

24021
10



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLÁN"



"Técnicas de modulación para la comunicación de datos
por la red telefónica".

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN
MATEMÁTICAS APLICADAS
Y COMPUTACIÓN

PRESENTA:
CHRISTIAN ARTURO GALLEGOS ALCÁNTARA



ASESOR: LIC. OSCAR GABRIEL CABALLERO MARTÍNEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MARZO 2003

4



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres y a mis hermanos por todo su apoyo.

A mis abuelos por todas sus enseñanzas.

A mis tíos y a mis primos por todos sus consejos.

A ellos, mi familia
gracias por todo su cariño, gracias por mostrarme el camino
y ayudarme a tratar de ser una mejor persona día tras día.
Siempre serán un ejemplo para mí.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A todos mis amigos
por demostrarme su amistad en todo momento durante todos
estos años.

A mis maestros
por sus conocimientos tanto en lo profesional como en la vida
misma.

A la UNAM
que será siempre mi escuela, y la cual me dio tanto mientras
estuve en sus aulas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Pero principalmente a ellos que siempre me apoyaron y que no tuve la oportunidad de agradecerles todo lo que me dieron.

A mi abuelita Tere, a mi tía Silvia, a mi tía Chacha y a mi Benji. Muchas gracias donde quiera que estén.

Gracias a todos, porque sin ustedes no hubiera podido recorrer este camino que es la vida, y siempre los llevare conmigo.

“La vida no es fácil, nadie dijo que lo fuera.....Pero es bonita, la vida es muy bonita.”

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4

Introducción.

La existencia de computadoras en los hogares es hoy en día una realidad latente, por otra parte, la tremenda distribución de la información por todo el mundo hace prácticamente inservible la existencia de una computadora aislada considerando que el intercambio de información es una necesidad indispensable para la vida económica, social y cultural de todas las personas y países del mundo.

Para ello es necesario establecer un medio de transmisión entre dos computadoras, cualesquiera. Al igual que el teléfono permite la comunicación de dos personas situadas a distancia, es posible comunicar dos computadoras haciendo uso de la red de comunicaciones más difundida en el mundo: la red telefónica.

La red telefónica es el principal medio que se dispone para que amplios sectores de la población tengan acceso a los servicios integrados de audio, video y datos, en cualquier parte del mundo por toda su estructura desarrollada durante el último siglo y la cantidad de personas que en la actualidad cuentan con este servicio que facilitan su acceso a los modernos servicios de información en línea.

Debido a la naturaleza digital de las computadoras y la analógica de la red telefónica, es necesario disponer de algún procedimiento capaz de realizar la adecuada transformación de la información para unir estos dos grandes medios. De ahí surgen técnicas que logran hacer este acoplamiento de la fuente de información con el medio por el que se va a transmitir.

Propiamente, son las técnicas de modulación las que realizan este trabajo, y han ido evolucionando y desarrollándose de acuerdo a la demanda de velocidad de los usuarios, pero siempre regidas por normas que las estandarizan para que puedan ser usadas por todo el mundo y que han logrado hacer más fácil el intercambio de información desde todos los hogares del mundo con el simple hecho de contar con un teléfono y una computadora. Además las técnicas de modulación hacen un uso más eficaz de los recursos por lo cual también son empleadas para dar un mejor servicio a los usuarios sin utilizar más infraestructura, aún cuando la naturaleza de los dos medios sea el mismo.

Las técnicas de modulación son la parte medular de los dispositivos de comunicación especialmente elaborados para modular y demodular la información llamados módems y aunque en nuestra carrera y en nuestra área es muy común hablar de los módems, en muchos casos sólo se conoce la velocidad que manejan y el número de la norma, confundiendo frecuentemente la velocidad en bits por segundo con los baudios, y no se sabe de donde sale esta velocidad y como es que se codifica la información de acuerdo a la técnica de modulación que se use.

En libros de informática se habla de las técnicas de modulación de manera muy superficial y muy básica, por el contrario en los libros de comunicaciones las técnicas de modulación se encuentran de forma extensa y detallada, en donde se explican desde los

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

circuitos eléctricos hasta el análisis matemático propios de una serie de materias y temas de esta área.

Con el objetivo de traer al área de informática una mejor comprensión de las técnicas de modulación, en este trabajo se reúne la información necesaria para el correcto entendimiento de las técnicas de modulación en el área de informática, con el fin de que la persona que lea este trabajo pueda conocer de un módem que técnica de modulación usa, como codifica la información y cual es la velocidad que maneja de acuerdo a la norma a la que pertenezca mediante una lectura comprensible.

Con la información recopilada de los diferentes libros el trabajo se ha dividido en cuatro capítulos:

En el primer capítulo se explican y plantean los conceptos teóricos básicos relacionados a las comunicaciones. Donde se explican conceptos muy ocupados en nuestra vida diaria, pero que no se les da una definición concreta. Se describirán los orígenes y el funcionamiento de los primeros medios de comunicación telecomunicativos de nuestros tiempos, el telégrafo y el teléfono, que es el medio más usado en nuestros días y donde se aplicarán las diferentes técnicas de modulación.

En el segundo capítulo se exponen la información y los conceptos necesarios para el correcto entendimiento de todas las partes que se involucran dentro del proceso de la modulación. Conceptos que siempre se dan por vistos o que se les da sólo una pequeña descripción. Aquí se detallan todos sus elementos básicos para su posterior utilización.

En el tercer capítulo se explican en detalle, los diferentes tipos de modulación que existen y que tienen practicidad dentro de la red telefónica, describiendo de acuerdo a su clasificación la técnica que usan y su funcionamiento.

En el cuarto capítulo se detallan las normas con carácter de recomendación más importantes que son aceptadas mundialmente que controlan y estandarizan los módems. Aunque en este capítulo sólo se detallan las normas, el objetivo es que con sólo saber el número de la norma se conozcan todas las características principales del módem al que se haga referencia de acuerdo a la técnica de modulación que usen.

Para obtener la información se consultaron y se conjuntó información de libros de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, libros del área de comunicaciones y electrónica y libros del área de informática.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Índice

Página

Introducción 1

Capítulo I Conceptos básicos y antecedentes históricos.

1.1 Comunicación.....	1
1.2 Información.....	1
1.3 Codificación.....	2
1.4 Datos.....	2
1.5 Sistema de Comunicaciones.....	3
1.5.1 Elementos de un sistema de comunicaciones.....	3
1.6 Antecedentes de las comunicaciones.....	4
1.7 El telégrafo.....	5
1.7.1 El telégrafo óptico.....	5
1.7.2 El telégrafo eléctrico.....	6
1.7.2.1 Introducción histórica.....	6
1.7.2.2 Funcionamiento del telégrafo eléctrico.....	7
1.7.2.3 Código Morse.....	8
1.7.2.4 Inicio del telégrafo eléctrico.....	9
1.8 El teléfono.....	9
1.8.1 Introducción histórica.....	9
1.8.2 Funcionamiento del teléfono.....	10
1.8.3 Inicio del teléfono.....	11
1.9 Red telefónica pública conmutada.....	12
1.9.1 Funcionamiento de la red telefónica pública conmutada.....	13
1.9.2 Red digital.....	13

Capítulo II Información y conceptos necesarios.

2.1 Señales.....	14
2.1.1 Señales periódicas.....	14
2.1.2 Señales analógicas.....	14
2.1.3 Señales digitales.....	15
2.1.4 Señal portadora y moduladora.....	16
2.2 Características de una señal.....	16
2.2.1 Fase.....	16
2.2.2 Amplitud.....	17
2.2.3 Período.....	17
2.3 Frecuencia.....	17
2.3.1 Introducción histórica.....	18
2.3.2 Descripción.....	18
2.4 Ancho de banda.....	18

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4.1 Ancho de banda de la línea telefónica	19
2.5 Velocidad.....	19
2.5.1 Velocidad de modulación	20
2.5.2 Velocidad de transmisión.....	21
2.6 Capacidad de información	21
2.7 Sincronismo.....	22
2.7.1 Transmisión asíncrona	23
2.7.2 Transmisión síncrona	23
2.8 Modos de transmisión.....	24
2.8.1 Simplex	24
2.8.2 Half-duplex	24
2.8.3 Full duplex	24
2.8.4 Full/full duplex	25
2.9 Arreglos de circuitos.....	25
2.9.1 Transmisión a dos hilos	25
2.9.2 Transmisión a cuatro hilos	26
2.10 Modulación.....	27
2.10.1 Clasificación	27

Capítulo III. Técnicas de modulación.

3.1 Información digital, señales analógicas.....	28
3.1.1 Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)	28
3.1.2 Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK).....	29
3.1.3 Modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK).....	30
3.1.4 Relación entre ASK, FSK y BPSK	31
3.1.5 Codificación M-ario.....	32
3.1.6 Modulación por desplazamiento de fase (PSK).....	32
3.1.6.1 Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK).....	32
3.1.6.2 PSK de ocho fases.....	34
3.1.6.3 PSK de dieciséis fases.....	35
3.1.7 Modulación de amplitud en cuadratura (QAM).....	36
3.1.7.1 QAM de ocho.....	36
3.1.7.2 QAM de dieciséis.....	38
3.2 Información analógica, señales digitales.....	39
3.2.1 Ventajas de la transmisión digital.....	39
3.2.2 Desventajas de la transmisión digital.....	39
3.2.3 Modulación de pulsos.....	39
3.2.3.1 Modulación de amplitud de pulso (PAM)	40
3.2.3.2 Modulación de ancho de pulso (PWM).....	40
3.2.3.3 Modulación de posición de pulso (PPM).....	40
3.2.3.4 Modulación de código de pulsos (PCM)	41
3.2.3.4.1 Muestreo	41
3.2.3.4.2 Cuantificación y codificación	42
3.2.3.4.3 Ventajas de los sistemas PCM	46
3.2.3.5 Multicanalización.....	46
3.2.3.5.1 Multicanalización por división del tiempo.....	46

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

3.2.3.5.2 Sistemas PCM prácticos.....	47
3.2.4 Modulación delta.....	49
3.3 Información digital, señales digitales.....	50
3.3.1 Regreso a cero (RZ).....	50
3.3.2 Regreso a la polaridad (RB).....	50
3.3.3 Inversión alternada de marca (AMI).....	51
3.3.4 Fase dividida de manchester.....	51
3.3.5 Fase dividida (marca).....	51
3.3.6 No regreso a cero (NRZ).....	52
3.3.6.1 No regreso a cero por nivel (NRZ(L)).....	52
3.3.6.2 No regreso a cero por inversión (NRZ (I)).....	52
3.3.6.2.1 No regreso a cero por marca (NRZ (M)).....	52
3.3.6.2.2 No regreso a cero por espacio (NRZ (S)).....	52
3.3.7 Modulación de retardo (Código de Miller).....	52

Capítulo IV. Normas para la comunicación de datos por la red telefónica.

4.1 Normalización.....	54
4.2 Organizaciones de estándares para la comunicación de datos.....	54
4.3 Unión internacional de telecomunicaciones (ITU).....	55
4.3.1 Historia.....	56
4.3.2 Funciones y actividades.....	57
4.3.3 Estructura.....	57
4.4 Normalización de las telecomunicaciones (ITU-T).....	58
4.5 Recomendaciones de la serie V.....	60
4.6 Velocidades binarias preferidas.....	61
4.7 Recomendación V.21.....	61
4.7.1 Características de modulación.....	61
4.8 Recomendación V.22.....	62
4.8.1 Características de modulación.....	62
4.9 Recomendación V.22 bis.....	63
4.9.1 Características de modulación.....	64
4.10 Recomendación V.27.....	65
4.10.1 Características de modulación.....	65
4.11 Recomendación V.32.....	66
4.11.1 Características de modulación.....	66
4.12 Recomendación V.32 bis.....	69
4.12.1 Características de modulación.....	69
4.13 Recomendación V.34.....	73
4.13.1 Características de modulación.....	74
4.14 Recomendación V.90.....	77
4.14.1 Características de modulación.....	78
Conclusiones.....	80
Referencias.....	82

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO I.

Conceptos básicos y antecedentes históricos.

1.1 Comunicación.

"La comunicación es un elemento básico, una parte integrante de la vida de cada persona. La palabra hablada, una mirada, un gesto, un movimiento particular del cuerpo, un signo manual, un símbolo escrito, son algunas formas de comunicación. Las relaciones familiares y sociales, la educación los negocios y otras actividades deben su existencia a la comunicación en cualesquiera de sus formas". Sin embargo, ¿qué es realmente la comunicación? Existen múltiples definiciones para este término [1].

Desde el punto de vista etimológico, la palabra "comunicación" proviene de la raíz latina *communicare*, es decir, "hacer común" algo y algunos lo definen como la consideración y acción de impeler un impulso o partícula desde el punto fuente, a través de una distancia, hasta el punto receptor; con la intención de hacer que exista en el punto receptor, una comprensión de lo que emanó del punto fuente, ya sea un objeto, un mensaje escrito, la palabra hablada o una idea, otros lo definen como el trato o la correspondencia entre dos o más entidades (personas, computadoras, etc.) y otro concepto es la de la conexión entre dos o varios puntos, por medio de un dispositivo eléctrico, telefónico, telegráfico o radioeléctrico. Sin embargo, la definición más clara y concisa es aquella que reside en la mente de cada uno de los seres humanos, y que se podría expresar como "transmisión de información con significado entre un origen o emisor hacia un destino o receptor".

Esta última definición es aceptada e interpretada por las distintas comunidades, adaptándola cada una a sus propias necesidades, siendo la palabra hablada dentro de un rango audible la forma de comunicación más común. Sin embargo, esta definición hace uso del concepto información, un término importante que ha sido y es aún objeto de estudio en numerosos centros educativos del mundo.

1.2 Información.

Información tiene su origen en las palabras *in* y *formare*, es decir, "instruir hacia adentro". En el proceso de la comunicación, es el acto esencial de la convivencia social, la información es el mensaje o conjuntos de mensajes que, con diferentes aspectos y a través de diversos medios, son emitidos por unos sujetos para ser recibidos por otros. "La historia de la información y de su función social es, a la vez, la historia del desarrollo económico, social, cultural y político de la sociedad, a lo largo del cual pasa de ser una manifestación espontánea a ser la expresión de una voluntad colectiva y una institución social". En otras palabras, información es conocer algo que no se conocía con anterioridad y constituye el objeto de cualquier tipo de comunicación.

Una característica primordial de la información es que es coleccionable, almacenable y reproducible. Se utiliza para tomar decisiones, conduce también a conclusiones acertadas o equivocadas, puesto que puede ser interpretada de diversas formas por distintos individuos, dependiendo de muchos factores subjetivos y del contexto en que se encuentre la persona que la recibe e interpreta. Así como es posible comunicar una noticia, también se comunican los estados de ánimo, opiniones o conocimientos.

"En estos días es difícil pensar que alguien niegue conscientemente que la información tiene un valor; la información ha ido ganando importancia conforme la gente que toma decisiones está convencida de que ésta se puede asociar a un valor real, frecuentemente ligado a un valor material o económico y a visualizar uno de los aspectos más abstractos e importantes de la información, y es que su valor puede disminuir a lo largo del tiempo". Es decir, en un momento determinado a alguien le puede interesar contar con cierta información, pero ese interés puede decaer o incluso desaparecer algún tiempo después. Por otra parte, es necesario que la información sea de interés para el individuo que la adquiere o recibe, quien, además, no debe conocer *a priori* su contenido; en caso contrario, dicha información le resultará irrelevante.

1.3 Codificación.

La creación de un mensaje forzosamente implica la necesidad de codificar la información para que sea susceptible de ser enviada o transmitida; no sería posible transmitir una idea sino se utilizara el lenguaje oral, el corporal, el escrito, o algún otro; estos lenguajes son precisamente las versiones codificadas de la información. Es posible explicar las funciones del codificador de la siguiente manera: así como no se puede enviar una carta, es decir, un sobre de papel que contiene otros papeles en su interior cuyos símbolos o texto contienen la información que se desea transmitir, a través de un canal telefónico o de la atmósfera, tampoco es posible enviar señales de humo utilizando para ello un sobre de papel. Por tanto, es indispensable adaptar el mensaje que contiene la información al canal por el que será transmitido, ésta es precisamente la función de un codificador. Para que se complete el proceso de comunicación, se requiere que tanto el que origina el mensaje como el que lo recibe conozcan la forma en que fue codificada la información, esto es, el código que fue empleado; en otras palabras, para que dos personas se comuniquen por la vía oral, es indispensable que ambas hablen el mismo idioma, y para que dos personas se comuniquen por vía telefónica, se requiere que, además de hablar el mismo idioma, ambas tengan a su disposición un aparato telefónico y que ambos estén unidos por medio de conductores de señales.

1.4 Datos.

Otro concepto a tener en cuenta es el referente a los datos. Muchas personas confunden datos con información. Sin embargo, son elementos muy importantes en la comunicación y de hecho constituyen el pilar de las redes de datos actuales.

La razón por la que existen redes de datos y no redes de información, es porque lo que una computadora transmite no es información sino datos sueltos que, una vez

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

depositados en su lugar de destino, son elaborados y mostrados de tal forma que proporcionen un significado al receptor subiendo así de grado y constituyéndose como información.

Desde el punto de vista de la informática, un dato no es más que una representación o codificación convencional de una información bajo una forma adecuada para su transmisión por el medio de comunicación y para su tratamiento posterior en la computadora.

A partir de este momento, ya se puede escalar un nuevo peldaño introduciendo un nuevo concepto, la comunicación de datos. La comunicación de datos es un proceso de transmitir información en forma binaria entre dos puntos, a la comunicación de datos a veces se le denomina comunicación entre computadoras. Cabe destacar que el tratamiento local del texto o mensaje se lleva a cabo en una computadora. Las redes de datos, tal y como están concebidas hoy en día, deben su existencia a dos grandes inventos: el telégrafo y el teléfono.

1.5 Sistema de Comunicaciones.

Necesariamente la información se origina en una fuente, y esta se hace llegar a su destinatario por medio de un mensaje a través de un canal de comunicación; pero el destinatario generalmente se encuentra en un punto geográfico distante, o por lo menos, separado de la fuente. La distancia entre fuente y destinatario puede variar desde pocos centímetros, al hablar frente a frente a un volumen normal, hasta cientos y aun miles de kilómetros, como es el caso de transmisiones telefónicas intercontinentales.

Esto constituye precisamente el problema central de las telecomunicaciones, ya que al haber una fuente que genera información en un punto y un destinatario en otro punto geográfico distante del primero, se trata de saber cuál es la mejor manera de hacer llegar al destinatario la información generada por la fuente de manera rápida, por la dependencia temporal de la importancia de la información segura para garantizar que la información no caiga en manos de alguien que haga mal uso de ella, o a quien simplemente no estaba destinada, y veraz, para garantizar que en el proceso de transmisión no se alteró el contenido de la información. En nuestros días, influidos fuertemente por aspectos de tipo económico, intervienen además otros factores, tales como el costo de hacer llegar la información de la fuente a su destino.

1.5.1 Elementos de un Sistema de comunicaciones.

El problema central de las telecomunicaciones fue definido con claridad por Shannon, con una sencillez asombrosa, quien estableció que un sistema de comunicaciones consiste en cinco componentes:

- 1) Una fuente de información
- 2) Un transmisor de información cuya función consiste en depositar la información proveniente de la fuente en un canal de comunicaciones.
- 3) Un canal de comunicaciones, a través del cual se hace llegar la información de la fuente al destino.
- 4) Un receptor que realiza las funciones inversas del transmisor, es decir, extrae la información del canal y la entrega al destinatario.

5) Un destinatario.

En la figura 1.1 se pueden observar estos cinco elementos en un sistema de comunicación entre dos computadoras.

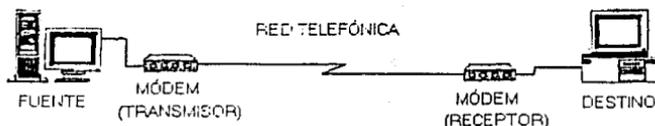


Figura 1.1 Ejemplo de un Sistema de Comunicación entre dos computadoras [1].

1.6 Antecedentes de las comunicaciones.

"Desde tiempos inmemoriales ocurren los antecedentes de las comunicaciones que conocemos hoy en día. El hombre, al querer cubrir distancias cada vez mayores, empezó a utilizar sistemas cada vez más complejos, conforme se lo permitían los avances científicos y tecnológicos. Como consecuencia comenzó a usar sistemas de comunicación tan abstractos como la escritura misma, las señales intermitentes de humo y señales de fuego generadas por medio de antorchas" [2].

Hubo civilizaciones antiguas que idearon y usaron diferentes técnicas de comunicación, por ejemplo, los chinos e hindúes usaron al fuego como medio de transmisión, la gente de Mongolia recurría a las banderas de diferente color según el mensaje que se deseaba comunicar, los Incas utilizaban a los chasquis que eran personas que corrían largas distancias llevando la información que se quería transmitir, los indios de Norteamérica utilizaban las señales de humo y civilizaciones más avanzadas las palomas mensajeras. La Edad Media, al parecer, borra prácticamente los sistemas ensayados, o los relega a segundo término.

Al avance de la óptica, el uso de las lentes ocasiono el descubrimiento del telescopio o lente de perspectiva, y también del heliógrafo, instrumento destinado a hacer señales telegráficas por medio de la reflexión de un rayo de sol en un espejo plano que se puede mover de diversas maneras y producir destellos más cortos y más largos, agrupados o separados a voluntad del operador, para denotar convencionalmente letras o palabras; usado de manera preferente para transmitir señales militares. Después, en Alemania, en 1757, Bergstrasser trata de comunicarse mediante disparos de tiros de fusil o de cañón, dando a cada letra del alfabeto un número diferente de disparos. Él mismo adiestra a un regimiento prusiano en la transmisión de señales, haciéndoles ejecutar las maniobras telegráficas en concordancia a diversos movimientos de los brazos.

De cualquier manera las condiciones del clima, los accidentes naturales, el relieve del paisaje y las limitaciones físicas del hombre entorpecen la óptima comunicación de los mensajes. Fueron estos aspectos los que originaron el descubrimiento de algún medio de comunicación que sobrepasara este tipo de limitaciones y que pudiera transmitir mensajes a grandes distancias.

1.7 El telégrafo.

“Telégrafo significa escribir a lo lejos –tele, lejos; grafos, escribir- constituye una finalidad atrapada parcialmente por una antorcha, el humo de una hoguera, el tam-tam de la selva o la paloma mensajera. La telegrafia consiste en la reproducción a distancia de cualquier información escrita. Se dice, más convenientemente, que es el sistema telecomunicativo que permite la transmisión y reproducción a distancia, así como la recepción, del contenido de documentos tales como manuscritos o impresos”.

El método con el que trabaja obliga a la emisión separada de cada letra o carácter enviado en secuencia adecuada, mediante conjuntos de impulsos eléctricos identificados gracias a un código de señales establecido de antemano. El enlace telegráfico más rudimentario implica la existencia de una fuente de información, el transmisor, un canal o vía de conducción de la señal, el receptor y una fuente de ruido.

1.7.1 El telégrafo óptico.



Figura 1.2 El telégrafo óptico de Chape [3].

Un gran avance en las comunicaciones ocurre cuando aparece el telégrafo óptico o semáforo inventado por Claudio Chappe. De joven, Chappe fabrica un aparato rudimentario de correspondencia por signos, compuesto sencillamente por una regla de madera que da vueltas en derredor de un eje y que en sus dos extremidades soporta dos brazos móviles, uno más pequeño que el otro, capaces ambos de adoptar 192 posiciones distintas representativas de letras, palabras o frases enteras, estipuladas en un código: las señales son captadas por medio de anteojos. Al fin, utiliza simples torres repetidoras de la señal, separadas de 5 a 10 kilómetros entre sí, unas expresamente construidas al efecto, otras ya existentes, que en su parte alta sostienen una vigueta de madera vertical unida a otra horizontal; por medio de cordajes, la segunda de estas viguetas gira en torno a la primera, formando diferentes ángulos; sostiene otros dos brazos verticales, móviles también, como se observa en la figura 1.2, el mecanismo íntegro produce numerosas figuras leídas con la ayuda de un telescopio, y de torre en torre el mensaje avanza hasta donde se desea. La codificación del propio mensaje resulta indispensable aun en el telégrafo óptico, precursor del electromagnético. En Francia, a no más de 16

kilómetros entre una y otra, comienzan a aparecer estaciones equipadas. Tras el experimento de transmisión efectuado el 12 de julio de 1793 entre Menilmontant y Sint Martín du Terre (ciudades francesas), distantes 35 kilómetros entre sí, determina la aceptación de este método de comunicación y el nombramiento de Chappe como ingeniero telegrafista [2.3].

Este invento fue nombrado por el propio Chappe como taquígrafo, y fue después Miot, en ese mismo año quien lo renombra como telégrafo, que de aquí en adelante impone su aceptación general y su éxito no se hacer esperar, pues todos los mensajes importantes para el país francés son enviados por el invento de Chappe.

El procedimiento, si bien desaparece en 1852 al ser reemplazado por la telegrafía eléctrica, para ese entonces cuenta con una red de 556 estaciones con un lazo de 4800 kilómetros que establecen contacto con Brest, Dunquerque, Estrasburgo y muchos más lugares.

1.7.2 El telégrafo eléctrico.

La telegrafía eléctrica comienza a tomarse muy en serio tras de que Luigi Galvani y Alessandro Volta realizan sus experimentos. El primero de ellos abre el camino a la pila eléctrica hacia 1789, y el segundo la fabrica en 1799. Además, hubo que esperar a que André Marie Ampere diese forma a las leyes que gobiernan el electromagnetismo.

1.7.2.1 Introducción histórica.

Para 1837 los británicos C. Wheatstone y W. Cooke patentaron un sistema telegráfico que fue muy utilizado para transmitir información acerca del tráfico en las estaciones ferroviarias. Este telégrafo estaba basado en el envío simultáneo a través de seis circuitos de señales eléctricas que desplazaban unas agujas imantadas en un sentido u otro (con un ángulo de desviación que había que calcular), dependiendo de la polaridad de las señales. Este tipo de telégrafo presentaba un costo elevado en su construcción y era difícil manejarlo. La figura 1.3 muestra el telégrafo construido por C. Wheatstone y W. Cooke [1.2.3].

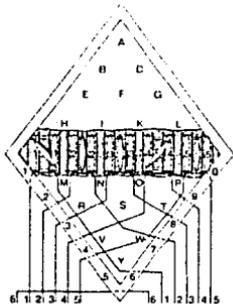


Figura 1.3 Telégrafo de Wheatstone y Cooke [3].

En ese mismo año, Samuel F. B. Morse presentó la patente del telégrafo de código relativo. Afortunadamente para Morse, su telégrafo era justo lo que necesitaba Estados Unidos, suponía un método fácil y suficiente para establecer la comunicación entre dos puntos de una forma rápida y segura. Fue el gobierno de los Estados Unidos quien le proporcionó un crédito para continuar con sus experimentos, y dos años más tarde ya existía la primera línea telegráfica del mundo entre Washington y Baltimore con una longitud de 64 kilómetros. El telégrafo de Morse seguía las vías del tren ya existentes.

1.7.2.2 Funcionamiento del telégrafo eléctrico.

El telégrafo de Morse es básicamente un circuito eléctrico que consta de tres partes, unidas por un cable: una batería que nos da la electricidad o voltaje, un switch ó interruptor usado para cerrar o abrir el circuito, y en la parte alejada del cable había un detector de electricidad o electroimán (también se le nombra como electromagneto), que consiste de una bobina de alambre que jala un pedazo de metal cuando la corriente fluye a través de él. Los alambres eran usualmente hechos de cobre porque conducía la electricidad mejor que otros metales. Originalmente estos tres elementos eran unidos por un par de alambres, pero fue en la década de 1830 que se descubrió que el segundo alambre podría ser eliminado usando la tierra como un conductor eléctrico. Desde ese momento solo fue necesario un alambre para cubrir la distancia entre el switch y el electroimán [1].

El circuito se muestra en la figura 1.4. Las líneas indican el alambre y las flechas muestran el flujo de la corriente eléctrica a través del alambre.

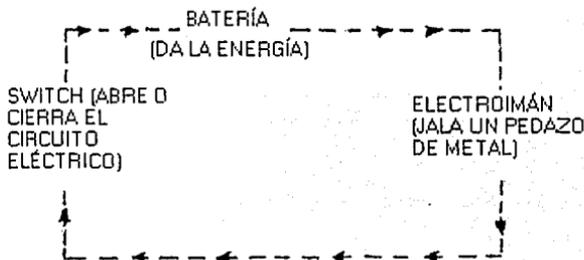


Figura 1.4 Funcionamiento Básico del Telégrafo eléctrico [3].

Cuando el switch esta abajo, la corriente de la batería pasa a través del electroimán, dejándola pasar por el hilo conductor hasta el lugar de destino. El telégrafo sólo puede, por tanto, transmitir dos estados: encendido y apagado. Es por ello que Morse invento un alfabeto capaz de transmitir cualquier palabra a través de su invento.

1.7.2.3 Código Morse.

Morse codificó cada letra de una forma distinta, mediante las emisiones de señales cortas y largas. El sistema de Morse, mostrado en la tabla 1.1, produce una copia de papel con puntos y rayas, las cuales luego son traducidas por un operador. A este código de rayas y puntos se le conoce como código Morse en honor a su inventor.

Código morse					
A	.-	N	-.	1	.....
B	....	O	---	2	..---
C	-. .	P	.-.	3	...--
D	-. .	Q	--.	4-
E	.	R	.-.	5	.....
F	.. .	S	...	6	---...
G	--.	T	-	7	--...
H	....	U	..-	8	---..
I	..	V	...-	9	----.
J	....	W	.-.	0	-----
K	-. -	X	-.-		
L	.-.	Y	-. -		
M	--	Z	--.		

Tabla 1.1 Código Morse empelado en la telegrafía.

Un aspecto a destacar, es que el código Morse es, según los conceptos modernos, la primera versión del sistema de comunicaciones digitales, pues si a cada letra se le asignan puntos y rayas, es decir, un código binario, entonces a cada raya le podemos asignar un "1" y a cada punto un "0", y la codificación resultante se puede ver en la tabla 1.2.

Código morse con "1" y "0"					
A	01	I	00	Q	1101
B	1000	J	0111	R	010
C	1010	K	101	S	000
D	100	L	0100	T	1
E	0	M	11	U	001
F	0010	N	10	V	0001
G	110	O	111	W	011
H	0000	P	0110	X	1001

Tabla 1.2 Código Morse asignado con 1 y 0.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Código morse con "1" y "0"					
Y	1011	3	00011	7	11000
Z	1100	4	00001	8	11100
1	01111	5	00000	9	11110
2	00111	6	10000	0	11111

Tabla 1.2.1 Código Morse asignado con 1 y 0 (continuación).

1.7.2.4 Inicio del telégrafo eléctrico.

El 27 de Mayo de 1884, Morse envía su primer mensaje, desde la Corte Suprema de Estados Unidos en Washington, a una estación de ferrocarril en Baltimore. El mensaje enviado corresponde a un párrafo de la Biblia Número 23:23 [1,2].

What hath God wrought? (¿Cuánto ha hecho mi dios?)

"Con el desarrollo del telégrafo eléctrico se dispuso, por primera vez en la historia de la humanidad, de un sistema de telecomunicaciones que a diferencia de los telégrafos ópticos que lo precedieron, estaba disponible 24 horas al día, independientemente de las condiciones climatológicas. Si a este hecho se le agrega el aspecto económico y que el sistema puede estar al servicio del público, se puede decir que a través de él se instauró la presencia de las telecomunicaciones en la vida cotidiana de la sociedad".

Este invento ha sido tan importante que sigue usándose hasta nuestros días cuando se quieren enviar mensajes breves a otros lugares. La diferencia entre este sistema de hace dos siglos y uno de nuestros tiempos, radica en la cantidad de información que se transmite: antes eran unos cuantos signos por minuto, ahora se pueden transmitir millones de ellos por segundo.

1.8 El teléfono.

"Con la telegrafía alámbrica, los medios de comunicación dieron un salto increíble. No obstante el avance efectuado mediante mensajes que recorren los hilos eléctricos casi a la velocidad de la luz, la comunicación misma se antojaba lenta a la observación de descubrimientos posteriores, como el teléfono. La transmisión de un telegrama representa una redacción, el envío y la entrega, pero al invento del teléfono, el recorrido instantáneo de la palabra por la línea eléctrica telefónica es muchísimo más rápido, y mucho más económico" [4].

1.8.1 Introducción histórica.

Aunque hay indicios que desde siglos anteriores, se hacen esfuerzos por transmitir la voz humana a grandes distancias, con civilizaciones como los mexicas, que al parecer, en ocasiones usaban cerbatanas largas para este fin, pasarían muchos años antes de que hubiera un intento real para hablar a grandes distancias.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fue el francés Charles Bourseul quien en 1854 fue el primero en exponer los principios teóricos del teléfono eléctrico y explica: *"Si se habla cerca de una placa móvil suficientemente flexible para que no se pierda ninguna de las vibraciones producidas por la voz, y esta placa establece e interrumpe sucesivamente la comunicación con una pila, otra placa situada lejos, reproducirá exactamente y en el mismo instante, las mismas vibraciones. No hay duda de que, en un futuro más o menos lejano, se transmitirá la palabra a distancia por medio de la electricidad"*¹.

Posteriormente Alexander Graham Bell quien por su interés en la fonética humana y su motivación por inventar un sistema de audición para sordomudos, empieza a trabajar junto con su ayudante Thomas A. Watson sobre el mejoramiento de los transmisores y receptores para telégrafos eléctricos y fue, cuando accidentalmente uno de sus vibradores o diafragma quedo adherido a un electroimán, que Bell observa que en la habitación contigua, el vibrador correspondiente empieza a vibrar y produce un sonido del mismo tono, y deduce que si se puede transmitir eléctricamente un solo sonido, también debe ser posible transmitir los sonidos complejos de la palabra humana e incluso de la música.

1.8.2 Funcionamiento e historia del teléfono.

A partir de aquí, Bell imagina un dispositivo que consiste básicamente en un transmisor y en un receptor. Primero el transmisor transforma las ondas de sonido que se emiten cuando uno habla en variaciones de una corriente eléctrica, y que la corriente así generada siguiere fielmente las variaciones producidas por el sonido. Una vez lograda, esta corriente llegaba al lugar receptor a través de un cable conductor. El receptor tendría un aparato que invirtiera el proceso: transformar las variaciones de una corriente eléctrica en sonido [5].

El transmisor que Bell concibió opera de la siguiente forma. Esta formado por un circuito eléctrico en que una batería y una resistencia están conectadas a una membrana que a la vez está unida con un diafragma que se puede mover horizontalmente. En el extremo derecho del diafragma se encuentra un recipiente con granos de carbón que ofrecen una resistencia al paso de la corriente eléctrica. Tan pronto como el sonido de nuestra voz, que no es más que la compresión de las moléculas del aire, golpea el diafragma, una cantidad variable de presión es aplicada a los granos de carbón, causando que la resistencia del circuito eléctrico varíe de acuerdo a cuan unidos estén los granos, esto causará fluctuaciones en el valor de la corriente directa del circuito. Cuando la presión del aire es alta, los granos de carbón se comprimen bastante y habrá una resistencia pequeña, resultando en un incremento de corriente. Cuando la presión del aire es baja, la resistencia se incrementa y la corriente decrece.

Estas fluctuaciones obedecen a la Ley de Ohm, que mediante una ecuación muy sencilla relaciona los tres factores más importantes de un circuito eléctrico:

¹ Enrique Cárdenas de la Peña. Historia de las Comunicaciones y los transportes en México. El Teléfono. SCT, México, 1987, página 9 y 10.



$$I = \frac{V}{R}$$

donde:

I : Corriente (Amperes)

V : Voltaje (Volts)

R : Resistencia (Ohms)

Estas variaciones de corriente es la representación de la información que viaja por el teléfono.

Para el receptor, Bell inventó lo siguiente. Dentro del receptor hay dos imanes. Uno de estos dos imanes es fijo y se usa para aplicar una fuerza constante sobre el diafragma. El segundo imán es un electroimán y en su extremo está unido por medio de una lengüeta metálica a un diafragma. Este imán es activado solamente cuando una corriente pasa a través del cable, y tan pronto como la corriente imanta el electroimán, éste atrae la lengüeta de forma variable aplicando una fuerza sobre el diafragma. La magnitud de esta fuerza está en función de la corriente, con lo que la vibración del diafragma depende de la vibración del diafragma del transmisor, así el diafragma del transmisor mueve con la misma frecuencia al diafragma del receptor, siempre siguiendo las variaciones del sonido original, que va moviendo el aire circundante creando así un sonido. Este receptor es el auricular del teléfono. En la figura 1.5 se muestra el circuito completo del teléfono diseñado por Bell.

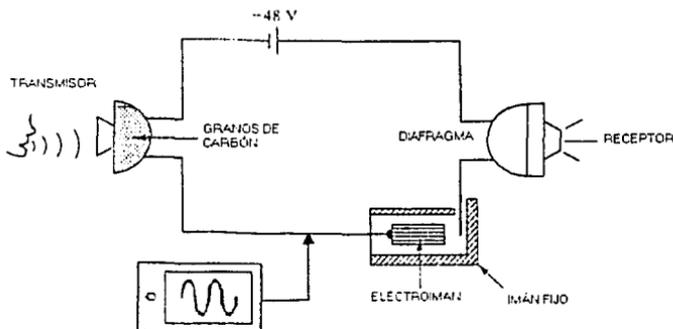


Figura 1.5 Teléfono diseñado por Bell [5].

1.8.3 Inicio del teléfono.

Después de múltiples ensayos Bell construyó el primer aparato telefónico el 10 de marzo de 1876 cuando, en su deseo de reforzar las débiles señales audibles por su ayudante, se le ocurrió aumentar la densidad de la pila eléctrica con la cual opera. Al agregarle ácido sulfúrico, parte del líquido se derrama y alcanza a quemarle una pierna.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuando solicita ayuda a su colaborador; Watson se asombra al advertir que el llamado le llega con insólita claridad. Mr. Watson, come here, I want you. (Venga, señor Watson, lo necesito). Un grito de júbilo completa la escena cuando Watson exclama I was hear every words that you say clearly. (He oído todas sus palabras claramente). El primer teléfono resultó ser muy burdo. Sin embargo, al transcurrir el tiempo se ha ido mejorando hasta lograr los aparatos que conocemos hoy en día [4].

1.9 Red telefónica pública conmutada.

Esta red fue la que se usó desde el nacimiento del teléfono hasta principios de los años sesenta, y tenía como principal característica que la comunicación se hacía a través de una señal analógica [1].

La red telefónica y la red telegráfica han convivido a través del tiempo. Pero la red telefónica ha tenido, y por mucho, un mayor empuje, ya que permite la comunicación hablada entre personas sin necesidad de un conocimiento especial del manejo de los equipos (en el telégrafo es necesario conocer el código Morse para poder establecer una comunicación entre usuarios).

En un primer momento, las líneas telefónicas eran punto a punto, es decir, se establecía una línea entre los dos lugares que se querían comunicar. Este sistema tenía el inconveniente de que debía haber una línea diferente para unir al usuario con cada persona. Por ejemplo, si alguien deseaba poder hablar por teléfono con dos personas diferentes, debería tener una línea para unir su casa con la de la primera persona y otra línea diferente para unir su casa con la de la segunda persona. Las comunicaciones entre usuarios se establecían simplemente descolgando el teléfono.

El siguiente paso en la evolución fue la aparición de centralitas con operador. En esta etapa cada usuario tenía una única línea que él comunicaba con una centralita local, que estaba controlada por un operador que se encargaba de establecer las comunicaciones entre usuarios. La comunicación se establecía de la siguiente manera:

- La persona descolgaba el teléfono e indicaba al operador con quien deseaba hablar.
- El operador de la centralita introducía una clavija en la conexión adecuada, para poder establecer, de esta manera, una comunicación entre los usuarios si ambos pertenecían a la misma población y, en caso contrario, la centralita se unía con otra centralita para, de esta manera, poder establecer una línea entre los dos usuarios.

Sin embargo, este sistema era lento ya que requería la comunicación entre muchos operadores para poder establecer una comunicación con un lugar lejano, con el consiguiente retardo debido a la conversación entre los operadores.

Para solucionar este problema se pensó en la automatización de las centrales, hecho que no fue posible hasta la aparición del teléfono de disco, que era muy parecido al que todavía se puede ver en muchos lugares. Gracias a la aparición de este teléfono se pudo automatizar la comunicación entre usuarios, ya que las centralitas encaminaban la llamada gracias al número marcado.

1.9.1 Funcionamiento de la red telefónica pública conmutada.

La red telefónica está formada por unas centrales locales, a las cuales están conectados los usuarios, mediante lo que se denomina bucle local. Las centrales están unidas entre sí a través de centrales de tránsito, de tal forma que es posible la comunicación entre dos centrales cualesquiera de la red. Para conseguir esto, no se une directamente cada una de las centrales con todas la demás, ya que resultaría demasiado costoso, sino que se forma una red que asegura que existe un camino pasando por un número finito de centrales, para que la señal se pueda transmitir de una central a cualquier otra.

El funcionamiento es el siguiente:

- El usuario marca el número de teléfono.
- La centralita local comprueba si ese número pertenece a su zona, y si lo es, establece la comunicación. En caso de no serlo, establece una comunicación con una central de tránsito para, de esta manera, poder establecer la llamada.

De esta forma se podía establecer una comunicación automática entre los usuarios sin necesidad de operadores a través de las líneas analógicas.

Es conveniente destacar que una vez establecida una comunicación telefónica, la línea se mantendrá totalmente ocupada, aunque no se esté transmitiendo información en ese momento.

1.9.2 Red digital.

"Es el siguiente paso en la evolución de las redes telefónicas. A través del desarrollo de la red telefónica ha sido descubierto que es más eficiente transmitir un canal de voz de una forma digital. En esta forma, el canal de voz puede ser enviado a su destino con poco ruido, gran calidad, de una forma más efectiva y se puede ofrecer un mejor servicio a los usuarios". Además a esto se ha unido el abaratamiento de los equipos digitales.

En esta red la comunicación entre centrales se va a realizar a través de líneas digitales, siendo el bucle de abonado el único elemento que mantendrá la estructura analógica.

Dado que la comunicación entre centralitas es ahora digital, la comunicación entre usuarios se va a realizar de la siguiente manera:

- La transmisión de los datos desde el domicilio de los abonados por el bucle local hasta la central local a la cual está conectado se hace en forma analógica.
- En dicha central se realiza una conversión de la señal analógica a una señal digital, y desde la central local del usuario hasta la central local destino, la transmisión en las centrales se hace de forma digital.
- Cuando la información llega a la central destino, ésta convierte la señal digital a una señal analógica, y la transmisión se realiza con tecnología analógica a través del bucle local del usuario destino.

Esta tipo de red es la que se usa actualmente en las comunicaciones telefónicas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo II.

Información y conceptos necesarios.

2.1 Señales.

En un sistema de transmisión llamamos señal a la representación eléctrica de la información ya que todas las características de una señal están determinadas por las características de la propia información, por lo cual cuando se habla de transmitir información es lo mismo que hablar de transmitir señales [1].

En la comunicación entre computadoras, suelen usarse multitud de medios, pero en cualquiera de estos casos son las ondas electromagnéticas las que viajan en el medio elegido. Es la señal eléctrica, en sus diferentes variantes, la que se utiliza en casi todas las comunicaciones entre computadoras y la que puede cubrir mayores distancias viajando en el tiempo. "Las señales eléctricas son relativamente fáciles de controlar, viajan con velocidades cercanas a la de la luz y han reemplazado casi completamente a todas las otras formas de transmisión de información a largas distancias". En el caso de la línea telefónica, son las modificaciones del voltaje eléctrico las que son utilizadas en la transmisión.

2.1.1 Señales periódicas

"Las señales periódicas son aquellas que presentan características similares o iguales a intervalos regulares de tiempo, en otras palabras, se repiten". Todas las señales que no cumplan con esta condición se les conoce como señales aperiódicas o no periódicas.

2.1.2 Señales analógicas

"Se consideran señales analógicas aquellas que están representadas por funciones matemáticas que pueden tomar un número infinito de valores en cualquier intervalo de tiempo", es decir, que en un instante cualquiera, sus magnitudes pueden tomar un valor cualquiera [1,9].

La representación típica de estas señales, son las señales sinusoidales, como se puede ver en la figura 2.1, en las que el valor de la señal es función del seno en ese instante de tiempo, aunque también se puede usar la función coseno.

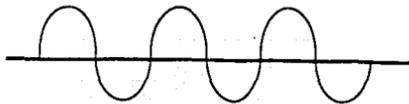


Figura 2.1 Señal Analógica [1].

En el caso del teléfono, las señales que pasan a través de su red son señales analógicas, ya que son una analogía eléctrica de nuestra voz. Estas señales varían en frecuencia (tono) y amplitud (volumen) de acuerdo a las ondas sonoras que provienen de nuestra voz. En la figura 2.2 se representa una señal típica de la representación de la voz a través de la línea telefónica.

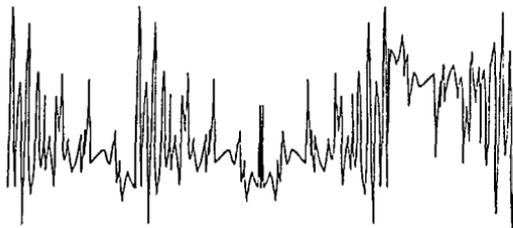


Figura 2.2 Ejemplo de una típica señal analógica a través de una línea telefónica [9].

2.1.3 Señales digitales

“Se denominan señales digitales a aquellas que están representadas por funciones matemáticas que pueden tomar un número finito de valores en cualquier intervalo de tiempo”. Es decir, sólo toma valores discretos.

La señal digital se puede originar mediante el cambio discreto de las magnitudes que caracterizan la señal analógica. Una señal eléctrica que presenta saltos de voltaje entre 0 y 5 volts es una señal digital, si los saltos son entre frecuencias de 0 y 50 Hz también se origina una señal digital. Todos los sistemas de transmisión de datos son sistemas de transmisión de naturaleza digital, como las computadoras que utilizan un sistema digital de representación de la información denominado código binario mediante el uso de dos niveles de voltaje. La figura 2.3 describe una señal digital típica.

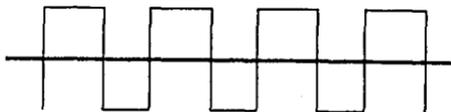


Figura 2.3 Señal Digital [1].

La información digital puede codificarse mediante una señal digital o analógica y lo mismo sucede con la información analógica. El motivo de codificar de una manera u otra responde a necesidades de tipo tecnológico o bien práctico.

Los términos digital y analógico se aplican además, al tipo de transmisión y caracterizan el modo en el que las señales serán codificadas en el medio. En algunos casos una señal analógica debe transformarse para ser transmitida digitalmente, el caso

contrario es también posible, ya que actualmente es habitual que la voz e imagen, que son datos analógicos, sean codificados mediante señales digitales y transmitidos sobre líneas telefónicas mediante transmisión analógica.

2.1.4 Señal portadora y moduladora.

La señal portadora es la señal que transporta la información, y es propia del medio de transmisión, es decir, si el medio de transmisión es analógico, la señal portadora será analógica, y si el medio de transmisión es digital, la señal portadora será digital.

Por su parte la señal moduladora, es la información que queremos transmitir y se monta sobre la señal portadora modulándola o alterándola de acuerdo a las características de la información, cambiando amplitud, frecuencia, fase o alguna combinación de estas, de acuerdo al tipo de modulación que se use y a la naturaleza de las dos señales ya sean las dos del mismo tipo o de tipo diferente.

2.2 Características de una señal.

Una señal tiene parámetros o características que la definen. Dado la importancia de las señales dentro de un sistema de comunicación, estos parámetros hacen más fácil poder distinguir, tratar y controlar el comportamiento o funcionamiento de una señal para y durante su transmisión.

2.2.1 Fase.

"Es el desplazamiento en grados que habría que realizar sobre el eje de las abscisas para que la función coincida con las funciones seno y coseno estándar, e indica el punto que ha alcanzado la señal dentro de su ciclo".

El ciclo es cuando la señal da una vuelta entera de 360° , cuando la señal es representada en un plano convencional de dos ejes este ciclo sigue siendo de 360° pero de forma horizontal. La fase puede estar entre 0° y 360° dentro del ciclo como se ve en la figura 2.4.

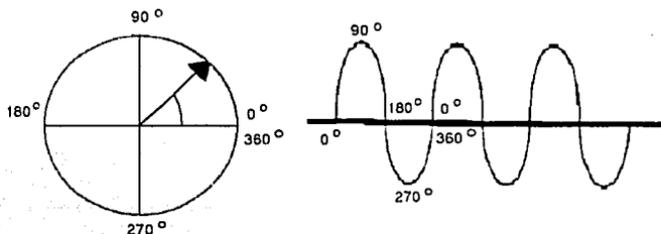


Figura 2.4 Fase de una señal.

2.2.2 Amplitud.

"Es el valor máximo de la señal respecto al origen, viene determinado por la cantidad de carga eléctrica en la línea", es decir, es el nivel de tensión o voltaje que tiene la señal.

2.2.3 Período.

Se denomina período de una señal, al intervalo mínimo de tiempo en el que la señal se repite, en otras palabras, es la duración de un ciclo. Se denomina por la letra T y se mide en segundos.

En la figura 2.5 se exponen las características vistas de las señales, tanto en las señales analógicas como en las señales digitales.

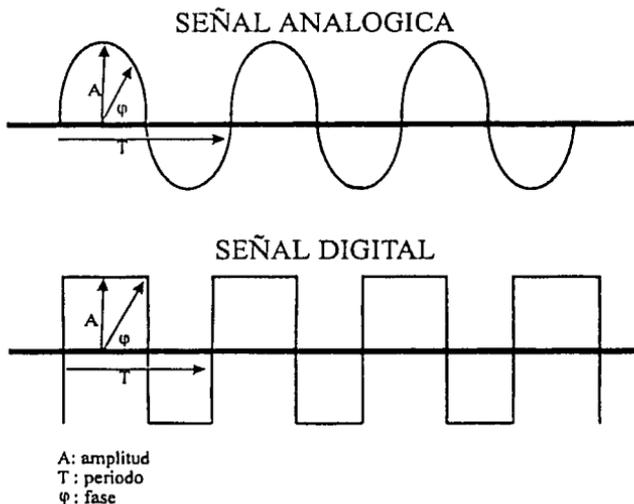


Figura 2.5 Características de las Señales Analógicas y Digitales [1].

2.3 Frecuencia.

La frecuencia es otra característica de una señal, pero por su importancia, su concepto tiene que detallarse más a fondo [7].

2.3.1 Introducción histórica.

Fue Heinrich Rudolf Hertz, un físico alemán, que a finales del siglo XIX mediante sus experimentos pudo obtener diferentes tipos de ondas, con las cuales pudo calcular su longitud, su velocidad de propagación y la relación entre ellas, logrando así el descubrimiento que permite la mayor revolución de las comunicaciones, la frecuencia.

En honor a Hertz en el sistema internacional de unidades (SI), la unidad de frecuencia lleva su nombre. Esta unidad se deriva de la unidad fundamental del mismo sistema internacional que corresponde al segundo, siendo un hertz la representación de un ciclo o suceso completo de un fenómeno repetitivo o cíclico por segundo representado con unidades de (1/s).

2.3.2 Descripción.

La frecuencia es la que nos permite cuantificar, por decirlo así, el sonido. El sonido es creado por vibraciones mediante la perturbación del aire, es una serie de compresiones y enrarecimientos de las moléculas de aire que cuando se comprimen y expanden crean el sonido. Ya que el aire es un medio elástico, cada vez que las moléculas de aire son forzadas desde la fuente de origen, éstas se mueven una pequeña distancia y luego regresan a su posición original. La velocidad con la cual el sonido viaja está en función del medio y la temperatura.

Si la onda tiene una frecuencia baja, es decir, si la onda vibra pocas veces por segundo, tenemos un sonido grave. Si por el contrario, es de una frecuencia alta, que tiene muchas vibraciones por segundo, lo percibimos como un sonido agudo.

Una persona promedio puede escuchar sonidos con frecuencias entre los 20 Hz y los 18000 Hz (aunque hay personas capaces de escuchar sonidos con frecuencias mayores), es decir, que el sonido más grave que percibiremos será aquel cuya onda haga vibrar la materia o el aire veinte veces por segundo; y el más agudo que percibiremos será aquel que haga vibrar la materia o el aire 18000 veces por segundo, pero el oído humano es más sensible al rango de sonido entre los 100 y los 3000 Hz, siendo el sonido que nosotros oímos de tipo analógico, porque tomando cualquier instante de tiempo nosotros podemos encontrar sonido. Sonidos con frecuencias más altas de 20000 Hz no pueden ser escuchados por el oído humano, a estos sonidos se les llama ultrasónicos.

2.4 Ancho de banda

"El ancho de banda de un sistema de comunicaciones es la banda de paso mínimo de rango de frecuencias requerida para propagar la información de la fuente a través del sistema". El ancho de banda de un sistema de comunicaciones debe ser lo suficientemente grande o ancho para pasar todas las frecuencias significativas de la información [1, 11].

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4.1 Ancho de banda de la línea telefónica.

Cuando hablamos de las ondas del sonido resultantes de la voz, estas contienen frecuencias alrededor de 100 a 10000 Hz, aún así para una efectiva comunicación de voz, los humanos utilizamos frecuencias entre 300Hz y 3400Hz. Aunque podemos hablar y escuchar a frecuencias más bajas y más altas, la comunicación por voz entre estas dos frecuencias es clara y eficiente para que la red telefónica pueda transmitir las y recibir las.

Este rango representa la frecuencia estándar del ancho de banda para la transmisión de voz, sin embargo el canal de voz utilizado en la línea telefónica va de 0 a 4000 Hz y fue desarrollado para evitar la interferencia o traslapación de otro canal de voz adyacente. La figura 2.6 muestra el ancho de banda utilizado en la red telefónica.

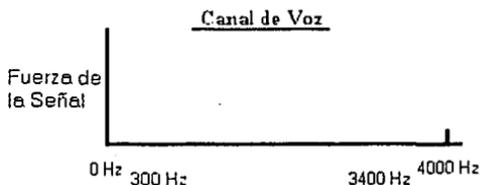


Figura 2.6 Ancho de banda del canal de voz de la red telefónica [5].

Cabe mencionar que las variaciones de la frecuencia debidas al sonido original de la voz se convierten de igual forma en variaciones de voltaje eléctrico, por lo cual la información esta contenida en estas variaciones de voltaje. La información se monta sobre un voltaje fijo que está en un rango de -42 a -52 volts de corriente directa, aunque típicamente son -48 , que son suministrados por la central telefónica.

2.5 Velocidad.

Como subemos la información es básicamente conocer algo que no conocíamos, y que por tanto es imposible saber con precisión que es lo que nos van a comunicar, pero para que el mensaje se transmita de una forma clara se deben de usar dentro de nuestro lenguaje palabras y frases que están cambiando en forma continua durante todo el tiempo en que estamos transmitiendo el mensaje, ya que el sonido continuo de una sola nota no lleva ninguna clase de información, pero si la nota se modifica de manera que pueda tener interpretación se comienza a tener un sentido y una información.

Por lo tanto como una señal es la representación eléctrica de la información, la transmisión de información requiere que las señales varíen con el tiempo, además que estos cambios deben hacerse de manera impredecible, y entre más numero de cambios y más rápidos sean esos cambios podremos transmitir más información [1, 10,11].

“Por cantidad de información transmitida en T segundos se entiende el número de combinaciones diferentes y distinguibles de amplitudes de la señal que pueden transmitirse en ese mismo tiempo”.

Por ejemplo la información se puede enviar mediante cuatro niveles de amplitud de voltaje que se pueden representar con dos bits, del nivel 00 al nivel 11, de esta forma cada periodo de tiempo T se envía una señal 00,01,10 o 11, como se representa en la figura 2.7.

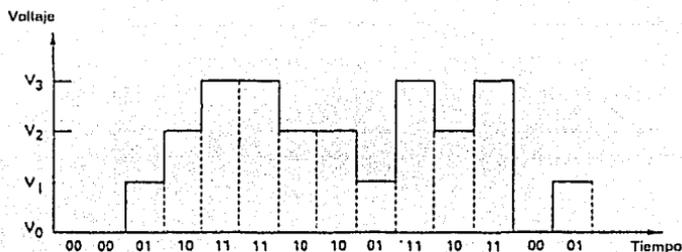


Figura 2.7 Envío de información mediante 4 niveles de amplitud de voltaje [8].

Es posible hacer que esta señal no tenga sólo cuatro niveles de amplitud, sino más y asociando a cada nivel un código se consigue enviar más información en el mismo periodo T o la misma que antes pero en menor tiempo. De forma general, si se tiene una señal con N niveles de amplitud diferentes en donde cada nivel es codificado mediante un código binario, pueden enviarse B bits de información como se especifica en la siguiente fórmula:

$$B = \log_2 N$$

Al hablar de velocidad hay que distinguir entre dos conceptos: la velocidad de transmisión entre estados de la señal y la velocidad de transmisión de información

2.5.1 Velocidad de Modulación

"La velocidad de generación de estados diferentes de la señal, que se denomina velocidad de modulación, V_m , es el número de cambios que sufre la señal por unidad de tiempo, y se mide típicamente en baudios aunque también se puede medir en símbolos/s o muestras/s". La velocidad de modulación es igual a:

$$V_m = 1/T \text{ (baudios)}$$

Matemáticamente, la frecuencia y la velocidad de modulación son iguales, pero conceptualmente son dos mundos totalmente distintos. La velocidad de modulación es conocida también como frecuencia de muestreo y es la que detecta los diferentes niveles de amplitud en una señal.

2.5.2 Velocidad de Transmisión

"La velocidad de transmisión de la información es el número de bits transmitidos por segundo y se mide en bits por segundo (bps) ésta cantidad puede variar mucho según la técnica que se utilice para enviar los datos". Se obtiene multiplicando el número de bits transmitidos por cada cambio de estado de la señal por el número de cambios que experimenta la señal cada segundo (velocidad de modulación) [8, 11].

$$V = B \times V_m = \log_2 N \times 1/T \text{ (bps)}$$

Por ejemplo, en la figura 2.8, donde hay cuatro diferentes amplitudes (baudios) y hay dos bits transmitidos por cada baudío, se pueden transmitir $4 \times 2 = 8$ bits por segundo.

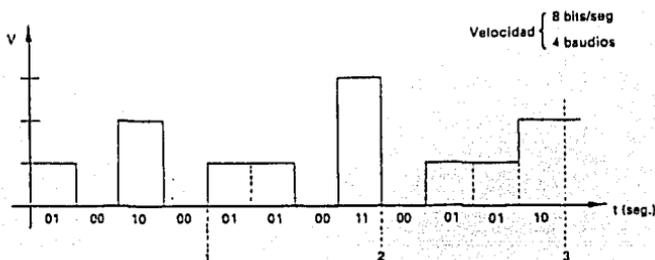


Figura 2.8 Velocidad de transmisión de una señal en baudios y bit/seg [8].

2.6 Capacidad de Información

"La capacidad de información de un sistema de comunicación representa el número de símbolos independientes que pueden pasarse a través del sistema en una unidad de tiempo determinada. El símbolo fundamental es el dígito binario (bit), por tanto, a menudo es conveniente expresar la capacidad de información, de un sistema, en bits por segundo (bps)" [6].

En 1928, R. Hartley de los laboratorios de teléfonos Bell desarrolló una relación útil entre el ancho de banda, la línea de transmisión, y la capacidad de información. Expresada en forma sencilla, la ley de Hartley es:

$$I \propto B \times T$$

Donde:

- I = capacidad de información (bps)
- B = ancho de banda (Hz)
- T = línea de transmisión (s)

A partir de esta ecuación se puede ver que la capacidad de información es una función lineal del ancho de banda y de la línea de transmisión y es directamente

proporcional a ambos. Si se cambia el ancho de banda o la línea de transmisión, ocurrirá un cambio directamente proporcional en la capacidad de información.

En 1948, C. E. Shannon (también de los laboratorios de teléfonos Bell) publicó un artículo relacionando la capacidad de información de un canal de comunicación al ancho de banda y a la relación señal-a-ruido. Matemáticamente, el límite de Shannon para la capacidad de información es:

$$I = B \log_2 (1+S/N) \text{ ó}$$

$$I = 3.32 B \log_{10} (1+S/N)$$

Donde

I = capacidad de información (bps)

B = ancho de banda (Hz)

S/N = relación de señal-a-ruido (sin unidades)

La relación señal-a-ruido es una relación matemática sencilla del nivel de la señal con respecto al nivel de ruido en un punto dado del circuito o el sistema. La relación de señal-a-ruido se expresa frecuentemente como una función logarítmica con la unidad de decibel.

Para las relaciones de voltaje, $S/N \text{ (dB)} = 20 \log V_{\text{signal}}/V_{\text{noise}}$

Para las relaciones de potencia, $S/N \text{ (dB)} = 10 \log P_{\text{signal}}/P_{\text{noise}}$

Para un canal de comunicaciones de banda de voz estándar (línea telefónica), hay una relación de potencia señal-a-ruido de 1995 (33 dB) y un ancho de banda útil de 3.1 KHz, el límite de Shannon para la capacidad de información es

$$I = 3100 \log_2 (1+1995) = 3.32 \times 3100 \log_{10} (1+1995) \\ = 33.96 \text{ kbps}$$

Este resultado nos indica el máximo de bits por segundo que pueden transferirse a través de un canal de 3.1 KHz, aunque para lograr esta velocidad de transmisión para la información, cada símbolo transmitido debe contener más de un bit de información.

2.7 Sincronismo.

“La comunicación de datos consiste en un diálogo interactivo entre computadoras y terminales o entre computadoras. Para emprender el diálogo se necesita algo más que un canal de comunicaciones, hace falta que el receptor sepa que en un instante determinado en el circuito esta presente el primer carácter del mensaje, en otro instante el segundo y así sucesivamente.. y hace falta que el receptor sepa que en un instante determinado llega el último carácter del mensaje y no siga esperando” [1,8].

Se entiende por sincronismo el mecanismo por el cual el emisor y el receptor establecen una base de tiempos común que permita reconocer los datos en los instantes adecuados mediante relojes de la misma frecuencia nominal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En general, los distintos tipos de sincronización pueden conseguirse de dos maneras diferentes. En una de ellas se limita el tamaño de la unidad de información a un carácter, 8 bits, de forma que la computadora receptora puede realizar una resincronización de bit al comienzo de cada carácter. Los bits son a los caracteres de comunicación lo que las letras a las palabras. A este tipo de transmisión se le denomina transmisión asíncrona. En cambio, en el otro caso se maneja como unidad de información el bloque o trama y maneja mecanismos más complejos para realizar el sincronismo. Un bloque es un conjunto de caracteres que constituyen una unidad base en la comunicación para, por ejemplo, tratamiento de errores. Esta unidad es conocida como trama y facilita el uso de mecanismos para el control de la comunicación. A este último modo de transmisión se le denomina transmisión síncrona.

2.7.1 Transmisión asíncrona.

La transmisión asíncrona también se denomina como START/STOP. "Los dos extremos tienen relojes independientes de la misma frecuencia nominal que sirven para realizar el sincronismo de bit. La información se transmite carácter a carácter, precedidos de un bit a 0 o bit de START y terminados por, al menos, un bit a 1 denominado de STOP (pueden ser también 2 bits STOP), esta es la forma de establecer el sincronismo de carácter. Entre dos caracteres consecutivos puede mediar cualquier separación, permaneciendo todo el tiempo la línea en estado 1". El sincronismo de bit se consigue arrancando el reloj de recepción cuando se detecta el bit de START como se ve en la figura 2.9.

La transmisión asíncrona es un método poco eficiente, ya que para cada carácter son necesarios 2 ó 3 bits de control, por lo que, en el mejor caso, la eficiencia es de un 75%.

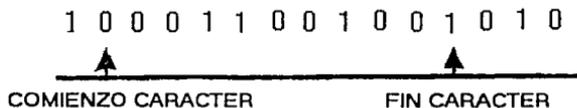


Figura 2.9. Transmisión asíncrona [1].

2.7.2 Transmisión síncrona.

"El receptor utiliza el mismo reloj que el emisor, consiguiendo, por tanto, un sincronismo de bit perfecto. Esto implica que, además de los datos, el emisor envíe la señal de reloj y que la señal en línea tenga un número suficiente de cambios para que el receptor, a partir de ella, sea capaz de regenerar el reloj de emisión". El hecho de que en transmisión síncrona el receptor utilice el mismo reloj del emisor garantiza la reconstrucción del tren de bits, pero no permite distinguir dónde empieza un carácter o bloque de información. Para conseguir el sincronismo de bloque o trama se utilizan combinaciones de bits o secuencias de caracteres que no puedan ser simuladas por los datos enviados, comenzando con un conjunto de bits de sincronismo (SYN) y termina con otro conjunto de bits de final de bloque (ETB), de modo que el receptor, cuando los detecta, sabe que, a partir de ahí, cada n bits consecutivos forman un carácter.

La transmisión síncrona precisa equipos más complejos que la asíncrona, pero supone un uso más eficiente de la línea y permite mayores velocidades, en la figura 2.10 se ejemplifica el funcionamiento de la transmisión síncrona.

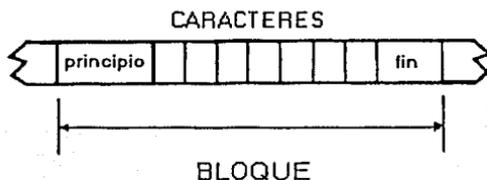


Figura 2.10 Transmisión síncrona [1].

2.8 Modos de transmisión

Los sistemas de comunicaciones pueden diseñarse para manejar la transmisión solamente en una dirección, en ambas direcciones pero sólo uno a la vez, o en ambas direcciones al mismo tiempo. Estos se llaman modos de transmisión. Cuatro modos de transmisión son posibles: simplex, half-duplex, full-duplex y full/full-duplex [6,8].

2.8.1 Simplex (SX).

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

2.8.2 Half-duplex (HDX).

Con una operación half-duplex las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. "A los sistemas half-duplex, algunas veces les llaman sistemas con alternativa de dos sentidos, cualquier sentido, o cambio y fuera, una ubicación puede ser un transmisor y un receptor, pero no los dos al mismo tiempo". Los sistemas de radio de doble sentido que utilizan los botones que hay que oprimir para hablar para operar sus transmisores, como los radios de banda civil y de banda policíaca son ejemplos de transmisión half-duplex.

2.8.3 Full-duplex (FDX).

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

2.8.4 Full/full-duplex (F/FDX).

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

La figura 2.11, ejemplifica los 3 principales modos de transmisión de los sistemas de comunicaciones.

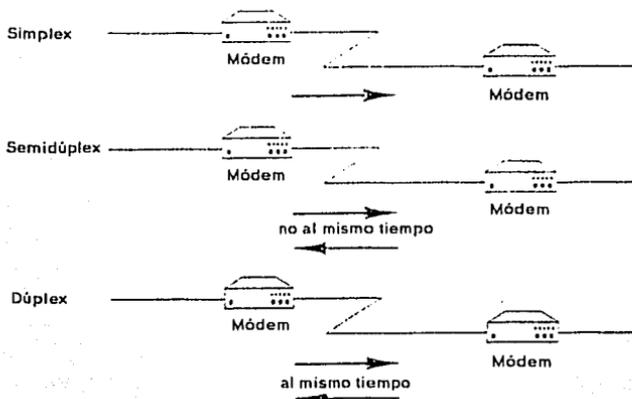


Figura 2.11. Modos de transmisión simplex, half-duplex y full duplex [8].

2.9 Arreglos de circuitos

Las comunicaciones electrónicas pueden configurarse de varias maneras. A estas configuraciones se les llama arreglos de circuitos y pueden incluir una transmisión de dos o cuatro hilos o cables[6].

2.9.1 Transmisión a dos hilos.

Como lo implica su nombre, la transmisión a dos hilos contiene dos cables, uno para la señal y uno para la referencia o tierra física, o una configuración de circuito que es equivalente a sólo dos cables.

La configuración a dos hilos es más sencilla, consiste de dos cables conectando una fuente de información a través de un transmisor a un destino en un receptor. "Los cables son capaces de ejecutar una transmisión de dos sentidos, pero el transmisor y el receptor no lo pueden hacer. Para intercambiar información en la dirección opuesta, las ubicaciones del transmisor y receptor tienen que ser conmutadas, por lo tanto, esta configuración tiene capacidad de transmisión en solo una dirección o simplex". Para

realizar una transmisión half-duplex o full-duplex con un circuito a dos hilos se requiere de un transmisor y un receptor en cada ubicación, y tendrán que estar conectados al mismo par de hilos de tal manera que no interfieren uno con otro. La configuración a dos hilos se muestra en la figura 2.12

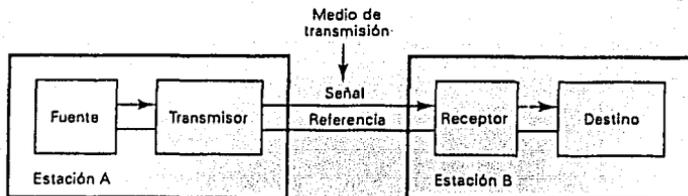


Figura 2.12 Transmisión a dos hilos [6].

2.9.2 Transmisión a cuatro hilos

La transmisión a cuatro hilos consiste de cuatro cables, uno de señal y uno de tierra de referencia para las dos direcciones, o una configuración de circuito que es equivalente a cuatro cables.

Un circuito de cuatro hilos equivale a dos circuitos de dos hilos, uno para cada dirección de transmisión, como se observa en la figura 2.13. "Con operación a cuatro hilos, el transmisor en una ubicación se conecta a través de un medio de transmisión al receptor en la otra ubicación y viceversa, de este modo, los transmisores y receptores en cierta ubicación se pueden operar completamente independiente uno del otro".

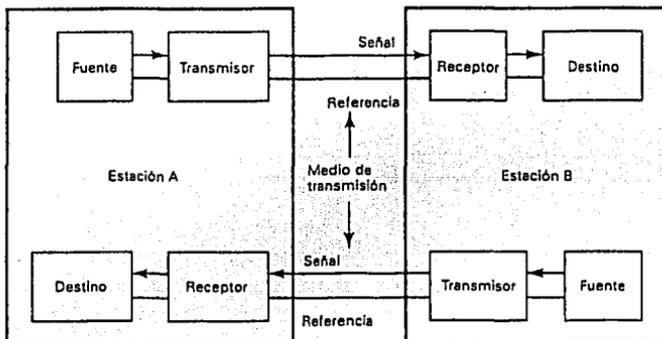


Figura 2.13 Transmisión a cuatro hilos [6].

Existen varias ventajas inherentes de los circuitos de cuatro hilos sobre los circuitos de dos hilos, por ejemplo, los circuitos de cuatro hilos están idealmente hechos para la transmisión half-duplex y full-duplex, son considerablemente menos ruidosos y proporcionan más aislamiento entre las dos direcciones de transmisión, aunque los circuitos de dos hilos requieren de menos cable, menos circuitería y, por tanto, menos dinero, por lo cual son usados en las conexiones de la red telefónica que va de los usuarios a las centrales telefónicas, poniendo un transmisor y un receptor en cada ubicación conectados al mismo par de hilos. Los circuitos de cuatro hilos son más usados en conexiones entre centrales telefónicas.

2.10 Modulación

Es una técnica empleada para modificar una señal, con la finalidad de posibilitar el transporte de información a través de un canal de comunicación y recuperar la señal en su forma original en el otro extremo[8,9].

La modulación es de vital importancia en los sistemas de comunicaciones, facilita la transmisión y recepción de información cuando las condiciones no son las más adecuadas, aún cuando la información sea de la misma naturaleza que el medio de transmisión.

Cuando existe una incompatibilidad entre la fuente de información y el medio de transmisión, la modulación es muy útil para solucionar esta incompatibilidad, ya sea que la información sea de tipo digital y el medio de transmisión analógico o viceversa,

2.10.1 Clasificación.

La clasificación de los diferentes tipos de modulación es de acuerdo al tipo de la fuente de información y a las señales que la transportarán por el medio de transmisión, o en otras palabras de acuerdo al tipo de señal moduladora y portadora. Las técnicas de modulación se clasifican en:

- Información digital, señales digitales.
- Información digital, señales analógicas.
- Información analógica, señales digitales.
- Información analógica, señales analógicas.

Las primeras tres clasificaciones, por sus características, son aplicables para el estudio de la modulación de señales dentro de la línea telefónica, usadas según sea el caso.

Cuando la información es analógica y el medio de transmisión es analógico, este tipo de modulación no es aplicable para la transmisión de datos por la línea telefónica. Esta clasificación está diseñada principalmente para la transmisión de ondas de radio a través del espacio libre, ya que si transmitiéramos señales analógicas sin modular, se tendrían que utilizar enormes antenas. La modulación de amplitud (AM, Amplitude Modulation), frecuencia modulada (FM, Frequency Modulation) y modulación de fase (PM, Phase Modulation) son técnicas usadas dentro de esta clasificación.

Capítulo III.

Técnicas de modulación.

3.1 Información digital, señales analógicas.

"Durante los últimos años, la industria de las comunicaciones electrónicas ha experimentado algunos cambios tecnológicos notables. Los sistemas tradicionales de comunicaciones electrónicas que utilizan técnicas de modulación analógica convencional, como la modulación en amplitud (AM), la modulación en frecuencia (FM), y la modulación en fase (PM), se están reemplazando, poco a poco, con sistemas de comunicaciones digitales". Los sistemas de comunicación digital ofrecen varias ventajas sobresalientes respecto a los sistemas analógicos tradicionales como la facilidad de procesamiento y mayor inmunidad al ruido[6].

Los elementos que distinguen un sistema digital de un sistema analógico, es que en un sistema digital, las señales de modulación y demodulación son pulsos digitales en lugar de formas de ondas analógicas, pero utiliza portadoras analógicas al igual que los sistemas convencionales. En esencia, hay cuatro técnicas de modulación digital que se suelen utilizar en sistemas digitales:

- Modulación (transmisión) por desplazamiento o conmutación de amplitud (ASK).
- Modulación (transmisión) por desplazamiento o conmutación de frecuencia (FSK).
- Modulación (transmisión) por desplazamiento o conmutación de fase (PSK),
- Modulación (transmisión) de amplitud en cuadratura (QAM).

3.1.1 Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK).

En la modulación por desplazamiento de amplitud (ASK, Amplitud Shift Keying), la amplitud de una señal portadora de alta frecuencia se conmuta entre dos o más valores en respuesta al valor del código binario, los dos valores binarios se representan mediante dos amplitudes diferentes de la portadora. "La señal modulada en ASK resultante consta de la presencia de la señal portadora a una amplitud constante llamada marcas, que representan unos binarios, y la ausencia de portadora o amplitud llamada espacios que representan ceros binarios" como se muestra en la figura 3.1 [12].



Figura 3.1 Señal binaria ASK [12].

En la modulación ASK hay un cambio en la amplitud de salida cada vez que la condición lógica de la señal de entrada binaria cambia, en consecuencia, cada bit es igual a un cambio en la señal o por cada cambio de la señal se codifica un bit, por lo que los bits por segundo (bps) son igual a los baudios.

• 3.1.2 Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK).

La modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, Frequency Shift Keying), es una forma de modulación digital de bajo rendimiento de amplitud constante. "Con el FSK binario, la frecuencia central o de portadora se desplaza (se desvía) por los datos de la entrada binaria. Conforme cambia la señal de entrada binaria de 0 lógico a 1 lógico, y viceversa, la salida del FSK se desplaza entre dos frecuencias: una frecuencia de marca o de 1 lógico y una frecuencia de espacio o de 0 lógico, ambas próximas a la frecuencia de la portadora", tal y como se ve en la figura 3.2 [6, 8, 11, 12].

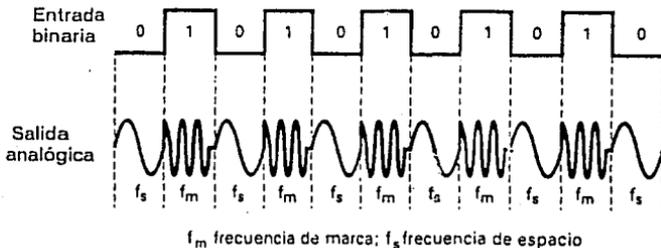


Figura 3.2 Señal FSK binaria [6].

Esto sugiere que se puede considerar a la señal FSK como si estuviera compuesta de dos señales ASK con diferentes frecuencias portadoras, como se observa en la figura 3.3.

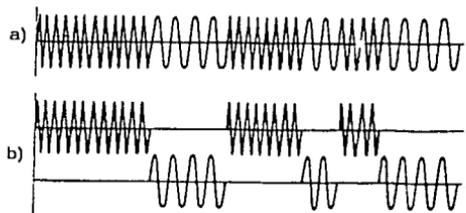


Figura 3.3 (a) Señal FSK Ideal y (b) su descomposición en dos señales ASK [12].

En la modulación FSK hay un cambio en la frecuencia de salida cada vez que la condición lógica de la señal de entrada binaria cambia, en consecuencia, para FSK cada bit es igual a un cambio en la señal o por cada cambio de la señal se codifica un bit, por lo que los bits por segundo (bps) son igual a los baudios.

3.1.3 Modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK).

Con la modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK, Bi Phase Shift Keying) son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora ("binario" significa "2 elementos"). Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase como se muestra en la figura 3.4.

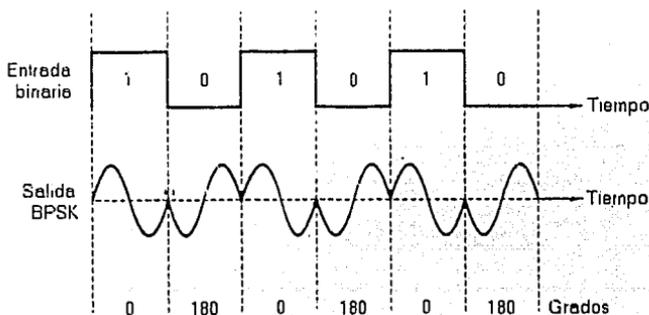


Figura 3.4 Relación de la fase de salida contra tiempo para un modulador BPSK [6].

Otros nombres con los que se les denomina a BPSK son modulación inversa de fase (PRK, Phase Reverse Keying) o modulación bifásica.

En la tabla 3.1 se muestra la tabla de verdad para un modulador BPSK, la tabla de verdad indica la correspondencia entre las condiciones lógicas posibles y su fase de salida.

Entrada binaria	Fase de salida
0 lógico	180°
1 lógico	0°

Tabla 3.1 Tabla de verdad del modulador BPSK [6].

Un diagrama de constelación también se le denomina diagrama vectorial de señales, y muestra en que fase se encuentra la señal.

En la figura 3.5 se observa el diagrama de constelación para un modulador de BPSK.

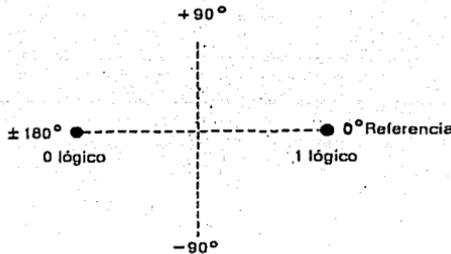


Figura 3.5 Diagrama de constelación del modulador BPSK [6].

En un modulador de BPSK el 1 lógico está en fase, y el 0 lógico es una señal que está 180° fuera de fase, cada vez que cambia la condición de lógica de entrada, cambia la fase de salida. Por lo tanto, para BPSK, cada bit es igual a un cambio en la señal o por cada cambio de la señal se codifica un bit, por lo que los bits por segundo (bps) son igual a los baudios.

3.1.4 Relación entre ASK, FSK y BPSK.

ASK, FSK y BPSK son los tres métodos básicos de modulación digital y en donde sólo es posible mandar un bit por cada cambio de la señal, es decir los bits por segundo son igual al número de baudios. Estas técnicas ya no son utilizadas debido a la baja tasa de transferencia de transmisión. Para lograr una mayor velocidad de transmisión se debe de codificar más de un bit por cada cambio de estado de la señal (baudio). En la figura 3.6 se hace una comparación entre la representación de estos 3 métodos [6].

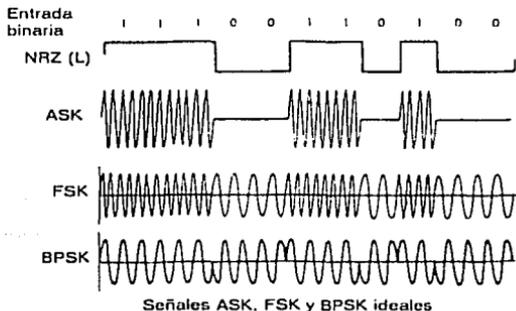


Figura 3.6 Comparación entre ASK, FSK y BPSK [12].

3.1.5 Codificación en M-ario.

"M-ario es un término derivado de la palabra "binario". La M es sólo un dígito que representa el número de condiciones posibles. Las tres técnicas para modulación digital que se han analizado hasta ahora (ASK, FSK y BPSK), son sistemas binarios donde sólo hay dos condiciones posibles de salida, una representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. por tanto, son sistemas M-ario donde $M = 2$. Con la modulación digital, con frecuencia es ventajoso codificar a un nivel más alto que el binario". Por ejemplo, un sistema de PSK con cuatro posibles fases de salida, es un sistema M-ario en donde $M = 4$. Si hubiera ocho posibles fases de salida, $M = 8$, etcétera. Matemáticamente

$$N = \log_2 M$$

En donde N = número de bits

M = número de condiciones de salida posibles con N bits

Por ejemplo, si se permite que entren 2 bits en un modulador, antes que se permita cambiar la salida.

$$2 = \log_2 M \quad \text{y} \quad 2^2 = M \quad \text{por consiguiente} \quad M = 4$$

Una $M = 4$ indica que, con 2 bits, son posibles cuatro condiciones de salida diferentes, para $N = 3$, $M = 2^3$ o 8, etcétera. De esta forma se pueden codificar más bits para poder transmitir más información

3.1.6 Modulación por desplazamiento de fase (PSK).

La modulación por desplazamiento de fase (PSK, Phase Shift Keying), es una forma de modulación digital en donde la información digital está contenida en la fase de la portadora transmitida, al igual que en la modulación BPSK, que es una división de PSK pero que sólo tiene dos condiciones de salida. Con la modulación PSK se pueden tener más de dos condiciones de salida mediante un número limitado de fases.

3.1.6.1 Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK).

La transmisión por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK, Quaternary Phase Shift Keying) o en cuadratura PSK, como a veces se le llama, es otra forma de modulación digital de amplitud constante. "La QPSK es una técnica de codificación M-ario, en donde $M = 4$ (de ahí el nombre de "cuaternaria", que significa "4"). Con QPSK son posibles cuatro fase de salida para una sola frecuencia de la portadora, debido a que hay cuatro fases de salida diferentes, tiene que haber cuatro condiciones de entrada diferentes". Ya que la entrada digital a un modulador de QPSK es una señal binaria (base 2), para producir cuatro condiciones diferentes de entrada, se necesita más de un solo bit de entrada, con 2 bits, hay cuatro posibles condiciones: 00, 01, 10, 11.

En consecuencia, con QPSK, los datos de entrada binarios se combinan en grupos de dos bits llamados dibits, el bit I o en fase (In phase), y el bit Q o en cuadratura (Quadrature).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cada código dibit genera una de las cuatro fases de entrada posibles, por tanto, para cada dibit de dos bits introducidos al modulador, ocurre un solo cambio de salida, así que cada dibit o cada dos bits es igual a un cambio en la señal o por cada cambio en la señal se codifican dos bits, por lo que los bits por segundo (bps) son igual al doble de los baudios. En la tabla 3.2 se muestra la tabla de verdad para un modulador QPSK.

Entrada binaria		Fase de salida
Q	I	QPSK
0	1	-135°
0	0	-45°
0	1	+135°
1	1	+45°

Tabla 3.2 Tabla de verdad del modulador QPSK [6].

En la figura 3.7 se observa el diagrama de constelación para un modulador de QPSK con cada una de las cuatro fases posibles de salida que tiene.

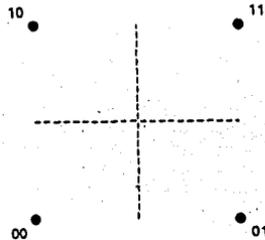


Figura 3.7 Diagrama de constelación del modulador QPSK [6].

Además puede verse que la separación entre cualquiera de dos fases adyacentes, en QPSK es de 90°, por tanto, "una señal de QPSK puede experimentar un cambio en fase de +45° o de -45° durante la transmisión y todavía, retener la información correcta codificada al demodular en el receptor". Un modulador de QPSK son dos moduladores de BPSK combinados en paralelo, uno para cada uno de los dos bits I e Q. La figura 3.8 muestra la fase de salida contra la relación de tiempo para un modulador de QPSK.

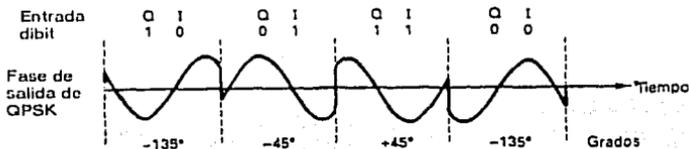


Figura 3.8 Relación de la fase de salida contra tiempo para un modulador de QPSK [6].

3.1.6.2 PSK de ocho fases.

"Un PSK de ocho fases (8-PSK), es una técnica para codificar M-ario en donde $M = 8$ por lo que con un modulador de 8-PSK, hay ocho posibles fases de salida". Para codificar ocho fases diferentes, los bits que están entrando se consideran en grupos de 3 bits llamados tribits ($2^3 = 8$), los bits I o Q que se ocupan también en el QPSK y el bit C o de control (Control) que determina la magnitud, (1 lógico = 1.307 V y 0 lógico = 0.541 V).

En la figura 3.9 se muestra el diagrama de constelación para un modulador 8-PSK en donde puede verse que la separación angular, entre cualquiera de dos fases adyacentes es de 45° , la mitad de lo que es con QPSK. Por tanto, una señal 8-PSK puede experimentar un cambio de fase de casi $\pm 22.5^\circ$, durante la transmisión, y todavía retener su integridad.

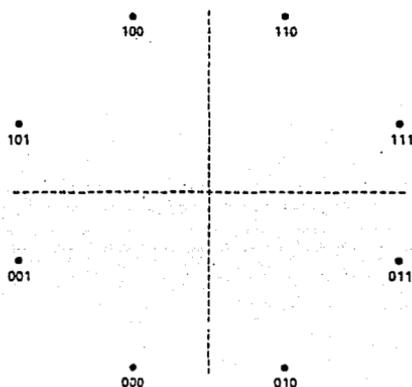


Figura 3.9 Diagrama de constelación del modulador 8-PSK [6].

Además, cada fasor es de igual magnitud, la condición tribit (información actual) se contiene de nuevo, sólo en la fase de la señal, ya que los niveles de 1.307 y 0.541 son valores relativos que no influyen en el proceso de modulación.

También debe observarse que el código tribit entre cualquiera de dos fases adyacentes cambia por un solo bit. Este tipo de código se llama código Gray o, a veces, el código de máxima distancia. "Este código se utiliza para reducir el número de errores de transmisión. Si una señal experimentara cambio de fase durante la transmisión, tal vez sería cambiadas a una fase adyacente. El uso del código Gray resulta en que se reciba un error de un solo bit".

Con un modulador de 8-PSK hay un cambio en fase en la salida por cada tres bits de entrada de datos. En consecuencia, cada tribit o cada tres bits es igual a un cambio en la señal o por cada cambio en la señal se codifican tres bits, por lo que los

bits por segundo (bps) son igual al triple de los baudios. En la tabla 3.3 se muestra la tabla de verdad de un modulador 8-PSK.

Entrada binaria			Fase de salida de 8-PSK
Q	I	C	
0	0	0	-112.5°
0	0	1	-157.5°
0	1	0	-67.5°
0	1	1	-22.5°
1	0	0	+112.5°
1	0	1	+157.5°
1	1	0	+67.5°
1	1	1	+22.5°

Tabla 3.3 Tabla de verdad del modulador 8-PSK [6].

La figura 3.10 muestra la fase de salida contra la relación de tiempo para un modulador de 8-PSK.

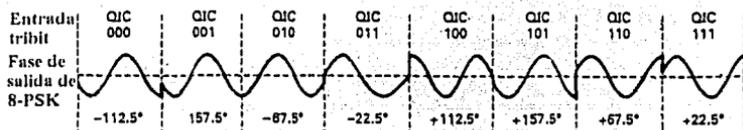


Figura 3.10 Relación de la fase de salida contra el tiempo para un modulador 8-PSK [6].

3.1.6.3 PSK de dieciséis fases.

“El PSK de dieciséis fases, 16-PSK, es una técnica de codificación M-ario en donde $M = 16$, y donde hay 16 diferentes fases de salida posibles. Un modulador de 16-PSK actúa en los datos que están entrando en grupos de cuatro bits ($2^4 = 16$). La fase de salida no cambia hasta que cuatro bits han sido introducidos al modulador”. Por tanto, cada cuatro bits es igual a un cambio en la señal o por cada cambio en la señal se codifican cuatro bits, por lo que los bits por segundo (bps) son igual al cuádruple de los baudios. La tabla de verdad se muestra a continuación en la tabla 3.4.

Código de bits	Fase	Código de bits	Fase
0000	11.25°	1000	191.25°
0001	33.75°	1001	213.75°
0010	56.25°	1010	236.25°
0011	78.75°	1011	258.75°
0100	101.25°	1100	281.25°
0101	123.75°	1101	303.75°
0110	146.25°	1110	326.25°
0111	168.75°	1111	348.75°

Tabla 3.4 Tabla de verdad del modulador 16-PSK [6].

En la figura 3.11 se observa el diagrama de constelación para un modulador de 16-PSK.

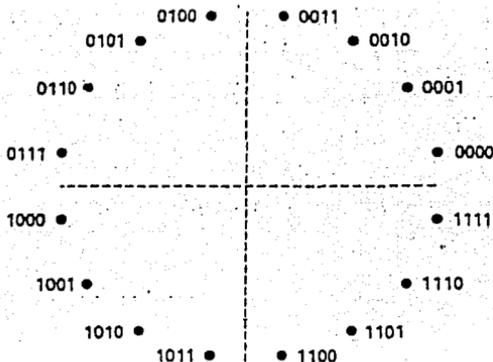


Figura 3.11 Diagrama de constelación del modulador 16-PSK [6].

“Con el 16-PSK, la separación angular entre fases de salida adyacentes es solo de 22.5° , por tanto, una señal de 16-PSK puede experimentar casi un cambio de fase de $\pm 11.25^\circ$ durante la transmisión, y todavía retener su integridad”. Debido a esto, el 16-PSK es altamente susceptible a deterioros en la fase introducidos en el medio de transmisión y, en consecuencia, rara vez se utiliza.

3.1.7 Modulación de amplitud en cuadratura (QAM).

La modulación de amplitud en cuadratura, es una forma de modulación digital en donde la información digital está contenida tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

3.1.7.1 QAM de ocho.

“El QAM de ocho (8-QAM), es una técnica de codificación M-ario, en donde $M = 8$. A diferencia del 8-PSK, la señal de salida de un modulador de 8-QAM no es una señal de amplitud constante”.

Así como con el 8-PSK los datos que están entrando se dividen en grupos de tres bits (tribits), los flujos de bits I, Q y C, y se cuenta con dos diferentes niveles de voltaje debido al bit C, que son ± 0.541 y ± 1.307 . En QAM, estos dos voltajes si se toman en cuenta, se combinan y se suman dando como resultado voltajes de $1.307V - 0.541V = 0.765V$ y $1.307V + 0.541V = 1.848V$, con una diferencia de fase de 90° , como resultado, para codificar tres bits sólo es necesario el uso de cuatro fases con dos amplitudes diferentes en vez de las ocho fases utilizadas con una sola amplitud usadas en 8-PSK.

En la tabla 3.5 se muestra la tabla de verdad de un modulador de 8-QAM, y en la figura 3.12 se observa el diagrama de constelación de un modulador 8-QAM.

Entrada binaria			Fase de amplitud de salida de 8-QAM	
Q	I	C		
0	0	0	0.765 V	-135°
0	0	1	1.848 V	-135°
0	1	0	0.765 V	-45°
0	1	1	1.848 V	-45°
1	0	0	0.765 V	+135°
1	0	1	1.848 V	+135°
1	1	0	0.765 V	+45°
1	1	1	1.848 V	+45°

Tabla 3.5. Tabla de verdad del modulador 8-QAM [6].

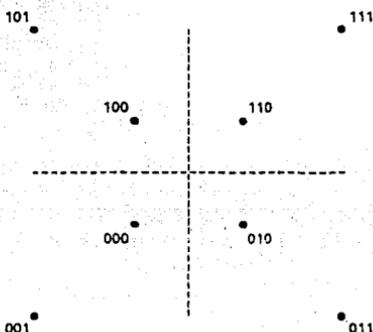


Figura 3.12 Diagrama de constelación del modulador 8-QAM [6].

Con un modulador de 8-QAM al igual que en 8-PSK, hay un cambio en fase en la salida por cada tres bits de entrada de datos, por lo tanto, cada tres bits es igual a un cambio en la señal o por cada cambio en la señal se codifican tres bits, por lo que los bits por segundo (bps) son igual al triple de los baudios. La figura 3.13 muestra la fase y la amplitud de salida contra la relación de tiempo para un modulador de 8-QAM.

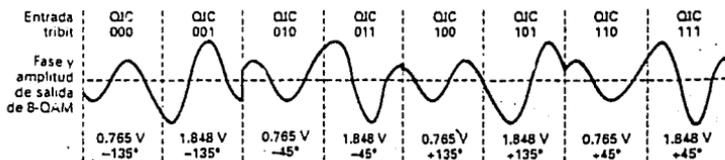


Figura 3.13 Relación de la fase de salida contra el tiempo para un modulador 8-QAM [6].

3.1.7.2 QAM de dieciséis.

“Así como el 16-PSK, el QAM de dieciséis (16-QAM) es un sistema M-ario, en donde $M = 16$ y actúa sobre los datos de entrada en grupos de cuatro bits ($2^4 = 16$). Como con el 8-QAM, tanto la fase y la amplitud de la portadora transmisora son variados. La tabla de verdad se muestra a continuación en la tabla 3.6.

Entrada binaria				Salida de 16-QAM	
Q	Q	I	I		
0	0	0	0	0.311 V	-135°
0	0	0	1	0.850 V	-165°
0	0	1	0	0.311 V	-45°
0	0	1	1	0.850 V	-15°
0	1	0	0	0.850 V	-105°
0	1	0	1	1.161 V	-135°
0	1	1	0	0.850 V	-75°
0	1	1	1	1.161 V	-45°
1	0	0	0	0.311 V	135°
1	0	0	1	0.850 V	175°
1	0	1	0	0.311 V	45°
1	0	1	1	0.850 V	15°
1	1	0	0	0.850 V	105°
1	1	1	0	1.161 V	135°
1	1	1	1	0.850 V	75°
1	1	1	1	1.161 V	45°

Tabla 3.6 Tabla de verdad del modulador 16-QAM [6].

Con un modulador 16-QAM, hay un cambio en fase en la salida por cada cuatro bits de entrada de datos. Entonces, cada cuatro bits es igual a un cambio en la señal o por cada cambio en la señal se codifican cuatro bits, por lo que los bits por segundo (bps) son cuatro veces más grandes que los baudios. La figura 3.14 muestra el diagrama de constelación del modulador 16-QAM.

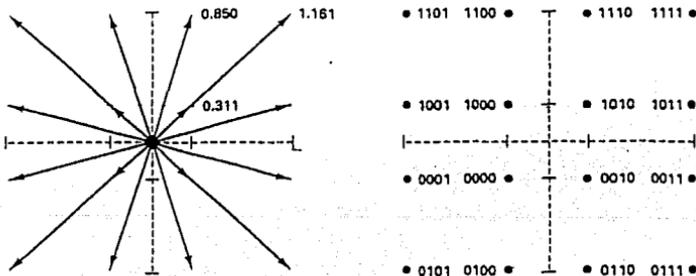


Figura 3.14 Diagrama de constelación del modulador 16-QAM [6].

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.2 Información analógica, señales digitales.

“En un sistema de comunicación la transmisión digital es la transmisión de pulsos digitales entre dos puntos. La información de la fuente original puede estar ya sea en forma digital o en señales analógicas que deben convertirse a pulsos digitales antes de su transmisión y convertidas nuevamente a la forma analógica en el lado receptor si es el caso”.

3.2.1 Ventajas de la transmisión digital.

1. La ventaja principal de la transmisión digital es la inmunidad al ruido. “Las señales analógicas son más susceptibles que los pulsos digitales a la amplitud no deseada, frecuencia y variaciones de fase, esto se debe a que con la transmisión digital, no se necesita evaluar estos parámetros con tanta precisión, como en la transmisión analógica. A cambio, los pulsos recibidos se evalúan durante un intervalo de muestreo y se hace una sola determinación si el pulso está arriba o debajo de un umbral específico”.
2. Se prefieren a los pulsos digitales por su mejor procesamiento y multicanalización que las señales analógicas. “Los pulsos digitales pueden guardarse fácilmente, mientras que las señales analógicas no pueden”. Además, la razón de transmisión de un sistema digital puede cambiarse fácilmente para adaptarse a diferentes ambientes e interfacear con diferentes tipos de equipamiento.
3. Las señales digitales son más sencillas de medir y evaluar. Por lo tanto, es más fácil comparar el rendimiento de los sistemas digitales con diferentes capacidades de señalización e información, que con los sistemas analógicos comparables.
4. Los sistemas digitales están mejor equipados para evaluar un rendimiento de error (detección y corrección de errores), que los sistemas analógicos.

3.2.2 Desventajas de la transmisión digital.

1. La transmisión de las señales analógicas codificadas de manera digital requieren de gran ancho de banda.
2. Las señales analógicas deben convertirse en códigos digitales antes de su transmisión, y convertirse nuevamente a analógicas en el receptor.
3. La transmisión digital requiere de sincronización precisa de tiempo entre los relojes del transmisor y del receptor.

3.2.3 Modulación de pulsos.

La modulación de pulsos incluye muchos métodos diferentes para convertir información a forma de pulsos, y transferir estos pulsos de una fuente a un destino. Los cuatro métodos predominantes son:

- Modulación de ancho de pulso (PWM).
- Modulación de posición de pulso (PPM).
- Modulación de amplitud de pulso (PAM).
- Modulación de pulsos codificados (PCM).

3.2.3.1 Modulación de amplitud de pulso (PAM).

"En la modulación de amplitud de pulso (PAM, Pulse-Amplitude Modulation), la amplitud de un tren de pulsos de ancho y posición constante varía en proporción a los valores muestrados de la señal moduladora". En general, los pulsos se toman en intervalos de tiempo equidistantes, donde el intervalo de muestreo está dado por el Teorema de Nyquist [12].

De manera específica, las pendientes de las crestas de los pulsos varían con las pendientes de la señal moduladora en los puntos de muestreo, en el caso del muestreo natural. "En la PAM, las crestas de los pulsos son planas. La razón por la que hay interés en los pulsos de cresta plana es porque no hace falta usar la forma de los pulsos para conducir información, y un pulso de forma rectangular es fácil de generar". En este sistema de modulación de pulso, la información se encuentra en las amplitudes de los pulsos sólo en los tiempos de muestra.

PAM se usa como una forma intermedia de modulación, generalmente con PCM, aunque raramente se usa sola.

3.2.3.2 Modulación de ancho de pulso (PWM).

Un método de modulación alterno es variar algún parámetro en la regulación de cada pulso para conducir la información. La modulación por regulación del pulso puede obtenerse en varias formas, aunque los principios son básicamente los mismos.

Uno de ellos emplea pulsos de amplitud constante cuyo ancho es proporcional a los valores de la señal moduladora en los instantes de muestreo. Este tipo se designa como modulación de ancho de pulso (PWM, Pulse-Width Modulation).

En PWM, la señal moduladora se muestrea en forma periódica a una tasa bastante rápida como para satisfacer los requisitos del teorema de muestreo. En cada instante de muestreo se genera un pulso de amplitud fija y ancho proporcional a los valores de muestra de la señal moduladora. La duración del pulso debe ser menor que la porción de tiempo asignada a una muestra en particular, dejando por lo general un tiempo de guardia adicional. Sólo los bordes de salida de las señales PWM contienen la información moduladora, por tanto, la información puede conducirse enviando sólo estas marcas de tiempo. Entre las desventajas de la PWM se encuentra la necesidad de detectar ambos bordes del pulso.

3.2.3.3 Modulación de posición de pulso (PPM).

Otra posibilidad de modulación es mantener constantes la amplitud y el ancho de los pulsos y variar su posición en proporción a los valores de la señal moduladora en los instantes de muestreo. Esto se designa como modulación de posición de pulso (PPM, Pulse-Position Modulation)

"Con PPM, la información se envía como pulsos de ancho y amplitud constante. El mínimo retardo de pulso se usa para designar el mínimo valor de la señal y el cambio de retardo es proporcional a la señal moduladora, en los retardos del pulso es donde está contenida la información".

PWM y PPM se usan en los sistemas de comunicación de propósitos especiales (normalmente para el ejército), pero raramente se usan para sistemas comerciales. La figura 3.15 ilustra las formas de modulación de PAM, PWM y PPM.

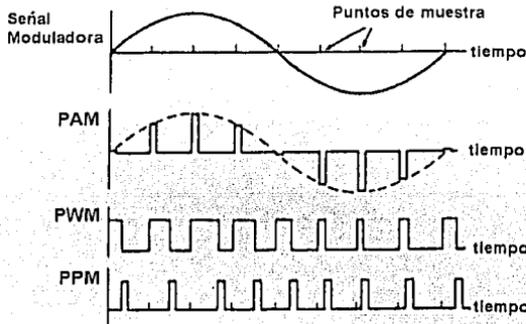


Figura 3.15 Ilustración de PAM, PWM y PPM [12].

3.2.3.4 Modulación de código de pulsos.

La modulación de pulsos codificados (PCM), es la única de las técnicas de modulación de pulsos codificados anteriormente mencionadas, que se usan en un sistema de transmisión digital [6.12].

“Los tipos anteriores de modulación de pulso hacían uso de muestras discretas en el tiempo de señales analógicas, en esos casos, la transmisión está compuesta de información analógica enviada en tiempos discretos, la variación de la amplitud o la regulación del pulso puede variar en forma continua sobre todos los valores”. Un refinamiento adicional que se hace, es cuantificar la señal analógica mostrada en cierto número de niveles discretos. Esto se hace a veces en los sistemas PAM y se llama PAM M-ario, donde M designa el número de niveles empleados.

Ahora no sólo se cuantifica la señal, sino que se usa un código para designar cada nivel en cada tiempo de muestra. Este tipo de modulación se llama modulación de código de pulsos (PCM, Pulse-Code Modulation), en PCM los pulsos son de longitud fija y amplitud fija. “PCM es un sistema binario, un pulso o ausencia de pulsos dentro de una ranura de tiempo prescrita que representa ya sea una condición de lógica 1 o de lógica 0. Con PWM, PPM o PAM, un solo pulso no representa un dígito binario sencillo (bit)”.

3.2.3.4.1 Muestreo.

El primer paso para la modulación de código de pulsos (PCM) es el muestreo de la señal que se realiza utilizando el método de la modulación de amplitud de pulso (PAM), y donde la señal de entrada analógica se muestrea a una tasa determinada por el Teorema de Nyquist [6].

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El teorema de muestreo de Nyquist establece la mínima razón de muestreo (f_s) que puede usarse para un sistema PCM específico. "Para que una muestra sea reproducida correctamente en el receptor, cada ciclo de la señal de entrada analógica (f_a) debe muestrearse por lo menos dos veces. Consecuentemente, la mínima razón de muestreo es igual al doble de la frecuencia de entrada más alta". Si f_s es menor que el doble de f_a , resultará en una distorsión. Esta distorsión se llama "aliasing" o distorsión encimada. Matemáticamente, la mínima razón de muestreo de Nyquist es:

$$f_s \geq 2f_a$$

En donde f_s = mínima razón de la muestreo de Nyquist (hertz)
 f_a = frecuencia más alta que se debe muestrear (hertz)

En el caso de la línea telefónica, dado que su ancho de banda es de los 0 Hz a los 4000 Hz, la frecuencia más alta es 4000 Hz. Así la mínima razón de muestreo será de 8000 muestras por ciclo o 8000 muestras por segundo.

3.2.3.4.2 Cuantificación y codificación.

Ya que esta muestreada la señal, se asignan niveles discretos o magnitudes absolutas en toda la amplitud de la señal. La asignación discreta de valores a las muestras de PAM se conoce como cuantificación.

Después se asigna un dígito a cada nivel de manera que exista correspondencia uno a uno entre los niveles y el conjunto de los enteros reales. Esto se llama digitalización o codificación de la señal. Este proceso reduce la señal a un conjunto de dígitos en los sucesivos tiempos de muestra, originando un sistema de modulación completamente digital.

Los dígitos se expresan en forma codificada, el código más común para este propósito es el binario, es decir, un código que usa sólo dos posibles niveles de pulso. "El código binario se transmitirá al receptor, en donde lo convertirá nuevamente a la señal analógica original. Así, en lugar de enviar las muestras individuales en los tiempos de muestra, se envía un código o patrón de pulsos para conducir la información en forma cuantificada". Los sistemas que hacen uso de la transmisión de señales digitalizadas (es decir, cuantificadas y codificadas) se llaman sistemas de modulación de código de pulsos (PCM).

Los códigos binarios usados para PCM son códigos de n-bit (enésimo bit), en donde n puede ser cualquier entero mayor que 1. Los códigos actualmente usados para PCM, son códigos de magnitud de signo, en donde el bit más significativo (MSB), es el bit de signo y los bits sobrantes se usan para magnitud.

En la figura 3.16 (véase página 45) se muestra una señal senoidal a la que se le asignan 16 niveles discretos de cuantificación de -1 V a $+1$ V. Los 16 pasos de cuantificación que existen entre -1 V y $+1$ V se codifican con un código PCM de n-bit en donde n es igual a 4, el bit más significativo se usa para representar el signo de la muestra (1 lógico = positivo y 0 lógico = negativo), los tres bits sobrantes representan la magnitud. Con 3 bits de magnitud, hay 8 códigos posibles para los números positivos y

8 códigos posibles para los números negativos. Consecuentemente, hay un total de 16 códigos posibles ($2^4 = 16$) como se muestra en la tabla 3.7.

Nivel	Signo	Magnitud				Decimal
15	1	1	1	1	1	+1 V
14	1	1	1	1	0	+0.858 V
13	1	1	1	0	1	+0.715 V
12	1	1	1	0	0	+0.572 V
11	1	0	1	1	1	+0.429 V
10	1	0	1	1	0	+0.286 V
9	1	0	0	1	1	+0.143 V
8	1	0	0	0	0	+0 V
7	0	0	0	0	0	-0 V
6	0	0	0	0	1	-0.143 V
5	0	0	0	1	0	-0.286 V
4	0	0	0	1	1	-0.429 V
3	0	1	0	0	0	-0.572 V
2	0	1	0	0	1	-0.715 V
1	0	1	1	1	0	-0.858 V
0	0	1	1	1	1	-1 V

Tabla 3.7 Codificación de un sistema PCM con 16 niveles de cuantificación.

Este código PCM se llama código binario doblado. Excepto por el bit de signo, los códigos en la mitad inferior de la tabla son la imagen reflejada de los códigos en la mitad superior. Además, con un binario duplicado hay dos códigos asignados a cero volts: 1000 (+0) y 0000 (-0).

La magnitud del tamaño mínimo del escalón se llama resolución, la cual es igual en magnitud al voltaje del bit menos significativo. Entre más pequeña sea la magnitud del tamaño mínimo del escalón, mejor (más pequeña) es la resolución y se asemejará más exactamente al intervalo de la cuantización a la muestra analógica real.

Para este ejemplo, la magnitud del tamaño mínimo del escalón es igual al rango total de voltaje entre el número de niveles que hay, pero como el nivel cero esta representado por dos niveles, se restan dos al total de niveles, entonces $2 V / (16 - 2) = 0.143 V$. Por lo tanto, el máximo voltaje que puede codificarse con este esquema es de +1 V (1111) o -1 V (0111). Si la magnitud de una muestra excede al intervalo de cuantización más alto, ocurre la distorsión por sobrecarga (también llamada limitación de pico). Consecuentemente, el máximo voltaje de entrada al sistema es igual al voltaje del código de magnitud más alto, más la mitad del voltaje del bit menos significativo. Además en cada tiempo de muestra debe decidirse cuál de los 16 niveles es la mejor aproximación a la senoidal eligiendo el valor más cercano, éste se convierte a un código de 4 bits correspondiente a ese rango de voltaje y se mantiene hasta el siguiente tiempo de muestra, y así sucesivamente. Por ejemplo, cualquier voltaje, entre $0.143/2 + 0 = +0.0715$ y $0.143/2 + 0.143 = +0.2145$, será convertido al código 1001 que es igual a +0.143 V. De igual forma cualquier voltaje entre +0.2145 y +0.3575, será codificado como 1010. Esto es a que cada código tiene un rango de cuantización igual a $+ \delta -$ la mitad de la resolución, excepto los códigos para 0 V. Los códigos 0 V (+0 V y -0 V) tienen, cada uno, un rango de entrada igual sólo la mitad de la resolución, pero debido a que hay dos códigos 0 V, el rango para 0 V es también $+ \delta -$ la mitad de la resolución.

Obviamente, éste proceso de cuantificación introduce algunas fluctuaciones con respecto al valor real; éstas pueden tomarse como ruido. Entre más aumente el número de niveles de cuantificación o niveles de voltajes, la distorsión o ruido de cuantificación disminuirá. En la figura 3.16 el rango total es de 2000 milivolts (2 Volts), que están divididos en 16 niveles, es decir, por cada nivel hay una resolución de 143 milivolts (0.143 Volt), si aumentáramos al doble el número de niveles tendríamos una resolución igual a $2000/(32 - 2) = 66.7$ milivolts por nivel y entre más aumentemos los niveles tendremos una mejor resolución. Se ha demostrado que si se tienen 2048 niveles de cuantificación se logra una calidad suficiente de señal de voz. Para obtener los 2048 pasos de cuantificación se requiere un código de 11 elementos, es decir, $2^{11} = 2048$ y, entonces, $n = 11$, sin embargo debido a que el ancho de banda está en función de la velocidad de información, entonces es obvia la necesidad de reducir este factor. En los sistemas PCM prácticos se usan códigos de siete y ocho niveles o bits:

$2^7 = 128$ niveles de cuantificación

$2^8 = 256$ niveles de cuantificación

La tabla 3.8 muestra la codificación de un sistema típico de 256 niveles de cuantificación. Habrá que notar que en realidad existen únicamente 255 pasos de cuantificación ya que en los pasos intermedios se usa la misma secuencia de bits con lo que se logra una sola secuencia de código de transición, es decir, con 0 únicamente. De igual forma el bit más significativo se usará para representar el signo de la muestra (1 lógico = positivo y 0 lógico = negativo). Los siete bits sobrantes representan la magnitud. Con 7 bits de magnitud, hay 127 códigos posibles para los números positivos y 127 códigos posibles para los números negativos.

Nivel	Código decimal	Número de dígito										
		Signo	Magnitud									
		1	2	3	4	5	6	7	8			
255	Nivel positivo máximo	+127	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
239		+111	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
223		+95	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
207		+79	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
191		+63	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
175		+47	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
159		+31	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
143		+15	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1
128	(Niveles centrales.	+0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
127	Cero nominal)	-0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
111		-16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
95		-32	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
79		-48	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
63		-64	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
47		-80	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
31		-96	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
15		-112	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2		-125	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
1		-126	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
0	Nivel negativo máximo	-127	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 3.8 Codificación de 8 niveles.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

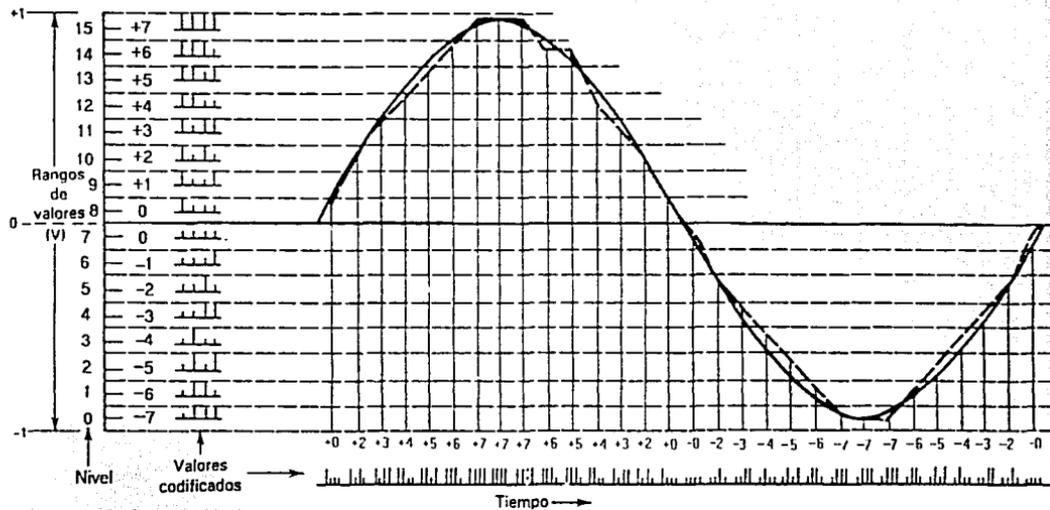


Figura 3.16 Cuantificación y codificación de una señal usando 16 niveles de cuantificación.

"Nótese que si se transmitieran en forma directa las muestras cuantificadas, el sistema sería simplemente PAM cuantificado (PAM M-ario)". La asignación de niveles de la señal numerados que pueden codificarse, es lo que da al PCM una clara ventaja sobre otros tipos de modulación.

3.2.3.4.3 Ventajas de los sistemas PCM.

Las ventajas por las que los sistemas PCM se están haciendo cada vez más importantes es debido a ciertas ventajas inherentes sobre otros tipos de sistemas de modulación. Algunas de estas ventajas son las siguientes:

1. En comunicación a larga distancia, las señales PCM pueden regenerarse por completo en estaciones repetidoras intermedias porque toda la información está contenida en el código. En cada repetidora se transmite una señal esencialmente libre de ruido y los efectos del ruido no se acumulan.
2. Los circuitos de modulación y demodulación son todos digitales, alcanzando por ello gran confiabilidad y estabilidad, y se adaptan con rapidez al diseño lógico de circuitos integrados.
3. Una codificación adecuada puede reducir los efectos del ruido y la interferencia. El diseñador de sistemas de comunicación tiene, pues, mayor flexibilidad en el diseño de un sistema PCM para satisfacer determinados criterios de funcionamiento.
4. Aunque estos sistemas originalmente fueron pensados para la transmisión de voz, hoy en día están diseñados para transmisiones analógicas como la voz y vídeo, así como para las transmisiones digitales como los enlaces por computadoras digitales, reemplazando un canal o el banco de canales por una terminal de datos.

3.2.3.5 Multicanalización.

Dentro de las cuestiones prácticas de la generación de PCM, esta la multicanalización o multiplexación de varios canales de PCM. Multicanalización es la transmisión de información (ya sea de voz o de datos), de más de una fuente a más de un destino, por el mismo medio de transmisión. Las transmisiones ocurren en el mismo medio, pero no necesariamente al mismo tiempo [6].

Hay varias formas en que se puede lograr el proceso de multicanalización, los diferentes métodos con los que se puede lograr son: la multicanalización por división de código (CDM), multicanalización por división de frecuencia (FDM) y multicanalización por división de tiempo (TDM) que es la que se aplica en la modulación PCM.

3.2.3.5.1 Multicanalización por división de tiempo.

"Con TDM, las transmisiones para fuentes múltiples ocurren sobre el mismo medio pero no al mismo tiempo, las transmisiones de varias fuentes se intercalan en el dominio del tiempo. El tipo más común de modulación utilizada con los sistemas TDM es PCM". Con un sistema PCM-TDM, se muestran dos o más canales de banda de voz, convertidos a códigos PCM, y luego se utiliza el proceso de multicanalización por división de tiempo.

En un sistema PCM-TDM de dos canales, cada canal de manera alternada se usa y se convierte a un código PCM. Mientras que el código PCM para el canal 1 se está transmitiendo, el canal 2 se está usando y convirtiendo a un código PCM. Mientras que el código PCM del canal 2 se está transmitiendo, la siguiente señal se toma del canal 1 y se convierte al código PCM. Este proceso continúa y se toman de manera alternativa señales de cada canal, se convierten a códigos PCM y se transmiten. El proceso de multicanalización es simplemente un interruptor electrónico con dos entradas y una salida, el canal 1 y el canal 2 se seleccionan de manera alterna y se conectan a la salida del multicanalizador.

El código PCM para cada canal ocupa una ranura de tiempo fija (ciclo) dentro de la trama total de TDM. Con un sistema de dos canales, el tiempo asignado para cada canal es igual a la mitad de la trama del tiempo total. Se toma una señal de cada canal una vez, durante cada trama. Por lo tanto, el tiempo de la trama total es igual al recíproco de la razón de muestreo ($1/f_s$). Para el caso de un canal de voz estándar de la línea telefónica, donde la razón de muestreo es de 8000 veces por segundo, el tiempo de trama sería igual a:

$$1/8000 \text{ s}^{-1} = 0.000125 \text{ segundos.}$$

El resultado final del muestreo y de la cuantificación y codificación, es una serie de pulsos, una corriente de bits en serie ("1" y "0") en la que se requiere alguna indicación o identificación necesaria en el receptor del extremo distante, para que se pueda saber con exactitud dónde empieza y termina cada secuencia. Esto se conoce como alineación y cada secuencia o ciclo de muestras completo se conoce como trama en la terminología PCM.

3.2.3.4.2 Sistemas PCM prácticos.

El sistema PCM de 24 canales T1, del sistema norteamericano, se usa un código de siete niveles (es decir, $2^7 = 128$ pasos de cuantificación). A cada grupo de 7 bits que representa la codificación de un paso de cuantificación, se le añade 1 bit para señalización, por lo que un canal consta de 8 bits y la velocidad de bits de un solo canal es de:

$$(7+1) \text{ bits} \times 8000 \text{ muestras/segundo} = 64,000 \text{ bps} \text{ ó } 64 \text{ kbps.}$$

Una secuencia completa consta de 24 canales y se le añade 1 bit que se conoce como bit de alineación, por lo tanto, la trama del T1 consiste de:

$$(7+1) \text{ bits} \times 24 + 1 = 193 \text{ bits/trama.}$$

Lo que constituye una secuencia completa o trama. Por definición, se transmiten 8000 tramas por segundo, de manera que la velocidad de bits de un T1 es:

$$193 \times 8000 = 1,554,000 \text{ bps.}$$

"El sistema CEPT (Conference Européenne de Postes et Télécommunications) 30+2 es un sistema de 32 canales en el que se usan 30 para transmitir la voz que proviene de las troncales telefónicas de entrada y los dos canales restantes para transmitir información de sincronización y señalización". A cada canal se le asigna "una

ranura" de campo (RT) y las RT del 0 al 31 se pueden tabular como se ve en la tabla 3.9.

RT	Tipo de Información
0	Sincronía (alineación)
1-15	Voz
16	Señalización
17-31	Voz

Tabla 3.9 Sistema de 32 canales europeo [6].

El sistema CEPT usa un código de ocho niveles (es decir, $2^8 = 256$ pasos de cuantificación), por lo que un canal consta de 8 bits y la velocidad de bits de un solo canal es de:

$$8 \text{ bits} \times 8000 \text{ muestras/segundo} = 64.000 \text{ bps} \text{ ó } 64 \text{ kbps.}$$

Una secuencia completa consta de 32 canales, entonces la trama del E1 consiste de:

$$8 \times 32 = 256 \text{ bits/trama.}$$

Lo que constituye una secuencia completa o trama. Como se transmiten 8000 tramas por segundo, la velocidad de bits es:

$$256 \times 8000 = 2.048.000 \text{ bps} \text{ ó } 64.000 \text{ bps} \times 32 \text{ canales} = 2.048.000 \text{ bps.}$$

El sistema norteamericano T2 es un sistema con 96 canales de voz que se forma con cuatro grupos de 24 canales o cuatro T1. De igual forma en el sistema europeo, un E2 es un sistema que esta formado con 120 canales de voz que se forma con cuatro grupos de 30 canales o cuatro E1. Como se puede ver el tipo norteamericano se basa en 24 canales de voz. Japón tiene un sistema similar puesto que la velocidad básica de línea es de 1.554 Mbps en base a 24 canales de voz. El europeo es otro sistema, el cual se basa en 32 canales (30 canales de voz más un canal de sincronía y otro de señalización). En la siguiente tabla se muestran las jerarquías y diferencias de estos tres sistemas. El sistema europeo es el que se utiliza en México.

Tipo de sistema	Nivel				
	1	2	3	4	5
Tipo norteamericano					
Cantidad de canales de voz	24	96	672	4032	8064
Velocidad de bits en la línea (Mbps)	1.544	6.312	44.736	274.176	560.160
Japonés					
Cantidad de canales de voz	24	96	480	1440	5760
Velocidad de bits en la línea (Mbps)	1.544	6.312	32.064	97.728	400.362
Europeo					
Cantidad de canales de voz	30	120	480	1920	7680
Velocidad de bits en la línea (Mbps)	2.048	8.448	34.368	139.264	560

Tabla 3.10 Tipos de sistemas de multicanalización.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.2.4 Modulación delta.

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

Con la modulación delta, en vez de transmitir una representación codificada de la muestra, sólo se transmite un bit sencillo lo cual simplemente indica si esa muestra es mayor o menor que la muestra anterior. El algoritmo para un sistema de modulación delta es muy sencillo. Si la muestra actual es menor que la muestra anterior, se transmite un 0 lógico. Si la muestra actual es mayor que la muestra anterior, se transmite un 1 lógico.

La entrada analógica se muestrea y se convierte a una señal PAM que se compara con un voltaje igual a la magnitud generada de la muestra anterior producto de la salida de un DAC (Digital Analog Converter).

En el siguiente ejemplo se muestra la función ideal de un codificador de modulación delta. Primero, internamente se inicializa un contador en ceros y el DAC está produciendo cero volts, se toma la primera muestra, se convierte a una señal PAM y se compara a cero volts. El resultado de la comparación es una condición de 1 lógico (+V), indicando que la muestra actual es mayor en amplitud que la muestra anterior. Para la siguiente muestra, internamente se incrementa el contador y esta muestra se comparará ahora con un voltaje igual a la magnitud del tamaño mínimo del escalón (resolución) producto de la salida del DAC, el valor del escalón cambia a una tasa igual a la razón de muestreo. Consecuentemente el codificador sigue a la señal de entrada analógica hasta que la comparación de voltaje con la salida del DAC exceda la muestra analógica, entonces, el contador comenzará a contar en forma descendente hasta que el resultado del DAC caiga por debajo de la amplitud de la muestra. En este tipo de modulación el resultado del DAC sigue a la señal de entrada, cada vez que el contador sea incrementado, se transmite un 1 lógico, y cada vez que el contador sea reducido, se transmite un 0 lógico, como se ve en la figura 3.17.

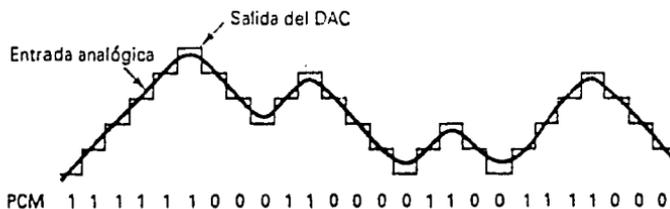


Figura 3.17. Operación ideal de un codificador de modulación delta [6].

3.3 Información digital, señales digitales.

"Después de codificar los datos, la transmisión final se obtiene, a menudo, tras un segundo proceso de modulación. Como una señal digital consiste en una serie de pulsos de tensión, para datos digitales no hay más que codificar cada pulso como bit de datos" [12].

Antes de aplicar la señal PCM a un modulador, pueden elegirse diferentes formas de conducir la información de código binario dependiendo del tipo de modulación y demodulación empleado y otras restricciones de ancho de banda, complejidad del receptor, etcétera.

Por lo que, para mejorar las prestaciones del sistema de transmisión, se debe utilizar un buen esquema de codificación, que establece una correspondencia entre los bits de los datos y los elementos de señal. Los factores que hay que tener en cuenta para utilizar un buen sistema de codificación son:

- Espectro de la señal: La ausencia de componentes de altas frecuencias disminuye el ancho de banda. La presencia de componente continua en la señal obliga a mantener una conexión física directa (propensa a algunas interferencias), por lo que se debe concentrar la energía de la señal en el centro de la banda para que las interferencias sean las menores posibles.
- Inmunidad al ruido e interferencias: hay códigos más robustos al ruido que otros.
- Coste y complejidad: el coste aumenta con el aumento de la razón de elementos de señal.

A continuación se ilustran algunas de las representaciones para PCM más comunes.

3.3.1 Regreso a cero (RZ).

En el método de regreso a cero (RZ, Return to Zero) si el dato que se va a codificar es un nivel lógico 0, se conserva el nivel de referencia. Si el dato que se va a codificar es un nivel lógico 1, se cambia el nivel de referencia con un frente de subida, pero sólo hasta la mitad del intervalo del bit, después de lo cual la señal regresa al nivel de referencia en la mitad restante. En el inciso a) de la figura 3.17 se ejemplifica el uso de este método (véase página 53).

3.3.2 Regreso a la polaridad (RB).

En el método de regreso a la polaridad (RB, Return to Bias) se usan tres niveles: 0 lógico, 1 lógico y un nivel de polarización. Este nivel de polarización puede elegirse por debajo de los dos niveles o entre ellos (generalmente se usa una referencia a cero). Cuando el dato que hay que codificar es un nivel lógico 0, se cambia el nivel de referencia con un frente de bajada, pero sólo hasta la mitad del intervalo del bit, después de lo cual la señal regresa al nivel de referencia en la mitad restante. Cuando el dato que hay que codificar es un nivel lógico 1, se cambia el nivel de referencia con un frente de subida, pero sólo hasta la mitad del intervalo del bit, después de lo cual la señal regresa al nivel de referencia en la mitad restante.

El método RB tiene la ventaja de ser autosincronizable, es decir, la frecuencia del reloj se halla con facilidad de la magnitud del código de pulsos. Sin embargo, el valor promedio de la señal depende de la proporción de unos y ceros presente. La presentación RB también ocupa más ancho de banda que el necesario y usa tres niveles. En el inciso b) de la figura 3.17 se muestra un ejemplo de este método (véase página 53).

Las representaciones que siguen están diseñadas para superar algunos de estos inconvenientes, a expensas de una mayor complejidad.

3.3.3 Inversión alternada de marca (AMI).

En la inversión alternada de marca (AMI, Alternate Mark Inversion) se usan tres niveles: 2 niveles para el 1 lógico y un nivel de referencia para el 0 lógico. Cuando el dato que hay que codificar es un nivel lógico 1, se cambia el nivel de referencia alternadamente, es decir, el primer uno binario se representa con un frente de subida, el segundo con un frente de bajada, el tercero con un frente de subida, etcétera, todos con una duración de la mitad del intervalo del bit, después de lo cual la señal regresa al nivel de referencia en la mitad restante. Cuando el dato que hay que codificar es un nivel lógico 0, se conserva el nivel de referencia.

La representación AMI se deriva con facilidad del código binario RZ (y viceversa) invirtiendo en forma alternada los unos. Tiene valor promedio cero y es muy usada en sistemas telefónicos PCM. También se conoce como representación bipolar con regreso a cero (BRZ, bipolar return to zero). En el inciso c) de la figura 3.17 se muestra un ejemplo de la aplicación de este método (véase página 53).

3.3.4 Fase dividida (Manchester).

Las representaciones binarias de fase dividida eliminan la variación del valor medio mediante el uso de la simetría. En el método de la fase dividida de Manchester, cuando el dato que hay que codificar es un 1, se cambia el nivel de referencia con un frente de subida durante la primera mitad del intervalo del bit, y luego se desplaza al nivel 0 durante la mitad restante. El 0 se indica con la representación inversa, es decir, durante la primera mitad del intervalo del bit se conserva el nivel 0 y luego se cambia el nivel de referencia con un frente de subida durante la mitad restante. En el inciso d) de la figura 3.17 se muestra una aplicación de este método (véase página 53).

3.3.5 Fase dividida (marca).

En el método de fase dividida (marca), se usa una representación simétrica similar. Cuando se invierte la fase con relación a la fase previa indica que hay un 1 (una marca), es decir, si se encuentra en el nivel de referencia, se cambia el nivel con un frente de subida durante la primera mitad del intervalo de bit y la otra mitad vuelve al nivel de referencia, si se encuentra otro 1, se cambia la fase, durante la primera mitad del intervalo de bit se conserva el nivel de referencia y durante la otra mitad se hace un frente de subida y así sucesivamente. Para indicar un 0 no hay cambio de fase, es decir, se representa tal y como se represento el último 1. En el inciso e) de la figura 3.17 se muestra un ejemplo de este método (véase página 53).

3.3.6 No regreso a cero (NRZ).

La representación de no regreso a cero (NRZ, No Return to Zero) reduce el ancho de banda necesario para enviar el código PCM. Hay dos divisiones de la representación NRZ: por nivel y por inversión.

3.3.6.1 No regreso a cero por nivel (NRZ (L)).

En la representación NRZ (L), el pulso del bit se mantiene en uno de dos niveles durante el intervalo completo. Cuando se representa un nivel lógico 1, este se codifica con un nivel alto durante todo el intervalo de bit. Cuando se representa un nivel lógico 0, se codifica con un nivel bajo o el nivel de referencia durante todo el intervalo de bit. En el inciso f) de la figura 3.17, se ejemplifica el uso de este método (véase página 53).

3.3.6.2 No regreso a cero por inversión (NRZ (I)).

En la clasificación NRZ (I), se usa un cambio de nivel (una inversión) para indicar una clase de dígito binario y un nivel constante para la otra. El método de no regreso a cero por inversión cuenta con dos divisiones de representación. La representación de no regreso a cero por marca (mark) y la representación de no regreso a cero por espacio (space).

3.3.6.2.1 No regreso a cero por marca (NRZ (M)).

En el método NRZ (M) se usa un cambio de nivel diferente al que se encuentra en ese momento para indicar una marca (un 1), es decir, siempre que se encuentre un 1 se cambiara el nivel y para representar un 0 no hay ningún cambio de nivel, es decir, se conserva el último nivel con el que se represento el último 1. En el inciso g) de la figura 3.17 se muestra un ejemplo de este método (véase página 53).

3.3.6.2.2 No regreso a cero por espacio (NRZ (S)).

El método NRZ (S) usa el mismo esquema excepto que los cambios de nivel se emplean para indicar un espacio (es decir, un 0) y los 1 se representan sin ningún cambio de nivel. En el inciso f) de la figura 3.17 se ejemplifica el uso de esta representación (véase página 53).

Las representaciones NRZ son eficientes en términos del ancho de banda y su uso es amplio. Nótese que el empleo de las representaciones de fase partida y NRZ requieren cierta complejidad adicional del receptor para determinar la frecuencia del reloj de sincronización.

3.3.7 Modulación de retardo (Código de Miller).

En la modulación de retardo (código de Miller), un 1 se representa con una transición de señal en el centro del intervalo de un bit a otro nivel diferente al que se encuentra en ese momento, ya sea con un frente de subida o un frente de bajada para volver al nivel de referencia. Un 0 no se representa con ninguna transición, es decir, conserva el mismo nivel durante todo el intervalo de bit, a menos que esté seguido por otro cero, en cuyo caso la transición de señal ocurre cambiando a otro nivel diferente al

que se encuentra en ese momento, con un frente de subida si esta en el nivel de referencia o con un frente de bajada si esta en el nivel alto, esta transición dura todo el intervalo de bit.

En este método, una sucesión de unos y una sucesión de ceros se representan con una señal cuadrada. La modulación de retardo es eficiente en términos del ancho de banda. En el inciso i) de la figura 3.17 se muestra esta representación.

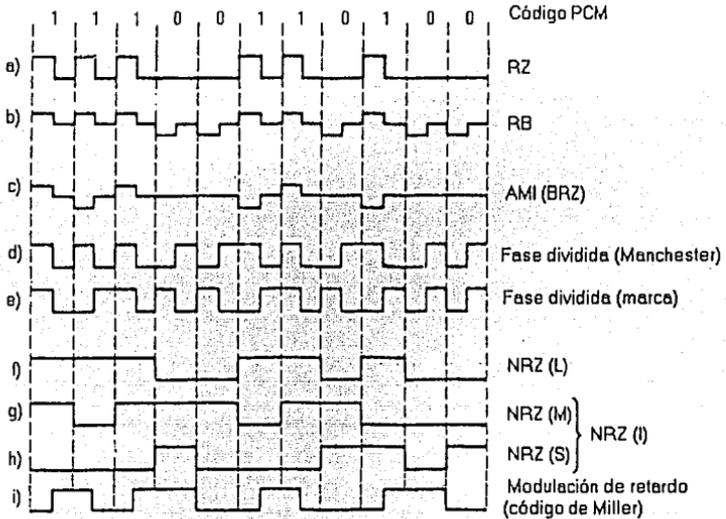


Figura 3.18 Métodos para representar datos binarios [12].

Capítulo IV.

Normas para la comunicación de datos por la red telefónica.

4.1 Normalización.

"Durante las últimas décadas, la industria de la comunicación de datos ha crecido a una velocidad astronómica. Consecuentemente, la necesidad de proporcionar comunicación entre sistemas de comunicación disímboles también ha aumentado, por lo tanto, para asegurar una transferencia de información ordenada entre dos o más sistemas de comunicación usando diferente equipo con distintas necesidades, un consorcio de organizaciones, fabricantes y usuarios se reúnen regularmente para establecer las guías y estándares. Es la intención que todos los usuarios de comunicación cumplan con estos estándares o normas". Varias de las organizaciones se describen a continuación [6].

4.2 Organizaciones de estándares para la comunicación de datos.

Instituto de estándares nacional americano (ANSI).

El instituto de estándares nacional americano (ANSI, American National Standard Institute) es una organización sin fines de lucro dedicada al desarrollo de estándares para mejorar la productividad y la competitividad internacional de las empresas industriales norteamericanas.

ANSI es el representante de los Estados Unidos ante la organización internacional de estándares (ISO).

Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE).

El IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) es una organización profesional creada como tal el 1 de enero de 1963 dedicada a dar soporte y asistencia en ramas como la electrónica, la informática, y las comunicaciones.

Se considera la mayor sociedad profesional de todo el mundo, que esta presente en 150 países y cuenta con más de 350.000 miembros, de los cuales 50.000 son estudiantes. Se encarga de la publicación del 25% del total mundial de publicaciones técnicas que existen en estas áreas.

Asociación de industrias electrónicas (EIA).

La EIA (Electronic Industry Association) es una organización de Estados Unidos que establece y recomienda estándares industriales y que se especializa en las características eléctricas y funcionales de los equipos de interfaz como la serie de estándares recomendados RS para datos y telecomunicaciones.

Organización internacional de estándares (ISO).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La Organización internacional de estándares (ISO, International Standard Organization) es una organización internacional constituida como una federación de organismos nacionales de normalización procedentes de unos 130 países.

Fue creada en 1947 como una organización no gubernamental con la misión de fomentar el desarrollo en el mundo de las actividades de normalización y otras afines con miras a favorecer los intercambios internacionales de bienes y servicios, y una estrecha cooperación en los campos intelectual, científico, tecnológico y económico. También es el responsable de endosar y coordinar el trabajo de otras organizaciones de estándares.

Comisión electrotécnica internacional (IEC).

La Comisión electrotécnica internacional (IEC, International Electrotechnic Commission) comenzó en el año 1906 y está actualmente constituida por miembros de más de 50 países. Tiene por objeto elaborar el conjunto de normas en el campo electrotécnico y tecnologías afines que satisfagan a nivel técnico todas las necesidades internacionales de normalización sobre seguridad, desempeño, construcción e instalación de equipamiento eléctrico y servicios para sectores de productos específicos y bien definidos desarrolladas a través de 200 comités y subcomités técnicos y unos 700 grupos de trabajo.

Tanto ISO como IEC tienen por objeto favorecer el desarrollo de la normalización en el mundo, con vistas a facilitar los intercambios comerciales y las prestaciones de servicios entre los distintos países que la constituyen. Los trabajos desarrollados por ISO cubren prácticamente todos los sectores de la técnica, con excepción del campo eléctrico y electrotécnico, cuya responsabilidad recae en la IEC.

Además de trabajar en estrecha colaboración la ISO y la IEC, éstas mantienen vínculos con la unión internacional de telecomunicaciones (ITU), y otras muchas organizaciones que producen normas, códigos y reglamentos para disciplinas específicas.

Unión internacional de telecomunicaciones (ITU)

La unión internacional de telecomunicaciones (ITU, International Telecommunications Union) es una institución especializada con sede en Ginebra Suiza que depende de la organización de las naciones unidas (ONU). Es la máxima organización de telecomunicaciones y entre sus miembros se cuentan prácticamente todos los países del mundo y más de 500 empresas privadas de los sectores de las telecomunicaciones, la radiodifusión y la tecnología de la información

4.3 Unión internacional de telecomunicaciones (ITU).

"La unión internacional de telecomunicaciones es una organización internacional en la cual los gobiernos y el sector privado trabajan juntos para coordinar la explotación de redes y servicios de telecomunicaciones, y promover el desarrollo de la tecnología de comunicaciones" Sus miembros son instituciones políticas y de

reglamentación en telecomunicaciones, operadores de redes, fabricantes de equipo, realizadores de equipos y programas informáticos, organizaciones regionales de normalización e instituciones de financiación, que determinan y conciben las actividades, las políticas y la dirección estratégica de la ITU [14].

4.3.1 Historia.

Con el invento del telégrafo en 1844, se inicia la era de las telecomunicaciones. Diez años más tarde, el telégrafo era ya un medio utilizado por gran parte del público, pero las líneas telegráficas no atravesaban las fronteras nacionales debido a que cada país utilizaba un sistema diferente. Dada la rápida y continua expansión de las redes telegráficas en un número cada vez mayor de países, el 17 de mayo de 1865, 20 estados miembros fundadores crean la unión internacional telegráfica (ITU, International Telegraphic Union) para constituir un acuerdo para la interconexión internacional y fijando así las primeras normas internacionales.

Con la invención del teléfono en 1876 y su subsiguiente expansión, la unión telegráfica comenzó, en 1885, a preparar la legislación internacional al respecto, hasta que en 1924 se crea el comité consultivo internacional de telefonía (CCIF, Committee Consultative International Telephonic). De igual forma en 1925 se forma el comité consultivo internacional telegráfico (CCIT, Committee Consultative International Telegraphic) y en 1927 se establece el comité consultivo internacional de radiocomunicaciones (CCIR, Committee Consultative International Radiocommunication) tras que en el año de 1920 iniciará la era de la radiodifusión sonora. El comité consultivo internacional de telefonía (CCIF), el comité consultivo internacional telegráfico (CCIT) y el comité consultivo internacional de radiocomunicaciones (CCIR) se encargaron de la coordinación de los estudios técnicos, las pruebas y las mediciones efectuadas en los diversos campos de las telecomunicaciones, así como de la elaboración de normas internacionales.

En 1932 la unión decidió modificar su nombre y pasó a denominarse unión internacional de telecomunicaciones (ITU, International Telecommunication Union). Este nuevo nombre, que comenzó a utilizarse el 1 de enero de 1934, se eligió porque reflejaba adecuadamente todo el alcance de las funciones de la unión.

En 1947, después de la segunda guerra mundial, la ITU se convirtió en organismo especializado de la organización de las naciones unidas (ONU). Al mismo tiempo se crea la junta internacional de registro de frecuencias (IFRB, International Frequency Registry Board) con el mandato de coordinar la tarea, cada vez más complicada, de gestionar el espectro de frecuencias, y en 1956, el CCIT y el CCIF se fusionan para dar lugar al comité consultivo internacional telegráfico y telefónico (CCITT, Committee Consultative International Telegraphic and Telephonic), con objeto de responder más eficazmente a las necesidades que generaba el desarrollo de estos dos tipos de comunicación.

En 1992 se celebró en Ginebra una conferencia que efectuó cambios radicales en la ITU, con el fin de dotarla de una mayor flexibilidad para adaptarse al entorno del momento, cada vez más complejo, interactivo y marcado por la competencia. Como resultado de esta reestructuración, la unión se organizó en tres sectores que correspondían a sus tres ámbitos principales de actividad: la normalización de las

telecomunicaciones (ITU-T), las radiocomunicaciones (ITU-R) y el desarrollo de las telecomunicaciones (ITU-D).

4.3.2 Funciones y actividades.

El trabajo técnico de la ITU consiste en la preparación de estudios exhaustivos, sobre la base de los cuales se formulan recomendaciones aceptadas a nivel mundial. Estas recomendaciones corren a cargo de comisiones de estudio constituidas por expertos procedentes de organizaciones de telecomunicaciones líderes de todo el mundo [13,14].

Los fines de la unión internacional de telecomunicaciones, tal como están definidos en su constitución, son los siguientes:

- Mantener y ampliar la cooperación internacional entre todos sus estados miembros para el mejoramiento y el empleo racional de toda clase de telecomunicaciones.
- Alentar y mejorar la participación de entidades y organizaciones en las actividades de la unión y favorecer la cooperación fructífera y la asociación entre ellas y los estados miembros para la consecución de los fines de la unión.
- Promover y proporcionar asistencia técnica a los países en desarrollo en el campo de las telecomunicaciones y promover asimismo la movilización de los recursos materiales, humanos y financieros necesarios para dicha asistencia, así como el acceso a la información.
- Impulsar el desarrollo de los medios técnicos y su más eficaz explotación, a fin de aumentar el rendimiento de los servicios de telecomunicación, acrecentar su empleo y generalizar lo más posible su utilización por el público.
- Promover la extensión de los beneficios de las nuevas tecnologías de telecomunicaciones a todos los habitantes del planeta.
- Promover la utilización de los servicios de telecomunicaciones con el fin de facilitar las relaciones pacíficas.
- Armonizar los esfuerzos de los estados miembros y favorecer una cooperación y una asociación constructiva entre los estados miembros y los miembros de los sectores para la consecución de estos fines.
- Promover a nivel internacional la adopción de un enfoque más amplio de las cuestiones de las telecomunicaciones cooperando con otras organizaciones intergubernamentales mundiales y regionales y con las organizaciones no gubernamentales interesadas en las telecomunicaciones.

4.3.3 Estructura.

Las actividades de la ITU se dividen en tres sectores, radiocomunicaciones (ITU-R), normalización de las telecomunicaciones (ITU-T) y desarrollo de las telecomunicaciones (ITU-D) tratando de cubrir todos los aspectos relacionados con las telecomunicaciones. La labor de cada uno de los sectores de la ITU se desarrolla en conferencias y reuniones en las que los miembros negocian los acuerdos que servirán de base para la explotación de servicios mundiales de telecomunicaciones, desde el establecimiento de normas que faciliten el interfuncionamiento sin interrupciones de equipos y sistemas a nivel mundial, hasta la adopción de procedimientos operativos para la vasta y creciente gama de servicios inalámbricos, pasando por la concepción de

programas para mejorar la infraestructura de telecomunicaciones en el mundo en desarrollo.

La tarea de la ITU-R es determinar las características técnicas y los procedimientos operativos de los servicios y sistemas inalámbricos terrenales y espaciales. Es responsable de coordinar los satélites de comunicación, radiodifusión y meteorología que giran en torno a la Tierra para que puedan coexistir sin que ninguno de ellos cause interferencia a los servicios de otro. Asimismo, realiza importantes estudios técnicos que sirven como base para las decisiones en materia de reglamentación que se toman en las conferencias de radiocomunicaciones.

Una función fundamental de la ITU-R es la gestión y el mantenimiento del registro internacional de frecuencias, para lo cual facilita los acuerdos entre operadores y gobiernos además de ofrecer instrumentos y servicios prácticos para ayudar a los administradores del espectro de frecuencias radioeléctricas a realizar su labor cotidiana.

La tarea del ITU-T es preparar especificaciones técnicas sobre el funcionamiento, el rendimiento y el mantenimiento de los sistemas, redes y servicios de telecomunicaciones. También se encarga de los principios de tarificación y de los métodos de contabilidad que se utilizan en la prestación de servicios internacionales.

Las actividades del ITU-D son el asesoramiento en cuestiones de política, reglamentación, financiamiento, alternativas tecnológicas de bajo costo, asistencia en la gestión de los recursos humanos y las iniciativas orientadas al desarrollo rural y al acceso universal. Para esto, los expertos del ITU-D preparan recomendaciones, opiniones, directrices, manuales, libros de referencia e informes en los que se les ofrece a los altos ejecutivos de los países en desarrollo información sobre las prácticas más recomendables en ámbitos que van desde las estrategias y políticas de desarrollo hasta la gestión de las redes.

En todas estas actividades, el ITU-D crea asociaciones con el sector privado con el fin de que el impulso comercial de la industria sirva para responder a las necesidades de los países en desarrollo, creando un clima económico y un entorno de reglamentación atractivo para la inversión privada. Esto facilita la implementación de infraestructuras de telecomunicaciones en los países en desarrollo de todo el mundo fomentando su desarrollo económico y disminuyendo la brecha que separa a estas regiones de los países más avanzados.

4.4 Normalización de las telecomunicaciones (ITU-T).

"La labor del sector de normalización de las telecomunicaciones (ITU-T) tiene por objeto facilitar la interconexión sin interrupciones de las redes y sistemas de comunicaciones de todo el mundo, además de definir los principios de tarificación y contabilidad para los servicios internacionales de telecomunicaciones y es el encargado de llevar a cabo la actividad más antigua de la ITU, que es elaborar normas técnicas y de explotación consensuadas a nivel internacional".

Con el fin de mantener un equilibrio entre todos los intereses, el ITU-T trata de identificar las mejores soluciones técnicas posibles. Estas soluciones se convierten en recomendaciones o normas reconocidas internacionalmente.

Las recomendaciones son elaboradas por las comisiones de estudio del ITU-T que están constituidas por expertos de los sectores público y privado. Trabajan en conjunto para determinar las especificaciones técnicas y los parámetros operativos de equipos y sistemas en lo relativo a todos los aspectos del funcionamiento de las redes de comunicación.

Estas normas son aceptadas y aprobadas a nivel mundial, resultan esenciales para el funcionamiento sin interrupciones de las redes de comunicaciones, permiten a todos los países gozar del acceso a las comunicaciones más avanzadas y constituyen una base para la aplicación comercial de las nuevas tecnologías a escala mundial. Para los proveedores constituyen una base sólida sobre la cual competir en el mercado mundial sin barreras técnicas y reducen los costos por concepto de desarrollo y equipos, lo que se traduce en precios más bajos para los usuarios finales. Además, las normas mundiales protegen a los usuarios de los problemas de incompatibilidad entre sistemas rivales.

Las recomendaciones se aprueban, modifican o rechazan cada cuatro años durante la asamblea mundial de normalización de las telecomunicaciones. En estas asambleas se determinan las prioridades, la urgencia y los plazos de las labores relativas a la preparación de normas, se examinan los informes de las comisiones de estudio y les atribuyen las cuestiones que deben estudiar.

Para el estudio de las transmisiones de datos, el ITU-T colabora con las organizaciones de normalización (ISO) y con la comisión electrotécnica internacional (IEC). Esta colaboración se organiza de forma que se evite toda duplicación de actividades. En caso de que dos organizaciones estén trabajando en el mismo ámbito, la labor se realiza en la organización en que recaiga la responsabilidad, mientras que la otra puede participar a través de un acuerdo de coordinación.

Dadas todas las áreas relacionadas con las telecomunicaciones, el ITU-T divide sus recomendaciones en diferentes series, cada una relacionada con un área específica con el fin de lograr una mejor organización, recomendaciones más detalladas y una simplificación en el estudio de estas. Las series de la ITU-T son:

- Serie A: Organización del trabajo del ITU-T.
- Serie B: Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación.
- Serie C: Estadísticas generales de telecomunicaciones.
- Serie D: Principios generales de tarificación.
- Serie E: Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos.
- Serie F: Servicios de telecomunicación no telefónicos.
- Serie G: Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales.
- Serie H: Sistemas audiovisuales y multimédios.
- Serie I: Red digital de servicios integrados.
- Serie J: Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión y de otras señales multimédios.
- Serie K: Protección contra las interferencias.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Serie L: Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior.
- Serie M: RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales.
- Serie N: Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión.
- Serie O: Especificaciones de los aparatos de medida.
- Serie P: Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales.
- Serie Q: Conmutación y señalización.
- Serie R: Transmisión telegráfica.
- Serie S: Equipos terminales para servicios de telegrafía.
- Serie T: Terminales para servicios de telemática.
- Serie U: Conmutación telegráfica.
- Serie V: Comunicación de datos por la red telefónica.
- Serie X: Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos.
- Serie Y: Infraestructura mundial de la información.
- Serie Z: Lenguajes de programación.

4.5 Recomendaciones de la serie V.

Las recomendaciones de la serie V del ITU-T se encargan del estudio, especificación y normalización de los diferentes aspectos relacionados a la comunicación de datos por la red telefónica creando recomendaciones en las siguientes áreas:

- Generalidades de las comunicaciones de datos por la red telefónica.
- Interfaces y módems para la banda vocal.
- Control de errores.
- Calidad de transmisión y mantenimiento.
- Transmisión simultánea de datos y de otras señales.
- Interfuncionamiento con otras redes.
- Especificaciones de la capa interfaz para comunicaciones de datos.
- Procedimientos de control

Dentro del área de interfaces y módems para la banda vocal se especifican detalladamente el funcionamiento y tratamiento de la información de estos dispositivos para la comunicación de datos por la red telefónica de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Su descripción.
- Las señales de línea.
- La tolerancia.
- Los modos de funcionamiento.
- Los circuitos de enlace.
- La respuesta de los circuitos.
- Características eléctricas.
- Tiempo de respuesta.

Además de los aspectos referentes al objeto de estudio de este trabajo que son:

- La modulación
- La velocidad binaria.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

- La velocidad de símbolos.
- La codificación de los bits de datos.

4.6 Velocidades binarias preferidas.

Las transmisiones de datos en comunicaciones establecidas por la red telefónica pública conmutada y circuitos arrendados de tipo telefónico, que son las líneas de los usuarios, se realizan mediante un procedimiento de transmisión síncrono y/o asíncrono y a diferentes velocidades binarias permitidas por el ITU.

Dentro de las velocidades binarias permitidas se encuentra una categoría conocida como velocidades binarias preferidas. La gama de velocidades binarias preferidas son:

- | | |
|--------------|---------------|
| - 300 bit/s | - 9600 bit/s |
| - 600 bit/s | - 14400 bit/s |
| - 1200 bit/s | - 28800 bit/s |
| - 2400 bit/s | - 33600 bit/s |
| - 4800 bit/s | - 56000 bit/s |

Los usuarios tienen la opción de elegir entre estas velocidades de acuerdo con sus necesidades y las posibilidades ofrecidas. Las velocidades binarias no deben diferir en ningún caso más de $\pm 0.01\%$ de sus valores nominales.

El uso de módems a estas velocidades binarias se encuentran especificados en las recomendaciones V.21, V.22, V.22 bis, V.27, V.32, V.32 bis, V.34 y V.90 respectivamente.

4.7 Recomendación V.21.

Esta recomendación especifica el funcionamiento de un módem para uso en conexiones establecidas en la red telefónica pública conmutada y en circuitos arrendados de tipo telefónico punto a punto a dos hilos a una velocidad de transmisión de datos de 300 bit/s.

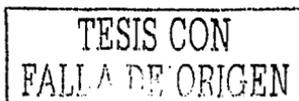
Las características principales de este módem son las siguientes:

- Funcionamiento en modo dúplex.
- Modulación por desplazamiento de frecuencia.
- Velocidad de modulación de 300 baudios o símbolos/s.
- Velocidad de transmisión de datos de 300 bit/s.
- Uso de dos canales de transmisión
- La transmisión de datos podrá hacerse según los modos síncrono o asíncrono.

4.7.1 Características de modulación.

Frecuencias portadoras.

Las frecuencias portadoras son de 1080 Hz para el canal inferior y 1750 Hz para el canal superior.



Tolerancia de frecuencia para la señal recibida

La tolerancia de la frecuencia para las portadoras en el transmisor es de ± 6 Hz, por lo tanto el receptor debe tolerar diferencias de ± 12 Hz en las frecuencias recibidas.

Velocidades utilizadas.

La velocidad de transmisión de datos es de 300 bit/s $\pm 0.01\%$ con una velocidad de modulación de 300 baudios o símbolos/s $\pm 0.01\%$.

Codificación de los bits de datos.

La desviación de frecuencia debe ser de ± 100 Hz en cada canal, por lo cual los valores nominales de las frecuencias características son:

Canal No. 1 ($F_s = 1180$ Hz y $F_z = 980$ Hz)

Canal No. 2 ($F_s = 1850$ Hz y $F_z = 1650$ Hz)

La frecuencia característica más elevada (F_s) corresponde al 0 binario.

4.8 Recomendación V.22.

Esta recomendación especifica el funcionamiento de un módem para uso en conexiones establecidas en la red telefónica pública conmutada y en circuitos arrendados de tipo telefónico punto a punto a dos hilos a una velocidad de transmisión de datos de hasta 1200 bit/s.

Las características principales de este módem son las siguientes:

- a) Funcionamiento en modo dúplex.
- b) Modulación por desplazamiento de fase binaria.
- c) Velocidad de modulación de 600 baudios o símbolos/s.
- d) Velocidades de transmisión de datos de:
 - 1200 bit/s.
 - 600 bit/s.
- e) Uso de dos canales de transmisión.
- f) La transmisión de datos puede hacerse según los modos síncrono o asíncrono.

4.8.1 Características de modulación.

Frecuencia portadoras.

Las frecuencias portadoras son de 1200 ± 0.5 Hz para el canal inferior y 2400 ± 1 Hz para el canal superior.

Tolerancia de frecuencia para la señal recibida

La tolerancia de la frecuencia para las portadoras en el transmisor es de ± 1 Hz y la frecuencia puede experimentar un desplazamiento máximo de ± 6 Hz en la conexión, por lo tanto el receptor debe tolerar diferencias de ± 7 Hz en las frecuencias recibidas.

Velocidades utilizadas.

La velocidad de transmisión de datos es 1200 bit/s o 600 bit/s $\pm 0.01\%$ con una velocidad de modulación de 600 baudios $\pm 0.01\%$.

Codificación de los bits de datos.

Codificación a 1200 bit/s.

El tren de datos por transmitir se divide en grupos de 2 bits de datos consecutivos. Los 2 bits se codifican con un cambio de fase como se ve en la tabla 4.1.

Valores de bit a 1200 bit/s	Cambio de fase
00	+90°
01	0°
11	+270°
10	+180°

Tabla 4.1 Codificación de los bits de datos en la recomendación V.22 [13].

Codificación a 600 bit/s.

El tren de datos consta de un solo bit. Cada bit se codifica con un cambio de fase como se indica en la tabla 4.2.

Valores de bit a 600 bit/s	Cambio de fase
0	+90°
1	+270°

Tabla 4.2 Codificación de los bits de datos en la recomendación V.22 [13].

4.9 Recomendación V.22 bis.

Esta recomendación especifica el funcionamiento de un módem para uso en conexiones establecidas en la red telefónica pública conmutada y en circuitos arrendados de tipo telefónico punto a punto a dos hilos a una velocidad de transmisión de datos de hasta 2400 bit/s.

Las características principales de este módem son las siguientes:

- Funcionamiento en modo dúplex.
- Modulación de amplitud en cuadratura
- Velocidad de modulación de 600 baudios o símbolos/s.
- Velocidades de transmisión de datos de:
 - 2400 bit/s.
 - 1200 bit/s.
- Uso de dos canales de transmisión.
- La transmisión de datos puede hacerse según los modos síncrono o asíncrono.

4.9.1 Características de modulación.

Frecuencias portadoras.

Las frecuencias portadoras son de 1200 ± 0.5 Hz para el canal inferior y de 2400 ± 1 Hz para el canal superior.

Tolerancia de frecuencia para la señal recibida.

La tolerancia de la frecuencia para las portadoras en el transmisor es de ± 1 Hz y puede experimentar un desplazamiento máximo de ± 6 Hz en la conexión, por lo tanto el receptor debe tolerar diferencias de ± 7 Hz en las frecuencias recibidas.

Velocidades utilizadas.

La velocidad de transmisión de datos es 2400 bit/s o 1200 bit/s $\pm 0.01\%$ con una velocidad de modulación de 600 baudios $\pm 0.01\%$.

Codificación de los bits de datos.

Codificación a 2400 bit/s.

El tren de datos por transmitir se divide en grupos de cuatro bits de datos. Estos bits de datos se hacen corresponder con un cuadrante de fase como se muestra en la tabla 4.3.

Bits de datos				Cuadrante de fase
0	0	0	0	+90°
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	0°
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	+270°
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	+180°
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

Tabla 4.3 Codificación de los bits de datos en la recomendación V.22 bis [13].

Codificación a 1200 bit/s.

El tren de datos que ha de transmitirse se divide en grupos de dos bits consecutivos. Los bits se codifican como un cambio de cuadrante de fase como se ve en la tabla 4.4.

Valores de bit a 1200 bit/s	Cuadrante de fase
00	+90°
01	0°
11	+270°
10	+180°

Tabla 4.4 Codificación de línea en la recomendación V.22 bis [13].

4.10 Recomendación V.27.

Esta recomendación especifica el funcionamiento de un módem para uso en conexiones establecidas en la red telefónica pública conmutada y en circuitos arrendados de tipo telefónico punto a punto a dos hilos a una velocidad de transmisión de datos de 4800 bit/s.

Las características principales de este módem son las siguientes:

- Funcionamiento en modo dúplex o semidúplex.
- Modulación por desplazamiento de fase de ocho fases.
- Velocidad de modulación de 1600 baudios o símbolos/s.
- Velocidad de transmisión de datos de 4800 bit/s.
- Transmisión de datos en modo síncrono.

4.10.1 Características de modulación.

Frecuencia portadora.

La frecuencia portadora es de 1800 ± 1 Hz.

Tolerancia de frecuencia para la señal recibida

La tolerancia de la frecuencia para las portadoras en el transmisor es de ± 1 Hz y la frecuencia puede experimentar un desplazamiento máximo de ± 6 Hz en la conexión, por lo tanto el receptor debe tolerar diferencias de ± 7 Hz en las frecuencias recibidas.

Velocidad utilizadas.

La velocidad de transmisión de datos es de 4800 bit/s $\pm 0.01\%$, con una velocidad de modulación de 1600 baudios $\pm 0.01\%$.

Codificación de los bits de datos.

El tren de datos que ha de transmitirse se divide en grupos de tres bits consecutivos. Los tres bits se codifican con un cambio de fase como se muestra en la tabla 4.5.

Bits de datos.			Cambio de fase
0	0	1	0°
0	0	0	+45°
0	1	0	+90°
0	1	1	+135°
1	1	1	+180°
1	1	0	+225°
1	0	0	+270°
1	0	1	+315°

Tabla 4.5 Codificación de los bits de datos en la recomendación V.27 [13].

4.11 Recomendación V.32.

Esta recomendación especifica el funcionamiento de un módem para uso en conexiones de la red telefónica pública con conmutación y en circuitos arrendados de tipo telefónico punto a punto a dos hilos a velocidades de transmisión de datos de hasta 9600 bi/s.

Las características principales de este módem son las siguientes:

- Funcionamiento en modo dúplex.
- Modulación de amplitud en cuadratura.
- Velocidad de modulación de 2400 baudios o símbolos/s.
- Velocidades de transmisión de datos de:
 - 9600 bi/s.
 - 4800 bi/s.
- Transmisión de datos en modo síncrono.
- A 9600 bi/s se especifican dos posibles esquemas de modulación.

4.11.1 Características de modulación.

Frecuencia portadora

La frecuencia portadora es de 1800 ± 1 Hz.

Tolerancia de frecuencia para la señal recibida.

La tolerancia de la frecuencia para las portadoras en el transmisor es de ± 1 Hz y la frecuencia puede experimentar un desplazamiento máximo de ± 6 Hz en la conexión, por lo tanto el receptor debe tolerar diferencias de ± 7 Hz en las frecuencias recibidas.

Velocidades utilizadas.

La velocidad de transmisión de datos es de 9600 bit/s, 4800 bit/s \pm 0.01% con una velocidad de modulación de 2400 baudios \pm 0.01%.

Codificación de los bits de datos.

Codificación no redundante a 9600 bit/s.

El tren de datos por transmitir se divide en grupos de cuatro bits de datos consecutivos que se hacen corresponder a las coordenadas del estado de la señal según el diagrama vectorial de señales de la figura 4.1 y que se indica en la tabla 4.6.

Bits de datos				Cuadrante de fase
0	0	0	0	+180°
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	+270°
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	+90°
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	0°
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

Tabla 4.6 Codificación de un cuadrante para 4800 bit/s y para 9600 bit/s [13].

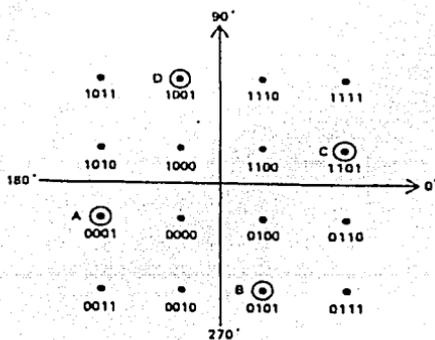


Figura 4.1 Codificación para 9600 bit/s y subconjunto A, B, C, y D de estados utilizados a 4800 bit/s [13].

Codificación reticular a 9600 bit/s.

Dado que el ancho de banda de la red telefónica es limitado y al ocupar una modulación de orden superior el ruido del canal puede causar errores aleatorios a los bits, sin que el receptor tenga forma de enterarse de esto, a partir de la recomendación V.32 se utiliza la codificación reticular, que es un sistema de corrección de error adelantado (FEC, Forward Error Correction).

La codificación reticular codifica los datos introduciendo un bit llamado redundante a la cadena completa. Con este algoritmo es posible que el receptor detecte los posibles errores y pueda corregirlos mediante que recibe los datos sin necesidad de retransmisión, logrando así una alta eficiencia en el ancho de banda y en la velocidad de transmisión.

A 9600 bit/s el tren de datos por transmitir se divide en grupos de cuatro bits de datos consecutivos, a los cuales se introduce un bit redundante producto de la codificación reticular, de esta forma la constelación de señales pasa de 16 a 32 puntos. Este bit redundante y los cuatro bits que transportan la información se hacen corresponder a las coordenadas del elemento de señal por transmitir de acuerdo con el diagrama vectorial de señales mostrado en la figura 4.2.

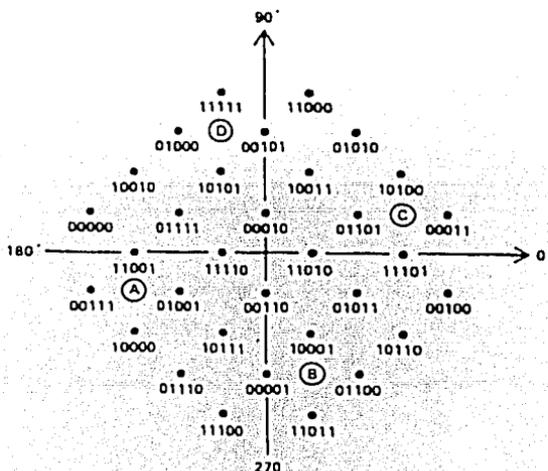


Figura 4.2 Constelación de señal con codificación reticular para 9600 bit/s y subconjunto de estados A, B, C y D utilizados a 4800 bit/s [13].

Codificación a 4800 bit/s.

Para 4800 bit/s el tren de datos por transmitir se divide en grupos de dos bits de datos consecutivos, por lo cual sólo se necesitan cuatro puntos en la constelación. Para aprovechar la constelación de señales para 9600 bit/s los bits se codifican en subconjuntos A, B, C y D ubicados en diferentes cuadrantes como se muestra en la tabla 4.7 y se hacen corresponder a las constelaciones de los diferente tipos de codificación a 9600 bit/s de las figuras 4.1 y 4.2.

Estado de la señal para 4800 bit/s	Cuadrante de fase
A	+180°
B	+270°
D	+90°
C	0°

Tabla 4.7 Codificación por cuadrante para 4800 bit/s [13].

4.12 Recomendación V.32 bis.

Esta recomendación especifica el funcionamiento de un módem para uso en las conexiones con la red telefónica pública conmutada y en circuitos arrendados de tipo telefónico punto a punto a dos hilos a velocidades de transmisión de datos de hasta 14400 bit/s.

Las características principales de este módem son las siguientes:

- Funcionamiento en modo dúplex.
- Modulación de amplitud en cuadratura.
- Velocidad de modulación de 2400 baudios o símbolos/s.
- Velocidades de transmisión de datos de :
 - 14400 bit/s.
 - 12000 bit/s.
 - 9600 bit/s.
 - 7200 bit/s.
 - 4800 bit/s.
- Codificación reticular para todas las transmisiones de datos excepto a 4800 bit/s.
- Transmisión de datos en modo síncrono.

4.12.1 Características de modulación.

Frecuencia portadora.

La frecuencia portadora es de $1800 \pm \text{Hz}$.

Tolerancia de frecuencia para la señal recibida.

La tolerancia de la frecuencia para las portadoras en el transmisor es de $\pm 1 \text{ Hz}$ y la frecuencia puede experimentar un desplazamiento máximo de $\pm 6 \text{ Hz}$ en la conexión, por lo tanto el receptor debe tolerar diferencias de $\pm 7 \text{ Hz}$ en las frecuencias recibidas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Velocidades utilizadas.

La velocidad de transmisión de datos es de 4800 bit/s a 14400 bit/s en múltiplos de 2400 bit/s $\pm 0.01\%$ con una velocidad de modulación de 2400 baudios o símbolos/s $\pm 0.01\%$.

Codificación de los bits de datos.

Codificación a 14400 bit/s.

A 14400 bit/s, el flujo de datos por transmitir se divide en grupos de seis bits de datos consecutivos a los cuales se introduce un bit redundante producto de la codificación reticular, de esta forma la constelación de señales pasa de 64 a 128 puntos.

Este bit redundante y los seis bits que transportan información se hacen corresponder entonces con las coordenadas del elemento de señal que ha de transmitirse conforme al diagrama vectorial de señales indicado en la figura 4.3.

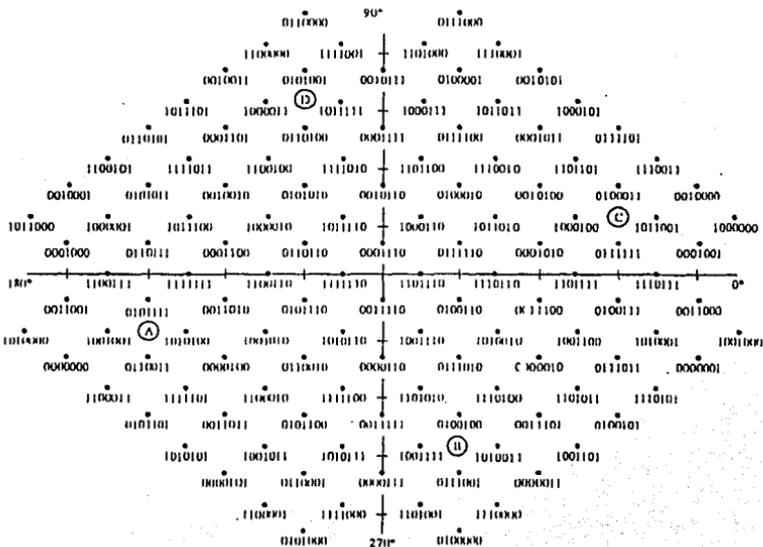


Figura 4.3 Diagrama vectorial de la señal y correspondencia para la modulación a 14400 bit/s [13].

Codificación a 12000 bit/s.

A 12000 bit/s, el flujo de datos por transmitir se divide en grupos de cinco bits de datos consecutivos a los cuales se introduce un bit redundante producto de la codificación reticular, de esta forma la constelación de señales pasa de 32 a 64 puntos.

Este bit redundante y los cinco bits que transportan información, se hacen corresponder entonces con las coordenadas del elemento de señal que ha de transmitirse de acuerdo con el diagrama vectorial de señales en la figura 4.4.

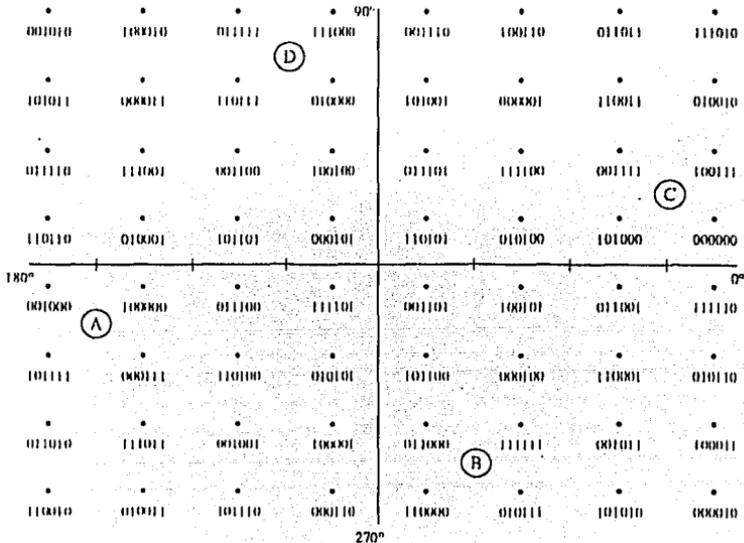


Figura 4.4 Diagrama vectorial de señales y correspondencia para la modulación a 12000 bit/s [13].

Codificación a 9600 bit/s.

A 9600 bit/s, el flujo de datos por transmitir se divide en grupos de cuatro bits de datos consecutivos a los cuales se introduce un bit redundante producto de la codificación reticular, de esta forma la constelación de señales pasa de 16 a 32 puntos.

Este bit redundante y los cuatro bits que transportan información, se hacen corresponder entonces con las coordenadas del elemento de señal que ha de transmitirse de acuerdo con el diagrama vectorial de señales indicado en la figura 4.5 (véase página 72).

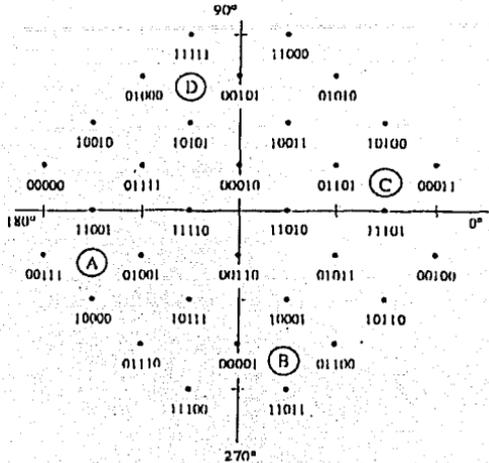


Figura 4.5 Diagrama vectorial de la señal y correspondencia para la modulación a 9600 bit/s [13].

Codificación a 7200 bit/s.

A 7200 bit/s, el flujo de datos por transmitir se divide en grupos de tres bits de datos consecutivos a los cuales se introduce un bit redundante producto de la codificación reticular, de esta forma la constelación de señales pasa de 8 a 16 puntos. Este bit redundante y los tres bits que transportan información se hacen corresponder entonces con las coordenadas del elemento de señal que ha de transmitirse de acuerdo con el diagrama vectorial de señales indicado en la figura 4.6.

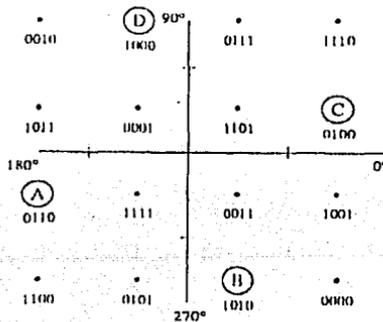


Figura 4.6 Diagrama vectorial de la señal y correspondencia para la modulación a 7200 bit/s [13].

Codificación a 4800 bit/s.

Para 4800 bit/s, el flujo de datos por transmitir se divide en grupos de dos bits de datos consecutivos, por lo cual sólo se necesitan cuatro puntos en la constelación. Para aprovechar las constelaciones de señales los bits se codifican en subconjuntos A, B, C y D ubicados en diferentes cuadrantes como se muestra en la tabla 4.8 y se hacen corresponder a las coordenadas del elemento de señal de acuerdo a los diagramas vectoriales de señales de las figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7.

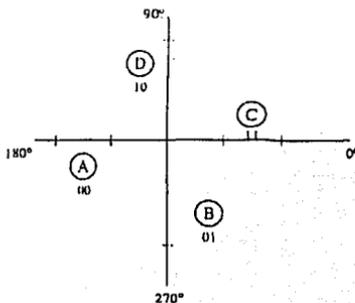


Figura 4.7 Diagrama vectorial de la señal y correspondencia para la modulación a 4800 bit/s [13].

Estado de la señal para 4800 bit/s	Cuadrante de fase
A	+180°
B	+270°
D	+90°
C	0°

Tabla 4.8 Codificación por cuadrante para 4800 bit/s [13].

4.13 Recomendación V.34

Esta recomendación especifica el funcionamiento de un módem para uso en conexiones establecidas por la red telefónica pública conmutada y en circuitos arrendados de tipo telefónico punto a punto a dos hilos a velocidades de transmisión de datos de hasta 33600 bit/s.

Las características principales de este módem son las siguientes:

- Modos de funcionamiento dúplex y semidúplex.
- Modulación de amplitud en cuadratura.
- Velocidades de modulación de:
 - 3429 baudios o símbolos/s (opcional).
 - 3200 baudios o símbolos/s.
 - 3000 baudios o símbolos/s.
 - 2800 baudios o símbolos/s (opcional).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- 2473 baudios o símbolos/s (opcional).
 - 2400 baudios o símbolos/s.
- d) Velocidades de transmisión de datos de:
- 33 600 bit/s (opcional).
 - 31 200 bit/s (opcional).
 - 28 800 bit/s.
 - 26 400 bit/s.
 - 24 000 bit/s.
 - 21 600 bit/s.
 - 19 200 bit/s.
 - 16 800 bit/s.
 - 14 400 bit/s.
 - 12 000 bit/s.
 - 9600 bit/s.
 - 7200 bit/s.
 - 4800 bit/s.
 - 2400 bit/s.
- e) Codificación reticular para todas las velocidades de transmisión de datos.
- f) Transmisión de datos en modo síncrono.

4.13.1 Características de modulación.

Velocidades de transmisión de datos.

La velocidad de transmisión de datos es de 2400 bit/s a 33 600 bit/s en múltiplos de 2400 bit/s.

Velocidades de modulación.

La velocidad de modulación es igual a $S = (a/c) \cdot 2400 \pm 0.01\%$ baudios o símbolos por segundo, siendo a y c números enteros del conjunto especificado en la tabla 4.9, en el que las velocidades de modulación se han redondeado al entero más próximo. Las velocidades de modulación 2400, 3000 y 3200 son obligatorias, las velocidades 2743, 2800 y 3429 son opcionales.

Velocidades de modulación (S)	de	a	c
2400		1	1
2743		8	7
2800		7	6
3000		5	4
3200		4	3
3429		10	7

Tabla 4.9 Velocidades de símbolo [14].

Frecuencias de portadoras.

La frecuencia portadora es igual a $(d/e) \cdot S$ Hz, siendo d y e números enteros. Para cada velocidad de modulación puede seleccionarse una de las dos frecuencias

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

portadoras, como se especifica en la tabla 4.10, que proporciona los valores de d y e y las frecuencias correspondientes redondeadas al entero más próximo.

Velocidad de modulación (S)	Portadora baja			Portadora alta		
	Frecuencia	d	e	Frecuencia	d	e
2400	1600	2	3	1800	3	4
2743	1646	3	5	1829	2	3
2800	1680	3	5	1867	2	3
3000	1800	3	5	2000	2	3
3200	1829	4	7	1920	3	5
3429	1959	4	7	1959	4	7

Tabla 4.10 Relación entre las frecuencias portadoras y la velocidad de símbolos [14].

Constelaciones de señales

Todas las constelaciones de señales empleadas en esta recomendación son subconjuntos de una superconstelación de 1664 puntos. La figura 4.8 muestra una cuarta parte de los puntos de la superconstelación.

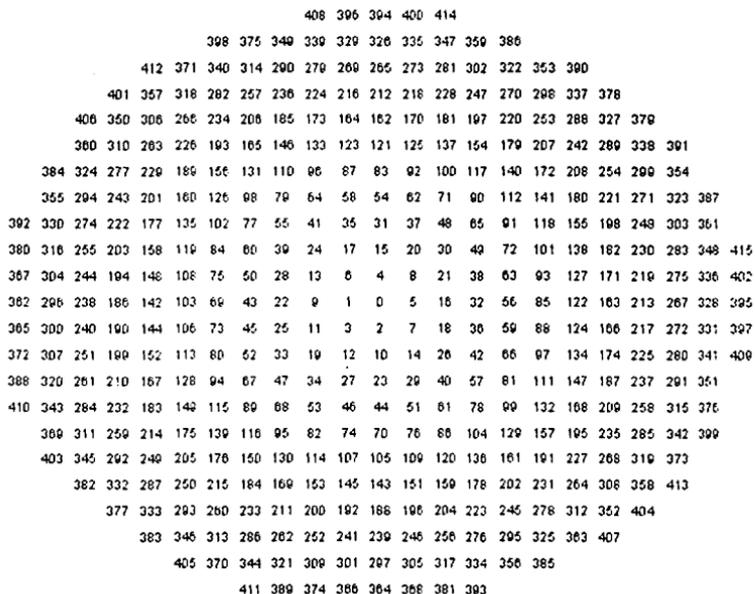


Figura 4.9 Cuarta parte de los puntos de la superconstelación [14].

Los puntos de esta constelación se designan mediante enteros decimales comprendidos entre 0 y 415, y son la representación de su equivalente binario. El punto de magnitud más pequeño se designa por 0, el punto siguiente en magnitud se designa por 1 y así sucesivamente. La superconstelación completa de señales con L puntos es la unión de las cuatro cuartas partes de la constelación que se obtiene haciendo girar la constelación de la figura 4.9 a 0, 90, 180 y 270 grados.

Parámetros de correspondencia.

La constelación de señales se divide en M anillos concéntricos del mismo tamaño. Para cada velocidad de datos y cada velocidad de símbolos se admiten dos valores posibles de M, un valor "mínimo" que minimiza el número de puntos de la constelación de señales, y un valor mayor que permite la consecución de una ganancia de conformación de los puntos. Los valores posibles de M y el número L de puntos de señal en una constelación de señales se indican en la tabla 4.11.

Velocidad de símbolos, S	Velocidad de datos, R	M		L	
		Mínimo	Ampliado	Mínimo	Ampliado
2400	2 400	1	1	4	4
	4 800	2	2	8	8
	7 200	3	4	12	16
	9 600	6	7	24	28
	12 000	12	14	48	56
	14 400	12	14	96	112
	16 800	12	14	192	224
	21 600	12	14	384	448
	21 600	12	14	768	896
2743	4 800	2	2	8	8
	7 200	3	3	12	12
	9 600	4	5	16	20
	12 000	8	9	32	36
	14 400	14	17	56	68
	16 800	13	15	104	120
	19 200	12	14	192	224
	21 600	11	13	352	416
	24 000	10	12	640	768
26 400	9	11	1 152	1 408	
2800	4 800	2	2	8	8
	7 200	3	3	12	12
	9 600	4	5	16	20
	12 000	8	9	32	36
	14 400	14	17	56	68
	16 800	12	14	96	112
	19 200	11	13	176	208
	21 600	10	12	320	384
	24 000	9	11	576	704
26 400	8	10	1 024	1 280	

Tabla 4.11 Parámetros de correspondencia M y L para diferentes velocidades de datos y velocidades de símbolos [14].

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Velocidad de símbolos, S	Velocidad de datos, R	M		L	
		Mínimo	Ampliado	Mínimo	Ampliado
3000	4 800	2	2	8	8
	7 200	2	3	8	12
	9 600	4	4	16	16
	12 000	6	7	24	28
	14 400	11	13	44	52
	16 800	9	11	72	88
	19 200	8	10	128	160
	21 600	14	17	224	272
	24 000	12	14	384	448
	26 400	11	13	704	832
28 800	9	11	1 152	1 408	
3200	4 800	1	1	4	4
	7 200	2	2	8	8
	9 600	3	4	12	16
	12 000	5	6	20	24
	14 400	8	10	32	40
	16 800	14	17	56	68
	19 200	12	14	96	112
	21 600	10	12	160	192
	24 000	8	10	256	320
	26 400	14	17	448	544
28 800	12	14	768	896	
31 200	10	12	1 280	1 536	
3429	4 800	1	1	4	4
	7 200	2	2	8	8
	9 600	3	3	12	12
	12 000	4	5	16	20
	14 400	7	8	28	32
	16 800	12	14	48	56
	19 200	9	11	72	88
	21 600	15	18	120	144
	24 000	12	14	192	224
	26 400	10	12	320	384
	28 800	8	10	512	640
	31 200	13	15	832	960
	33 600	11	13	1 408	1 664

Tabla 4.11 Parámetros de correspondencia M y L para diferentes velocidades de datos y velocidades de símbolos (continuación).

4.14 Recomendación V.90.

Esta recomendación especifica el funcionamiento de un par constituido por un módem digital y un módem analógico para uso en la red telefónica pública conmutada y en circuitos arrendados de tipo telefónico punto a punto a dos hilos a velocidades de transmisión de datos de hasta 56000 bit/s en sentido descendente y hasta 33600 bit/s en sentido ascendente.

Las características principales de estos módems son las siguientes:

- a) Modo de funcionamiento dúplex.
- b) Modulación por codificación de pulsos (PCM) en sentido descendente a una velocidad de 8000 símbolos/s.
- c) Velocidades de transmisión de datos en sentido descendente de 28 000 bit/s a 56 000 bit/s en incrementos de 8000/6 bit/s.
- d) Modulación V.34 en sentido ascendente.
- e) Velocidades de transmisión de datos en sentido ascendente de 4800 bit/s a 28 800 bit/s en incrementos de 2400 bit/s con opción a velocidades de 31 200 bit/s y 33 600 bit/s.
- f) Transmisión de datos en modo síncrono.
- g) Negociación de funcionamiento V.34 si una conexión no va a sustentar el funcionamiento V.90.

4.14.1 Características de modulación.

Módem digital.

Velocidades de señalización de datos.

Se sustentan velocidades de señalización de datos síncrono de 28 000 bit/s a 56 000 bit/s en incrementos de 8000/6 bit/s.

Velocidad de símbolos.

La velocidad de símbolos en sentido descendente es de 8000 símbolos, establecida desde la interfaz de la red digital. El módem digital sustenta las velocidades de símbolos en sentido ascendente de 3000 y 3200 símbolos, además de la velocidad opcional de 3429 símbolos definidas en la recomendación V.34.

La red digital tiene la capacidad de generar 255 diferentes valores de cuantización, lo que le permite mandar ocho valores de bits a la línea con un voltaje específico por 0.125 segundos durante cada muestra. Como la tasa de muestreo de la red es de 8000 muestras por segundo, los niveles de voltaje de los ocho valores de bits se generan 8000 veces cada segundo. Esto nos produce una tasa de transferencia de 64000 bps, pero aunque la central telefónica trabaja a 64000 bps, debido al ruido, a la longitud del enlace y otros deterioros en la red, la velocidad se reduce a 56000 bps. Para esta velocidad no es necesario ocupar todos los niveles de cuantización, ocupando la siguiente fórmula:

$$M = 2^{\text{velocidad en bps} / \text{velocidad de muestreo}}$$

$$M = 2^{56000 / 8000}$$

$$M = 2^7$$

$$M = 128$$

Se puede ver que solo se usan 128 de los 255 niveles de cuantización y siete valores de bit para poder transmitir 56000bps. Cuando no se pueden obtener 56000 bps, se utilizan un número menor de niveles de cuantización, por ejemplo, a 48000bps solo se requieren 64 niveles de cuantización (2^6). Las tasas de datos que no pueden ser obtenidas con potencias enteras del 2 se obtienen con una técnica llamada tasas de bits

fraccional. Usando esta técnica, se puede implementar cualquier tasa de datos de acuerdo a las condiciones de la línea.

Módem analógico.

Velocidades de señalización de datos.

El módem sustenta las velocidades de señalización de datos síncronos de 4800 bit/s a 28 800 bit/s en incrementos de 2400 bit/s, con opción a velocidades de 31200 bit/s y 33 600 bit/s.

Velocidades de símbolos.

El módem analógico sustenta la velocidad de 3200 y 3000 símbolos, además de la velocidad opcional de 3429 símbolos definidas en la recomendación V.34, pero no puede sustentar las otras velocidades de símbolos de la recomendación V 34 que son 2400, 2743 y 2800 símbolos.

Frecuencias portadoras

El módem analógico sustenta las frecuencias portadoras especificadas en la tabla 4.10 para la velocidad de símbolos apropiada.

Cuando el módem se despliegue al modo V.34, el módem analógico tiene las características definidas en la recomendación V.34.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Conclusiones.

La comunicación a grandes distancias ha sido de vital importancia desde nuestros antepasados y a través de los años se desarrollaron diversos métodos y sistemas para lograr esta comunicación. Al invento del teléfono, se contó por primera vez con un medio de comunicación en donde la comunicación era clara e instantánea.

La infraestructura telefónica paso a paso se convirtió en la infraestructura más utilizada en todo el mundo, que ha destacado y progresado como el elemento de comunicación entre y para todos los grupos sociales. Es un elemento prioritario en el terreno de integración nacional; factor de desarrollo, el origen de múltiples actividades económicas e impulso consecuente de la productividad, y es sin lugar a dudas la infraestructura determinante en la expansión de otros servicios telecomunicativos.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías, la red telefónica fue de gran uso ya que contaba con una gran extensión y múltiples usuarios con lo cual ya no era necesario construir nueva infraestructura, pero para esto estas tecnologías tuvieron que adaptarse a las características propias de la red telefónica para lograr una efectiva transmisión.

Empleando un método que ya existía, el de la modulación, se desarrollaron nuevas técnicas de modulación que abrían el uso de la infraestructura telefónica a estas nuevas tecnologías, ofreciendo una nueva gama de servicios y formas de comunicación. Estas técnicas se volvieron más complejas con la finalidad de mejorar la calidad y la velocidad de la transmisión para dar un mejor servicio a los usuarios.

Las técnicas de modulación dieron a paso a los dispositivos moduladores y demoduladores llamados módems. Con la globalización que existe en estos tiempos, se ha tratado de lograr un cierta estandarización a nivel mundial a través de un conjunto coherente y común de normas para todos los dispositivos y aspectos relacionados con las comunicaciones. Los beneficios que esto trae tienen dos aspectos, la adopción de normas internacionales por parte de los fabricantes, eliminando las barreras al comercio internacional de equipamiento eléctrico y electrónico, y la utilización de las normas por parte del usuario, asegurando que éstos tengan una base común y válida para examinar y comparar productos que compiten entre sí y no tener ningún problema en las conexiones aunque los dispositivos sean de diferente fabricante.

La conclusión más importante en la realización de este trabajo, es que esta información que es una parte de todo este complejo estudio de las comunicaciones que son realizadas sobre la red telefónica, son ideas que se llevaron a la práctica y que se implementaron físicamente para poder lograr la comunicación de datos. Son el nacimiento y la parte central de todo este proceso tan común en nuestros días y que a pesar de eso no se le da la relevancia debida.

Gracias a este proceso se han logrado increíbles avances que recaen en todos los ámbitos como son:

- Romper las barreras de las distancias en la comunicación mundial, es posible acceder, compartir e intercambiar grandes cantidades de información en cualquier parte del mundo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Podemos conocer y hablar con gente de otros lugares, conociendo otros tipos de culturas, formas de pensar e idiomas.
- Tenemos abiertas las puertas a una inimaginable cantidad de conocimiento nunca antes visto para todo aquel que lo quiera.
- Contamos con nuevos y mejores servicios y a un menor costo.

Todo esto con el sólo hecho de contar con una computadora, un teléfono y un módem que en su parte medular para lograr su funcionamiento están las técnicas de modulación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Referencias

1. Centro de transferencia tecnológica en informática y comunicaciones
Enciclopedia de informática y computación
Teleinformática
Cultural, S.A., 1999
2. Enrique Cárdenas de la Peña
Historia de las Comunicaciones y los transportes en México.
El Telégrafo
SCT, México, 1987
3. Bernhard E. Keiser and Eugene Strange
Digital Telephony and Network Integration
Van Nontrand Reinhold, 1985
4. Enrique Cárdenas de la Peña
Historia de las Comunicaciones y los transportes en México
El Teléfono
SCT, México, 1987
5. Harb Mahmoud
Modern Telephony
Prentice Hall, 1989
6. Wayne Tomasi
Sistemas de comunicaciones electrónicas
Pearson Educación, 2ª Edición, 1995
7. Enrique G. León López
Heinrich Rudolf Hertz
Limusa, 1988
8. Eduardo Alcalde, Jesús García Tomás
Introducción a la teleinformática
Mc Graw Hill, 1993
9. Sherry Kinkoph
Módems y servicios en línea fácil
Prentice Hall, 1995
10. Mischa Schawartz
Transmisión de información, modulación y ruido
Mc Graw Hill, 3ª Edición, 1988
11. John C. Dvorak, Nick Anis
Telecomunicaciones para PC
Modems, software, BBS, correo electrónico e interconexión, Mc Graw Hill, 1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

12. Stremler
Comunicaciones electrónicas
Pearson Educación, 2ª Edición,
13. IX asamblea plenaria de la ITU, Fascículo VIII.I
Comunicación de datos por la red telefónica
Recomendaciones de la serie V
Meoulbourne, 14-25 noviembre, 1988
14. www.itu.org

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN