

98  
2ej.



**“ TELEFONIA DIGITAL Y REDES DIGITALES DE  
SERVICIOS INTEGRADOS ( RDSI ).  
PRINCIPIOS DE TELEFONIA DIGITAL. ”**

**TRABAJO DE SEMINARIO**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

**OLIVERIO REYES HERNANDEZ**

ASESOR . ING. JOSE LUIS RIVERA LOPEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO.

1998

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

10391



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNAM  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
PRESENTE.

AT'N: Q. MA. DEL CARMEN GARCIA MIJARES  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

" Telefonía Digital y Redes Digitales de Servicios  
Integrados ( RDSI ). Principios de Telefonía  
Digital ".

que presenta el pasante: Oliverio Reyes Hernández  
con número de cuenta: 8316134-4 para obtener el Título de:  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestra VISTO BUENO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 16 de abril de 1998

MODULO:	PROFESOR:	FIRMA:
<u>I</u>	<u>Ing. José Luis Rivera López</u>	<u>[Firma]</u>
<u>III</u>	<u>Ing. Blanca G. de la Peña Valencia</u>	<u>[Firma]</u>
<u>II</u>	<u>Ing. Vicente Magaña González</u>	<u>[Firma]</u>

## DEDICATORIA

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán - Campo IV -, por haberme permitido desarrollarme y formarme como ingeniero.

Valga este agradecimiento para todos aquellos maestros que fueron decisivos en mi carrera, Mundo Fernández, Carlos Arteaga, Gregorio Gayosso, Javier Gurrión, David Alejo, Joaquín Lavielle, Nicolás Calva, Antonio Herrera, José Luis Rivera, Ubaldo Ramírez, Francisco Ramírez, Francisco Rojas, los cuales con su apoyo y comprensión salí adelante.

Un agradecimiento especial para mi asesor, Ing. José Luis Rivera López, por su ayuda y presión para desarrollar y concluir la presente tesina.

Este trabajo esta dedicado a mis padres, Petronilo Reyes Longines y Eleazar Hernández Reyes, por su invaluable comprensión y apoyo en aquellos días tan difíciles que pasamos como familia.

A mis hermanos, Alberto, Esteban, Marisol e Ignacio, por que gracias a ustedes siempre me esforce para no defraudarlos y creo que lo logre.

A mis sobrinos Diego y Luis Alberto, que siempre los he apreciado y que apoyaré para que sigan desarrollándose.

A mi amigo, Ing. Antonio Trejo Lugo, por preocuparse por los alumnos irregulares y darles ánimos para seguir adelante.

Al Ing. David Alejo Torres por la oportunidad y el apoyo fuera de la FES-C ; al CUCI por todo lo que me ha enseñado y a todas aquellas personas que de alguna forma han colaborado para ello, a todos MIL GRACIAS, ya que sin su colaboración esto no hubiese sido posible.

A ti que siempre me has ayudado en los momentos difíciles, gracias.

## PREFACIO

La presente tesina da una breve descripción de los principios básicos de la Telefonía Digital.

El contenido de ésta se reparte en dos secciones : la primera de ellas involucra una pequeña historia de lo que ha sido el desarrollo de la Telefonía en México, desde sus orígenes. Posteriormente se realiza una comparación de una señal analógica y una digital, llegándose a establecer la conveniencia de la transmisión digital. Continuando se establecen los conceptos fundamentales para el tratamiento de una señal( la voz humana).

El complemento, establecida como Telefonía Digital, abarca los términos propios de la Telefonía Digital como la TDM (Multiplexación por División de Tiempo), la estructura de las tramas de transmisión (32 y 24 canales), la sincronización de bits, de la trama y de la red.

Finalmente, hace referencia a las diferentes portadoras de la información digital, como son : el cable multipar, el cable coaxial y la fibra óptica.

# ÍNDICE

	Pág.
Prefacio	i
<b>I Introducción a la Telefonía Digital</b>	<b>1</b>
I.1 Historia de la Telefonía	2
I.2 Concepto de la Transmisión	10
I.3 Señal Analógica y Digital	10
I.4 ¿Por qué la Transmisión Digital ?	12
I.5 Modulación	14
I.5.1 Muestreo	14
I.5.2 Cuantización	18
I.5.3 Codificación	22
I.6 Codificación de bits	23
I.6.1 No Retorno a Cero (NRZ)	25
I.6.2 Inversión de Marcas Alternadas (AMI)	25
I.6.3 Alta Densidad Bipolar Exceso 3 (HDB3)	25
<b>II Telefonía Digital</b>	<b>28</b>
II.1 Multiplexación por División de Tiempo	29
II.1.1 ¿Por qué la multiplexación?	29
II.1.2 Multiplexación por División de Tiempo	29
II.1.3 Estructura de la Trama de 32 canales	31

INDICE

II.1.4 Estructura de la Trama de 24 canales	32
II.1.5 Sistemas PCM de alto orden	34
II.2 Sincronización	37
II.2.1 Sincronización de bits	37
II.2.2 Sincronización de la trama	37
II.2.3 Sincronización de la red	39
II.3 Portadoras de la señal digital	43
II.3.1 Cable multipar	43
II.3.2 Cable coaxial	43
II.3.3 Fibra óptica	43
Glosario	48
Conclusiones	49
Bibliografía	50

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION A LA TELEFONIA DIGITAL**

## I.1 LA HISTORIA DE LA TELEFONIA

### Los orígenes de la telefonía.

Con el descubrimiento de la electricidad, y su inherente aplicación a las máquinas , trajo consigo un nuevo y gran avance con repercusiones inmediatas en los ámbitos científico y tecnológico.

Las comunicaciones debían ser acordes a ese nuevo universo socioeconómico en constante evolución.

El primer avance de esta necesidad fue la invención del telégrafo eléctrico, el cual se desarrollo entre 1830 y 1844, lo cual hizo posible que la transmisión de mensajes adquiriera una rapidez sorprendente para esa época, con ello se desplazó en gran medida el servicio postal.

El gran auge productivo, y por ende la acumulación de la riqueza, agilizó las transacciones comerciales y las operaciones financieras. Ellas empezaron a exigir comunicaciones más rápidas y eficientes. Aunque se logro un gran avance con el telégrafo, se requería la necesidad de un contacto más personal, mucho más directo.

A partir de 1680, y de manera sucesiva, algunos científicos como Robert Hooke, Joseph Henry, Michael Faraday, Charles Buersel y Antonio Meucci, sólo por mencionar algunos, realizaron investigaciones en esta área contribuyendo con importantes avances teóricos en el estudio de la reproducción eléctrica de la palabra hablada, pero sin llegar a resultados finales.

El alemán Philipp Reis, inventó un aparato al que denominó teléfono, del griego 'hablar a lo lejos', con el cual pudo transmitir sonidos durante breves periodos de tiempo.

Alexander Graham Bell y Elisha Gray , casi simultáneamente, dieron a conocer su invención (el teléfono), lo cual provocó por algún tiempo la disputa de la paternidad, la cual fue atribuida a Bell por decisión judicial.

Alexander Graham Bell inició sus investigaciones en el año de 1871, y cuatro años más tarde fabricó su primer aparato, por cierto muy elemental. Tuvo que asociarse con Thomas Sanders y Gardiner G. Hubbard, quienes le brindaron su apoyo económico, y logró , el 6 de marzo de 1875, su primer patente con el título de " Mejoramiento de transmisiones y receptores para telégrafos eléctricos". Para el 14 de febrero de 1876, registro la segunda bajo el nombre de " Mejoras a la telegrafía ". Sus incesantes investigaciones, por perfeccionar la transmisión de la voz, culminan el 10 de marzo de 1876 cuando se le ocurre aumentar la densidad de la pila eléctrica con la cual opera, lo que provoca una notable mejoría de la transmisión. Dicho logro queda patentado el 8 de abril de 1876.

El 12 de febrero del año siguiente Bell llevó a cabo la primera comunicación de larga distancia, al charlar telefónicamente desde Boston, a través de una línea telegráfica, con un periodista en Salem , a 25 km de allí.

En 1878 se inició la comercialización cuando George W. Coy construyó en New Haven la primera central telefónica, con una veintena de clientes. Así surgió la Bell Telephone System Co., que posteriormente se convirtió en la National Bell Telephone Company. Poco después se integro a la compañía Francis Blake, quien inventó

un nuevo tipo de transmisor que permitía una comunicación mucho más clara.

En Europa el impacto fue inmediato; en Suecia H.T. Cedergren fundó la Compañía Telefónica General de Estocolmo. En Gran Bretaña se instaló inicialmente una central telefónica, y luego el servicio paso a ser monopolio gubernamental, al igual que en Francia y Alemania.

A partir de la difusión del teléfono se sucedieron (y se siguen dando) los avances técnicos. El teléfono ha cambiado radicalmente los servicios, el comercio, la defensa, y seguridad de las naciones y por fin se vio cumplido el sueño de rebasar con la voz las distancias.

### **Las primeras líneas telefónicas en México.**

En razón de las concesiones que el gobierno otorgó a compañías extranjeras, la década de entre 1877 y 1887 registró un significativo desarrollo de las comunicaciones, a tal grado que se construyeron en promedio 700 km de vías férreas por año, la red telegráfica creció de 9000 a 40000 km y se inauguró la Compañía Transatlántica Mexicana.

En este contexto, el 13 de marzo de 1878 se efectúa el primer enlace telefónico entre la ciudad de México y la población de Tlalpan, a una distancia de 16 km. Nueve meses después se estableció oficialmente el servicio telefónico al otorgársele un permiso a Alfred Westrup & Co. para que instalara una red que uniera las comisarías de policía (eran seis), con la Inspección General, la oficina del gobernador de la ciudad y el Ministerio de Gobernación.

En 1881 el señor Greenwood, obtuvo del general Díaz (Secretario de

Fomento) la concesión para instalar una red telefónica en la ciudad de México.

Posteriormente se presentaron conflictos derivados de los intereses para ofrecer el servicio telefónico, a raíz de esto las partes involucradas decidieron asociarse con la Compañía Telefónica Mexicana (Mextelco), la cual se sustentaba técnica y financieramente en la Western Electric Telephone Company. El 18 de julio de 1882 se firmó el contrato constitutivo de la nueva empresa, en la cual figuraban como socios George Lea Sanders, Thomas A. Watson, M.L. Greenwood y Emilio Berlines.

Desde finales de ese año se hacían esfuerzos por lograr la comunicación telefónica más allá de nuestras fronteras. Al año siguiente la telefonía logró trascender al realizar la primera conferencia telefónica internacional entre la ciudad de Matamoros y la Ciudad de Brownsville, Texas.

A partir de 1883 se inician las construcciones de vías subterráneas y de ductos para los conductores telefónicos, así como de la instalación de mayor cantidad de postes por parte de la C.T.M. A esta misma compañía, la Secretaria de Comunicaciones y Obras Públicas, le otorga la concesión para instalar el servicio telefónico en las ciudades de México, Puebla, Oaxaca, Guadalajara y Veracruz.

Para 1888 la cantidad de abonados ascendió a 800, lo que obligó a la compañía a editar el primer directorio telefónico.

Debido a la interperie los alambres sufrían continuos desperfectos que provocaban mala calidad de las transmisiones; la llegada de los conductores aislados (1894) permitió corregir esas anomalías e iniciar un negocio productivo: la sustitución de alambre por cable. Desde

entonces las mejoras técnicas, tanto en el aparato telefónico como en la infraestructura que permite la prestación del servicio, fueron constantes. Comenzó a usarse el circuito metálico de dos hilos conductores y al año siguiente se introdujo el conmutador múltiple completo o metálico, con capacidad hasta de dos mil líneas, mil de ellas para uso inmediato.

Con el deseo de atraer clientela, la Compañía Telefónica Mexicana, editó ese mismo año, en su directorio, la primera **'sección clasificada'**, y contrató operadoras que dominarán el inglés, para atender mejor a sus abonados extranjeros.

En el año de 1895 se caracterizó por los sismos y los continuos conflictos que afectaron el servicio telefónico, éstos también se debieron al progreso de los tranvías ciudadanos, los cuales eran un gran problema, ya que las corrientes de fuga de los rieles producían corrosiones electrolíticas que afectaban el cableado subterráneo y llegaron a producirse cortocircuitos entre los conductores telefónicos no aislados y los cables de los tranvías.

En 1899 comenzaron a utilizarse los teléfonos de escritorio, tipo candelero, con una cuota de \$2.50 mensual por servicio extra.

En 1903 marcó un nuevo hito en la historia de la telefonía en México, ya que la Secretaria de Comunicaciones y Obras Públicas otorgó una concesión por 30 años al señor José Sitzenstatter para la explotación del servicio telefónico en la capital y alrededores. Posteriormente el empresario se relacionó con la L.M. Ericsson de Estocolmo e invitó a la compañía a comprar la concesión. Alexander Bostrom, presidente de Ericsson, consideró ventajoso tener una compañía filial en México, pues sería el vehículo de entrada al

mercado latinoamericano. Se realizó el traspaso el 19 de abril de 1905.

El 18 de febrero de 1905 la Compañía Telefónica Mexicana aumentó su capital y modificó su razón social para llamarse Compañía Telefónica y Telegráfica Mexicana S.A.

La empresa de teléfonos Ericsson, inauguró sus servicio el 1 de octubre de 1907 con 300 suscriptores, y para fines de ese año contaba ya con 650.

En 1911, a punto de caer el régimen dictatorial de Díaz, la empresa Ericsson construye las líneas que van de Tlalnepantla a Cuautitlán, con lo que se inicia el servicio interurbano ; se importan postes, de Alemania, de acero de 20 a 24 metros para ser instalados en la colonia Roma y Juárez.

Las compañías telefónicas frenaron su ritmo de crecimiento, no sólo por los sucesos revolucionarios, sino también por (la causa principal) el inicio de la primera guerra mundial. En 1914 los materiales telefónicos escaseaban ya que la materia prima que se utilizaba, ahora se destino a la producción de armamento.

Después de la primera guerra mundial se reanudaron las investigaciones científicas y tecnológicas, esto contribuyó a que la compañía Ericsson, que ya tenía 32 concesiones cubriendo 993 kilómetros, adquiriera dos estaciones portátiles inalámbricas marca Telefunken, que permitían la comunicación a 200 km. Resolvió entonces introducir a México el sistema telefónico automático, el cual iría sustituyendo gradualmente a las operadoras. El sistema requerido para conectar a dos suscriptores de la red urbana se efectúa por dispositivos electromagnéticos y mecánicos, este sistema es capaz de retener en un registro cualquier número que se marcarse con el

disco del aparato. La información contenida en los números telefónicos se traducía en impulsos eléctricos que pasaban a los selectores, los cuales hacían los enlaces de la intercomunicación.

En 1924 la Compañía Ericsson inauguró la primera central telefónica automática, conocida como la central Roma con capacidad para conectar diez mil líneas (funcionó dos años después).

Con la adquisición de la Compañía Telefónica y Telegráfica Mexicana S.A., por parte de la ITT, la empresa tomo un nuevo impulso que le permitió competir en un mismo nivel con Ericsson. Las redes telefónicas crecieron de tal manera por el aumento del número de suscriptores, que hubo que encontrar la forma de distinguir los teléfonos de cada compañía. Se decidió que Ericsson utilizara exclusivamente dígitos, mientras que la otra utilizaría dígitos y letras. Ambas compañías tenían capacidad del 10000 al 99999.

El 10 de marzo de 1925 el recién designado secretario de Comunicaciones y Obras Públicas , Ing. Eduardo Ortiz, con la representación del gobierno federal, celebró el convenio para tender el cableado telefónico entre México y E.U. Ese mismo año la Compañía Telefónica y Telegráfica Mexicana S.A., obtuvo la concesión para explotar el servicio de larga distancia.

Por lo que respecta al servicio nacional, en poco tiempo se interconectó a la capital con las ciudades de San Luis Potosí, Puebla, Tampico, Saltillo y Monterrey. El 29 de septiembre de 1927 la Compañía Telefónica y Telegráfica Mexicana S.A., enlazó la primera conferencia telefónica entre un presidente mexicano, el general Plutarco Elias Calles, y un norteamericano, Calvin Coolidge. La histórica llamada se realizó a las 16 :30 horas, tiempo de México,

durante una ceremonia en el Palacio Nacional. El 29 de noviembre se inauguró la línea telefónica entre México y Canadá.

El 1 de julio de 1928 tuvieron éxito los esfuerzos por lograr una comunicación telefónica con Europa, a una distancia de más de diez mil km. El sistema consistía en una combinación de líneas telefónicas de tierra y circuitos radiotelefónicos a través del Atlántico.

En el servicio telefónico transoceánico quedarían incluidas las siguientes ciudades mexicanas : Distrito Federal, Querétaro, San Luis Potosí, Saltillo, Monterrey, Tampico y Nuevo Laredo, localidades que se podrían comunicar, en Europa, con Inglaterra, Escocia, Gales, Alemania, Holanda, Bélgica, Francia, Suecia, Dinamarca y España.

En un diario de la época señala que, por el momento, este servicio de larga distancia se limitaría de las 6 :30 a.m. a las 10 :00 p.m., hora de México, y que, en periodos de congestión, las conversaciones tendrían un máximo de 12 minutos de tiempo efectivo. De los 60 mil aparatos telefónicos instalados, 30 mil se conectaron al servicio internacional.

En la ciudad de México se encontraban funcionando las siguientes centrales automáticas, en su mayoría de la compañía Ericsson : Chapultepec, Roma, Valle, Coyoacán, Mixcoac, Madrid, Peralvillo, Portales, San Angel, Condesa, Santa María, Tacubaya y Victoria.

En esta etapa se acelera la competencia entre la L.M. Ericsson y la ITT, y se sientan las bases del posterior incremento de sus conflictos.

En junio de 1936 el presidente Cárdenas, a través de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, comunicó a ambas compañías que deberían enlazar sus líneas y combinar sus servicios, sustentando su orden en razones de interés público.

## I.2 Transmisión

Es la transportación de la información de una manera eficiente y segura desde el origen hasta el destino a través de una trayectoria física.

## I.3 Señal analógica y señal digital

*Señal analógica.*- Es aquella que se caracteriza por tener su amplitud un número infinito de valores. Fig.1.

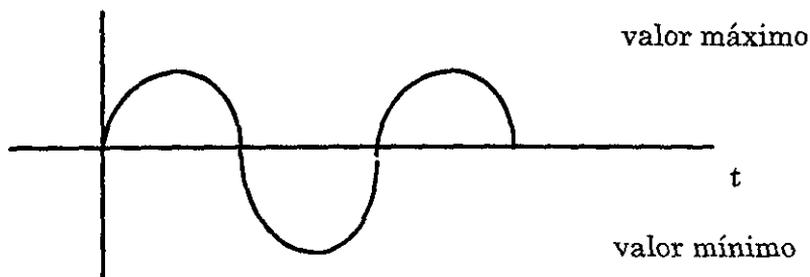


Fig.1 Señal Analógica

*Señal digital.*- Tiene un número limitado de valores. Fig. 2.

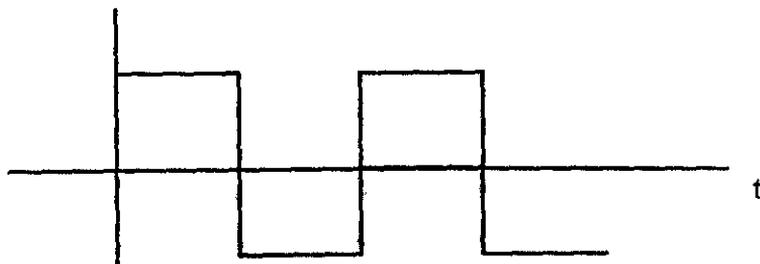


Fig.2 Señal Digital

El objetivo de un sistema de comunicación digital no es reproducir con precisión la forma de onda que fue transmitida, sino determinar a partir de una señal afectada hasta cierto grado por ruido, cuál ha sido la forma de onda enviada por el transmisor.

Las señales digitales han sido utilizadas frecuentemente desde 1844. Samuel Morse invento un código especial para transmitir información, en base a SEÑAL y NO SEÑAL. Su duración y frecuencia de ciertos valores contenía la información.

De forma similar (telegrafía) en telefonía se usan señales digitales desde los inicios de la telefonía automática (inicios del siglo 20).

Gran parte de los principios de operación y terminología del telégrafo han dotado y han servido de base en los sistemas digitales modernos.

Se utiliza el código binario (0,1) utilizado en las computadoras para transmitir la información; la presencia o ausencia de luz en una fibra óptica.

Las señales digitales se representan por dígitos binarios. En general un dígito binario se conoce como ``bit``.

La posición de cada dígito representa el peso de dicho dígito con respecto a la base numérica.

Los componentes digitales son de menor costo que los analógicos y tienen las siguientes características :

- Facilidad de regeneración de la señal
- Mayor confiabilidad

- Más alto desempeño
- Simplicidad para combinar señales
- Facilidad para implementar varias aplicaciones
- Gran flexibilidad

### **Transferencia analógica**

La transmisión de información por señales analógica es afectada por la atenuación, la capacitancia, la inductancia y la longitud de la línea de transmisión, además de los ruidos e interferencias.

En cambio los circuitos digitales operan utilizando solamente dos rangos de voltaje determinados, dicho pulso es fácilmente regenerado siempre y cuando no haya caído por debajo de cierto umbral de decisión (a los amplificadores que realizan esta tarea se les conoce como REGENERADORES). Una perturbación debe ser demasiado grande como para cruzar los umbrales de decisión de nivel.

El ruido y otras perturbaciones son mucho menos acumulativas en una cadena de transmisión digital que en una analógica. En una señal analógica las distorsiones no pueden ser removidas mediante simple amplificación.

### **1.4 ¿Por qué la transmisión digital?**

Debido al desarrollo de la tecnología digital, la aplicación a la transmisión de información ha llegado a ser casi indispensable.

Al observar la figura 3, se justifica el uso de la Transmisión Digital.

Debido al uso de dos estados, y su finito número de niveles, se puede

fácilmente regenerar la señal original sin pérdidas de información u otros inconvenientes (cruce de voz- diafonía- , distorsión, atenuación, etc. que son característicos de la transmisión analógica). La transmisión digital es casi independiente de la longitud de la línea de transmisión.

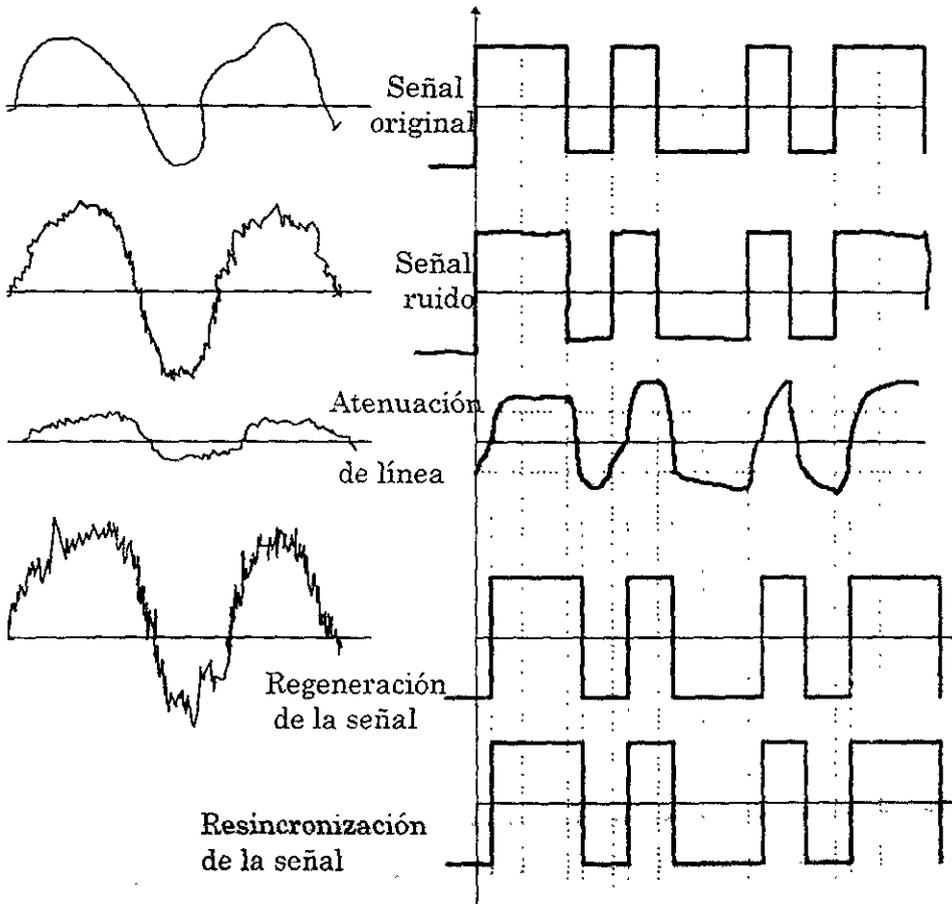


Fig.3 Ventajas de las transmisiones digitales sobre las analógicas

## **I.5 Modulación**

Es el proceso mediante el cuál los símbolos digitales son convertidos en formas de onda compatibles con el canal de transmisión. En este tipo de comunicación digital, la modulación es de tipo banda base.

### **I.5.1 Muestreo de una señal.**

El proceso de muestreo consiste en tomar y analizar el valor que tiene una señal (muestra) a intervalos de tiempo regulares (velocidad de muestreo).

La señal resultante de este proceso se le conoce como señal PAM (Pulse Amplitude Modulation) o modulada por amplitud de pulso, ya que como puede apreciarse en la figura 4, consiste en una secuencia de pulsos cuya amplitud es aquella de la señal de entrada durante el lapso de muestreo.

Una virtud muy importante de este proceso es que la señal analógica puede ser reconstruida a su forma original utilizando un simple filtro pasa bajas cuya frecuencia de corte sea la adecuada.

Una cuestión de gran importancia en el proceso de muestreo es determinar el grado de fidelidad con que la señal original puede ser reconstruida a partir del filtraje de la señal PAM. Para aclarar esto es necesario explicar brevemente el llamado teorema de muestreo o criterio de Nyquist :

Una señal de ancho de banda limitado que no tenga componentes espectrales arriba de  $f_m$  hertz, puede ser determinada o representada mediante muestras tomadas a intervalos de tiempo regulares a una

frecuencia  $f_s$  igual o mayor a dos veces  $f_m$ .

$$f_s \geq 2f_m$$

Esto significa que una señal analógica puede ser totalmente reconstruida a partir de un conjunto de muestras espaciadas uniformemente en el tiempo.

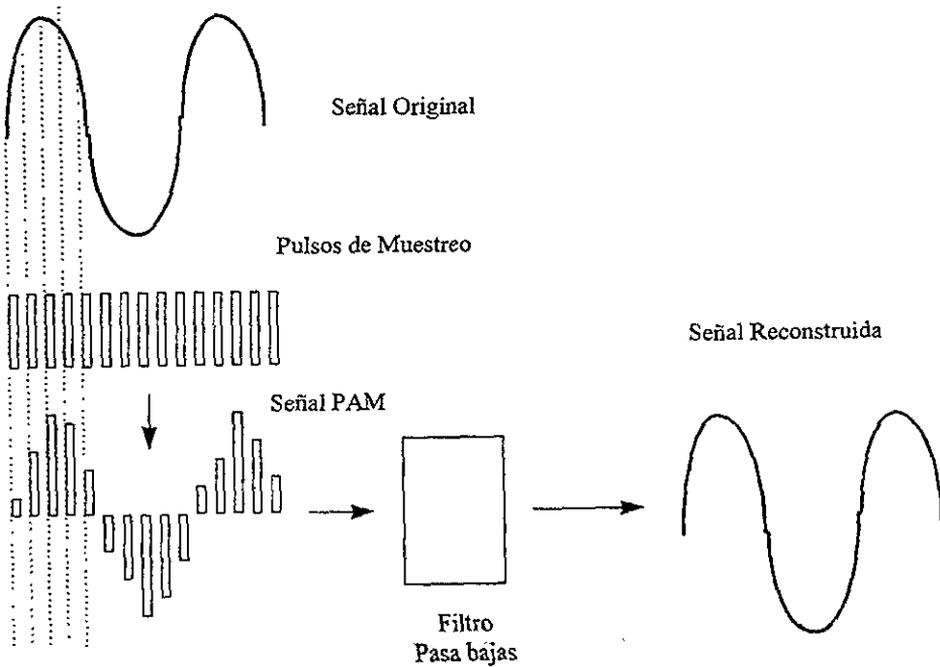


Fig.4 Muestreo y reconstrucción de una señal analógica

La ventaja de enviar información con pulsos cortos es que los tiempos entre dos pulsos sucesivos pueden ser usados para enviar información hacia otras señales por el mismo canal de transmisión.

Para obtener un cierto margen de seguridad, la frecuencia de muestreo para aplicaciones telefónicas ha sido estandarizada a  $f_s = 8 \text{ kHz}$ , ver fig. 5a y 5b, dando un intervalo de  $125 \mu\text{s}$  entre muestras sucesivas ; antes de muestrear se debe estar seguro de que la señal analógica no tiene componente de frecuencia mayor que  $4 \text{ kHz}$ . Esto puede ser realizado insertando un filtro pasa bajas antes de muestrear.

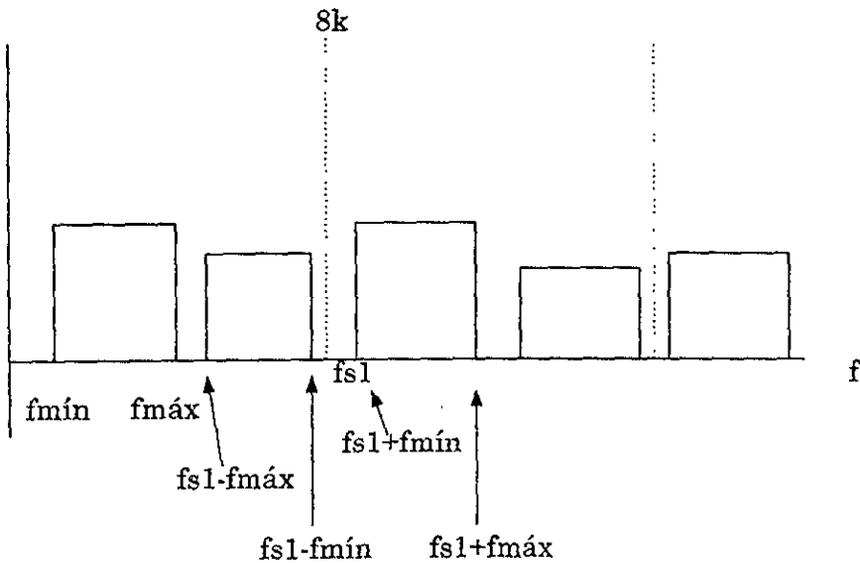


Fig.5a Banda de voz muestreada con frecuencia  $f_{s1}$   
No ocurre el traslape.

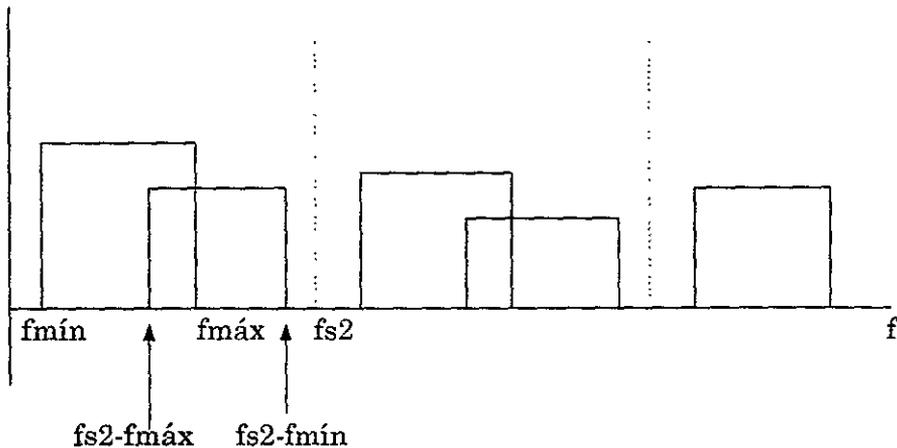


Fig. 5b. Banda de voz muestreada con una frecuencia menor que  $f_{s2}$ , aquí se produce el traslape

Para poder ser procesada por un sistema de comunicación digital, la señal analógica debe ser representada de ciertas maneras. La señal PAM que se ha venido analizando conserva aún las características propias de una señal analógica en el sentido que presenta un número infinito de posibles valores, de manera que es necesario someterla a algún proceso que limite el número de posibles valores. Este proceso generalmente se lleva a cabo mediante las siguientes secuencias :

- Muestreo y Retención (Sample and Hold)

Como su nombre lo indica, este proceso involucra la retención del valor muestreado de la señal analógica el cual es retenido hasta que se efectúa la siguiente muestra.

## I.5.2 Cuantización

- **Cuantización de pulsos**

Consiste en dividir el rango de amplitud de la señal en un número finito de valores discretos, y dependiendo de la amplitud de la señal analógica, asignar el valor discreto más cercano para cada muestra.

La cuantización de las señales trae como consecuencia que la forma de onda original no puede ser recobrada o reconstruida en forma totalmente exacta.

Para realizar la cuantización de una señal se tienen dos métodos :

a) Cuantización lineal o uniforme.

El rango total de valores de voltaje que pueden ser manejados es subdividido en un número de subrangos de voltaje iguales. Cada subrango corresponde a una combinación de código. Cierta cantidad de ruido es adicionado a la señal original. Este ruido tiene mucho más importancia en señales pequeñas que en señales con valores altos. Esto significa que la relación señal a ruido (SNR) es peor para señales pequeñas. Ver figura 6.

b) Cuantización no lineal o no uniforme.

Se realiza con la finalidad de obtener una SNR de un valor constante para cualquier nivel de la señal. Los niveles de cuantización tienen que ser seleccionados de un modo logarítmico. Vea figura 7.

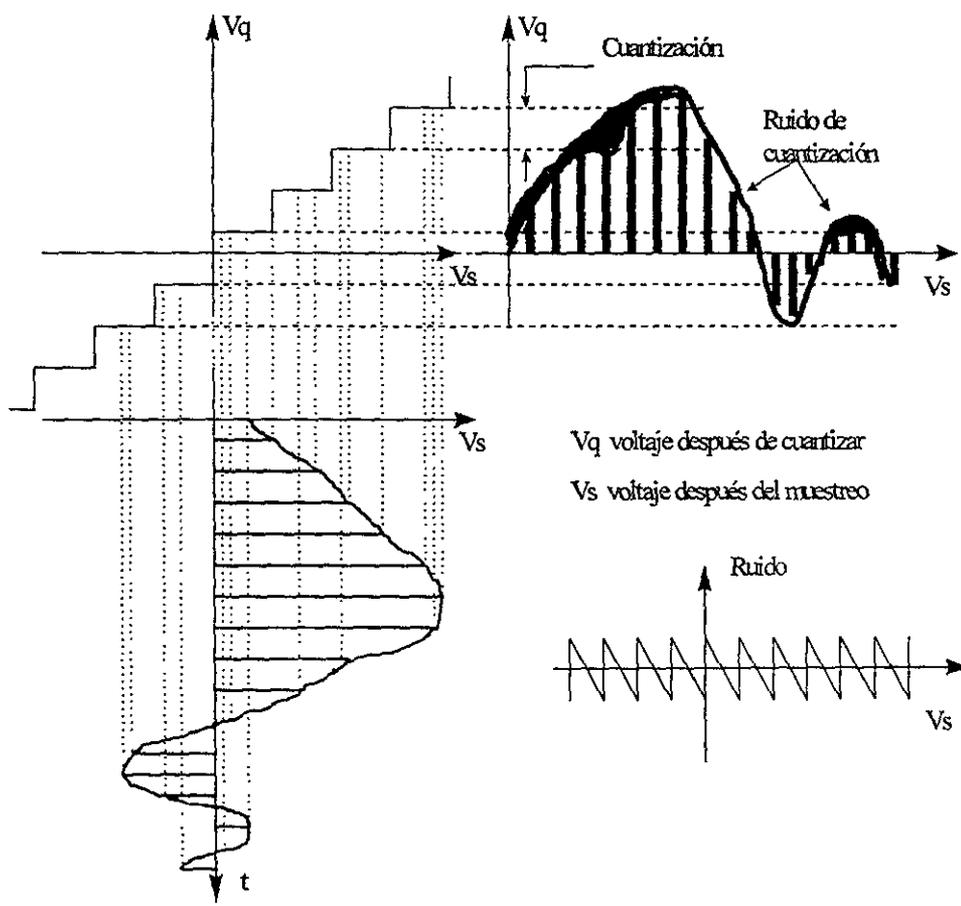


Fig.6 Cuantización lineal

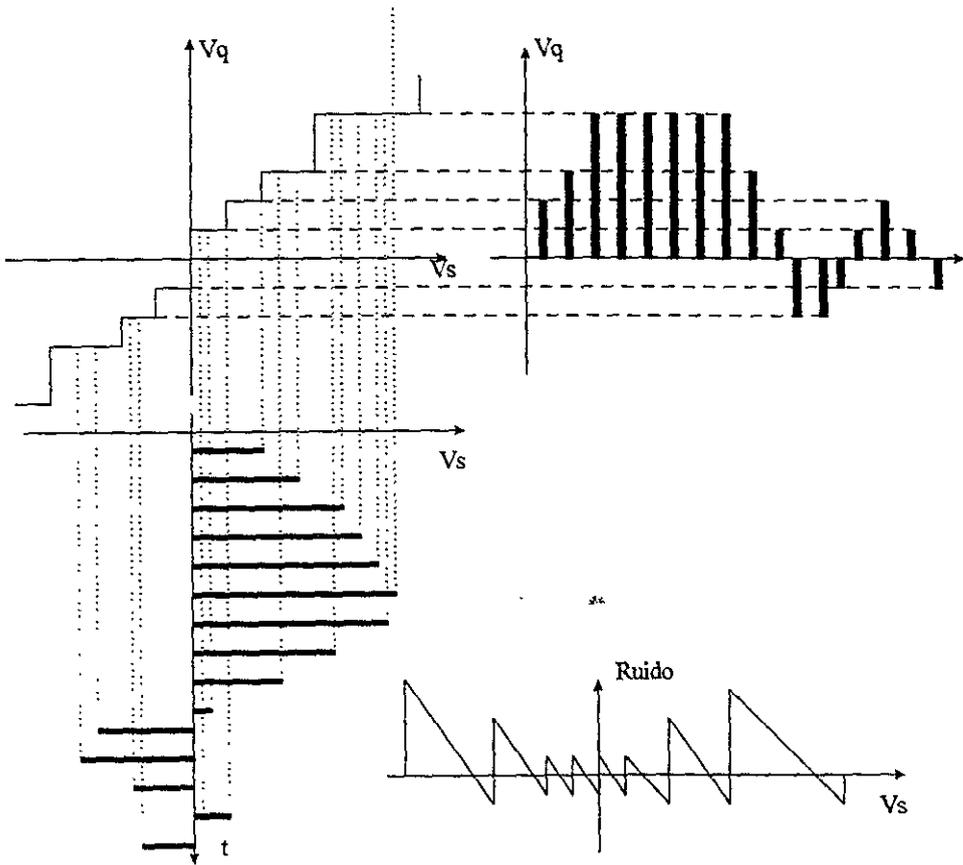


Fig. 7 Cuantización no lineal

Curvas prácticas de cuantización no uniforme.

1.- Curva de la ley "A", estandarizado por CEPT y CCITT, usada en Europa y México. Fig.8.

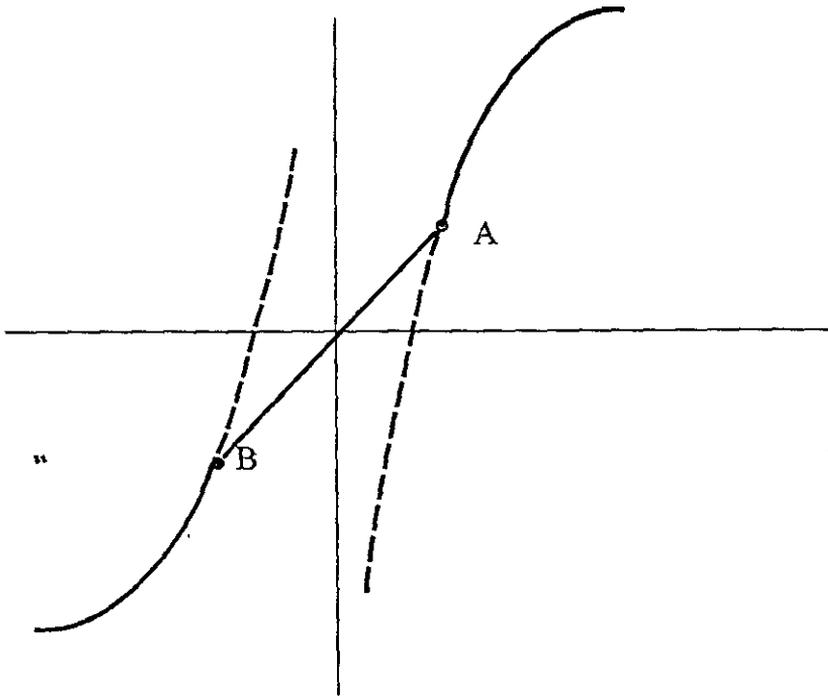


Fig. 8 Curva Logarítmica ley A

2.-Curva de la ley "μ", sistema estandarizado por el North American Bell y CCITT. Fig.9.

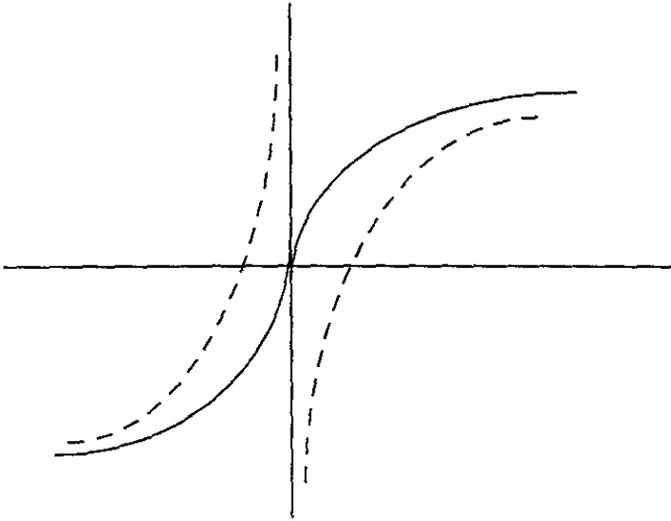


Fig.9 Curvã Logarítmica Ley  $\mu$

En la práctica, las curvas están aproximadas por partes lineales.

Este hecho es de vital importancia debido a que es precisamente la forma en como se comportan las señales producidas por la voz humana. De manera que para digitalizar las señales de voz por lo general se utiliza la cuantización no lineal.

### I.5.3 Codificación

En términos generales PCM es la técnica y el nombre con que se

conocen las señales de banda base obtenidas de la cuantización de señales PAM, codificando cada muestra cuantizada en una palabra digital de determinado número de bits en forma proporcional al número de intervalos de cuantización utilizados de acuerdo a la siguiente relación :

$$L = 2^n$$

L número de intervalos de cuantización

n número de bits usados para representar digitalmente las muestras PAM

El concepto de PCM es de gran importancia en las telecomunicaciones ya que es la base de la telefonía digital, en la cual se ha estandarizado el uso de una velocidad de muestreo de 8 khz y un tamaño de palabra PCM de 8 bits. La velocidad de transferencia de un canal PCM es entonces de 64 kbps.

.. En la figura 10 se muestra una inspección general de la modulación y demodulación de pulsos codificados.

## I.6 Codificación de bits

Para transmitir señales digitales, se desarrollaron códigos de transmisión. Los buenos códigos de transmisión deben tener las siguientes características :

- El promedio de componente de CD introducido en la línea debe ser de 0 volts, ya que esto incrementa en gran medida la distancia a ser cubierta por el sistema. Este problema es únicamente encontrado para transmisión a larga distancia.

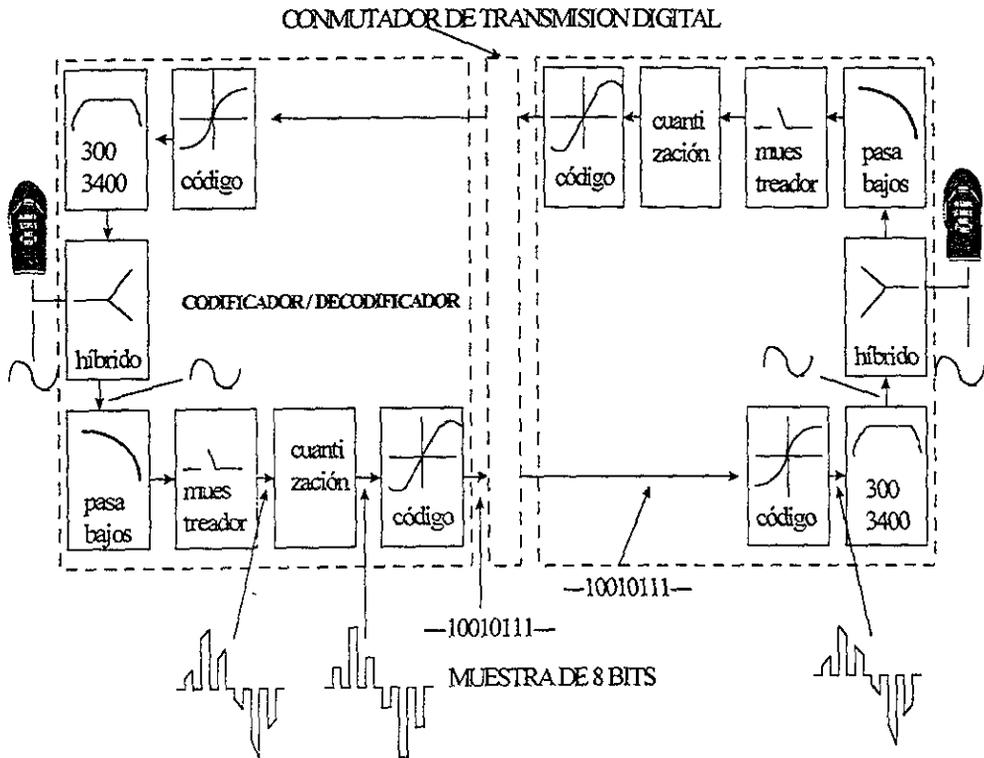


Fig.10 Modulación y demodulación de pulsos codificados

- El bit de reloj debe ser enviado hacia el receptor, usando un reloj distribuido por separado o teniendo transiciones frecuentes en la señal.

Para ello se tienen los siguientes códigos.

### **I.6.1 Código no retorno a cero (NRZ)**

En este código de transmisión un 1 puede ser una tensión positiva y un 0 por una tensión negativa, sin embargo tiene las siguientes desventajas :

- componente de CD largos
- el bit de reloj no esta presente en la cadena de datos

### **I.6.2 Código Inversión de Marcas Alternas (AMI)**

El propósito de este código es el de reducir el continuo nivel de CD en la línea a cero volts. En él un 0 será representado por cero volts y un 1 por un potencial alternado positivo o negativo. Al invertir la dirección de las marcas consecutivas, el promedio de componente de CD en la línea cae a 0 volts. Este código es conveniente para transmisión a largas distancias. Sin embargo éste no transmite el sistema de reloj.

### **I.6.3 Código Alta Densidad Bipolar Exceso 3 (HDB3)**

Este código inserta pulsos de violación cuando más de 3 ceros llegan sucesivamente. El transmisor inserta los pulsos, los

cuales pueden ser detectados por el receptor. El lado receptor eliminará estos pulsos de nuevo.

Los pulsos de violación son insertados dependiendo del número de pulsos que han pasado, y dependiendo del signo del último pulso (después de inserción). El número de pulsos puede ser par o impar. El signo del último pulso puede ser positivo o negativo. Ver tabla 1.

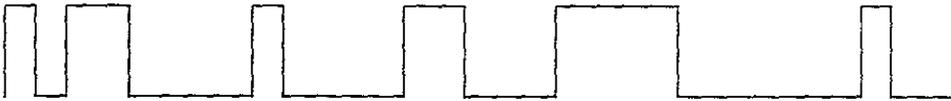
Tabla 1

		NUMERO DE PULSOS	
		IMPAR	PAR
ULTIMO PULSO	POSITIVO	--- P	N-- N
	NEGATIVO	--- N	P-- P

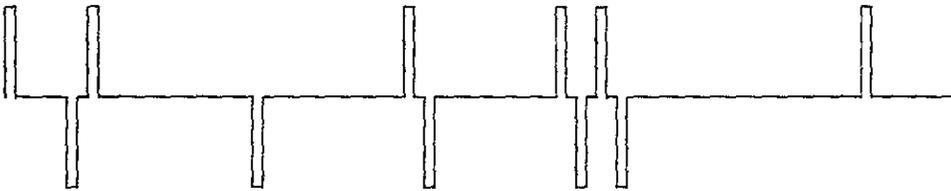
El código es de muy buena calidad, requiriendo algún circuito de HW extra responsable de insertar y retirar los pulsos de violación.

La figura 11 muestra los códigos ya mencionados e ilustra un ejemplo de éste último.

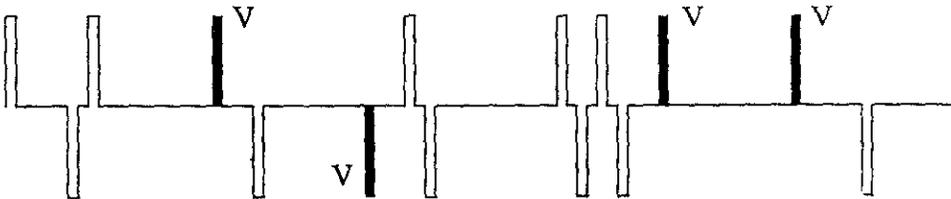
1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0



NO RETORNO A CERO (NRZ)



INVERSIÓN DE MARCAS ALTERNADAS (AMI)



ALTA DENSIDAD BIPOLAR EXCESO 3 (HDB3)

Fig.11 Códigos de transmisión

## II.1 Multiplexación por División de Tiempo

### II.1.1 ¿ Por qué la multiplexación?

Al combinar nuevas técnicas de multiplexación , la multiplexación por división de tiempo y el uso de transmisión digital, nació la telefonía digital, la cual resulto en un bajo costo de sistemas de transmisión (multiplexación) mientras que al mismo tiempo se tiene la habilidad para eliminar el ruido de transmisión.

### II.1.2 Multiplexación por división de tiempo (TDM).

En sistemas de transmisión de audio, la audiofrecuencia es transportada de un modo continuo a través de una portadora.

Un sistema TDM, es un sistema de transmisión en el cual un número de comunicaciones están multiplexadas en una portadora al asignar a cada comunicación un espacio específico de tiempo. En el espacio de tiempo asignado, se transmite el valor momentáneo (fotografía) de la señal. Para utilizar un sistema TDM, cada señal analógica debe prepararse convirtiendo la señal continua en muestras, según el teorema de Nyquist, generadas a intervalos regulares. Se usará un modulador para generar las muestras. En la figura 12 se muestra un ejemplo de señales multiplexadas.

En el lado de recepción de la portadora, la cadena de bits debe ser multiplexada.

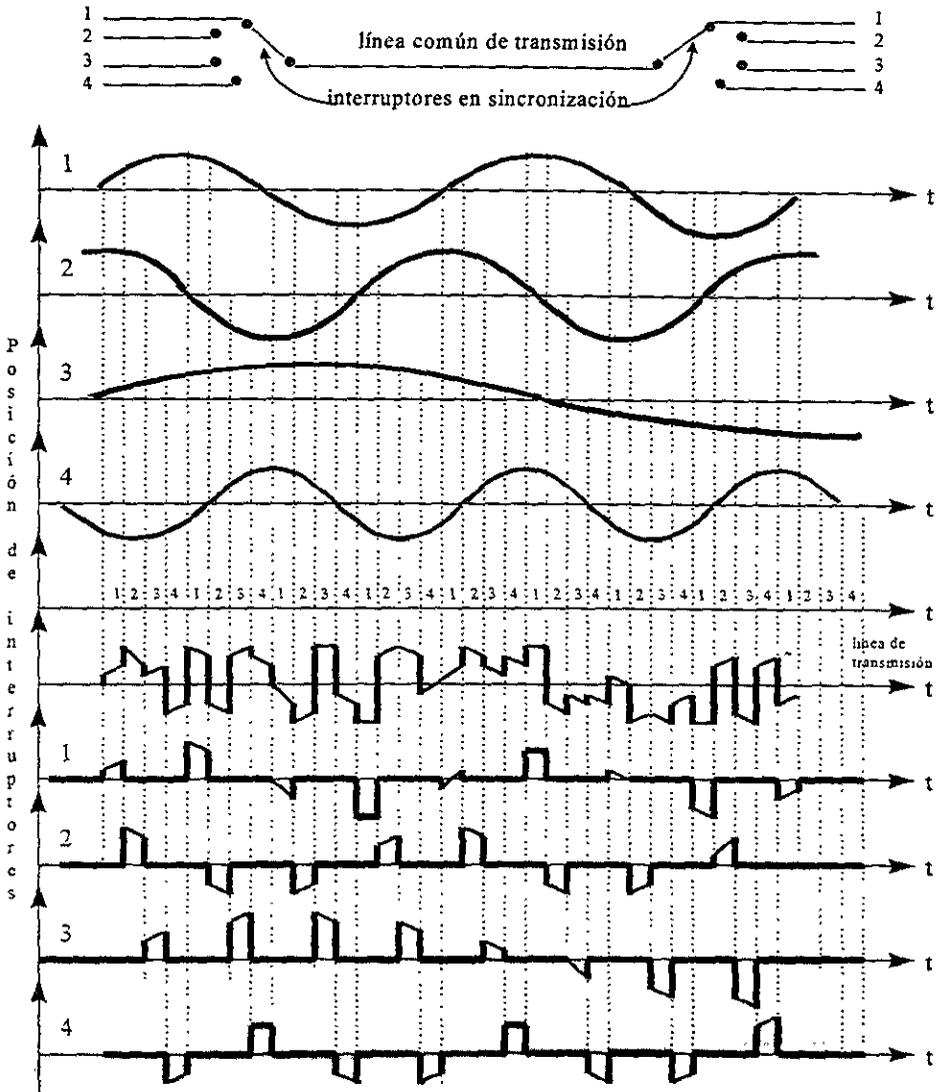


Fig. 12 Señales Multiplexadas en el tiempo.

El proceso para realizar la multiplexación es:

- Análisis del alineamiento : el canal 0 de la cadena de bits contiene un patrón específico de bits (sincronización de reloj en el lado receptor).
- Colocar las diferentes muestras de 8 bits en los canales de registro (buffers) individuales.
- Convertir las muestras de 8 bits en las señales analógicas originales.

Un demodulador será usado para generar estas señales analógicas.

### I.1.3 Estructura de la Trama de 32 Canales.

Usando un sistema TDM, un número de comunicaciones puede ser combinado en una portadora. Cada comunicación esta representada por una serie de muestras, cada una de las cuales se representa en la forma de un código digital. Se ha estandarizado, por la CCITT, un sistema TDM de 32 canales. Cada canal tiene 8 bits. Esta estructura se llama trama (frame) y tiene 256 bits. Una llamada es asignada a un canal en una trama semejante. Esto significa que se pueden enviar 8 bits en cada trama. Como una señal de abonado es muestreada cada 125  $\mu$ seg(  $f_s = 8000$  Hz) un abonado debe ser capaz de enviar 8 bits cada 125  $\mu$ seg y la duración de una canal es de :

$$125\mu\text{seg}/32 = 3.906 \mu\text{seg}.$$

La velocidad de transmisión (bit rate) de la cadena del PCM es de 256 bits en 125  $\mu$ seg lo cual corresponde a: 2.048 Mbits/seg.

En la estructura de la trama(fig. 13), la asignación de los canales es de la siguiente manera :

- canal 0 ; sincronización de la trama (alineación)
- canal 16; señalización
- canales 1-15 y 17-31: voz /datos

De un total de 32 canales, únicamente 30 pueden ser utilizados para señales de voz. Por ello algunas veces es llamada trama de 30 canales. Cada canal que es usado para canales de voz contiene 8 bits, de los cuales el primero es usado como bit de signo y los otros 7 son bits de magnitud codificada de acuerdo a la ley A.

#### I.1.4 Estructura de la trama de 24 canales.

La cadena consiste de tramas que contienen 193 bits, por donde 1 bit es utilizado para alineación y los 192 son usados por los 24 canales de 8 bits cada uno (fig. 14).

Una llamada puede ser asignada a un cierto número de canal . Así que cada abonado estará disponible para enviar 8 bits en cada trama, esto es cada 125  $\mu$ seg.

La razón o velocidad de transmisión (bit rate) de una trama de 193 bits, es : 1.544 Mbits/seg.

La duración de un bit es de  $125 \mu\text{seg}/193 = 648 \text{ nseg}$ .

La duración de un canal es de  $8(648 \text{ nseg})= 5.18 \mu\text{seg}$ .

Los 24 canales son usados para voz como para señalización. La alineación es hecha por un bit que es asociado a estos 24 canales. Cada canal tiene 8 bits, de los cuales el primero es un bit de signo y los otros 7 son bits de magnitud, codificados de acuerdo a la ley  $\mu$ .

Cuando un número de canal es dado a un abonado, éste puede enviar 8 bits en cada trama, siempre usando el mismo canal. Esta es la razón por la cual se tienen 8000 tramas por segundo.

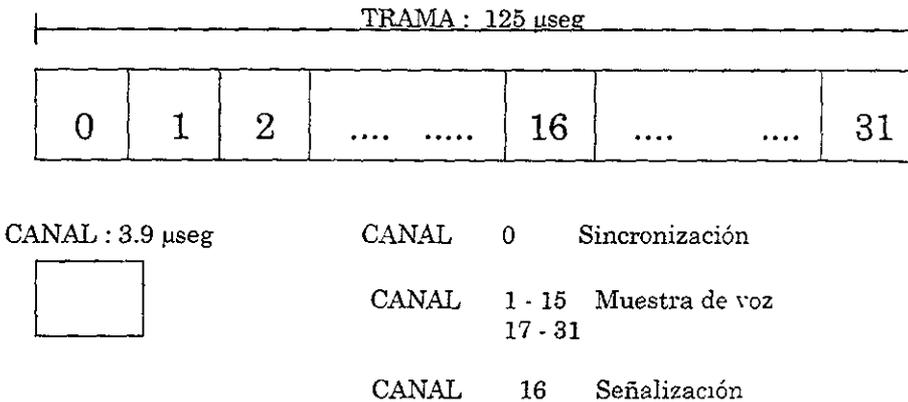


Fig. 13 Trama de 32 canales

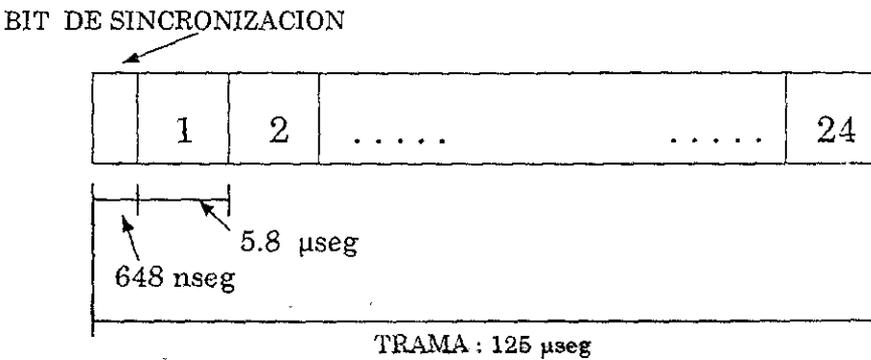


Fig.14 Trama de 24 canales.

## II.1.5 Sistemas PCM de alto orden.

Usando un PCM normal de 32 canales, 30 comunicaciones pueden ser manejadas sobre una portadora.

Si el ancho de banda de la portadora es suficiente, entonces más canales pueden ser enviados por una portadora usando un PCM de alto orden. Esto significa, que reduciendo el tiempo necesario para enviar un pulso, más pulsos pueden ser enviados en la misma unidad de tiempo.

Observaciones:

### ■ Razón de transmisión y frecuencia de línea.

Ahí existe una relación directa entre el número de símbolos por segundo en la línea y el ancho de banda de la frecuencia requerido para transmitirlos.

Usando las mejores técnicas de transmisión se puede probar que el mismo ancho de banda necesario para la comunicación, es igual a la velocidad de transmisión de símbolo/2, donde la mayoría de los casos es igual a la transmisión de bits/2.

### ■ Regeneración.

En un sistema de transmisión digital, todo el ruido de transmisión puede ser eliminado en tanto que la señal permanezca lo suficientemente fuerte en relación al ruido. Como resultado, los regeneradores son colocados a distancias regulares durante una transmisión, los cuales restaurarán la señal digital en su forma original.

Estos regeneradores están localizados en intervalos regulares a lo largo de la trayectoria de la transmisión.

La figura 15 muestra un sistema PCM de alto orden típico.

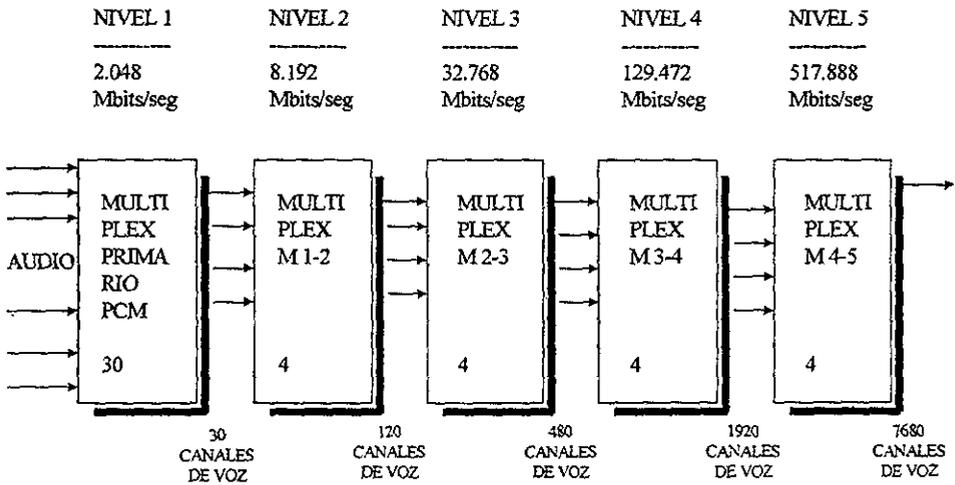


Fig.15 Sistema PCM de alto orden

La tabla 2 muestra los parámetros de los diferentes sistemas PCM.

TABLA 2 SISTEMAS PCM

NUMERO DE CANALES	RAZON DE BIT (MBIT/S)	FRECUENCIA (MHZ)	CODIGO	TIPO DE LINEA
30	2.048	1.024	HDB3	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ MULTI PARES</li> <li>■ PAR BLINDADO</li> </ul>
120	8.448	4.224	HDB3	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ PAR BLINDADO</li> <li>■ COAXIAL</li> </ul>
480	34.368	17.184	HDB3	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ COAXIAL</li> <li>■ FIBRA OPTICA</li> </ul>
1920	139.864	93.900	6B4T	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ COAXIAL</li> <li>■ FIBRA OPTICA</li> </ul>

## II.2 Sincronización

En una línea de transmisión digital, un número muy grande de bits pasa por cualquier punto, a una velocidad aproximada de 2 Mbits/seg. Para poder interpretar la información en el lado receptor, es necesaria la sincronización.

### II.2.1 Sincronización de bits.

El receptor verá la información de entrada a razón de 2048 khz. Si los datos son explorados en la transición entre dos bits, es muy probable que la información sea errónea. La información debe ser leída a la mitad del bit.

La sincronización se logra de dos formas :

- a) Enviar el reloj de bits a todos los puntos donde el PCM es recibido. Esto requerirá una conexión especial de reloj (distribución de reloj).
- b) Introducir bastantes transiciones en la información para sincronizar a un nivel de bit.

### II.2.2 Sincronización de la trama.

Después de que los bits son reconocidos, éstos tienen que ser montados en grupos de 8, representando una muestra de voz de una cierta comunicación.

La sincronización de la trama es obtenida por repetición de un patrón fijo en el canal cero de cada trama, de hecho éste es utilizado para la alineación (sincronización de la trama).

En cada trama el primer bit del canal cero es reservado para uso internacional (bit A y B). Ellos son puestos a 1 cuando no se usan. Los bits DFGH de cada trama son reservados para uso nacional y no tienen significado en un enlace internacional.

El bit de cada trama impar es usado como bit de alarma de enlace ; será puesto a 1 para informar a la central originante en caso de que el enlace entre ella y la terminante este fuera de alineación . Como consecuencia el enlace será puesto fuera de servicio (fig.16).

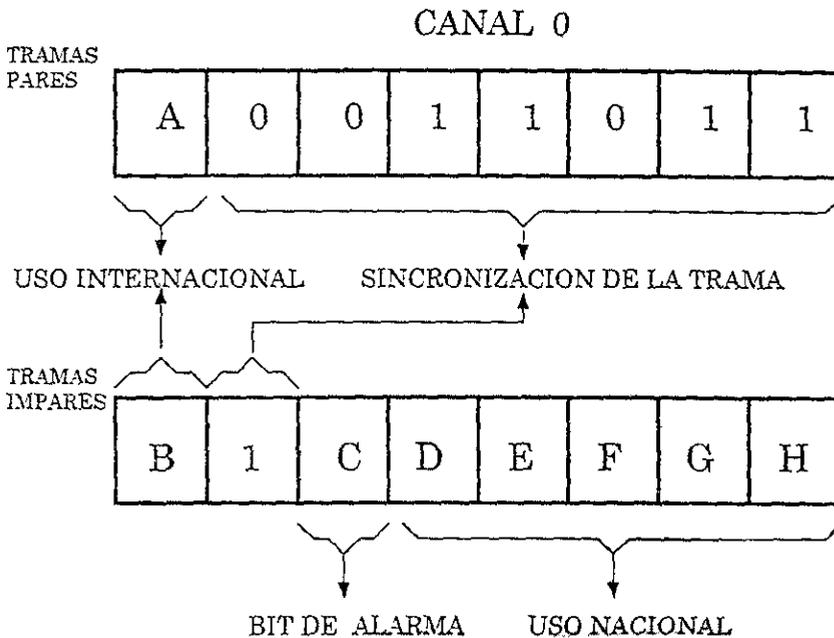


Fig. 16 Sincronización de la trama

### II.2.3 Sincronización de la red.

Cuando se conmuta información de PCM, se establece que la cadena de bits de entrada debe ser sincronizada con el reloj central del conmutador. Las cadenas de bits de entrada pueden originarse de diferentes centrales, donde han sido generadas usando el reloj de dichas centrales.

#### Red asíncrona.

En esta red, los relojes de las centrales son independientes, y la velocidad de transmisión de bits de la cadena de bits de entrada puede ser más rápida o más lenta que el impuesto por el reloj local de una central. Entre más precisos y estables sean los relojes, más baja será la tasa de errores. Fig. 17.

#### Red síncrona, maestro esclavo.

En este tipo de red, un reloj es maestro y el otro reloj sincroniza su frecuencia usando el reloj regenerado desde la central maestra. En esta red la velocidad de transmisión de bits es el mismo, pero por supuesto la fase de la cadena de bits de entrada puede ser diferente debido al retraso de la transmisión. Fig. 18.

#### Red síncrona mutua.

Aquí ningún reloj es maestro, todos los relojes están sincronizados al valor medio de todas las velocidades de transmisión de bits de entrada. En esta forma la red adopta una razón de velocidades de bit uniforme. A mayor cantidad de centrales mejor trabajará el sistema. Fig.19.

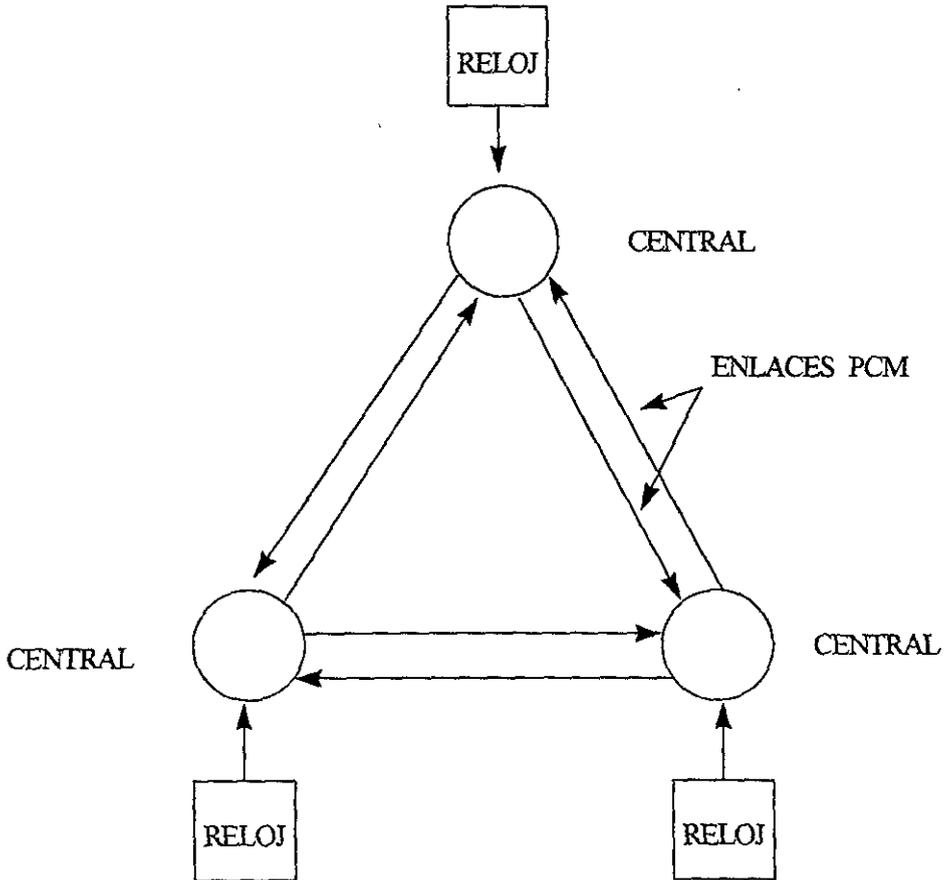


Fig. 17 Red asíncrona

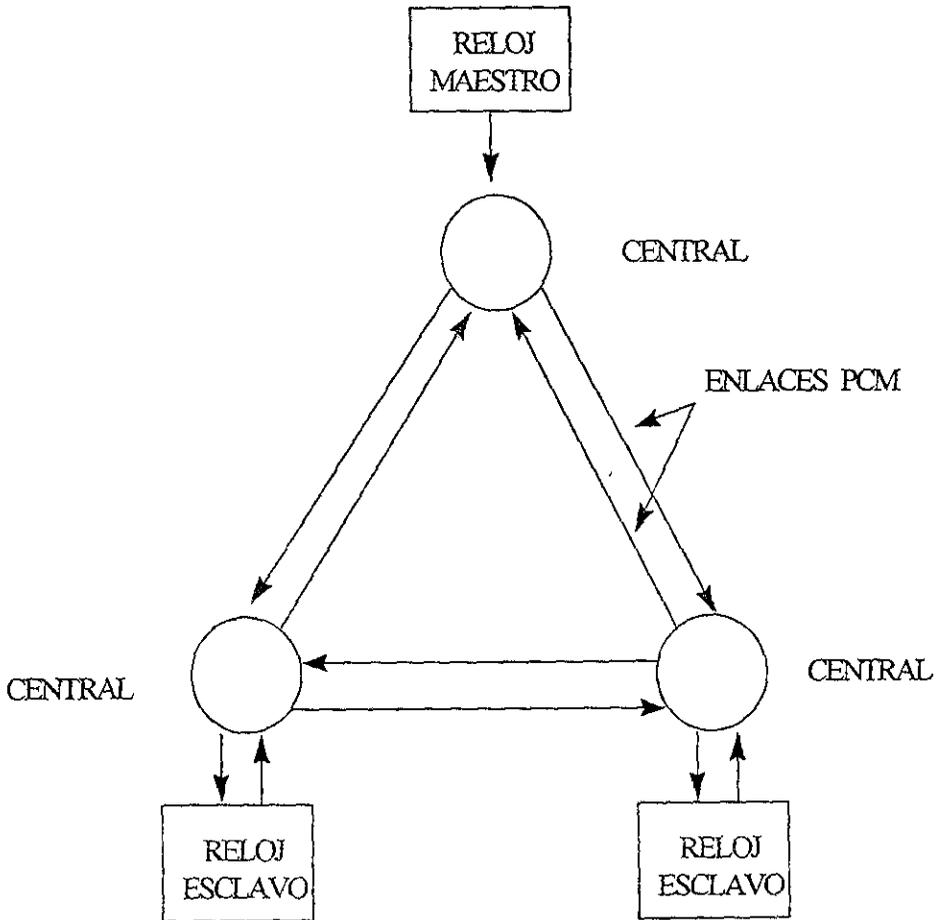


Fig.18 Red síncrona maestro-esclavo

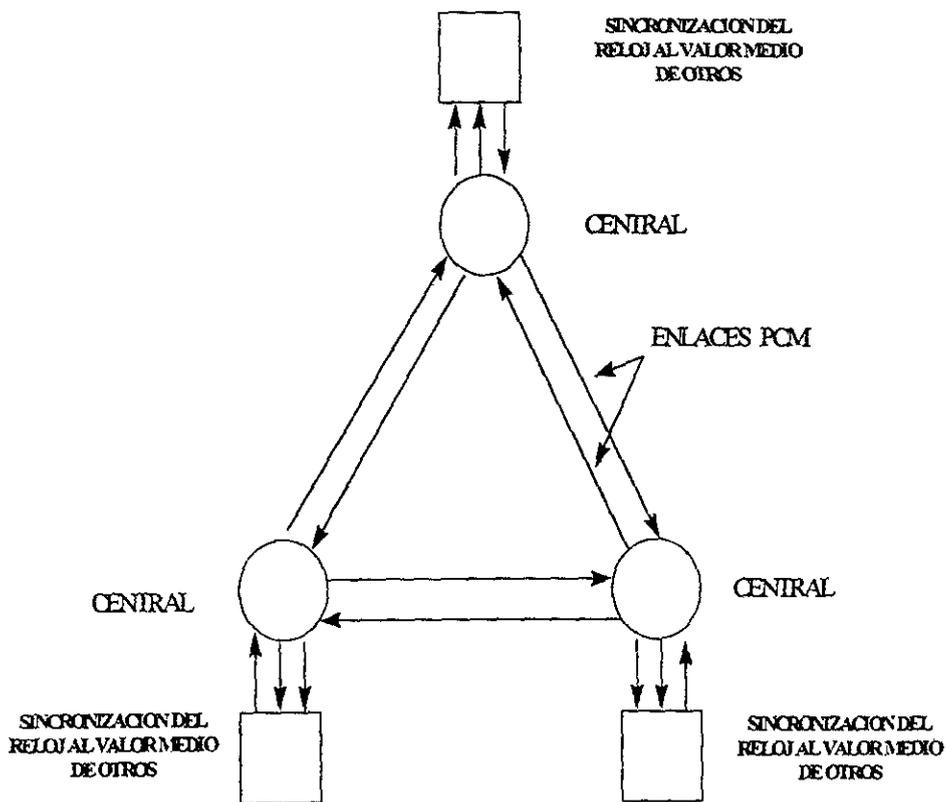


Fig. 19 Red síncrona mutua

## II.3 Portadoras para señal digital

Los sistemas PCM, pueden usar portadoras clásicas como cable multipar, cable coaxial y fibra óptica para transmisiones sencillas. Dependiendo del ancho de banda de la portadora, puede ser usado el sistema PCM de 32 canales o bien el PCM de alto orden.

### II.3.1 Cable Multipar

Un cable multipar, es un cable aislado con más o menos un gran número de conexiones de alambres de 2 hilos aislados, colocados juntos y rodeados por otra cubierta externa. En algunos casos los cables multipares están cubiertos para dar un mejor resultado en la eliminación de señales inducidas (diafonía).

### II.3.2 Cable coaxial.

En los niveles más altos de la red telefónica, existen rutas de más de 120 canales, por ejemplo: 1920 canales o 140 Mbits/seg de sistemas de transmisión. El cable coaxial es una portadora con un ancho de banda muy grande usando cobre como una portadora de la señal. Un hilo está constituido como un cilindro, el otro hilo es el centro del cilindro abierto, separado por un aislador.

### II.3.3 Fibra óptica.

Un sistema de fibra óptica consiste de un tubo de vidrio rodeado por un segundo tubo de bajo índice de refracción. Un rayo ligero introducido en la fibra óptica con un pequeño ángulo permanecerá dentro del vidrio central guía. Como resultado, grandes distancias pueden ser cruzadas usándolo como un sistema de transmisión óptica. Fig. 20.

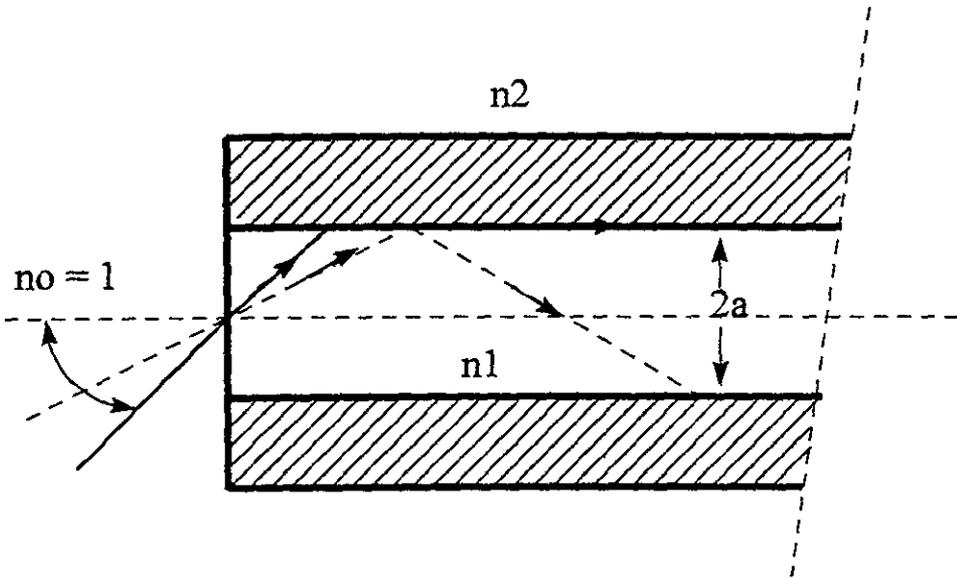


Fig 20 Estructura de una fibra óptica

El sistema de transmisión óptica consiste de las siguientes partes :

- una pequeña fuente de luz, la cual puede ser modulada en una forma digital.
- una conexión de fibra óptica
- un detector de señales digitales

Existen dos tipos de fibras ópticas :

### **Fibra Multimodo**

Tiene un núcleo grande de un diámetro de 50  $\mu\text{m}$  que permite la entrada a varios rayos de luz, bajos diferentes ángulos. Esta a su vez se divide en :

- Fibra de índice escalonado(step index) que consiste de un tubo de vidrio rodeado por un segundo tubo de vidrio de bajo índice de refracción.
- Fibra de índice graduado (graded index) que consiste de un tubo de vidrio rodeado por algunos tubos de vidrio de los cuales el índice de refracción graduado decrece.

### **Fibra a modo simple**

La fibra es un tubo de vidrio con un núcleo cuyo diámetro es de 5  $\mu\text{m}$  rodeado por un segundo tubo de vidrio de bajo índice de refracción.

Puesto que el diámetro del núcleo es muy pequeño, es casi imposible que el rayo de luz pudiera entrar bajo varios ángulos ; consecuentemente la dispersión es despreciable.

La atenuación es muy pequeña y el ancho de banda es muy grande, permitiendo la transición de señales en la banda de frecuencias altas.

La figura 21 muestra un sistema de transmisión por fibra óptica.

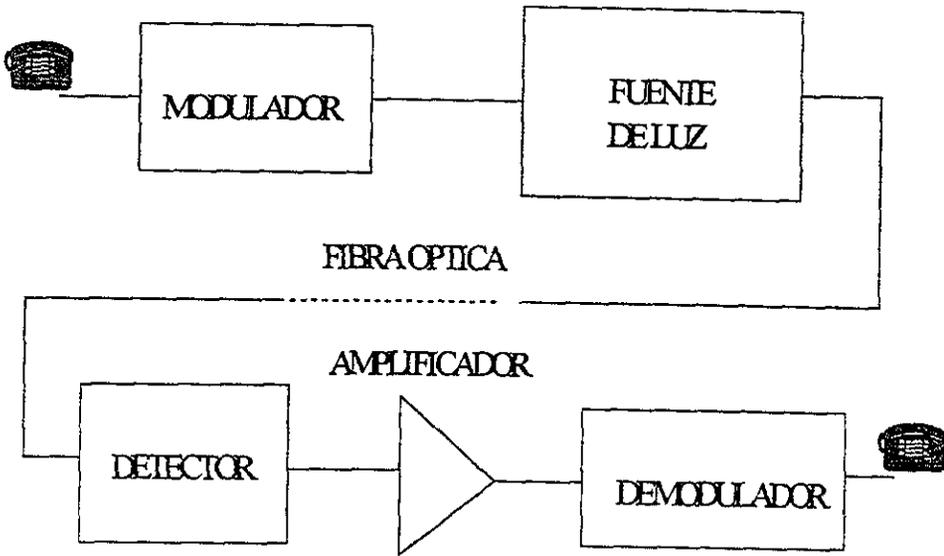


Fig. 21 Sistema de transmisión por fibra óptica

Las tablas de la figura 22, muestran la comparación de sistemas de transmisión por fibra óptica contra cobre.

CAPACIDAD DEL SISTEMA		SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE COBRE	
MBITS/S	CANALES	TIPO DE CABLE	REPETIDOR DISTANCIA (KM)
2	30	0.6mm PAR TRENZADO	2
		0.8mm PAR TRENZADO	4
8	120	0.6mm PAR TRENZADO	2
		0.8mm PAR TRENZADO	4
34	480	2.8 mm TUBO COAXIAL	2
140	1920	4.4 mm TUBO COAXIAL	2
560	7680	9.5 mm TUBO COAXIAL	2

## SISTEMAS DE TRANSMISION CON FIBRA OPTICA

TIPOS DE FIBRAS	DISTANCIA REPETICION (KM)	ATENUACION (db/Km)	ONDA=LONGITUD DE LUZ nm
MULTIMODO INDICE GRADUADO	15	3	850
	25	1.5	1300
MULTIMODO INDICE GRADUADO	12	3	850
	20	1.5	1300
MULTIMODO INDICE GRADUADO	10	3	850
	15	1.5	1300
MODO SIMPLE	> 25	1	1300

Fig. 22 Comparación de fibra óptica contra cobre.

## GLOSARIO

Bit.- Cada uno de los componentes en la numeración binaria, puede tener solamente los valores significativos "0" y "1".

Diafonía.- Es cualquier señal inteligible o no, que interfiere en una comunicación telefónica.

PCM.- Modulación por Pulsos Codificados

PAM.- Modulada por Amplitud de Pulso

Hz.- Símbolo de Hertz o Hertcios, unidad de frecuencia de los fenómenos periódicos, que equivale a un periodo o ciclo por segundo.

SNR.- Relación Señal a Ruido

CCITT.- Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía.

CD.- Corriente Directa

NRZ.- No retorno a Cero ( código de transmisión)

AMI.- Inversión de Marcas Alternadas ( código de transmisión)

HDB3.- Alta Densidad Bipolar Exceso 3 ( código de transmisión)

TDM.- Multiplexación por División de Tiempo.

Trama.- Conjunto de intervalos de tiempo dígito consecutivo.

## CONCLUSIONES.

En el desarrollo de un país, las telecomunicaciones juegan un papel preponderante, por ello la importancia de las nuevas tecnologías en el ámbito de la telefonía que es parte integral de ellas.

En esta tesina se expusieron los conceptos básicos de la telefonía digital como introducción ha este basto e interesante tema.

De acuerdo a lo anterior, podremos entender las nuevas tecnologías que actualmente se están implementando en telefonía digital, como lo es la RDSI ( Red Digital de Servicios Integrados ) , tema que será desarrollado más adelante, pero en base a estos principios.

Creo que sería de gran importancia que se realizarán visitas a las compañías involucradas, o bien prácticas de este tipo de conocimiento, debido a que no todos estamos empapados de ello. Esto llevado a la práctica quedaría más claro y entendible.

## **BIBLIOGRAFÍA :**

“ El Teléfono ” en Historia de las comunicaciones y los transportes en México. 1987, p.13.

Enciclopedia Británica

Apuntes : Introducción a la Telefonía  
ALCATEL-INDETEL

Telecomunicaciones  
J. Brown/Glazier  
Marcombo.

Telefonía Elemental  
Teléfonos de México, S.A.

Plan Fundamental de Conmutación  
Subdirección de Ingeniería y Normas  
Teléfonos de México.1995.

Digital Telephony  
John G. Bellamy  
John Wiley & Sons. Inc.1982.

Actualización Técnica  
Gerencia de servicios de recursos humanos división centro  
Capacitación tecnológica digital  
Teléfonos de México.

Planes Fundamentales  
TELMEX 1990.

Apuntes de la materia de Comunicaciones  
FES-Cuautitlán Campo IV.