



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

87
21

COMUNICACIONES.
**" FORMATEADO Y CODIFICACIÓN PARA TRANSMISION
DE MICROONDAS DIGITALES "**

TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA MECANICA ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
ARACELI JACOME CEDEÑO

ASESOR: ING. ALFONSO CONTRERAS MÁRQUEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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

ESTADO DE GUERRERO
CUAUTITLAN DE IXTACALCO
MAY 19 1997

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
PRESENTE.

ATN: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES-C.

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

Comunicaciones. Formateado y Codificación para Transmisión
de Microondas Digitales.

que presenta la pasante: Araceli Jácome Cedeño

con número de cuenta: 8824660-6 para obtener el Título de:
Ingeniera Mecánica Electricista

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

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautilán local, Edo. de México, a 17 de Septiembre de 19 97

MODULO:

PROFESOR:

FIRMA:

<u>01</u>	Ing. Alfonso Contreras	<u>M. Alfonso Contreras</u>
<u>03</u>	Ing. Juan González Vega	<u>Juan González Vega</u>
<u>02</u>	Ing. Francisco Tellitu	<u>L. Francisco Tellitu</u>

DEP/VOBOSEA

Agradezco ante todo a mis padres Iván Jácome Rebolledo y Emma Cedeño Rivera, ya que siempre me apoyaron y confiaron en mí durante todos mis estudios sin importar las dificultades que esto conlleva y quienes con su ejemplo me enseñaron que la dedicación y el esfuerzo hacen posible llegar a las metas deseadas.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de desarrollar una profesión.

A mis hermanas Emma Laura y Martha por su compañía y ayuda.

A mis profesores.

A mis amigos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
I. SISTEMAS DE BANDA BASE.	2
I.1. Señales de banda base.	2
I.2. Señales de banda ancha.	3
II. FORMATEADO DE INFORMACIÓN TEXTUAL.	6
II.1. Mensajes, caracteres y símbolos.	6
III. FORMATEADO DE INFORMACIÓN ANALÓGICA.	8
III.1. Muestreo de una señal.	8
III.2. Aliasing.	13
III.3. Representación de una señal analógica.	16
IV. CUANTIZACIÓN POR AMPLITUD.	19
IV.1. Ruido de cuantización.	21
IV.2. Relación señal a ruido de una señal cuantizada.	22
IV.3. Convertidores A/D.	23
IV.4. Rango dinámico de un convertidor A/D.	24
IV.5. Saturación.	25
IV.6. Otras fuentes de distorsión.	26
IV.6.1. "JITTER" de muestreo.	27
IV.6.2. Ruido de canal.	28
IV.6.3. Interferencia intersimbólica (ISI).	28
V. CUANTIZACIÓN NO UNIFORME.	30

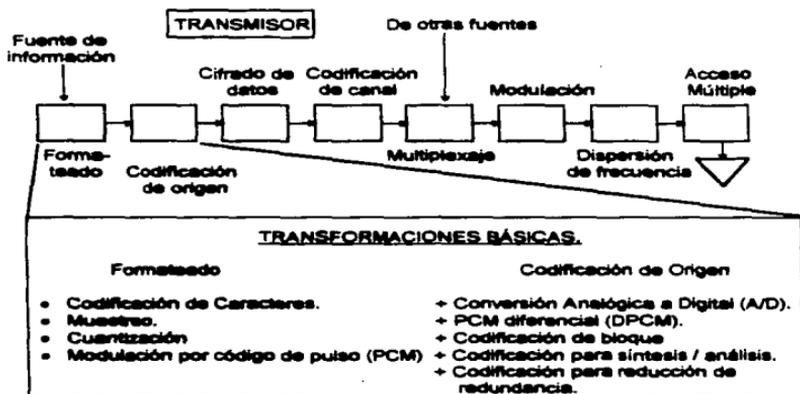
VI. MODULACIÓN DE PULSOS CODIFICADOS (PCM).	34
VI.1. Características de compresión.	34
VI.1.1. Compander para la ley μ .	35
VI.1.2. Compander para la ley A.	36
VI.2. Transmisión de banda base.	38
VI.3. Atributos espectrales de los códigos.	40
VII. INTERFERENCIA INTERSIMBÓLICA.	44
VIII. ESTRUCTURA DE TRAMA.	46
VIII.1. Velocidades binarias de la jerarquía digital pliesiónica.	47
CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50

INTRODUCCIÓN.

El formateado es el primer paso en el procesamiento de la señal ya que permite que dicha señal sea compatible con el tratamiento digital debido a que transforma la información en símbolos digitales.

El formateado se puede aplicar tanto a señales de banda base como analógicas.

A través de la codificación de origen se selecciona el código o formas de onda adecuadas para hacer que los símbolos digitales sean compatibles con los métodos de procesamiento de señal usados en el sistema.



Formateado y codificación de origen.

I. SISTEMAS DE BANDA BASE.

I.1. Señales De Banda Base.

- Su espectro se extiende desde CD hasta algún valor finito (generalmente menos de unos cuantos MHz).

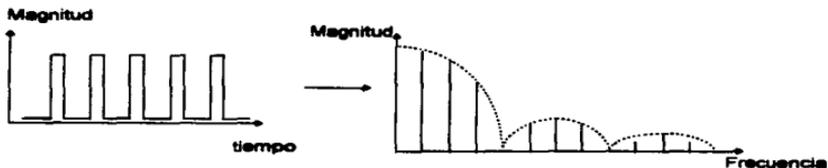


Figura I.1. Señal de banda base.

- Este tipo de señales es el que generalmente se usa cuando nos referimos a términos como "información", "mensaje" o "datos".
- Para su transmisión se someten al proceso de formateado (símbolos) y de modulación de banda base o de pulsos.

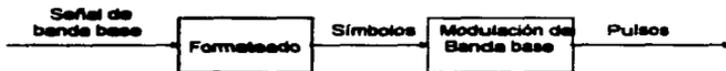


Figura I.2. Procesamiento de señales de banda base.

1.2. Señales De Banda Ancha.

En muchas ocasiones las señales de banda base no resultan apropiadas para transmitirse a través de algún medio de transmisión específico, por lo que se modulan y su espectro es recorrido hacia alguna banda de frecuencia que resulta más adecuada para su propagación en dicho medio.

La frecuencia alrededor de la cual se encuentra concentrado su contenido espectral se llama frecuencia portadora.

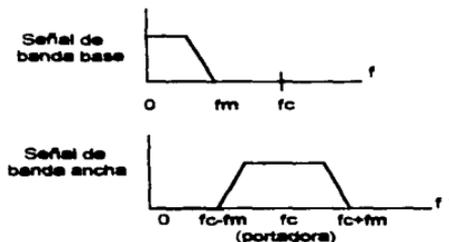


Figura 1.3. Señal de banda ancha.

La figura 1.4 muestra el diagrama a bloques de un sistema de comunicación digital para diferentes tipos de información.

Como se podrá observar, la información que ya tiene un formato digital se aplica directamente al modulador, mientras que la información textual es transformada a dígitos binarios mediante el bloque codificador. Por otra parte, en caso de tratarse de información analógica, el formateado de la misma requiere tres pasos:

1. Muestreo.
2. Cuantificación.

3. Codificación.

Los dígitos binarios resultantes del proceso de formateado se modulan y son transmitidos a través de un canal de banda base como por ejemplo un par torcido o un cable coaxial.

De la modulación resultan entonces una serie de pulsos compatibles o adecuados para el medio de transmisión.

La forma de onda recibida es detectada por el receptor con el propósito de producir una estimación de los dígitos transmitidos.

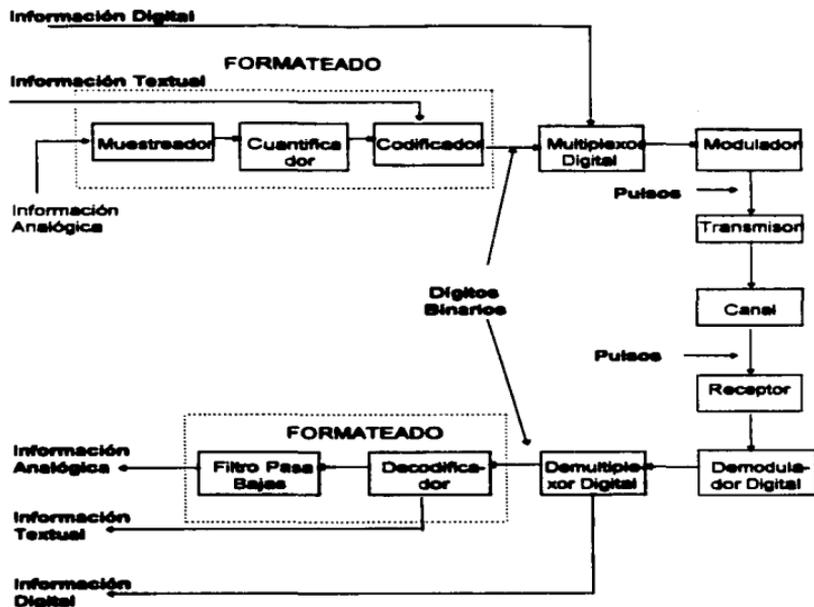


Figura 1.4. Formateado y transmisión de señales de banda base.

II. FORMATEADO DE INFORMACIÓN TEXTUAL (CODIFICACIÓN DE CARACTERES).

A excepción de las transmisiones en computadoras, generalmente la forma original de la información a transmitir es de tipo textual o analógico.

En caso de tratarse de texto, existen varios formatos o códigos estándar mediante los cuales el mensaje textual adquiere un formato digital, entre ellos:

- ASCII
- EBCDIC
- Hollerith

Algunas veces estos códigos estándar son modificados para su utilización en ciertas aplicaciones; por ejemplo, el código ASCII de 7 bits puede ser modificado añadiéndole un bit para funciones de detección de error, o utilizando solamente 6 bits para representar únicamente 64 caracteres en lugar de 128.

II.1. Mensajes, Caracteres y Símbolos.

Los mensajes textuales se componen de una secuencia de caracteres alfanuméricos, y para su transmisión estos caracteres son codificados para formar una secuencia de bits llamada señal de banda base.

Los bits se pueden entonces combinar en grupos para formar los símbolos que integran un alfabeto, cuyo tamaño dependerá del número de bits utilizados para representar un símbolo:

$$M = 2^k$$

M = Tamaño del alfabeto (número de símbolos).

K = Número de bits utilizados para representar un símbolo.

Un sistema que utilice un alfabeto de M símbolos se conocerá como un sistema de tipo "M-ario"; por ejemplo:

k = 1 bit M = 2 símbolos \Rightarrow sistema binario.

k = 2 bits M = 4 símbolos \Rightarrow sistema cuaternario.

En el caso de un sistema binario, la salida del modulador tendrá solamente dos formas de onda diferentes para representar un valor u otro.

En el caso del sistema cuaternario dicha salida tendrá cuatro formas de onda diferentes para representar cada uno de los cuatro valores posibles.

III. FORMATEADO DE INFORMACIÓN ANALÓGICA.

En el caso de la información analógica, antes de poder ser codificada es necesaria su conversión a forma digital; el primer paso para llevar a cabo dicha conversión es el muestreo de la información analógica.

III.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 conoce como PAM (Pulse Amplitud Modulation) o modulada por amplitud de pulso, ya que como se puede apreciar en la figura III.1, consiste en una secuencia de pulsos cuya amplitud es la de la señal de entrada durante el lapso de muestreo.

La señal analógica puede ser reconstruida a su forma original utilizando un simple filtro pasa bajas cuya frecuencia de corte sea la adecuada.

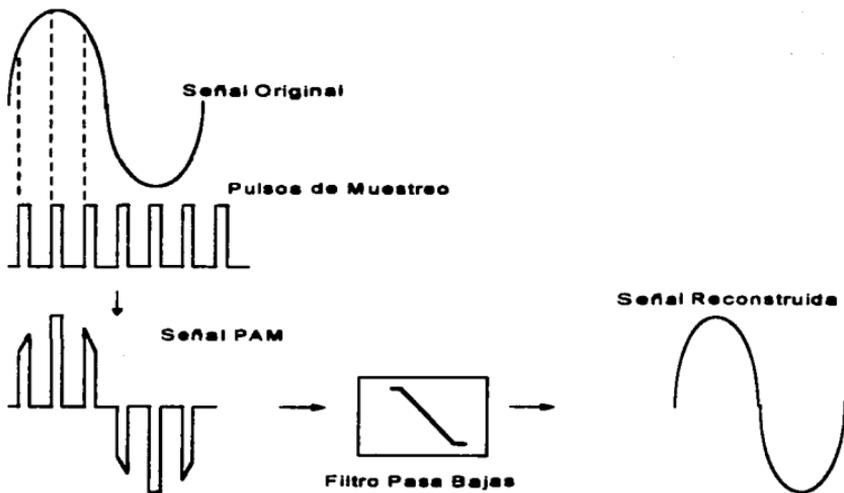


Figura III.1. Muestreo y reconstrucción de una señal analógica.

La representación de una señal PAM se muestra en la figura III.2.

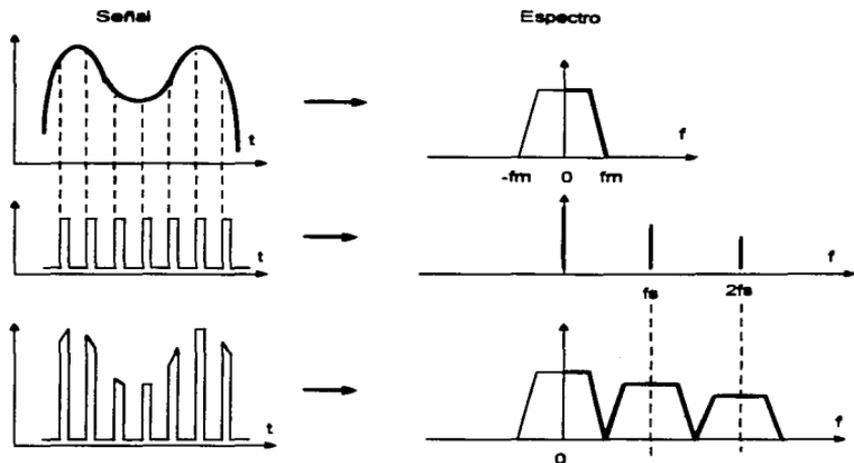


Figura III.2. Espectro de una señal muestreada.

La señal PAM se puede interpretar matemáticamente como el resultado del proceso multiplicativo de la señal analógica original y los pulsos de muestreo. El efecto que esto tiene es que el espectro de la señal analógica será "copiado" en forma repetitiva y de manera proporcional al espectro de los pulsos de muestreo.

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 (figura III.3).

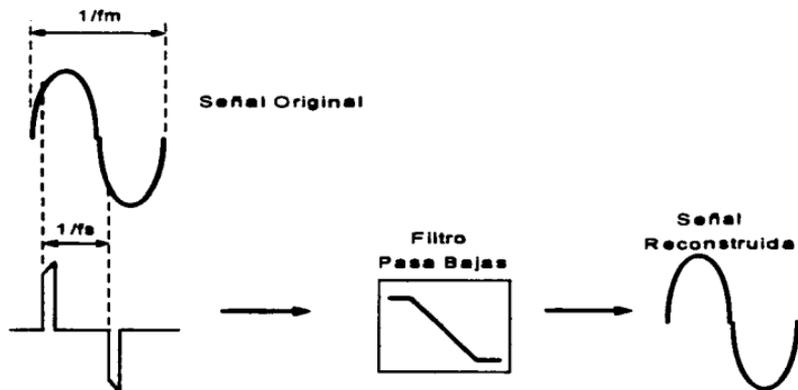


Figura III.3. Teorema de Nyquist.

En la práctica la frecuencia de muestreo f_s generalmente tiene un valor mayor que $2f_m$, ya que de no ser así se requeriría de un filtro ideal para poder reconstruir la forma de onda original. Cuando $f_s > 2f_m$ se dice que existe un proceso de "sobremuestreo" (oversampling), y el efecto que se observa es que las "copias" del espectro de la señal original se separan unas de otras, haciendo posible el uso de un filtro pasa bajas que pueda ser implementado en la práctica para la reconstrucción de la señal original.

Cuando la frecuencia de muestreo f_s es menor que $2f_m$ se presenta un "traslapamiento" de los espectros que hace imposible la regeneración fiel de la señal original. Este efecto recibe en inglés el nombre de "aliasing" (ver figura III.4)

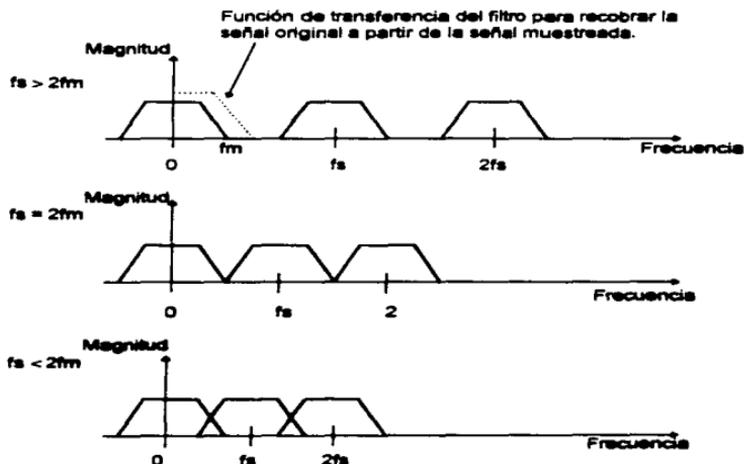


Figura III.4. Espectro para diferentes velocidades de muestreo.

III.2. "ALIASING".

Además de la técnica de "sobremuestreo" (oversampling) existen otros métodos para suprimir los componentes no deseados de una señal muestreada mediante el uso de filtros llamados "anti-aliasing":

- Prefiltraje.

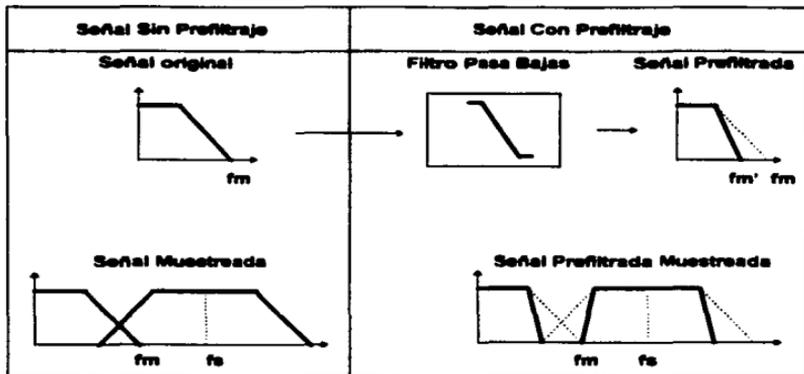
En este caso la señal analógica se hace pasar por un filtro pasa bajas antes de ser muestreada para limitar aún más su ancho de banda original.

- Postfiltraje.

La señal muestreada se hace pasar por un filtro pasa bajas que recorta el espectro de la parte de banda base hasta antes de la zona de traslapamiento.

Es importante observar que estas técnicas de filtraje producen una cierta pérdida de información de la señal, ya que recortan de una u otra forma el espectro original de la señal de banda base

a) Prefiltraje.



b) Postfiltraje.

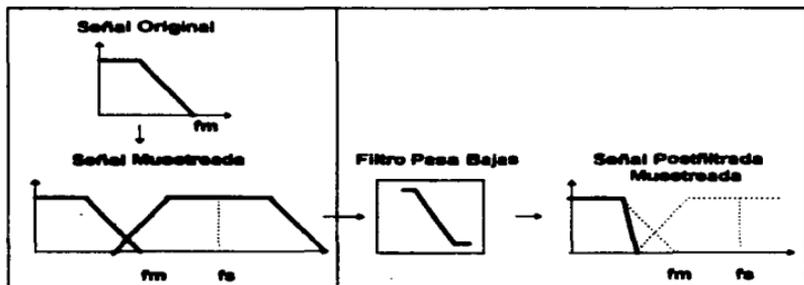


Figura III.5. Filtros "Anti-aliasing".

Los efectos de traslapamiento (aliasing) en el espectro de una señal muestreada se pueden observar en la figura III.6, que ilustra una señal en la cual la velocidad de muestreo es menor que el doble del ancho de banda de la señal analógica.

En este caso resulta claro que al querer reconstruir la señal original, existirá ambigüedad en cuanto a la forma de onda original y se obtendrá como resultado una señal diferente.

Para evitar este tipo de problemas, en la práctica es muy común que la relación entre la frecuencia de muestreo y el ancho de banda de la señal analógica sea la siguiente:

$$f_s \geq 2.2 f_m$$

Un ejemplo claro de este concepto es el hecho de que la velocidad de muestreo estándar para la digitalización de música con un ancho de banda de 20 KHz es de 44,100 muestras por segundo.

Para digitalizar audio con calidad de estudio profesional se usa una velocidad de muestreo de 48,000 muestras por segundo.

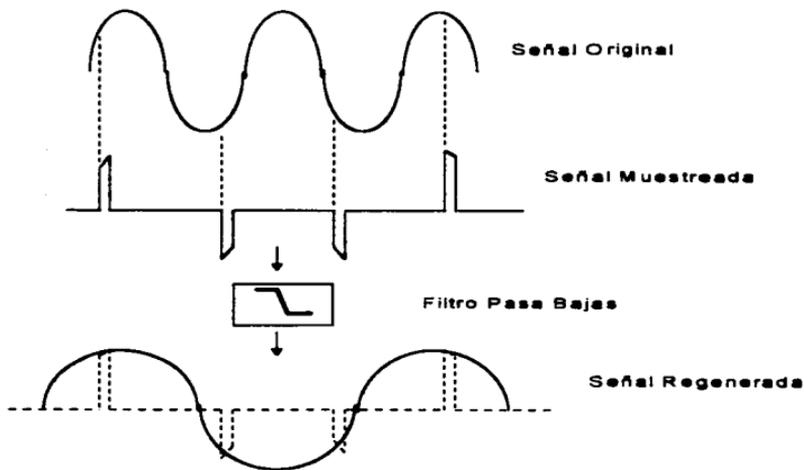


Figura III.6. Regeneración de una señal muestreada a baja velocidad.

III.3. Representación de una Señal Analógica.

Para poder ser procesada por un sistema de comunicación digital, la señal analógica debe ser representada de cierta manera. La señal PAM que hemos venido analizando conserva aún la característica propia de toda 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 la siguiente secuencia (figura III.7):

a) 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.

b) Cuantización de los 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 pueda ser recobrada o reconstruida en forma totalmente exacta.

Entre más niveles de cuantización se tengan mayor será la fidelidad de la señal reproducida, aunque como es de esperarse este aumento en el número de niveles trae como consecuencia la necesidad de un mayor ancho de banda del sistema.

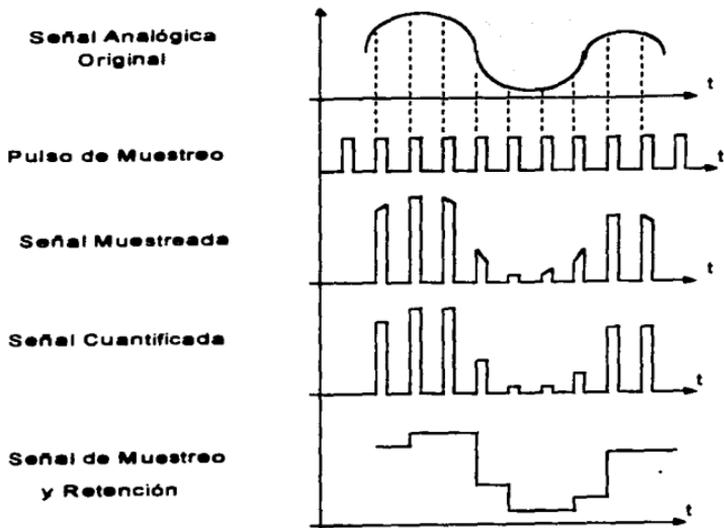


Figura III.7. Representación de una señal analógica.

IV. CUANTIZACIÓN DE AMPLITUD.

Cuantización es el proceso de mapear las muestras tomadas de una señal de amplitud continua para obtener un número finito de posibles valores de amplitud.

Esta tarea es realizada por un convertidor analógico a digital (ADC o A/D), y se lleva a cabo después de la operación de muestreo y retención (S & H).

Dependiendo de la forma como se realiza la asignación de valores de la señal muestreada existen diferentes tipos de cuantización:

- Cuantización uniforme.
- Cuantización no uniforme.
- Cuantización polarizada (*).

(*) Puede ser uniforme o no uniforme.

La figura IV.1 muestra la función de transferencia de algunos tipos de cuantificadores. La línea punteada representa la relación ideal de entrada y salida a la que se está tratando de aproximar el cuantificador.

La diferencia entre la "escalera" y la línea punteada representa el error de aproximación o ruido de cuantización del cuantificador para cada nivel de entrada.

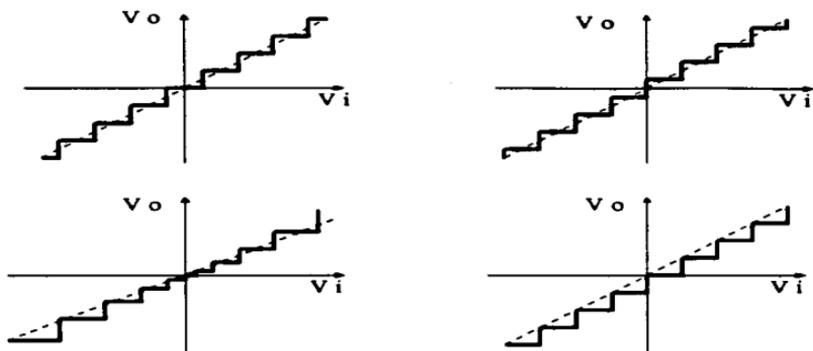


Figura IV.1. Diferentes tipos de cuantización.

EJEMPLO DE CUANTIZACION UNIFORME:

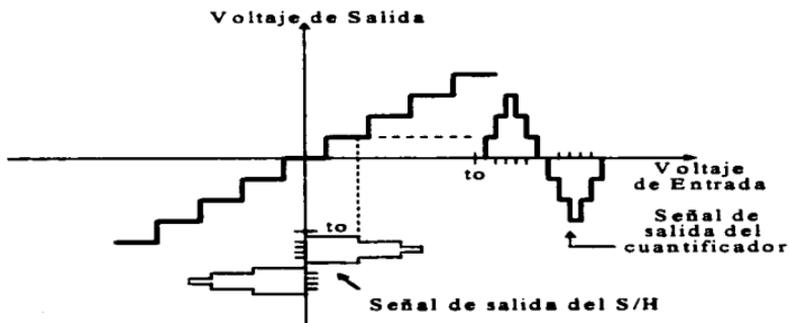


Figura IV.2. Cuantización de una señal senoidal.

IV.1. Ruido De Cuantización.

El ruido de cuantización, también conocido como error de cuantización o aproximación, es la diferencia entre la entrada y la salida de un cuantificador.

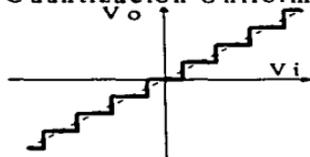
La figura IV.3 muestra las gráficas de amplitud del error de aproximación para los diferentes tipos de cuantificadores mostrados anteriormente en la figura IV.1.

A diferencia del ruido blanco, el cual se dice que es de tipo "aditivo", es decir que se agrega o afecta a una señal sin importar su amplitud o frecuencia, el ruido o error de cuantización depende del valor que tenga la señal de entrada.

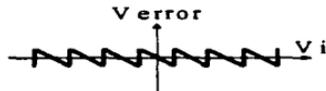
Con relación a las gráficas se puede concluir lo siguiente:

El ruido de cuantización es inversamente proporcional al número de niveles usados en el proceso de cuantización.

Cuantización Uniforme



Error de Aproximación



Cuantización Uniforme

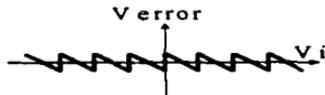
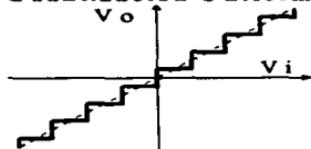


Figura IV.3. Error de aproximación de un cuantificador.

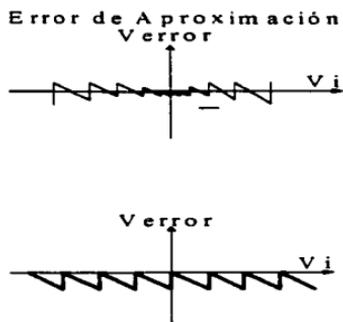
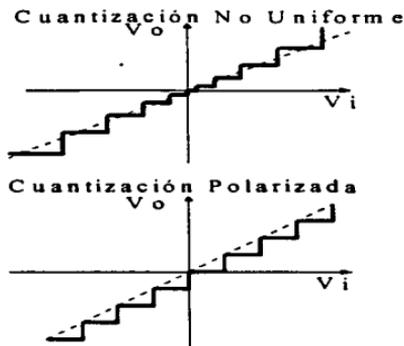


Figura IV.3. (cont.) Error de aproximación de un cuantificador.

IV.2. Relación Señal A Ruido De Una Señal Cuantizada.

La figura IV.4 muestra en forma genérica la respuesta de un cuantificador lineal con un número de niveles de cuantización igual a "L", con un rango de voltaje pico a pico V_{pp} de 2Vp (es decir, en forma simétrica se tendrán pulsos cuantizados positivos y negativos que podrán tener una amplitud máxima de + Vp o - Vp), y el tamaño de los niveles o intervalos de cuantización es de "q" Volts.

Dependiendo del valor del pulso de entrada, se puede observar que el máximo error posible de cuantización al realizar la aproximación será ya sea de $q/2$ Volts o $-q/2$ Volts, por lo que se dice que la degradación de la señal debido a la cuantización tendrá un valor máximo de $\pm 1/2$ del nivel de cuantización, o sea $\pm q/2$ Volts.

Resulta obvio pensar que entre más niveles de cuantización se tengan, menor será el error o ruido producido por la cuantización referida al número de niveles de cuantización es la siguiente:

$$S/N_q = 3L^2$$

De modo que si por ejemplo en forma hipotética se usará un cuantificador con un número infinito de niveles de cuantización, la señal cuantizada sería exactamente igual a la señal PAM de entrada y no existiría ninguna degradación o ruido, por lo que la relación señal a ruido de cuantización sería también infinita.

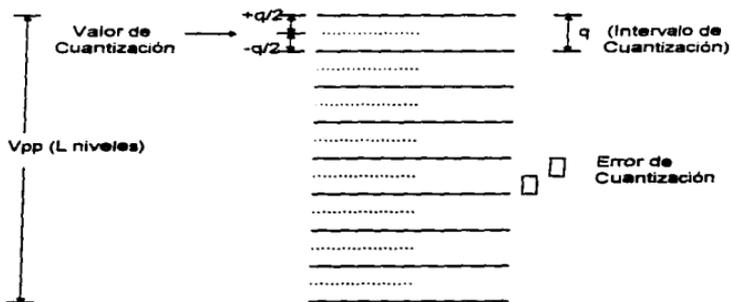


Figura IV.4. Niveles de cuantización.

IV.3. Convertidores A/D.

Hoy en día por lo general la implementación de los convertidores analógicos a digitales se lleva a cabo en circuitos integrados que comercialmente están disponibles para diferentes números de bits:

A/D 4, 8, 10, 12, 16, 20, 24 bits



Figura IV.5. Convertidor analógico a digital (A/D).

Estos convertidores en ocasiones tienen ya integrado el circuito de muestreo y retención (S&H), de manera que su utilización se simplifica al poder ser descritos como "cajas negras" que funcionan de acuerdo a ciertos parámetros enlistados en sus hojas de especificaciones.

IV.4. Rango Dinámico De Un Convertidor A/D.

El rango dinámico de un convertidor A/D es la relación entre los voltajes máximos y mínimos que pueden ser digitalizados de manera lineal, este parámetro está directamente relacionado con el número de bits del convertidor:

$$\begin{aligned} \text{Rango dinámico} &= \text{Valor máximo} / \text{Valor mínimo} \\ &= 6 \times \text{No. de bits (en dB) aproximadamente} \end{aligned}$$

Por ejemplo, un convertidor de 4 bits tendrá 16 niveles de cuantización y si el valor representa el bit menos significativo (LSB) es de 1 mV, tendremos que el valor pico de cuantización será de 16 mV, de acuerdo a la siguiente tabla:

3 mV — 0010
 4 mV — 0011
 5 mV — 0100
 ⋮
 15 mV — 1110
 16 mV — 1111

De este modo, el rango dinámico en dB será:

$$\text{Rango dinámico} = 20 \log (16 \text{ mV} / 1 \text{ mV}) = 24 \text{ dB}$$

$$\text{ó } 6 \text{ dB} \times 4 \text{ bits} = 24 \text{ dB}$$

IV.6. Saturación.

Este fenómeno ocurre cuando el valor de la señal de entrada sobrepasa el valor máximo del rango de operación lineal del convertidor.

El ruido producido por saturación es mucho más indeseable que el ruido de cuantización. Aún en casos donde la cantidad de saturación es pequeña y ocurre en forma esporádica, su contribución al nivel de ruido total es bastante considerable, ya que por su naturaleza sus efectos generalmente no pueden ser eliminados mediante filtraje u otros métodos.

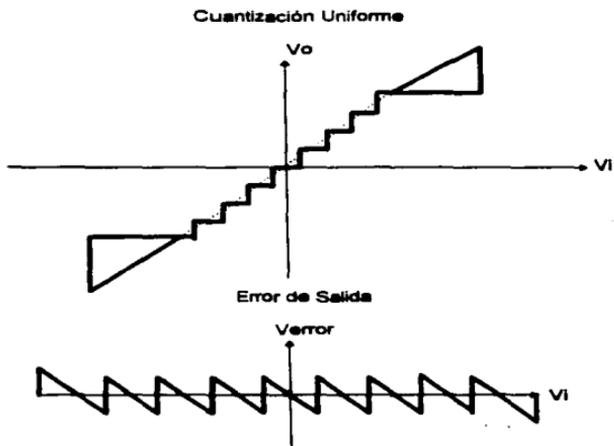


Figura IV.6. Saturación.

IV.6. Otras Fuentes de Distorsión.

En términos generales una señal analógica reconstruida a partir de pulsos cuantizados presentará efectos de ruido que han sido producidos o inducidos por diferentes fuentes.

a) Efectos producidos por el muestreo y la cuantización.

- Ruido.
- Saturación.
- Jitter de muestreo.

b) Efectos del canal de comunicación.

■ Ruido del canal.

■ Interferencia intersimbólica.

IV.6.1. "Jitter" de Muestreo.

Este fenómeno se refiere a que los pulsos de muestreo o los instantes en que se realiza el muestreo no están espaciados de manera uniforme.

Generalmente el "jitter" es un fenómeno de tipo aleatorio, por lo que no es posible predecir para un pulso determinado cuál va a ser su corrimiento con respecto a la posición nominal que debería ocupar en el tiempo, lo cual se traduce en un efecto similar a una modulación de frecuencia de la señal de banda base, apareciendo como una contribución espectral de banda ancha de bajo nivel.

Los efectos del "jitter" se minimizan mediante el mejoramiento de la calidad de las señales de reloj de referencia y el aislamiento correcto de las fuentes de alimentación.

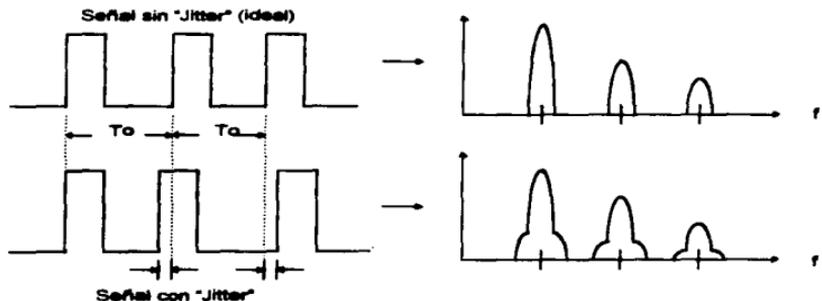


Figura IV.7. "Jitter" de muestreo.

IV.6.2. Ruido De Canal.

El ruido de canal puede ser producido por varios factores:

- Ruido térmico.
- Interferencias producidas por fenómenos naturales.
- Interferencias producidas por otros usuarios.
- Transitorios producidos por la conmutación de circuitos.

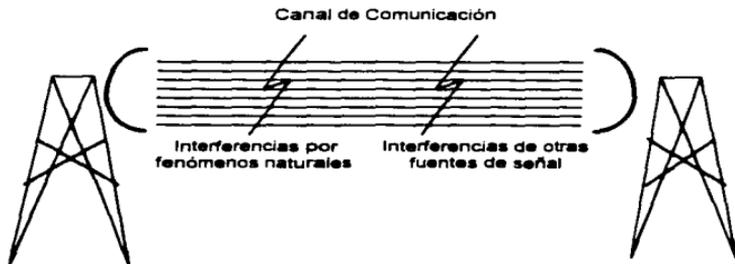


Figura IV.8. Ruido de canal.

IV.6.3. Interferencia Intersimbólica (ISI).

Este efecto se presenta cuando el ancho de banda del canal es igual o solamente un poco mayor al ancho de banda de la señal a transmitir.

Dependiendo de la codificación que se utilice, la limitante de ancho de banda que un canal de comunicación presenta a una señal, tendrá un mayor o menor efecto en cuanto a la facilidad con que el receptor pueda distinguir un símbolo de otro. Este efecto se refleja directamente en la tasa de error del sistema y se estudiará con más detalle posteriormente.

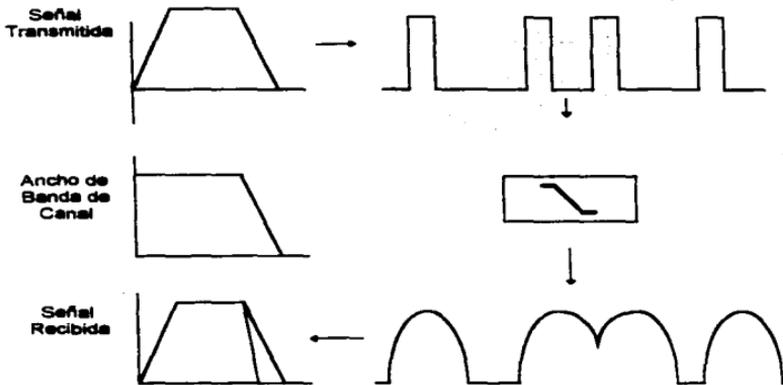


Figura IV.9. Efectos del ancho de banda.

V. CUANTIZACIÓN NO UNIFORME.

Como se mencionó anteriormente, la cuantización uniforme o lineal es por lo general la que se utiliza en los convertidores A/D, y presenta ciertas características como por ejemplo el hecho de ser poco sensibles a cambios pequeños de la señal de entrada. Esta cualidad se traduce en que comúnmente se logra una buena relación señal a ruido para el nivel medio de las señales de entrada y que el ruido de cuantización es el mismo para cada nivel o intervalo de cuantización.

Existen aplicaciones, sin embargo, en las cuales es conveniente dar un trato especial a cierto tipo de señales de entrada, de manera que se tenga una mejor relación señal a ruido para ese rango específico de señales. En estos casos el tipo de cuantización utilizada es la llamada no uniforme.

Este concepto se lleva a cabo subdividiendo el rango dinámico de entrada en niveles o intervalos irregulares, de manera que el nivel de ruido pueda tener efectos similares para cada intervalo.

El proceso de cuantización no uniforme es mostrado en la figura V.1 en la cual se aprecia que la señal de entrada es primeramente modificada mediante un "mapeo" de niveles, con lo que el rango original de niveles de entrada es modificado. Esta acción se conoce como compresión.

Una vez que ha sido modificada por el compresor, la señal es cuantizada uniformemente y puesta a disposición del sistema para su transmisión.

En el lado del receptor la señal cuantizada es sometida a un proceso de mapeo inverso al de compresión, conocido como expansión.

En la práctica el circuito que desempeña estas funciones de compresión y expansión recibe el nombre (en inglés) de COMPANDER (COMpressor - exPANDER).

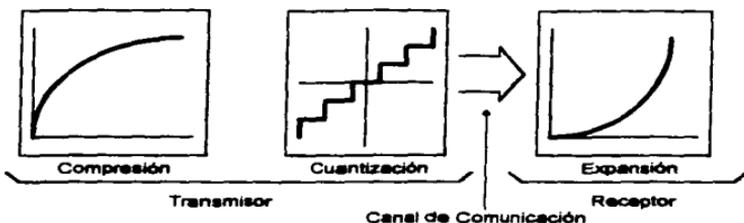


Figura V.1. Cuantización No Uniforme.

La diferencia fundamental entre la cuantización uniforme y la no uniforme puede observarse en la figura V.2.

En este caso resulta obvio pensar que si la señal de entrada tiene un rango dinámico amplio pero la mayor parte del tiempo su nivel de amplitud es bajo, entonces la cuantización no uniforme presenta grandes ventajas en el sentido que para esas señales de bajo nivel que ocurren con frecuencia, se tendrán varios niveles o intervalos de cuantización, y su reproducción en el lado del receptor tendrá mayor fidelidad que si se usara una cuantización uniforme.

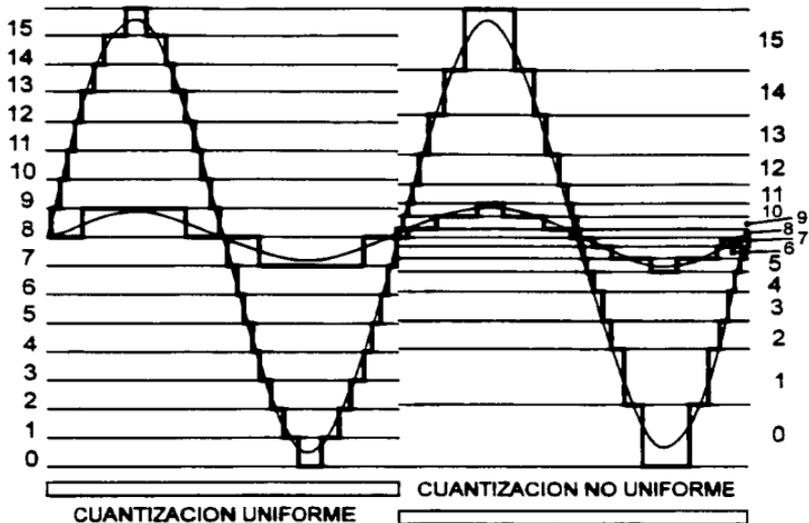


Figura V.2. Cuantización uniforme y no uniforme.

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

En este caso, la mejoría que se logra en el SNR para las señales débiles se hace a costa de empeorar dicho parámetro para las señales fuertes, sin embargo, dado que estas últimas son muy esporádicas, el resultado global de este proceso es una mejoría en la

calidad de la señal. Por esta razón, la utilización de este tipo de cuantización ha sido adoptada desde hace ya algunos años para la telefonía digital a través del uso de técnicas de PCM que se describirán a continuación.

VI. MODULACIÓN DE PULSOS CODIFICADOS (PCM).

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.

De esta manera, si por ejemplo se usan 4 bits, se tendrán 16 niveles de cuantización; si se usaran 8 bits, se tendrían 256 niveles.

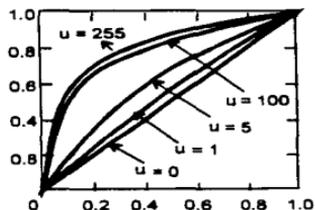
El concepto de PCM es de gran importancia en las telecomunicaciones ya que es la base de la telefonía digital, en la cual se ha estandarizado el uso de muestreo de 8 kHz y un tamaño de palabra PCM de 8 bits. La velocidad de transferencia de datos para un canal PCM es entonces de 64 kbps

VI.1. Características de Compresión.

Como se mencionó anteriormente, para la digitalización de la voz se utiliza cuantización no uniforme mediante el uso de técnicas de compresión cuyas características se pueden agrupar en dos tipos principales de acuerdo a sus especificaciones (figura VI.1) :

- Ley μ (usada en E.U.)
- Ley A (usada en Europa y México).

a)



b)

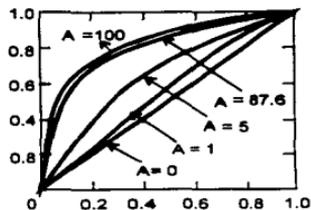


Figura VI.1. a) Ley μ . b) Ley A.

VI.1.1. Compander Para La Ley μ .

Este tipo de compander fue el adoptado por el grupo Bell en E.U., por lo que se convirtió en estándar para ese país (figura VI.2).

- Originalmente se definió como estándar $\mu = 100$ y el uso de convertidores A/D de 7 bits.
- Posteriormente se adoptó como estándar $\mu = 255$ con convertidores A/D de 8 bits y el siguiente formato:



- Se utilizan 15 segmentos.

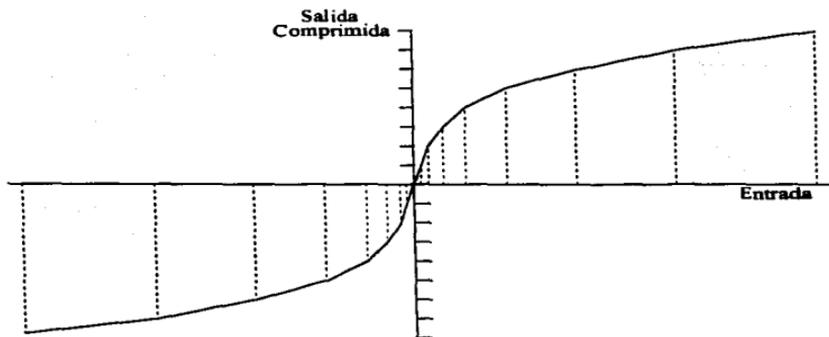
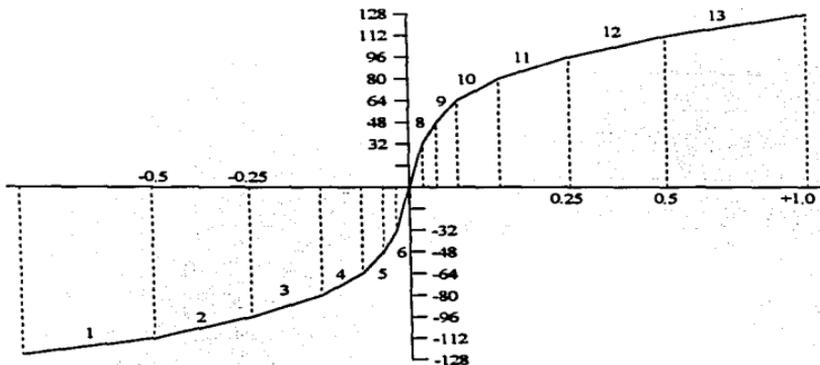


Figura VI.2. Curva de compresión para la Ley μ .

Matemáticamente se puede calcular que la relación señal a ruido de un compander de la ley μ de 8 bits con $\mu = 255$ es de aproximadamente 38 dB.

VI.1.2. Compander Para La Ley A.

- Estándar europeo (CCITT) usado también en México, ver figura VI.3.
- Valor estándar de $A = 87.56$
- Conversión A/D de 8 bits.
- SNR aproximado de 38 dB.



No. de Segmento	Código
1	111
2	110
3	101
4	100
5	011
6	010
7	001,000,000,001
8	010
9	011
10	100
11	101
12	110
13	111

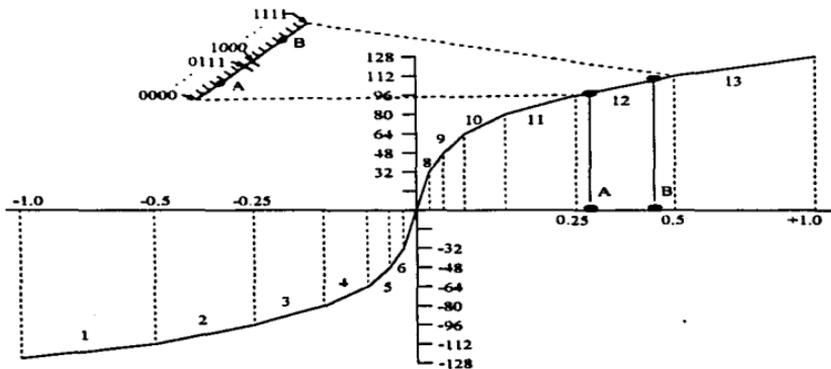
VI.3. Compendir para la Ley A.

Ejemplo:

Deducir en forma aproximada el código PCM (Ley A) de los siguientes valores de entrada:

A) $V_i = 0.300 \text{ V}$

B) $V_i = 0.450 \text{ V}$



A) 1 110 0011

B) 1 110 110

VI.2. Transmisión De Banda Base.

Después de haber sido codificada la señal PCM en forma binaria el resultado será una señal unipolar en la cual se tendrá un importante factor indeseable como es:

- Existencia de intervalos repetitivos de secuencias de "unos" o "ceros" consecutivos.
- Componentes de CD que no pueden ser transmitidas a través de transformadores de acoplamiento.

Para resolver estos problemas existen diferentes tipos de códigos de línea que convierten la señal unipolar en bipolar (figura VI.4) :

- Códigos NRZ (Nonreturn-to-zero) o de No Retorno a Cero.
- Códigos RZ (Return-to-zero) o de Retorno a Cero.
- Códigos codificados en fase.
- Códigos binarios de niveles múltiples.

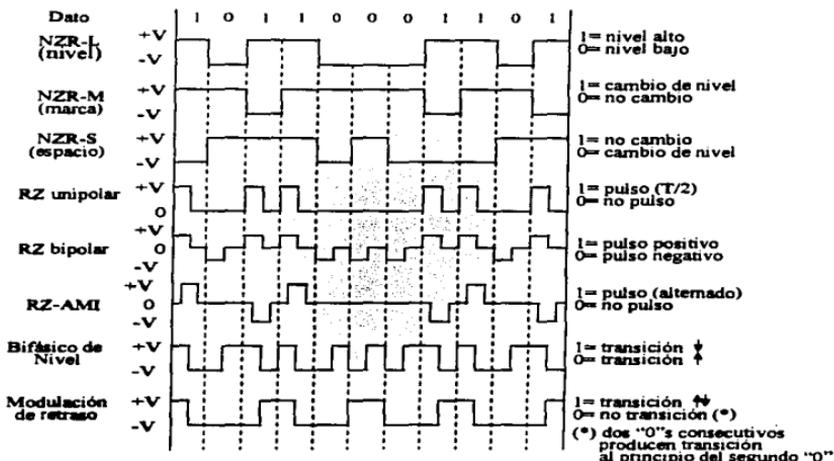


Figura VI.4. Códigos de línea

La gran cantidad de códigos de línea para PCM se debe a que cada uno de estos códigos presenta características especiales para una u otra aplicación.

Entre los parámetros más importantes a examinar cuando se analiza un código de línea están los siguientes:

- **Componente de CD:** La ausencia de componentes de baja frecuencia en una señal permite su acoplamiento en CA con otros sistemas.
- **Autosincronización:** Esta propiedad permite al receptor sincronizarse a nivel de bit con la señal de entrada, sin necesidad de que exista otra señal de sincronización.
- **Detección de errores:** Algunos códigos permiten la detección de errores sin necesidad de introducir bits adicionales para dicho propósito.
- **Compresión del ancho de banda:** Códigos como los de tipo multinivel incrementan el uso eficiente del ancho de banda disponible.
- **Inmunidad al ruido:** Algunos códigos presentan mayor inmunidad al ruido que otros; por ejemplo, los códigos NRZ son mejores en ese sentido que los RZ.

VI.3. Atributos Espectrales De Los Códigos.

Como ya se mencionó anteriormente, uno de los parámetros más importantes de un código es su ancho de banda o contenido espectral.

- Los códigos NRZ y duobinario tienen una gran componente de baja frecuencia.
- Los códigos bifásicos no tienen componente de CD pero requieren relativamente un gran ancho de banda.
- Los códigos duobinarios y de modulación de retardo son muy eficientes en cuanto al ancho de banda.

Entre los códigos más usados en los sistemas multiplexores PCM están:

- **Código AMI RZ (Alternate Mark Inversion).** Las reglas de conversión según la recomendación G.703 de la CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía) son:

Paso 1. Un periodo de un bit a 64 kbit/s se divide en cuatro intervalos unitarios.

Paso 2. Un 1 binario se codifica con un bloque constituido por los cuatro bits siguientes:

010

Paso 3. Un 0 binario se codifica con un bloque constituido por los cuatro bits siguientes:

010

Paso 4. La señal binaria se convierte en un señal de tres niveles alternando la polaridad de los bloques consecutivos.

Paso 5. La alternancia de la polaridad de los bloques se viola cada octavo bloque. El bloque con violación indica el último bit de un octeto.

Estas reglas se ilustran en la figura VI.5.

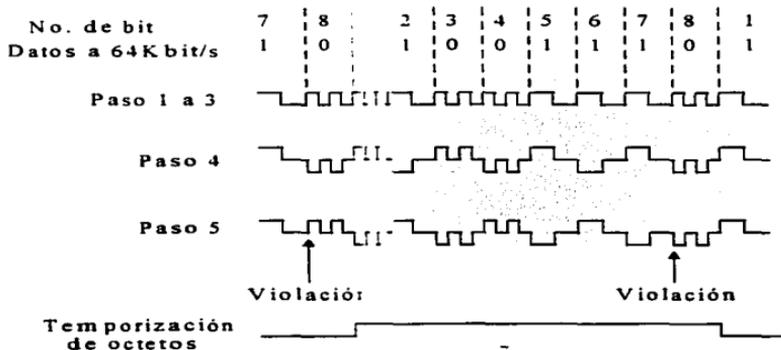


Figura VI.5. Ejemplo de conversión con código AMI RZ.

- Código HDB3 (High Density Bipolar 3) o Código Bipolar de Alta Densidad 3, que limita el número de ceros consecutivos a un máximo de 3. Para convertir una señal binaria en una señal HDB3 se aplican las siguientes reglas de codificación según la recomendación G.703 de la CCITT:

- 1) La señal HDB3 es pseudoternaria: sus tres estados se designan por B., B_v y 0.
- 2) Los 0 de la señal binaria se codifican como 0 en la señal HDB3, pero en el caso de secuencias de cuatro 0 se aplican reglas particulares (véase punto 4).
- 3) Los 1 de la señal binaria se codifican alternadamente como B_v y B en la señal HDB3 (inversión de marcas alternada AMI). Cuando se codifican secuencias de cuatro 0, se introducen violaciones de la regla de inversión de marca alternada (véase punto 4).
- 4) Las secuencias de cuatro 0 de la señal binaria se codifican de acuerdo a lo siguiente:
 - a) El primer 0 de la secuencia se codifica como 0 si el 1 precedente de la señal HDB3 tiene una polaridad opuesta a la de la violación precedente y no constituye una violación; se codifica como un 1, que no constituye una violación (es decir, B_v o B_v) si el 1 precedente de la señal HDB3 tiene la misma polaridad que la violación precedente o constituye en sí mismo una violación.

Esta regla asegura que las violaciones consecutivas sean de polaridad alternada, lo cual impide la introducción de una componente continua.
 - b) El segundo y tercer 0 de la secuencia se codifican siempre como 0.
 - c) El último 0 de la secuencia de cuatro se codifica como un 1 de polaridad tal que viole la regla de inversión de marcas alternada. Estas violaciones se designan V_v o V_v, según su polaridad.

En la figura VI.8 se da un ejemplo.

PARTICIPANTE	ROL	EXTENSION
Hugolino Reyes	Jefe de Proyecto	15779
Ricardo Sánchez	Lider de Proyecto	13880
Francisco Noguera	Admón. Del Ambiente	14313
José Briseño	Usuario Lider	51098
Alma Delia Estrada	Usuario Asignado	15156
Rocio García	Soporte Metodológico y Tecnológico	13171

3. Metodología de Pruebas (Proceso)

La metodología está conformada por los siguientes procedimientos de pruebas

PROCEDIMIENTO	FUNCION
PTPR01V0	Creación de los datos de prueba para los pr Facturación, Vencimiento y Fin de Mes del aplicat
PTPR05V0	Ejecución y Verificación de los resultados financieros). Activar las mediciones de Strobe de procedimientos BPA0REP1 y BPA0REP2.
PTPR06V0	Generación de la interfaz contable.
PT0PPRO10	Actualización de Estadísticas DB2.
PTPR12V0	Activación de mediciones de performance de ejc procedimientos batch con la herramienta Strobe.
PTPR14V0	Creación de los datos de prueba de volumen procesos de: Facturación, Vencimiento y Fin d aplicativo BPA.
PTPR15V0	Ejecución y verificación de los resultados de las p volumen. Activar las mediciones de Strobe der procedimientos BPA0REP2.
PTPR16V0	Preparación de transacciones en línea.
PTPR17V0	Adecuar fechas para los procesos de F: Vencimiento, Fin de Mes y Traspaso a Cartera Ve
AAPR05V0	Obtención de los reportes de calidad de código C: herramienta Smartdoc.

4. Herramientas de Pruebas (Tecnología)

- ✓ SMARTDOC
- ✓ SMARTTEST
- ✓ STROBE
- ✓ PLATINUM PLAN ANALYZER
- ✓ PROGRAMAS INTERNOS

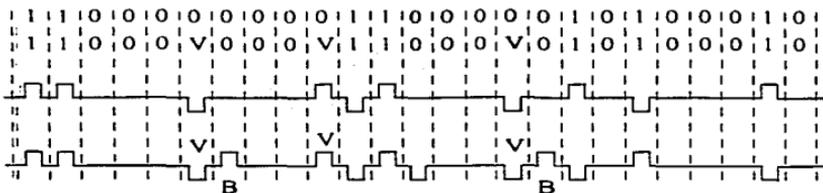


Figura VI.6. Ejemplo de conversión de código HDB3.

- **Código CMI (Coded Mark Inversion).** Este es un código de 2 niveles sin retorno a cero en el cual el 0 binario se codifica de manera que los dos niveles de amplitud, A_1 y A_2 , se obtienen consecutivamente, cada uno durante un periodo igual a la mitad del intervalo unitario ($T/2$).

El 1 binario se codifica de modo que los niveles de amplitud, A_1 y A_2 , se obtienen alternativamente cada uno durante un periodo igual a un intervalo unitario completo (T).

En la figura VI.7 se da un ejemplo.

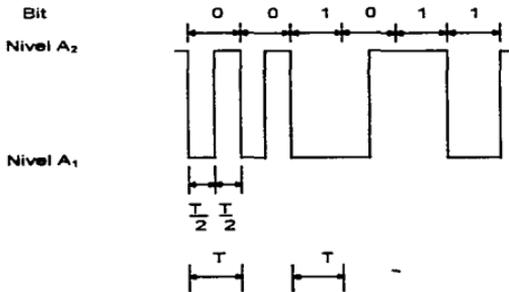


Figura VI.7. Ejemplo de conversión de código CMI.

VII. INTERFERENCIA INTERSIMBÓLICA (ISI).

La interferencia intersimbólica se refiere a los efectos que tiene el ancho de banda del sistema de comunicación sobre la señal de banda base a transmitir en el sentido de dificultar la detección correcta de las señales en el receptor debido al traslapamiento de los intervalos de cada símbolo.

La figura VII.1 muestra un sistema digital de banda base típico donde las distintas reactivancias encontradas por la señal limitan en mayor o menor grado el espaciamiento de los pulsos a transmitir.

Las limitantes en este caso no solamente se deben a los elementos de filtraje mismos del sistema, sino también a las características propias del canal de transmisión; por ejemplo, una línea de transmisión tiene una impedancia característica y una reactivancia que limita el ancho de banda total del sistema y por lo tanto, modifica la forma de onda de las señales que viajan a través de ella.

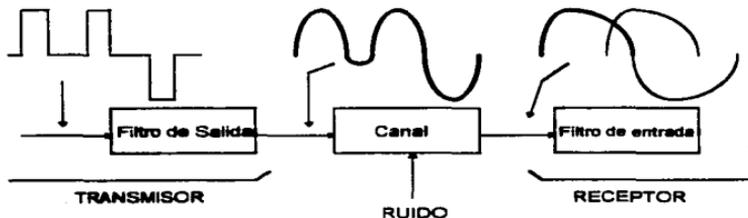


Figura VII.1. Interferencia Intersimbólica (ISI).

En forma teórica se dice que es posible transmitir en banda base 2 símbolos/segundo por cada Hertz de ancho de banda disponible sin tener efectos de ISI, sin embargo en forma práctica es necesario contar con un poco más de ancho de banda:

$$\text{número de símbolos/seg.} < 2 \text{ veces el ancho de banda}$$

Para las señales de banda base moduladas hay que tomar en cuenta que ocupan el doble del ancho de banda (doble banda lateral), por lo que la relación es entonces:

$$\text{número de símbolos/seg.} < \text{ancho de banda}$$

De esta manera se puede deducir que el ancho de banda de un sistema necesario para transmitir un canal PCM sin ISI será (figura VII.2) :

$$(8 \text{ bits/muestra}) (8000 \text{ muestras / seg}) < 2 (\text{ancho de banda})$$

$$64,000 \text{ bits / seg} < 2 (\text{ancho de banda})$$

$$\text{ancho de banda} > 32 \text{ kHz}$$

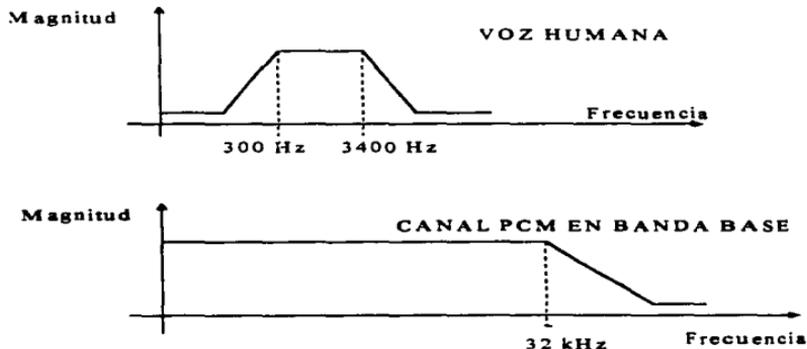


Figura VII.2. Ancho de banda de un canal PCM.

VIII. ESTRUCTURA DE TRAMA.

Con las palabras de 8 bits codificadas se formarán tramas. Para el caso del sistema Norteamericano una trama está formada por 24 canales de voz multiplexados a una velocidad de 1544 Mbit/s. Aquí se utiliza el octavo bit de cada muestra para controlar la señalización (figura VIII.1).

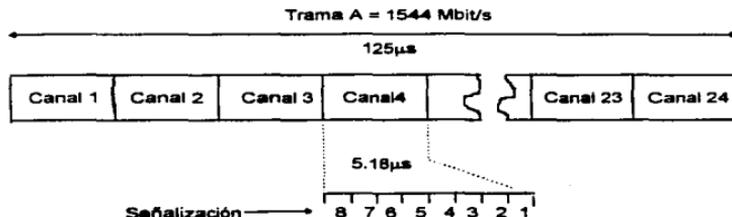


Figura VIII.1. Estándar Norteamericano.

En Europa y México el esquema digital corresponde a un sistema de 32 canales, en el cual 30 canales transportan señales extraídas de los cables telefónicos entrantes, mientras que los otros dos canales restantes se emplean para transmitir las señales de señalización y sincronismo. La velocidad global es de 2048 Mbit/s (figura VIII.2).

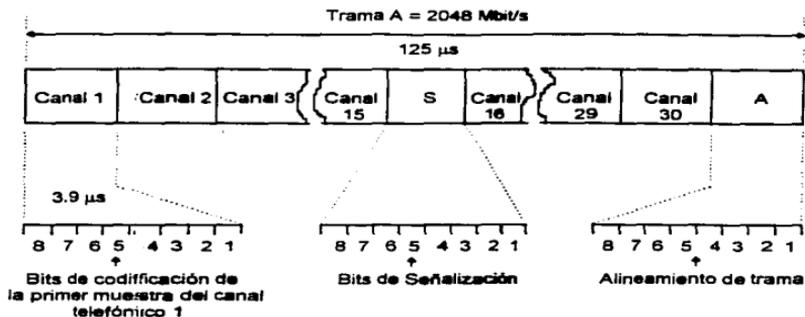


Figura VIII.2. Estándar Europeo.

VIII.1. Velocidades Binarias de la Jerarquía Digital Plesiócrona.

Atendiendo a la velocidad binaria de un sistema basado en el primer nivel de 2048 Kbit/s, existen los siguientes niveles jerárquicos:

- 64 Kbit/s (8 lbits a una velocidad de 8 KHz). Las señales de datos se codifican en código AMI y se transmiten a través de un par simétrico.
- Nivel jerárquico 1 a una velocidad de 2048 Kbit/s (30 canales). Se utiliza código HDB3 (bipolar de alta densidad de orden 3) y se transmite a través de un par simétrico.
- Nivel jerárquico 2 a una velocidad de 8448 Kbit/s (4 tramas de 30 canales se multiplexan para obtener 120 canales). Se utiliza código HDB3 y se transmite a través de un par coaxial (ver figura VIII.3).

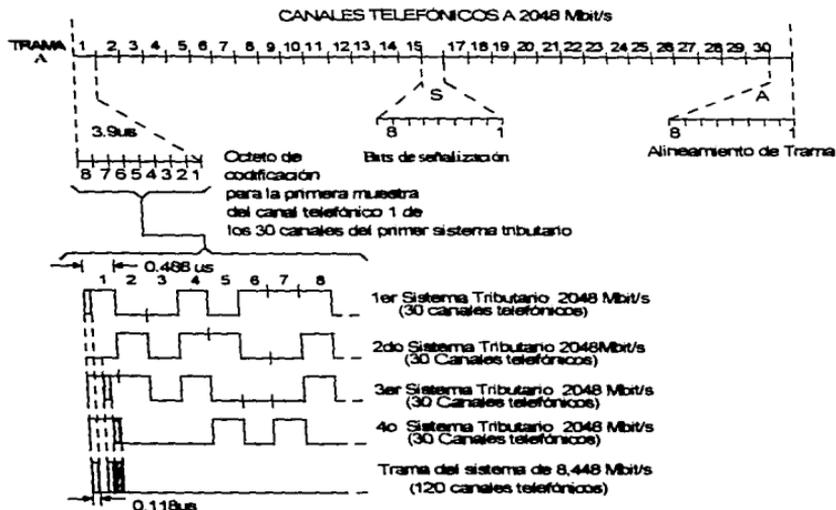


Figura VIII.3. Sistema de 8 Mbit/s obtenido por multiplexar 4 sistemas de 2 Mbit/s.

- Nivel jerárquico 3 a una velocidad de 34368 Kbits/s (4 tramas de 8 Mbits se multiplexan para obtener 480 canales). Se utiliza código HDB3 y se transmite a través de un par coaxial.
- Nivel jerárquico 4 a una velocidad de 139264 Kbit/s (4 tramas de 34 Mbits se multiplexan para obtener 1920 canales). Se utiliza código CMI y se transmite a través de cable coaxial.

CONCLUSIONES

A pesar de que las señales digitales están sometidas a distorsiones como el efecto aliasing, el ruido de cuantización, la saturación, el ruido del canal, la interferencia intersimbólica y el jitter de muestreo, ofrecen muchas ventajas para la transmisión de información: ya que a medida que la señal atraviesa el canal, el receptor solo tiene que detectar la presencia o ausencia de un pulso digital binario, y no la amplitud de una señal como en el caso analógico. Esta característica da mayor confiabilidad al sistema y mayores aplicaciones.

En este trabajo se discutió a cerca de la primera etapa en el procesamiento de la señal para que pueda ser transmitida a través de un canal vía microondas dependiendo del tipo de entrada que se tenga al sistema: analógica, textual o digital. Particularmente la red telefónica ejemplifica dicho tratamiento a una señal analógica.

La señal analógica de un canal debe muestrearse, cuantificarse y codificarse (ley A o ley μ) para que posteriormente pueda multiplexarse junto con otros canales y entrar a la jerarquía digital para su transmisión vía microondas.

Sin embargo, la transmisión digital es tan flexible que no sólo la voz puede ser transmitida por medio de bits; ahora también es posible enviar señales de video y datos por un mismo canal con un tratamiento similar.

ESTA
SALIR DE LA
TESIS
NO DEBE
BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFÍA

- REDES DE COMPUTADORAS. Protocolos, Normas e Interfaces.
UYLESS BLACK.
MACROBIT EDITORES.
- FUNDAMENTOS DE COMUNICACIONES DIGITALES.
TELEDATA TECHNOLOGY.
- COMUNICACIONES INTERFACES, MODEMS, PROTOCOLOS, REDES Y NORMAS.
HUIDOBRO, JOSE MANUEL.
EDITORIAL PARANINFO.
- INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES.
SMALE, P. H.
EDITORIAL TRILLAS.
- FASCÍCULO III DE LA CCITT.