rango de calibres más utilizados para la red telefónica, 0.4 mm , 0.5 mm y 0.9 mm, con menor inducción y ruido. El más limpio como se conoce en términos de telefonía.
3. De acuerdo con las especificaciones de la red telefónica del área metropolitana de Guatemala, se recomienda utilizar las siguientes distancia según el calibre:

Calibre	Distancia
0.4 milímetros	4.5 Km
0.5 milímetros	5.5 Km

4. Se recomienda no conectar la facilidad de transmisión simultánea de datos y voz a usuarios con números de teléfono que pertenezcan a unidades remotas de una central telefónica .

REFERENCIAS

- ALABAU MUÑOZ, Antonio. Et.al. **Teleinformática y redes de computadoras**. 2a. edición. Barcelona-México: Edit. Marcombo. s.f. 349 pp.
- CARLSON. **Sistemas de comunicación**. México: Editorial Mc. Graw Hill. s.f.
- Departamento de Planta Externa, División de Planeamiento y Diseño. **Teoría de la línea de transmisión**. Guatemala: Empresa Guatemalteca de Telecomunicaciones. 1,981. 150 pp.
- HOWARD W. Sams & Co.,Inc. **Reference data for radio Engineers**. s.l.i.: s.p.i. s.f.
- LEON W., Couch II. **Digital and analog communication systems**. s.l.i.: Edit. Macmillan Publishing Co., Inc. s.f.
- McNAMARA, John E. **Technical aspect of data communication**. s.l.i.: Edit. Digital Press. s.f.
- O'NEIL, J.M.Et.al. **Principles of networking for private telecommunications Networks**. s.l.i.: Edit. General DataComm. s.f.
- TAMAYO y TAMAYO, Mario. **Proceso de la investigación científica**. México: Editorial Limusa. s.f.
- SCHUARTZ, Mischa. **Transmisión de información modulación y ruido**. México:Editorial Mc. Graw Hill. s.f.
- Wandel & Goltermann WG, Folletos. s.l.i.:s.p.i. s.f.

APÉNDICE

A

INTERFACE EIA-232-D

Hablar de interfaces dentro del funcionamiento de una red de comunicaciones, puede parecer algo trivial y de muy poca importancia, pero, se ha notado que el 80 % de los malos funcionamientos dentro de una red de comunicaciones se debe al uso inadecuado de las interfaces. La interface es el elemento de unión que hace que trabajen juntos los diferentes bloques dentro de una red de comunicaciones.

Donde se puede notar comúnmente la funcionalidad de las interfaces es cuando trabajan en conjunto equipos digitales con equipos analógicos, si no se usa el tipo de interface adecuado es difícil que trabaje el conjunto.

Cada interface tiene características eléctricas, funcionales y mecánicas.

Características eléctricas: son el voltaje, corriente y la impedancia en el punto de conexión. Las interfaces digitales pueden ser balanceadas o desbalanceadas, respecto de estas características.

VELOCIDADES: 1.2 ~ 1.9 Kbps
Versión A.

EIA - 232 D	CCITT V.24	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	101	GND	PROTECCIÓN TIERRA
2	103	SD	DATO TRANSMITIDO
3	104	RD	DATOS RECIBIDOS
4	105	RTS	PETICIÓN PARA ENVIAR
5	106	CTS	PREPARADO PARA ENVIAR
6	107	DSR	MÓDEM LISTO
7	108	SEÑAL GND	SEÑAL DE TIERRA
8	109	CO	DETECTOR DE LA SEÑAL DE LÍNEA RX.
9		+12	NO PROVISTO
10		-12	NO PROVISTO
11			ST *
12,13,14			NO USADO
15	114	TXCLK	ELEMENTO TEMPORIZADOR PARA SEÑAL TRANSMITIDA
16			DETECTOR DE ERROR
17	115	RXCLK	ELEMENTO TEMPORIZADOR PARA SEÑAL RECIBIDA
18	141	AL	CONEXIÓN EN BUCLE LOCAL
19			NO USADO
20	108/2	DTR	TERMINAL DE DATOS PREPARADO
21	140	RDL	CONEXIÓN EN BUCLE/PRUEBA DE CONTINUIDAD

* Esta es una entrada a nivel TTL es conectada, según el requerimiento de energía de la tarjeta de control.

B**TRANSFORMADA DE FOURIER**

Es propio también hablar de la Integral de Fourier.

La integral de Fourier es la representación de funciones no periódicas en el tiempo, las cuales se acoplan más a la práctica. Como se sabe, las integrales se forman de hacer continua una serie, en este caso, la serie que se hace continua es la serie de Fourier.

Considérese la función periódica $f(t)$, la cual se representa por medio de una serie de Fourier:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{j\omega_n t} \Delta\omega \quad (1)$$

Si $T \rightarrow \infty$, entonces, la región de interés se hace crecer indefinidamente, la serie de Fourier se transforma, en el límite, a medida que $T \rightarrow \infty$, $\omega_n \rightarrow \omega$ y c_n se transforma en una función continua de $F(\omega)$.

$$F(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} C_n \quad (2)$$

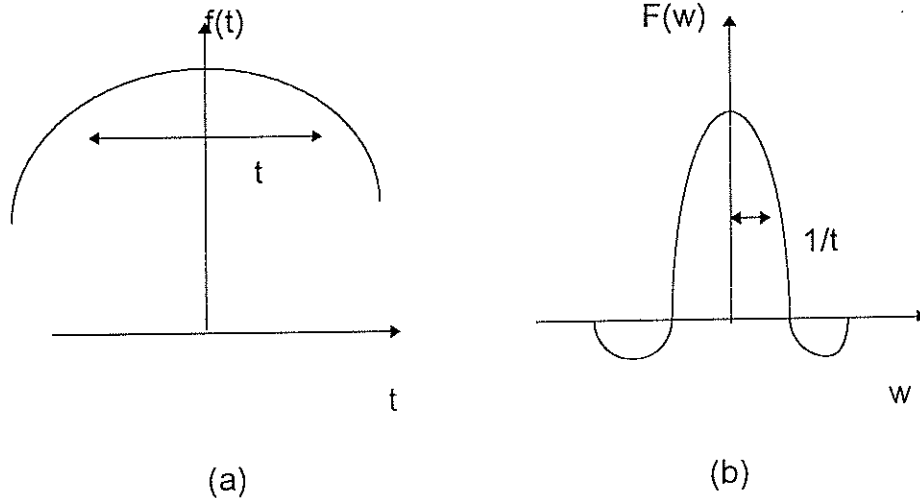
Entonces, se obtiene la representación de una función no periódica $f(t)$ a través de la integral de Fourier;

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (3)$$

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (4)$$

Las dos relaciones de definición (3) para la transformada de Fourier de $f(t)$ y (4) para la transformada Inversa de Fourier.

La transformada de Fourier es de importancia en la Ingeniería de las comunicaciones, con esta herramienta puede determinarse de una manera eficaz la respuesta temporal de las redes lineales. Como se sabe en el diseño y análisis de sistemas de comunicación, los conceptos de interés son el ancho de banda y el espectro de la señal. La transformada se utiliza con frecuencia en la actualidad para calcular el espectro de una señal, a raíz de la cada día más frecuente utilización del procesamiento digital de señales a alta velocidad.



Una función típica del tiempo (a) y su espectro (b)

C

SEÑALES DE CONTROL

A continuación se incluyen algunas características de señales de control, de interés para los equipos D-O-V, que pueden ayudar en el momento de tener la necesidad de una conexión con características especiales.

OPCIÓN DE RETARDO 8/75 - Al seleccionarla, permite un retardo normal de 8 mseg. ó 75 mseg. cuando es habilitado RTS.

IT/TT - El DTX suministra temporización ó temporización terminal para la transmisión. En posición normal el suministro de la temporización interna está dado por el lazo de enganche de fase interno, con menos de un 0.1 % de ancho de banda.

TEMPORIZACION ESCLAVA - En posición normal, el reloj de transmisión es controlado por la selección de IT/TT, cuando se fuerza la posición de la temporización esclava, la unidad se forzara a transmitir la temporización recibida o la temporización recibida de la red. La distorsión prevista de la temporización debe ser menor a un 10 % en total.

Por falta de esta temporizacion y de la temporizacion terminal, simultáneamente, estará el suministro de temporizacion interna.

MRAL - OPCIÓN DE LA REINICIALIZACION MAESTRA DEL LAZO ANALÓGICO En posición normal, el accionamiento del lazo analógico no afectará el circuito de voz del usuario. Al estar habilitada esta opción y oprimir AL (lazo analógico) el circuito de voz del usuario es desconectado.

RTS ON - Normalmente, desactivado fuerza a encender el requerimiento a enviar (RTS). Cuando éste es seleccionado, permite que el usuario pueda activar o desactivar el RTS a través de la interface RS-232.

SSO - Opción estado del sistema. Disponible sólo en la unidad maestra. Cuando se recibe una disminución de la portadora desde el dispositivo remoto, el dispositivo maestro tendrá las siguientes opciones:

- a) habilitada, baja la señal CTS y regresa al remoto el tono de disminución de portadora,
- b) deshabilitada, continua el envío de datos.

DSTD - DESACTIVACION DEL CONTADOR DE DOBLE SEÑALIZACIÓN El switch DS está disponible solamente en el dispositivo remoto. Al trabajar con doble señalización el dispositivo maestro debe llevar instalada una tarjeta adicional de control de doble flujo. La doble señalización permitirá a RTS el control del tono de disminución de portadora desde la EIA. La señal CD de EIA será controlada por la señal de detección de energía.

HABILITACIÓN X.3, X.28 - Estos Switch se encuentran en la tarjeta FEM con los cuales el usuario habilita el acceso a estos protocolos.

D

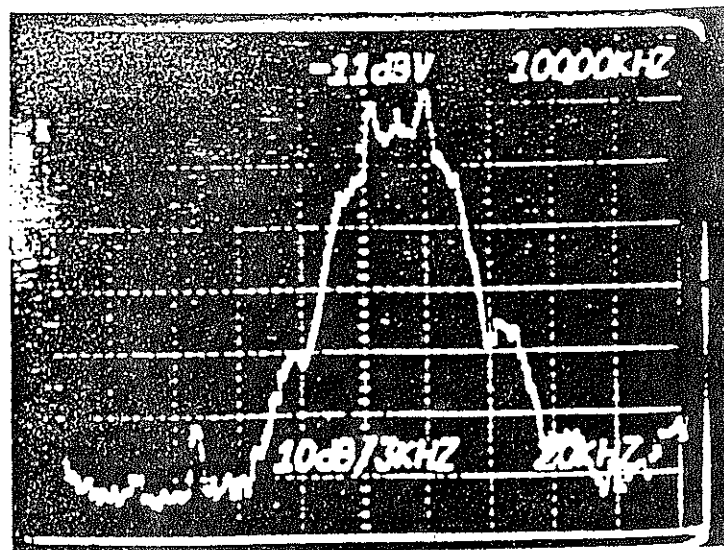
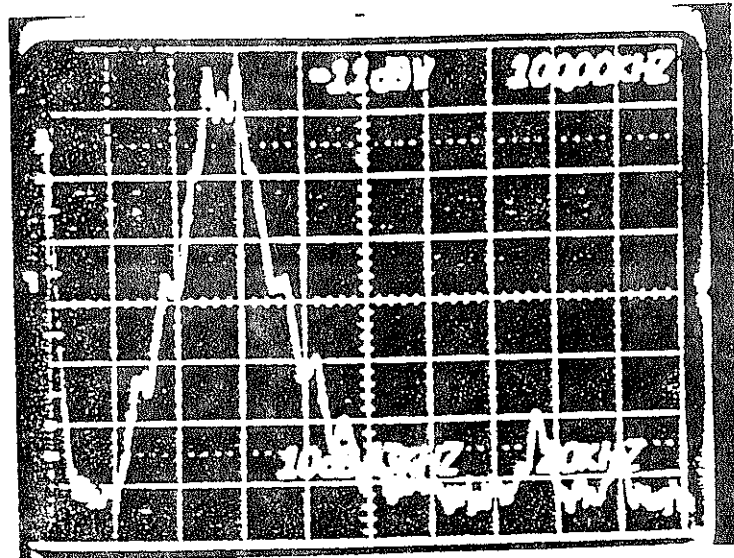


Fig. 4.3 Espectro de salida en modo de autopruoba