



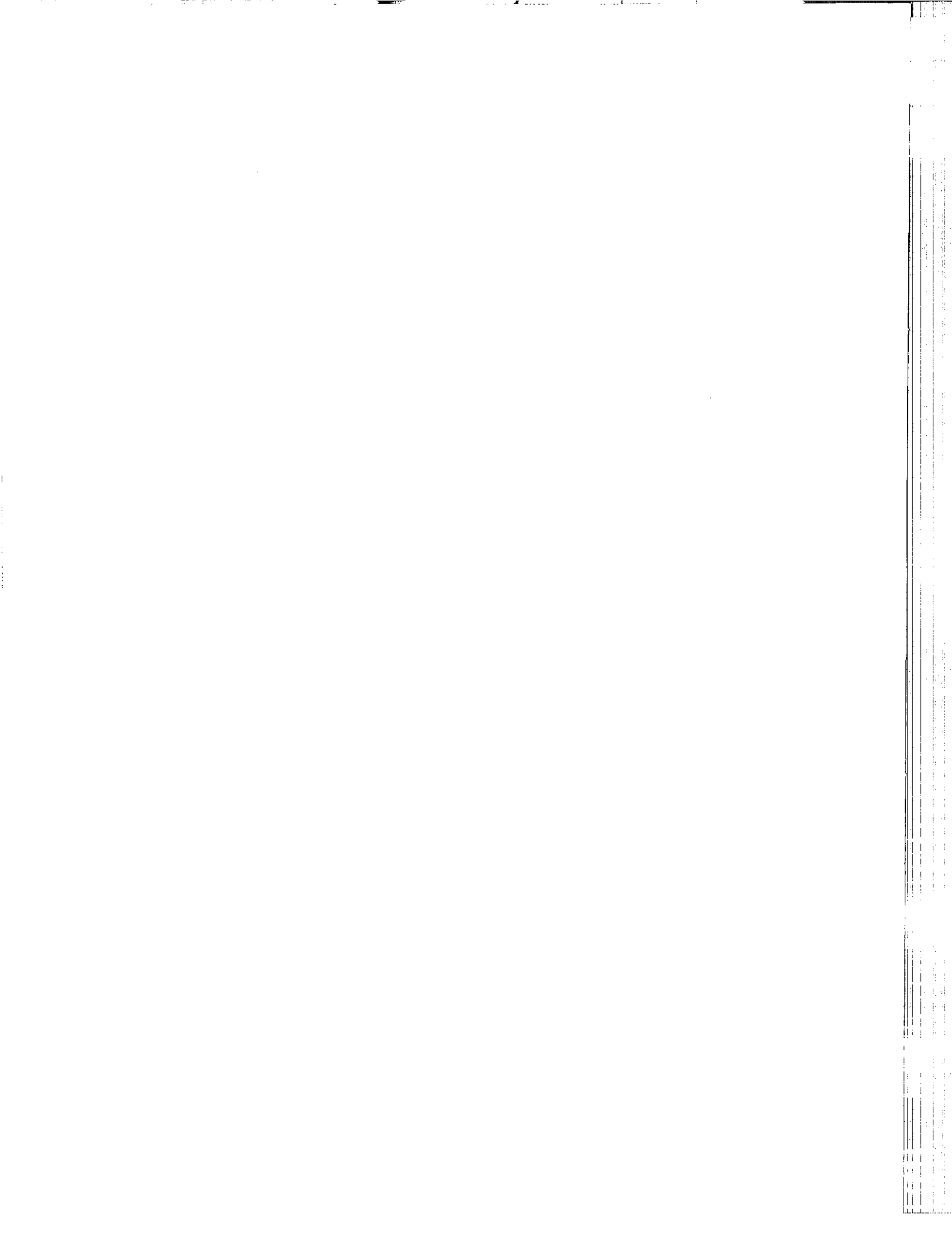
**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA**

TUTOR DE MODULACION DIGITAL

LESBIA MAGALY CONTRERAS AYALA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1996

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

TUTOR DE MODULACION DIGITAL

TESIS

**Presentada a la Junta Directiva
de la
Facultad de Ingeniería
por**

LESBIA MAGALY CONTRERAS AYALA

al conferírsele el título de

INGENIERO EN ELECTRONICA

Guatemala, noviembre de 1996

08
T(3866)
C4



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

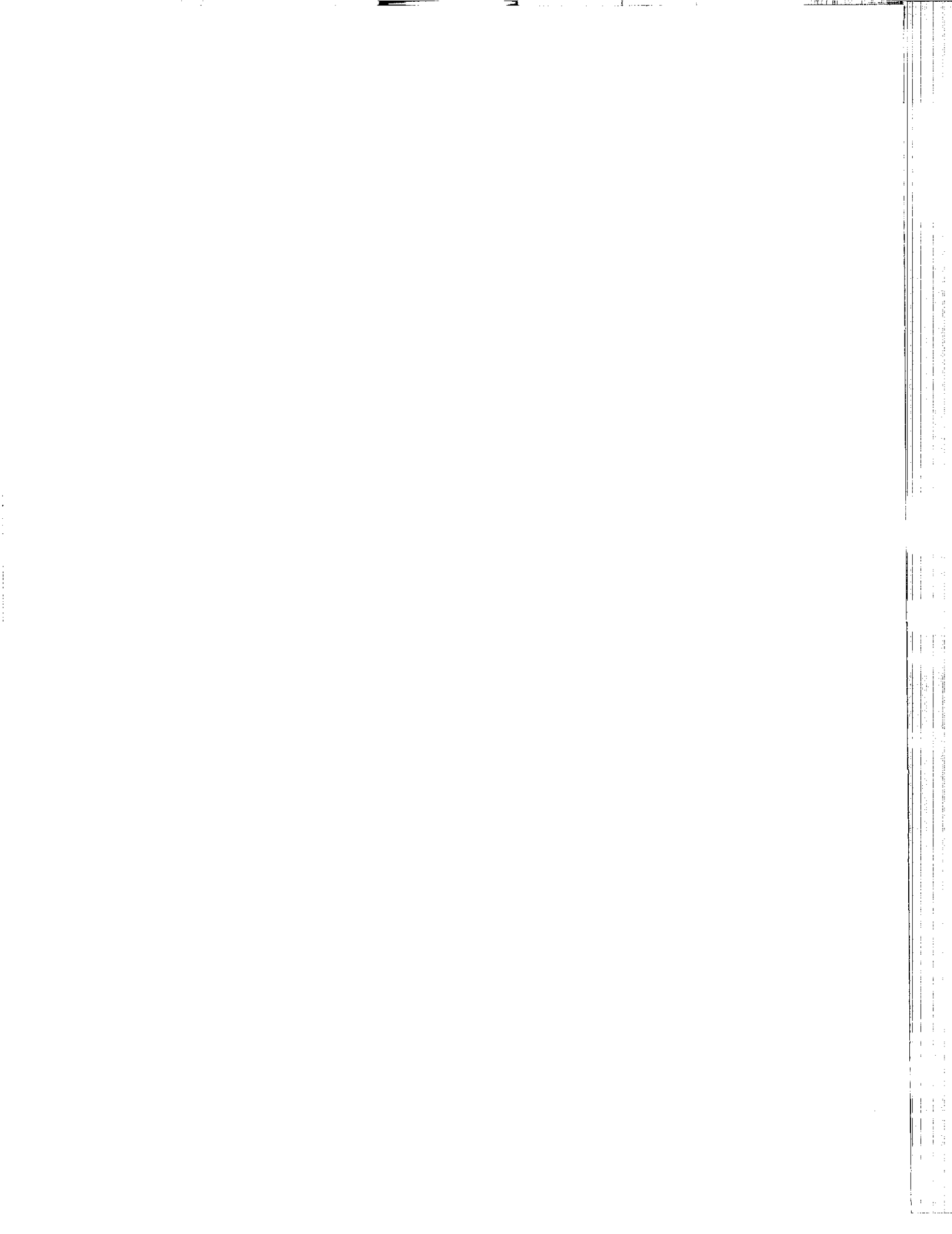
Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

TUTOR DE MODULACION DIGITAL

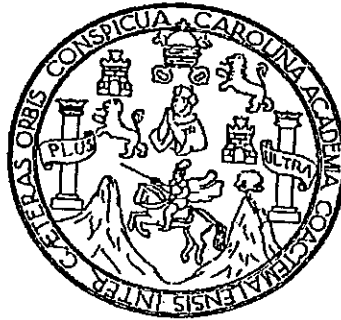
tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 24 de mayo de 1995

LESBIA MAGALY CONTRERAS AYALA

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

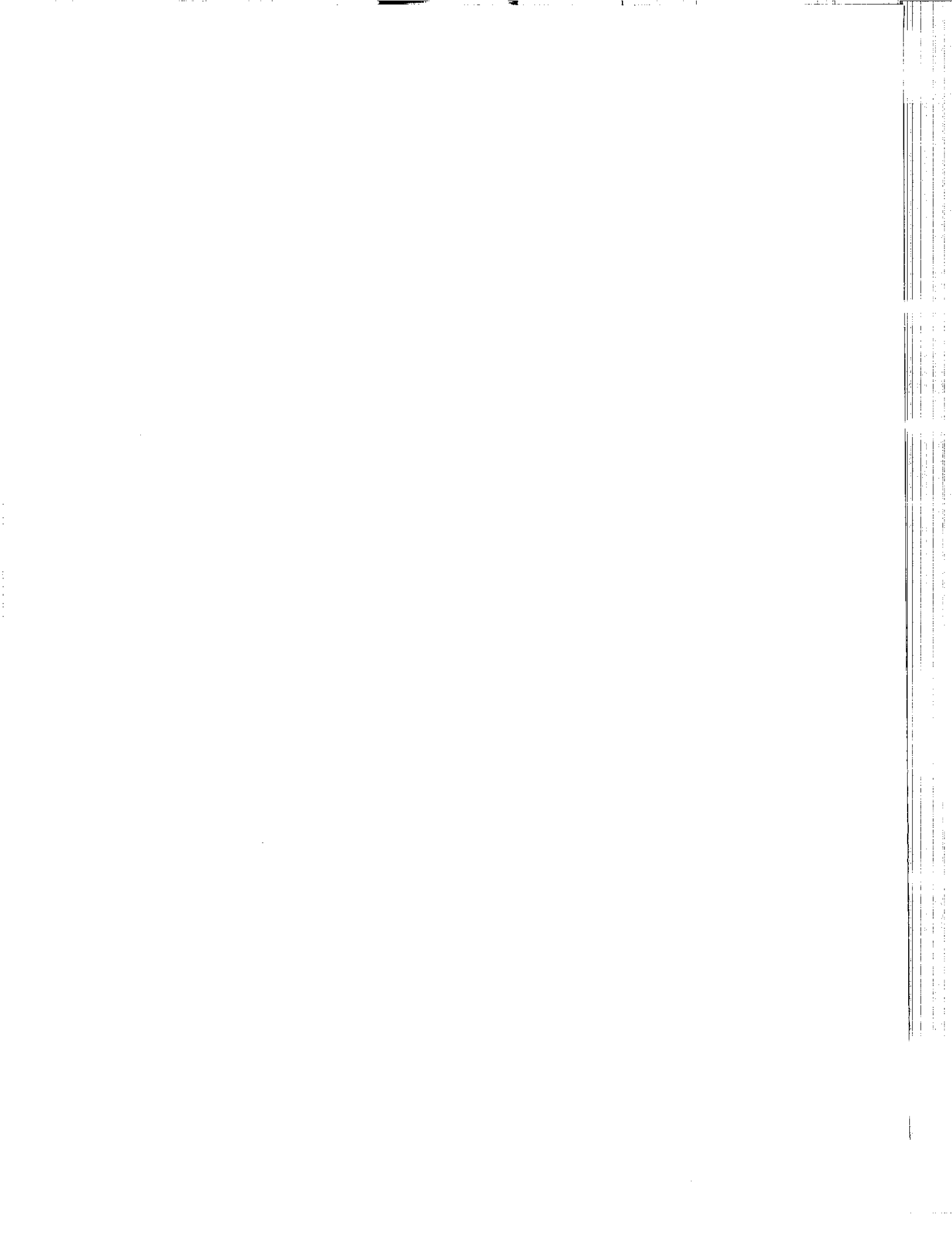
DECANO
VOCAL 1o.
VOCAL 2o.
VOCAL 3o.
VOCAL 4o.
VOCAL o.
SECRETARIO

Ing. Julio Ismael González Podszueck
Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
Ing. Juan Adolfo Echeverría Mendez
Br. Fernando Waldemar De León Contreras
Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor
Ing. Francisco Javier González López

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO
SECRETARIO
EXAMINADOR
EXAMINADOR
EXAMINADOR

Ing. Julio Ismael González Podszueck
Ing. Francisco Javier González López
Ing. Enrique E. Ruiz Carballo
Ing. Edwin Alberto Solares Martínez
Ing. Gustavo Benigno Orozco



Guatemala Octubre 1, 1996

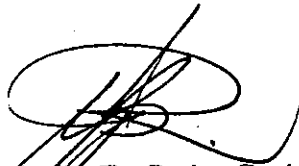
Señor Coordinador del Area de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Coordinador:

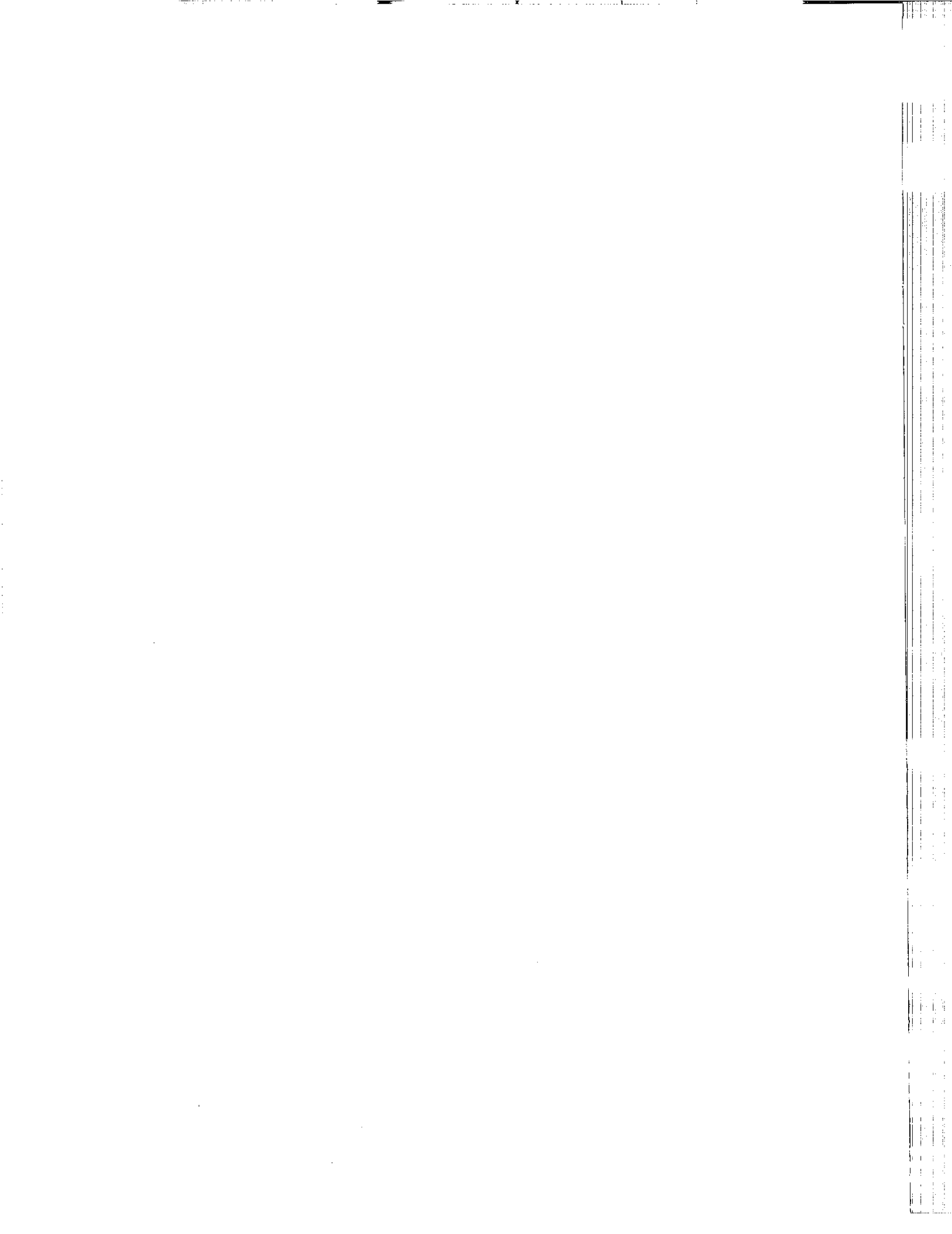
Por medio de la presente, me permito informarle que he revisado completamente el trabajo de tesis titulado: **TUTOR DE MODULACION DIGITAL**; desarrollado por la señorita **Lesbia Magaly Contreras Ayala** y puedo concluir que dicho trabajo cumple con los objetivos propuestos en el anteproyecto de tesis.

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

Atentamente,



Ing. Enrique E. Ruiz Carballo
Asesor Nombrado
Colegiado 2225





FACULTAD DE INGENIERIA

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

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 11 de octubre de 1996

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


Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al trabajo de tesis titulado: TUTOR DE MODULACION DIGITAL; desarrollado por la estudiante Lesbia Magaly Contreras Ayala, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

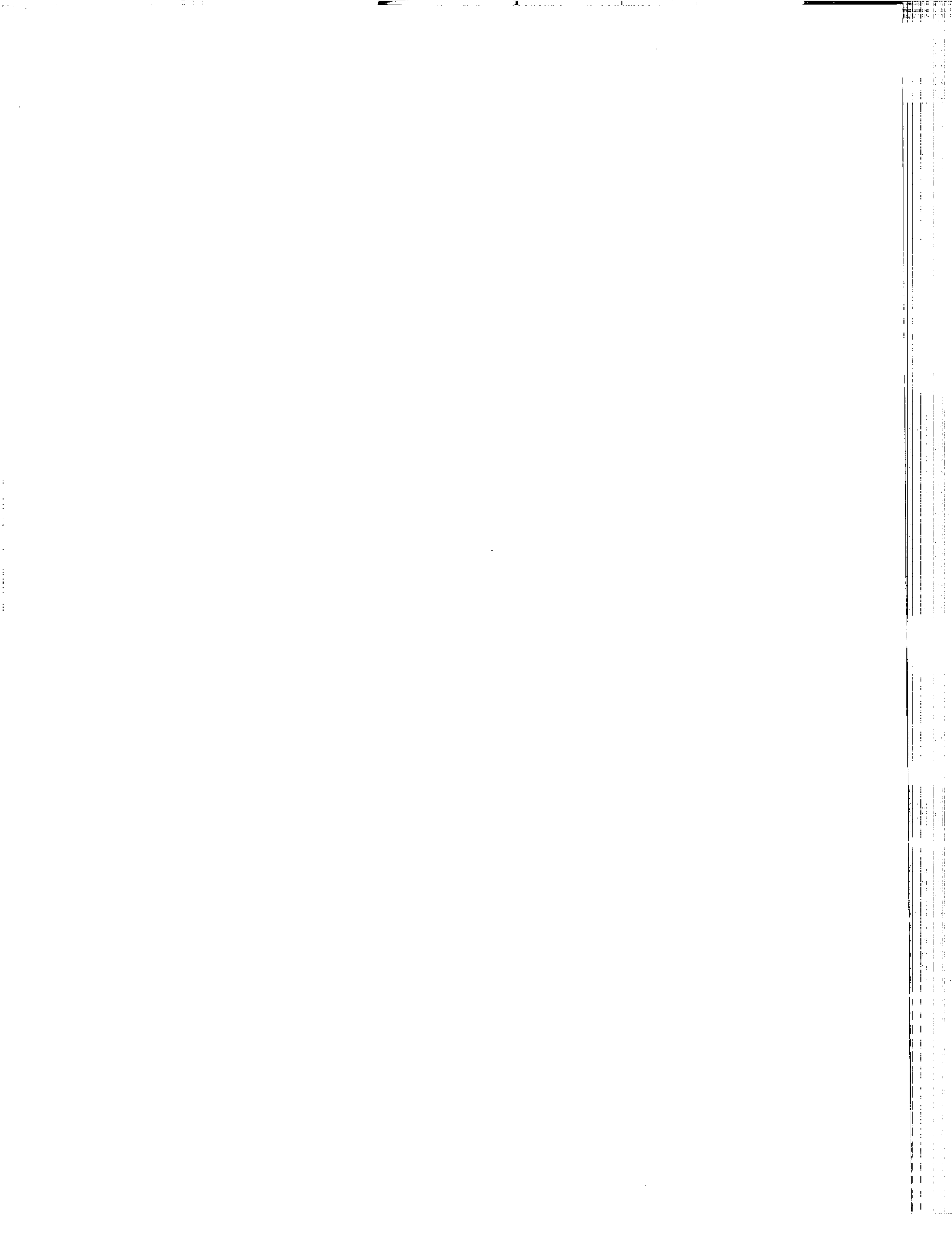
Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador Area de Electrónica

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central





FACULTAD DE INGENIERIA

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

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: Tutor de Modulación Digital, de la estudiante Lesbia Magaly Contreras Ayala, procede a la autorización para la impresión de la misma.

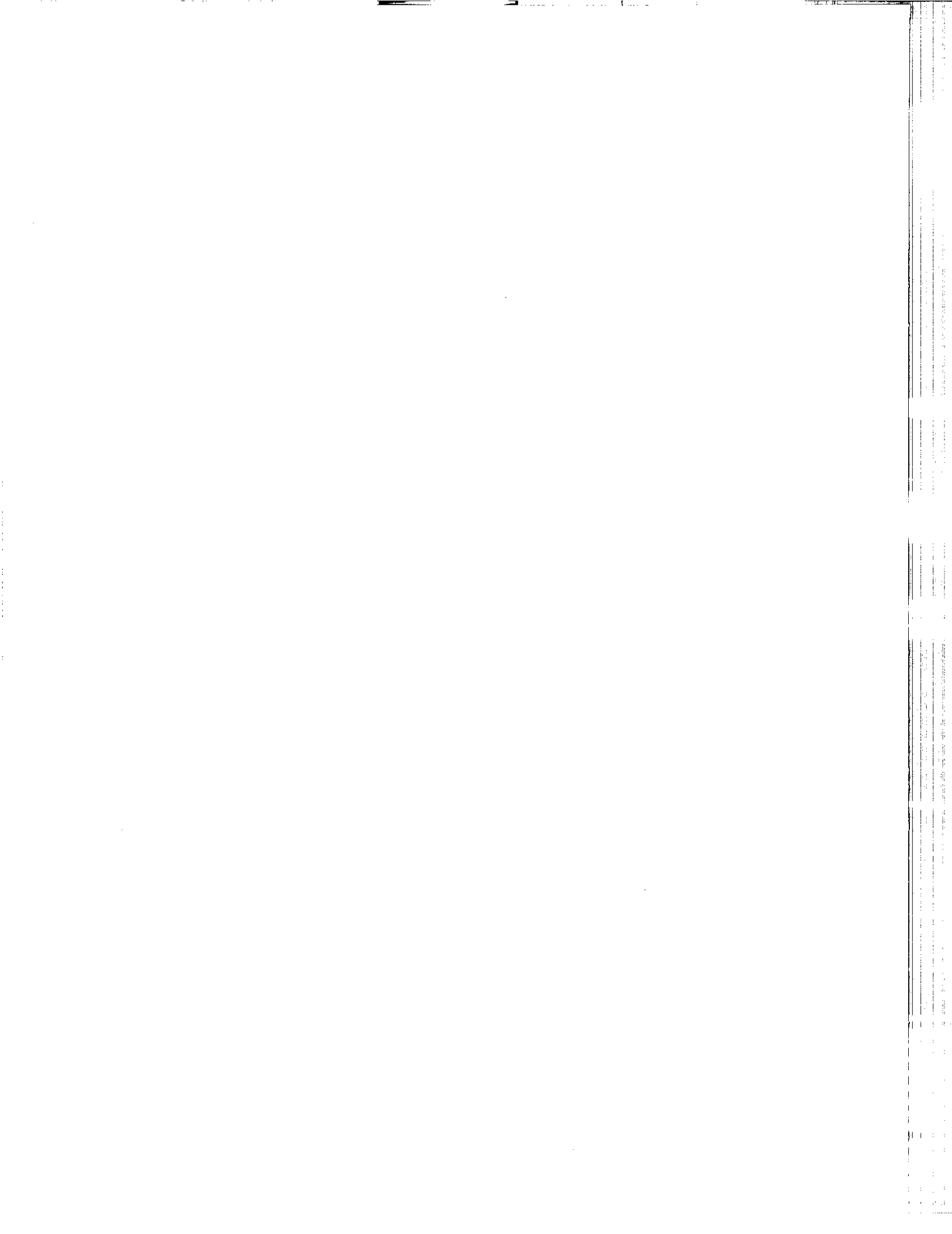
IMPRIMASE:


Ing. Julio Ismael González Podszueck

Decano

Guatemala, 22 de octubre de 1,996.







FACULTAD DE INGENIERIA

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

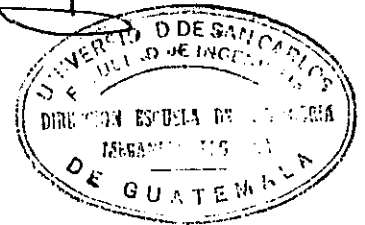
Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de
conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de
Area, al trabajo de tesis de la estudiante Lesbia Magaly Contreras Ayala,
titulada: Tutor de Modulación Digital, procede a la autorización del
mismo.


Ing. Edgar F. Montúfar Urizar

Director

Guatemala, 16 de octubre de 1,996.





DEDICATORIA

A DIOS:

Porque de él emana la vida, me dio sabiduría, entendimiento y fortaleza para llegar a la cúspide de este largo camino.

A MIS PADRES:

Mario y Toni, por su gran ejemplo de trabajo y honradez, gracias por guiarme en el recto sendero de la vida.

A MIS HERMANOS:

Mayuly, Lucky y Mario Roberto; gracias por su apoyo y confianza que siempre me brindaron, y en especial a Carlos Alberto eterno recuerdo a su memoria enviándole llovizna de flores blancas.

A MIS CATEDRATICOS:

Gracias a sus sabias enseñanzas y dedicación. En especial al Ing. Enrique Ruiz Carballo.

A MIS AMIGOS:

Porque cada uno apporto un granito de arena para construir este edificio.

INDICE GENERAL

- Listado de símbolos	1
- Listado de gráficas	3
- Glosario	5
- Introducción	10
- Modulación digital	11
- Cuestionario No. 1	14
- PCM (Modulación por pulso)	15
- Aplicaciones	26
- Modulación delta (DM)	29
- Conmutador de desplazamiento de amplitud (A S K)	33
- Cuestionario No. 2	34
- Conmutador de desplazamiento de frecuencia (F S K)	37
- Cuestionario No. 3	39
- Cuestionario No. 4	45
- Conmutador de desplazamiento de fase (P S K)	46
- Comparación de los sistemas de modulación	49
+ Ancho de banda	49
+ Potencia	49
+ Inmunidad a los deterioros	49
+ Equipo	50

- Cuestionario No. 5	51
- Modulación multisímbolo	52
+ PSK multisimbólica (MPSK)	52
+ Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)	59
+ FSK multisimbólica	63
- Comparación de modulación digital	64
- Cuestionario No. 6	67
- Conclusiones	68
- Recomendaciones	69
- Bibliografía	70
- Apendices	71
- A: Manual del usuario	72
- B: Pasos para la programación	74

SIMBOLOS

LOG2.....	Logaritmo de base dos de un número dado.
B.....	Ancho de Banda.
S.....	Señal
N.....	Ruido
S/N.....	Relación señal a ruido
C.....	Capacidad del canal
δ	Densidad de Información
R.....	Taza de señalización
Hz.....	Hertz, vueltas por unidad de tiempo
fm.....	Banda limitada
Ts.....	Tiempo de muestreo
fs.....	Frecuencia de muestreo
π	Pi, constante de 3.1416
S(t).....	Suma de sinusoides, tren de pulsos
dt.....	Ancho de un pulso, diferencial de tiempo
m(t).....	La señal de Información
fl.....	Frecuencia inferior
fh.....	Frecuencia superior

Vi.....Voltaje inferior
Vh.....: Voltaje superior
M.....Niveles de cuantización
S.....Tamaño del step, medida de M1 a M2
mq.....Señal cuantizada
 $\emptyset(t)$Representación de la señal ASK
Vc(t).....Portador en ASK
fc.....Frecuencia de la portadora, alta frecuencia
e.....Constante 2.7183
A.....Amplitud
 δfCambio de frecuencia
K.....Amplitud de la Señal
rb.....Ancho de Banda
 $\emptyset k$Ángulo en MPSK

LISTADO DE GRAFICAS

Graf1.....	Tren de pulsos
Graf2.....	Señal de Información
Graf3.....	Señal Muestreada
Graf4.....	Densidad espectral de potencia
Graf5.....	Traslape de bandas
Graf6.....	Muestra de la banda de guarda
Graf7.....	Filtrado de la señal
Graf8.....	Transmisor de PCM
Graf8b.....	Receptor de PCM
Graf9.....	Operación de cuantización
Graf10.....	Error de cuantización
Graf11.....	Muestreo, cuantización y codificación
Graf12.....	Sistema de comunicación PCM
Graf13.....	Muestreo de diversas señales
Graf14.....	TDM en señales moduladas en amplitud
Graf15.....	Modulación delta
Graf16.....	Señal de pendiente inclinada
Graf17.....	Error en DM
Graf18.....	Respuesta de un modulador de banda base
Graf19.....	Transmisor ASK
Graf19a.....	Receptor ASK
Graf20.....	Modulacion FSK
Graf21.....	Señales combinadas

Graf22.....	Modulador FSK
Graf23.....	Transmisor FSK
Graf23a.....	Detector sincrónico
Graf24.....	PSK
Graf24a.....	Modulador 4PSK
Graf25.....	Diagrama de fase de una señal 8PSK
Graf26.....	Modulador 8PSK
Graf27.....	Espectros PSK
Graf28.....	Representación de 16QAM
Graf29.....	Modulador QASK
Graf30.....	Demodulador QAM
Grafn1.....	Sistema de comunicación digital
Graff.....	Señal PSK
Grafask.....	Receptor de ASK
GrafMag.....	Esquema de complejidad
GrafAA.....	Banco de filtros acoplados
Grafbb.....	Transmisor de señal m-aria

GLOSARIO

AMPLIFICADOR: dispositivo que es capaz de reproducir una forma de onda de entrada en una manera agrandada de potencia, reproduciendo las características esenciales de la onda.

AMPLITUD: el tamaño de la magnitud de una forma de onda de voltaje o corriente. Variación de la amplitud de una señal portadora en función de una señal de información.

ANALOGA: perteneciente a una variación continua de cantidades físicas.

ANALOGO A DIGITAL (ADC) : dispositivo electromecánico, el cual sensa una señal eléctrica y la convierte en su representación equivalente digital.

ANCHO DE BANDA: rango de frecuencias asignadas a un canal o sistema, se expresa en Hertz.

Diferencia expresada en Hertz entre dos frecuencias límites de una banda.

ASCII: American Standar Code for Information Interchange. Código que utiliza 7 bits, usado para el intercambio de información, proceso de datos, sistemas de comunicación y equipo asociado.

ASINCRONO: sin relación de tiempo regulado, inesperado, impredecible en relación a una recepción.

ASINCRONICA (TRANSMISION): modo de transmisión en el cual el tiempo de ocurrencia del inicio de cada caracter, o bloque de caracteres, es arbitrario. Transmisión en la cual cada transmisión de caracteres es individualmente sincronizada; comúnmente se utilizan elementos de inicio de transmisión y otros de fin de la misma.

ATENUACION: decremento en la magnitud de la corriente, voltaje o potencia de una señal en la transmisión entre puntos, puede ser expresada en decibelios o nepers.

BANDA: espectro de frecuencia entre dos límites definidos.

BANDA-ANCHA: uso de un cable coaxial para la transmisión de datos por medios analógicos; el cable está dividido en varias bandas de frecuencia multiplexadas.

BANDA-BASE: técnica de transmisión usando cable coaxial sobre cortas distancias, y permite transmisión digital a velocidades arriba de los 10Mbps.

BINARIO: condición que tiene dos posibles valores o estados.

BIT: en la pura numeración binaria puede ser un 1 o 0.

BIT DE PARIDAD: dígito binario insertado en un grupo de dígitos que al sumarse dan paridad par o impar tomándolo a el en cuenta.

BLOQUE: es un string de palabras, formado por razones técnicas o lógicas que lo hacen tratable de algo entero. Conjunto de caracteres, dígitos, palabras que pueden tratarse como una unidad.

BYTE: paquete de elementos binarios operado como una unidad; está compuesto generalmente de 8 bits, generalmente es ordenado como una palabra.

CANAL: camino en el cual las señales pueden ser enviadas, por ejemplo, un canal de datos, o bien canal de salida.

CANAL DE COMUNICACIONES: vea canal.

CICLO: repetición completa de una función que se repite continuamente. El número de ciclos por segundo es llamado frecuencia.

CIRCUITO: dos caminos de comunicación entre dos terminales de datos. Conjunto de elementos reunidos formando un camino.

COAXIAL: consiste en dos conductores, dispuestos de tal manera que permiten operar en rangos de frecuencias más anchos.

CODIGO: conjunto de reglas inambiguas que especifican la forma en que los datos deben de ser representados en una forma discreta. Se usa en la transmisión y recepción de datos.

CONEXION: camino establecido entre dos terminales.

CONVERTIDOR: dispositivo capaz de convertir impulsos de un modo a otro, tal es el caso de digital a analógico, o bien de un código a otro.

DATOS: la representación de conceptos o instrucciones de una manera formalizada apta para las comunicaciones, interpretación en procesos humanos.

DATA LINK: canal de comunicaciones, módems y controles de comunicación de todas las estaciones conectadas al canal de comunicaciones, usados en la transmisión de información entre dos o más estaciones.

DECIBELIO: unidad de medida logarítmica relativa a potencia.

DECODIFICADOR: técnica de representar múltiples bits de datos en un modem, sin alterar la rata de banda.

DEMODULACION: proceso inteligente de regeneración de datos de una onda portadora modulada; es todo lo contrario a modulación.

DIGITAL: representación de cantidades físicas discretas.

DISTORCION: cambios indeseables en la forma de onda de una señal que ocurre entre dos puntos en un sistema de transmisión.

DTE: Data Terminal Equipment. Equipo que se encuentra en las terminales de las comunicaciones, en los extremos.

ECUALIZACION: compensación por la atenuación (pérdida) incrementado con frecuencia.

ERROR: cualquier caracter o secuencia de los mismos que no concuerdan con los transmitidos.

ERROR DE RATA: medida de la calidad de un circuito o sistema. El número de bits o caracteres erróneos encontrados en una muestra de la señal, frecuentemente tomadas de 100,000 caracteres.

FDM: Frequency Division Multiplexer, sistema operativo en disco utilizado por los computadores personales.

FILTRO: dispositivo electrónico que permite el paso de determinadas frecuencias.

FM: frecuencia Modulation, modulación en frecuencia; técnica implementada de cambiar la frecuencia.

FRECUENCIA: rata de una señal modulante en ciclos por segundo.

FRECUENCY SHIFT KEYING (FSK): modulación de la frecuencia de una portadora por la variación entre números arreglados de valores discretos (señal digital).

HARDWARE: equipo físico, opuesto a software.

HERTZ: unidad de frecuencia igual a un ciclo por segundo.

INTERFACE: frontera compartida, definida por una interconexión con señales características y funcionales para los circuitos.

KHZ: Kilohertz, mil ciclos por segundo.

LINEA: canal de comunicaciones, circuito, camino o link.

MENSAJE: combinación de caracteres y símbolos transmitidos de un lugar a otro.

MODEM: unidad funcional que modula y demodula señales; una de sus funciones primordiales es permitir que las señales digitales puedan transmitirse en canales análogos junto con sus facilidades.

MODULACION: proceso en el cual algunas características de la señal de información son variadas, de acuerdo con otra forma de onda técnica utilizada en Modems.

MULTIPLEXAR: facilidad en la transmisión mediante la división, que puede ser en más de un canal, partir en pedacitos la frecuencia de una señal.

PSK: Phase Shift Keying, Conmutación de Amplitud Fase. Forma de modulación de fase.

QAM: Quadrature Amplitude Modulation, Modulación de Amplitud en Cuadratura.

RED: configuración en la cual dos o más terminales son conectadas.

REMOTO: perteneciente a dispositivos que son conectados a un sistema de procesamiento de datos, a través de una conexión de comunicaciones.

REPETIDOR: sistema que reconstruye señales a sus voltajes estándares, corrientes y tiempos.

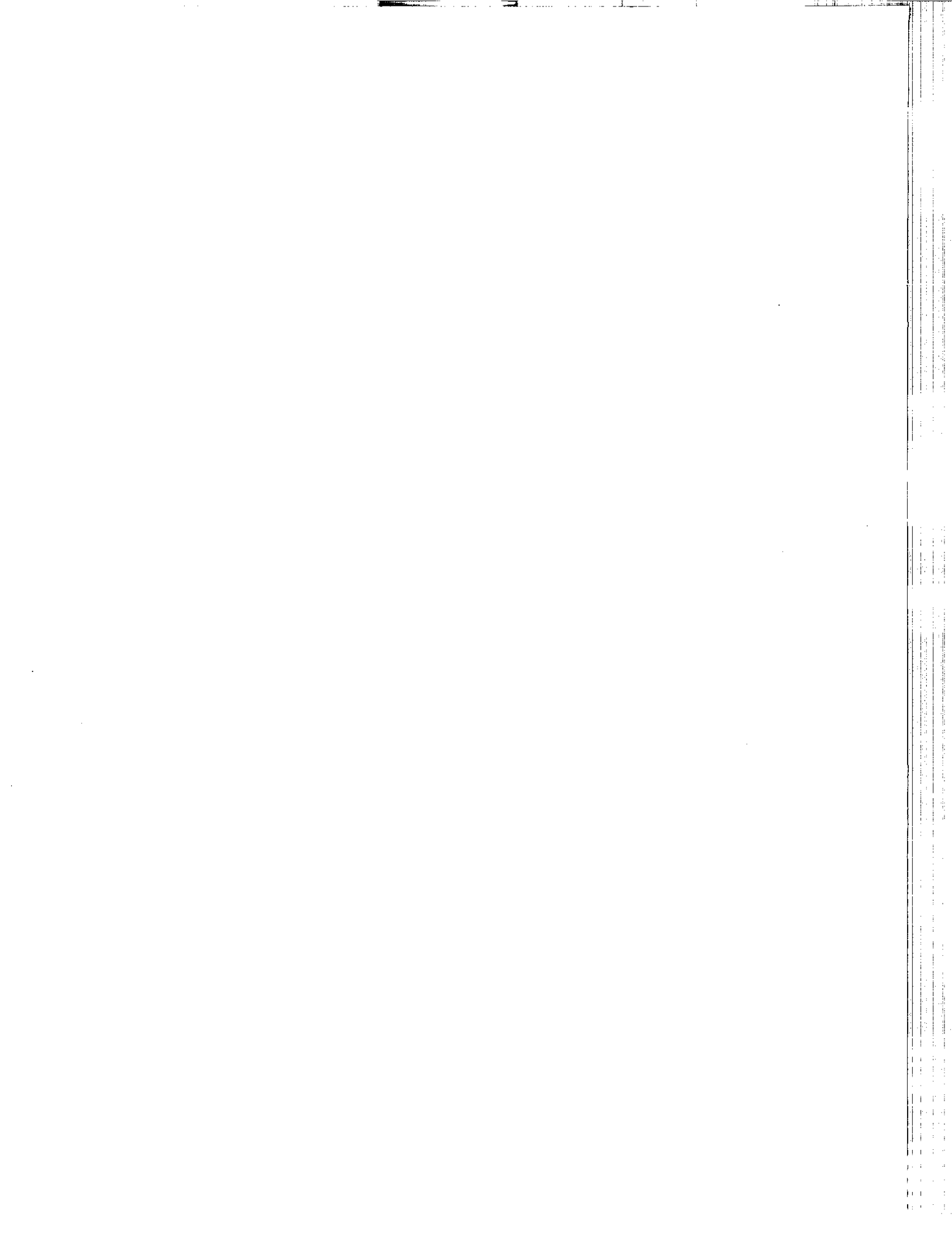
RUIDO: distorción que tiende a interferir con la operación normal de un dispositivo o sistema. Onda no deseada adherida a la información al ser transmitida.

SDLC: synchronous Data Link Control. Disciplina que maneja la sincronización, bit seriales; información transmitida por canales de comunicación .

SINCRONO: que ocurre en un tiempo predecible.

TRANSMISION PARALELA: transmisión simultánea de un grupo de bits que constituyen datos o bien caracteres.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



INTRODUCCION

La tecnología avanza día tras día, hora tras hora y minuto tras minuto; por eso es necesario avanzar junto a ella; pero debemos empezar con los pequeños del saber, como son las escuelas, colegios, institutos y universidades.

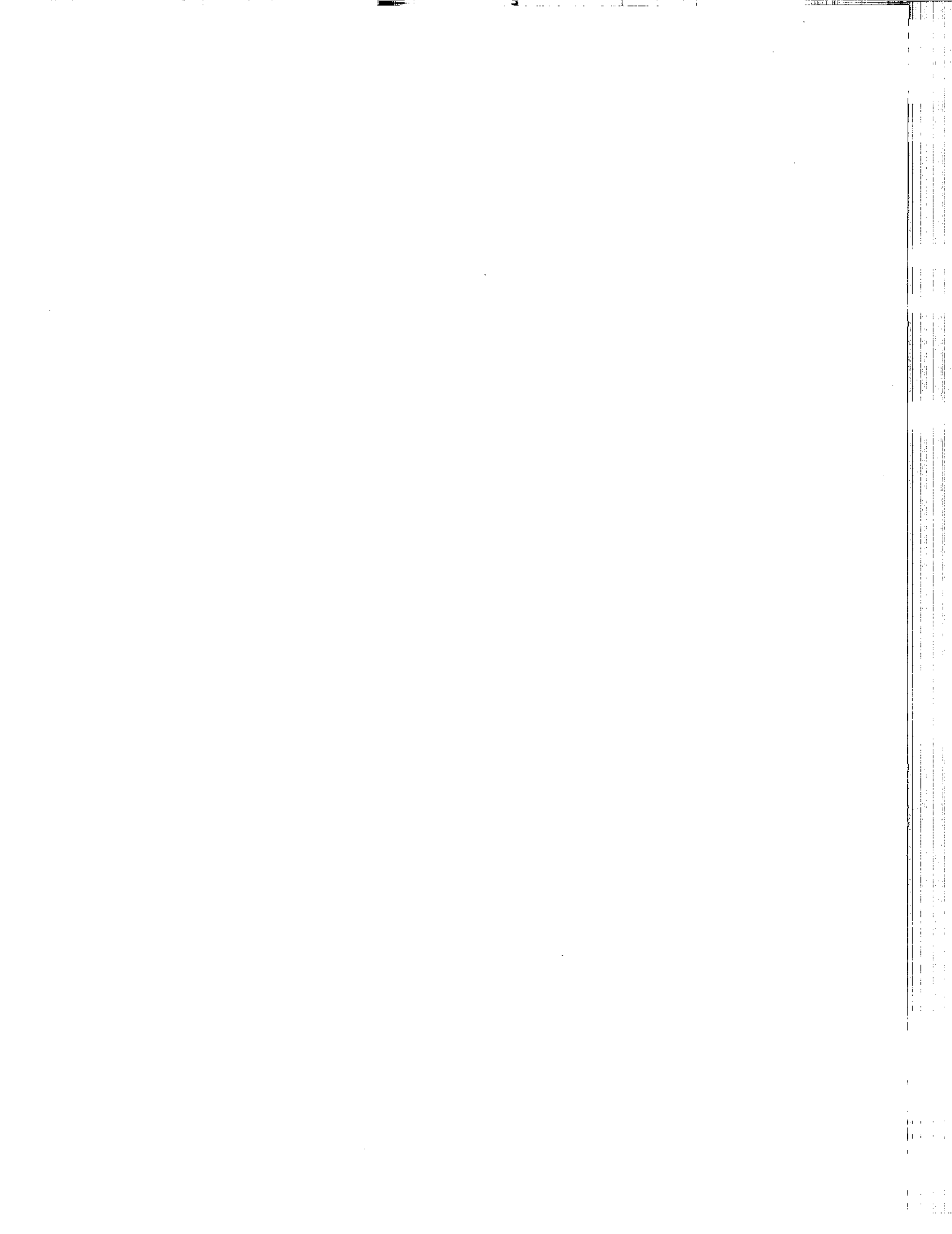
En el presente trabajo, se da a conocer un sencillo tutor cuyo tema presentado por el mismo es de Modulación Digital; trabajo realizado con el fin de proporcionarle al estudiante una pequeña muestra, un pequeño grano de arena comparado con los millones que representa el saber; es una reseña de lo que podemos hacer una realidad.

Modulación Digital es un tema entre tantos de las comunicaciones pero muy interesante y ahora es introducido por un tutor para que el estudiante afirme y amplíe sus conocimientos obtenidos en clase en el tiempo que le sea más cómodo. Consiste en instalar un software que no ocupa mucho espacio en una computadora personal y correrlo con las indicaciones correctas.

Es auxiliar para el catedrático, con la limitante de que si no se tiene una PC, no podrá verse pero si leerse.

Puede leer o aprender a modular digitalmente, conocer las ventajas y desventajas de la Modulación Digital, comparar las distintas formas de hacerlo; al leerlo podrá observar la variedad de diagramas que se presentan, de moduladores y demoduladores y se puede pasar un test objetivo muy sencillo, que le permite corroborar si aprendió o no el tema.

Se espera que sea de su agrado y gran ayuda en su superación, pues es el resultado de una exhausta investigación.



MODULACIÓN DIGITAL

Las señales digitales son aptas para enviarlas a cortas distancias sobre las líneas o cables; están en banda base; por otros medios de transmisión, es necesaria su adaptación al mismo, por ejemplo, si transmitimos nuestra información digitalizada en una línea analógica, tenemos que transformar nuestros datos de digitales a analógicos. Se sabrá cómo modular la señal según las características del canal, del ancho de banda disponible y si es susceptible el canal al desvanecimiento; de lo contrario, ésta no llegará a su destino; si la transmisión es vía radio, sería necesaria la utilización de antenas para captar y enviar la señal; también se podría transmitir a través de fibra óptica, cable coaxial, etc; todo lo anterior interviene en la toma de una decisión al momento de enviar datos.

Como ya se dijo, el canal es la comunicación entre la fuente de información y su destino; se puede degradar la señal dando como resultado una distorsión y a la vez aditamento de ruido. El transmisor y el receptor son los encargados de evitar la distorsión y minimizar el ruido; lo ideal es tener una señal en la salida del receptor idéntica a la información que obtuvo el transmisor en su entrada. El transmisor une la señal con el canal, la amplifica, la filtra y luego la modula (adaptándola al canal a través del uso de una onda portadora). La onda portadora es continua y muchas veces sinusoidal. El demodulador tiene su función también, y es la de transformar o deducir de la señal que obtiene en el canal una señal original.

Basándonos en el tipo de modulación y en la naturaleza de la salida de la señal en el transmisor, las comunicaciones se dividen en:

- Sistemas de comunicación Análogos para transmitir información analógica, con el uso de métodos de modulación análogos.
- Sistemas de comunicación digital para transmitir información digital usando métodos de modulación digital.
- Sistema híbrido que usa uno de los métodos anteriores; usa esquemas de modulación digital, transmite y cuantiza valores de una señal análoga.

El canal tiene un ancho de banda finito, por lo que a menudo la señal sufre degradación y desfazamiento. Para resolver uno de tantos problemas como lo es el ruido que no se puede eliminar, sino disminuir se incrementa la potencia, se aumenta así la señal, por lo que el factor señal (S/N) a ruido aumenta.

La capacidad del canal que nos da la máxima rata de transmisión con el mínimo de errores, y es posible obtenerla con la siguiente ecuación:

$$C = B \log_2(1+S/N) \text{ bits/seg}$$

Por ejemplo en un link telefónico de ancho de banda 3Khz. y $S/N=10^3$

$C= 30,000$ bits/seg. que sería la capacidad del canal.

En el siguiente diagrama de bloques, observamos un sistema de comunicación punto a punto.

(graf.N1)

En la fuente de transmisión, está el **DTE** que es el data terminal equipment; generalmente es una terminal en la que se procesan datos la cual se maneja con señales de control, que dicen si se envían datos o no, se conecta a esta terminal una interface (generalmente un cable **RS-232** por ejemplo.), que va al modem y del modem al canal.

Tres ventajas muy importantes se consideran de la transmisión digital sobre la analógica:

- *El ruido no se acumula en los repetidores por lo que juega un papel secundario en el diseño de sistemas digitales, mientras que en los sistemas analógicos juega un papel primario.
- *Es un sólido estado de tecnología el formato digital, particularmente los circuitos integrados.
- *Es compatible inherentemente con los datos digitales, señalización y computadoras.

Generalmente las señales por naturaleza son análogas, tal es el caso de la voz y el vídeo; si se consideran las ventajas de la transmisión digital, éstas se convierten de análogo a digital, y cuando es necesario, se transmite en la línea telefónica la convertimos en una señal análoga compatible con los requerimientos de la red, que es un trabajo que realiza el módem (modulador-demodulador).

Es necesario superponer en una portadora la señal que va a transmitir los dos métodos de modulación digital más comunes que son: **PCM** (Pulse Code Modulación, Modulación de Código de Pulsos) y **DM**(Delta Modulación, Modulación Delta).

Así también tenemos la modulación en amplitud (**AM**), frecuencia (**FM**), fase (**PM**) y en cuadratura (**QAM**). Como ya se mencionó antes, cada sistema de modulación ofrece sus ventajas según el medio por el cual se quiera enviar la señal de una manera óptima. Tomando de nuevo por ejemplo la línea telefónica como medio de transmisión no podemos transmitir **DC** (señal digital) ni bajas frecuencias (debido a los transformadores usados en las circuiterías).

En los sistemas de modulación digital, un parámetro muy usado y de utilidad es la densidad de información

$$\delta = R/B$$

donde B = ancho de banda Hz.

R = tasa de señalización.

se expresa en bits/seg Hz. Teóricamente la máxima densidad de información es de 2 bits/seg Hz., la cual se reduce a la mitad para la doble banda lateral, y en implementaciones un poco recientes se ha llegado a 4.65 bit/seg Hz. La modulación digital binaria tiene las mismas 3 variantes que en el caso analógico: amplitud, frecuencia y fase.

Cuestionario 1

CUESTIONARIO 1

1. ¿Parte intermedia entre la fuente de transmisión y el receptor?

CANAL

2. Nombre de la señal aleatoria impredecible que se le adhiere a la información al ser transmitida.

RUIDO

3. ¿Cual de las tres siguientes afirmaciones es una ventaja importante de la transmisión digital sobre la analógica?

- a.- El ruido no se acumula en los repetidores.
- b.- No es compatible con los datos digitales.
- c.- Puede transmitirse sobre las líneas telefónicas.

A

4. Nombre de la onda generalmente sinusoidal, de alta frecuencia, que es utilizada para trasladar la onda de información en el espectro.

PORTADORA

5. Mencione el nombre de las dos formas de modulación.

ANALOGICA Y DIGITAL

6. Calcule la capacidad de un canal cuyo ancho de banda es de 6Khz y S/N es de 10^3 .

60,000

PCM (PULSE CODE MODULATION):

Método de modulación en el cual una onda continua, análoga, es transmitida en un equivalente digital. El teorema de NYQUIST da una explicación clara del primer paso en PCM que es el muestreo y dice así:

"Si una señal de banda limitada es muestreada por intervalos regulares de tiempo a una tasa igual o mayor que dos veces la frecuencia más alta significativa de la señal, entonces el muestreo contiene toda la información de la señal original. La señal original puede ser reconstruida usando un filtro paso bajo".

Para generar una señal **PCM** de cualquier señal análoga, son necesarios tres pasos :

Muestreo
Cuantización
Codificación

y tiene como resultado una señal binaria serial, la que puede ser o no aplicada a una línea sin un paso adicional de modulación. Como una ventaja que nos proporciona, que fue regenerada en puntos intermedios entre los enlaces; el precio que se paga es el incremento del ancho de banda.

Para poder generar **PCM**, primero como ya se mencionó, hay que restringirse al teorema del muestreo, el cual dice que teniendo una señal de banda limitada, cuya frecuencia mayor F_m debe de muestrearse a $T_s \leq 1/2f_m$, es decir, que será muestreada a cada T_s seg. , tiempo de muestreo.

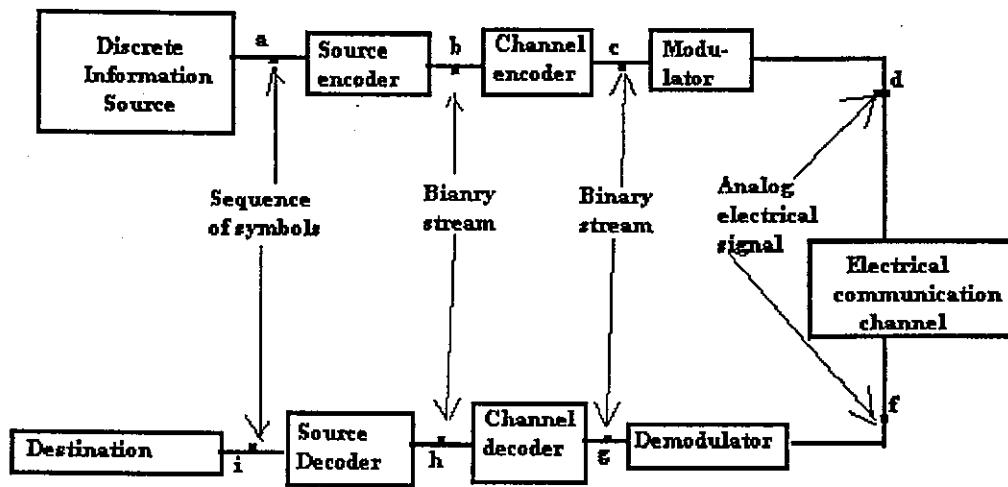
Tenemos un tren de pulsos donde abarcamos T_s seg. de pulso a pulso y el ancho del pulso es de dt :

(graf1)

Donde

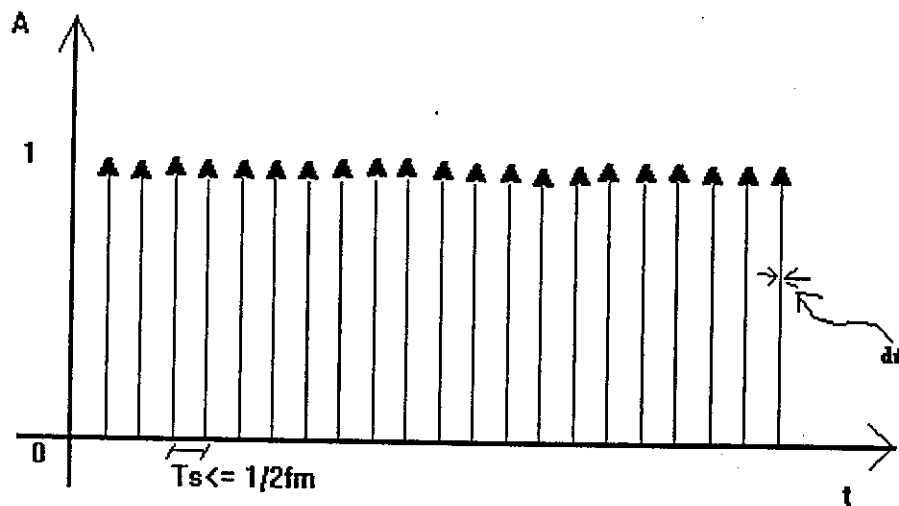
$$T_s \leq 1/2f_m$$

$$s(t) = dt/T_s + 2dt/T_s(\cos 2\pi t/T_s + \cos 2(2\pi t/T_s) + \dots) \quad \text{Expansión de Fourier.}$$



Sistema de Comunicaciones Digitales

GRAF1



TREN DE PULSOS

GRAF1

Siendo la señal de información, por ejemplo:

(graf2)

Multiplicándolas se obtiene lo que se observa en la siguiente gráfica (que sería graf1*graf2):

(graf3)

$$S(t)m(t) = dt/Ts*m(t) + 2dt/Ts*m(t)[2m(t)\cos 2\pi(2f_m)t + 2m(t)\cos 2\pi(4f_m)t + \dots]$$

Gráficamente tenemos su densidad espectral de potencia donde $A = T[s(t)m(t)]$:

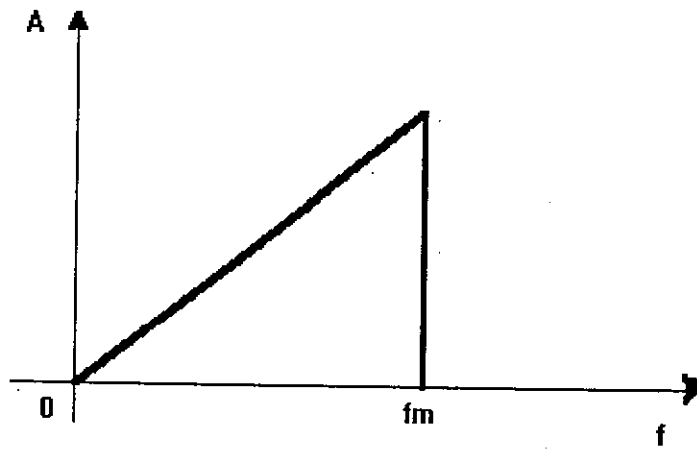
(Graf4)

Se observa en ésta gráfica que si se muestrea a una frecuencia menor a $2f_m$, sucedería un traslape de bandas y se perdería información (observe que el área sombreada es la información perdida).

(graf5)

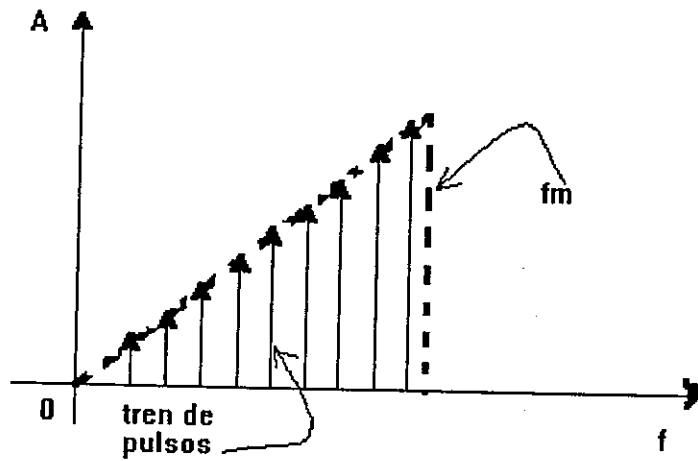
Ahora si $f_x > 2f_m$ entonces tenemos un espacio entre bandas que se llama banda de guarda, observe la siguiente figura:

(graf6)



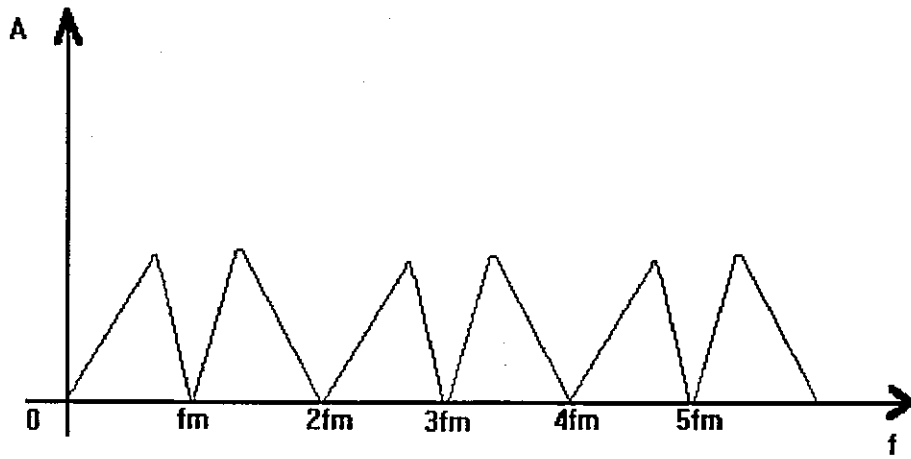
SEÑAL DE INFORMACIÓN

GRAF2



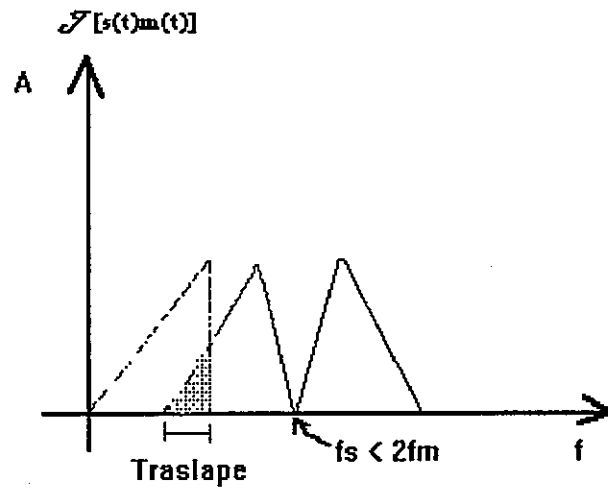
SEÑAL MUESTREADA

GRAF3



DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA

GRAF4



TRASLAPE DE BANDAS

graf5

Por lo que $f_s \geq 2f_m$ tenemos nuestra señal f_L y f_H entonces $f_s \geq 2(f_H - f_L)$, donde f_H es la frecuencia alta y f_L es la frecuencia baja. La señal puede ser recuperada con un filtro pasa banda, vea la siguiente figura:

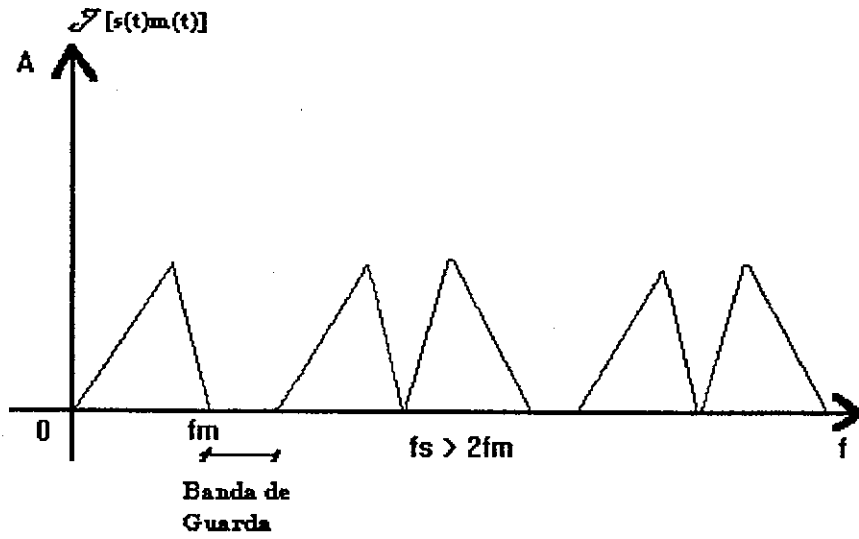
(graf7)

Como siguiente paso, se tiene que cuantizar la señal $m(t)$, darle un valor discreto a la señal en un intervalo determinado de tiempo. Se encuentra con esto la primera ventaja que es separar el ruido aditivo por tener un valor discreto, que es la señal en un período de tiempo bueno para filtrar cualquier variación no deseada. Teniendo una señal que va de V_L (voltaje menor) a V_H (voltaje mayor), entonces de V_L a V_H se divide en M partes iguales, llamadas S (tamaño del step), al centro de cada step (s), se localizan los niveles de cuantización (m) que van de M_0 a M_{n-1} valores discretos, por lo que la señal en cualquier tiempo, se encuentra en algún M_n y $m(t)$ toma el valor de cuantización más cercano a ella. El error que encontramos es $m(t) - m_q(t)$ siendo $m_q(t)$ nuestra señal ya cuantizada, cuyo valor máximo es $s/2$. Cuanto más pequeño sea el step, es decir mayor que el número de niveles, será menor el error y la diferencia entre $m(t)$ y $m_q(t)$ no será notada por el oído humano vea Graf9. Como ejemplo, se tiene que al transmitir en Ascii éste tiene siete dígitos $2^7=128$ que serían los niveles de cuantización, y lo mejor es $2^8=256$, pues tendríamos un error menor. El ancho de banda se relaciona con la información o sea el número de bits/seg. transmitidos, por lo que el número de bits transmitidos debe de ser reducido o limitado, para que no esté tan restringido. En la gráfica siguiente, se observa la transmisión multiplexada y su recepción.

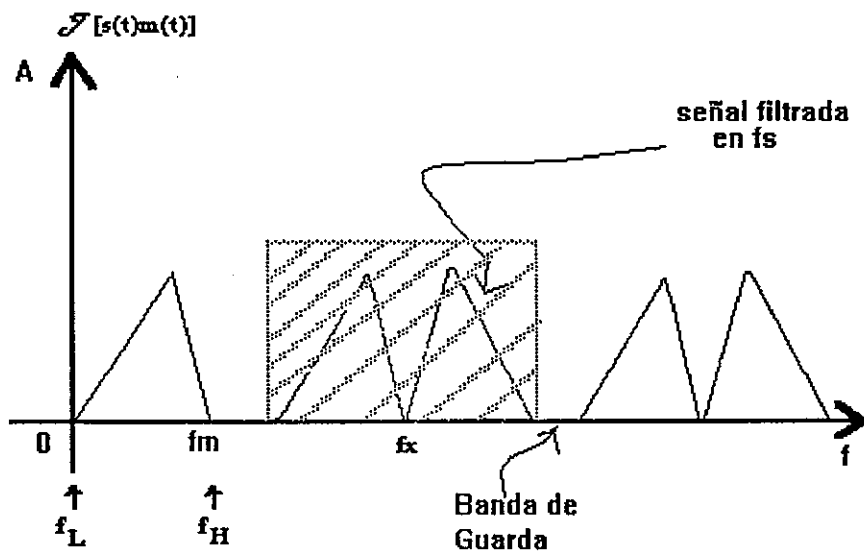
(graf8)

Por ejemplo si la máxima amplitud se divide en 16 y la señal va de -1 v. a 1v tenemos $2/16=125\text{mV}$ cada segundo (step), entonces $125/2 = 62.5\text{ mV}$ que será el error máximo en la cuantización.

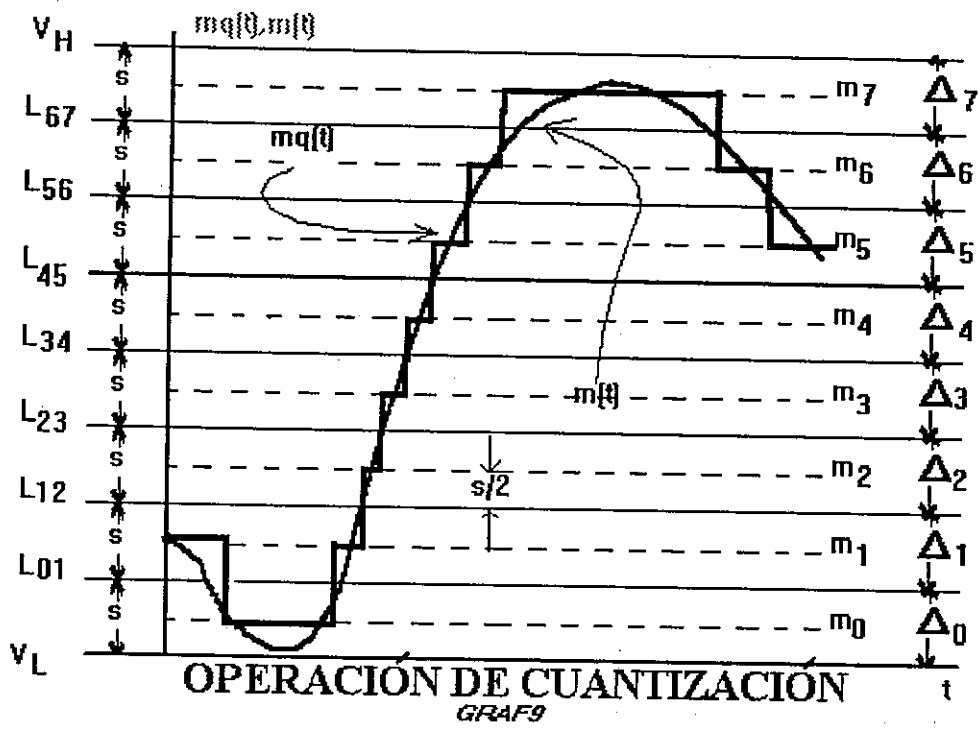
Si nosotros dividiéramos la amplitud máxima en 256 niveles, se obtiene una buena calidad de color comercial para la televisión, y como es de imaginar, con 64 niveles no es adecuado.



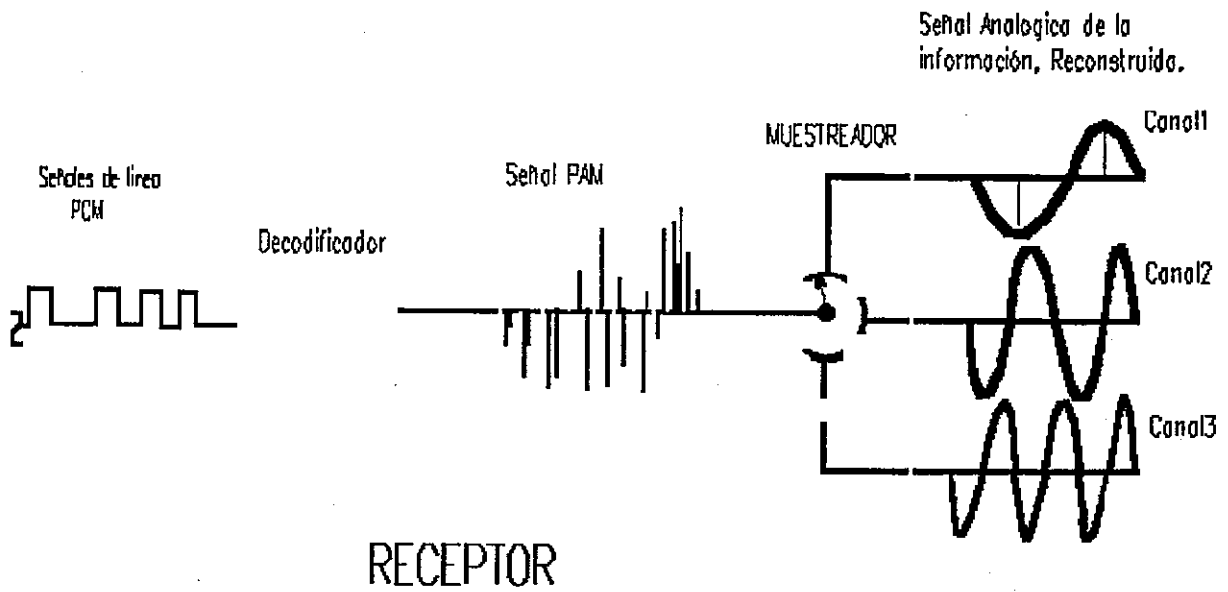
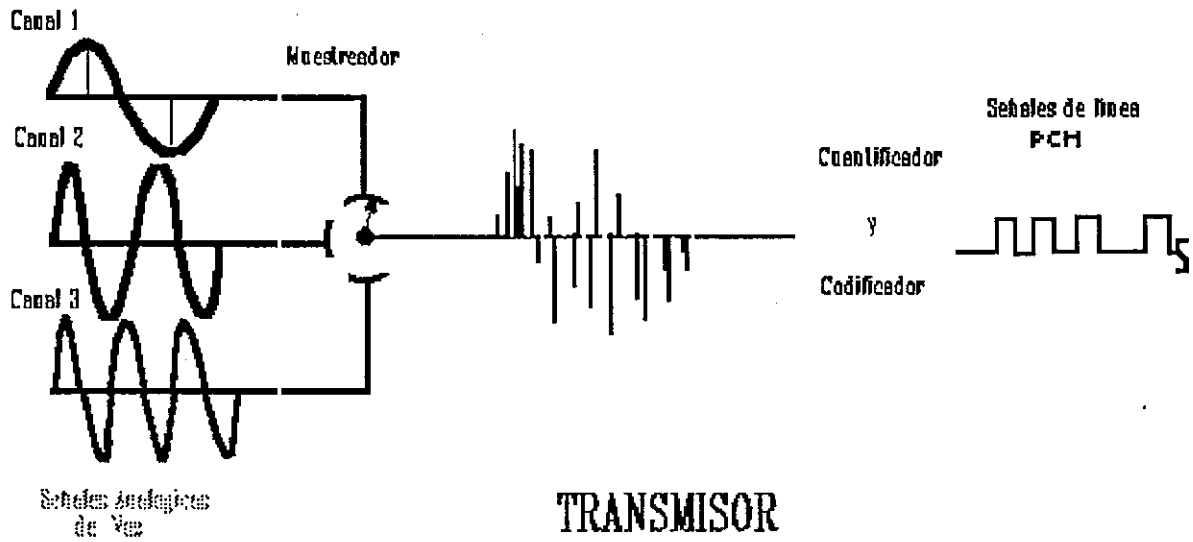
MUESTRA DE LA BANDA DE GUARDA
GRAF6



FILTRADO DE LA SEÑAL
GRAF7



Señales Analógicas



La señal al ser transmitida se desvanece y se le adhiere ruido, por eso es necesario regenerarla en puntos claves, que son llamados repetidores, antes de que llegue a su destino; de lo contrario, no llegaría se desvanecería tanto que desaparecería . La señal llega a los repetidores atenuada con ruido, donde es regenerada por otro cuantizador; esto se puede eliminar, si los repetidores no están tan retirados unos de otros. Nuestra señal está sometida a dos clases de ruido, el de cuantización y el aditivo, que son necesariamente eliminados porque es muy probable que distorsionen la señal, a tal grado que ésta no sea fidedigna.

Se puede decir, entonces, que el ruido en los repetidores no se acumula si la rata de error se mantiene en uno por cada cien; la inteligibilidad no se perderá y con uno en cada mil bits se considera la señal buena. Como ejemplo, se tiene que un ancho de banda de 3100 Hz de una señal de voz que va de 300 - 3400 Hz. se muestrea como mínimo a $2 \times 3100 = 6,200$ Hz, o sea que podríamos hacerlo a 8000 Hz, cumpliendo con el teorema de Nyquist, y la señal puede ser recuperada.

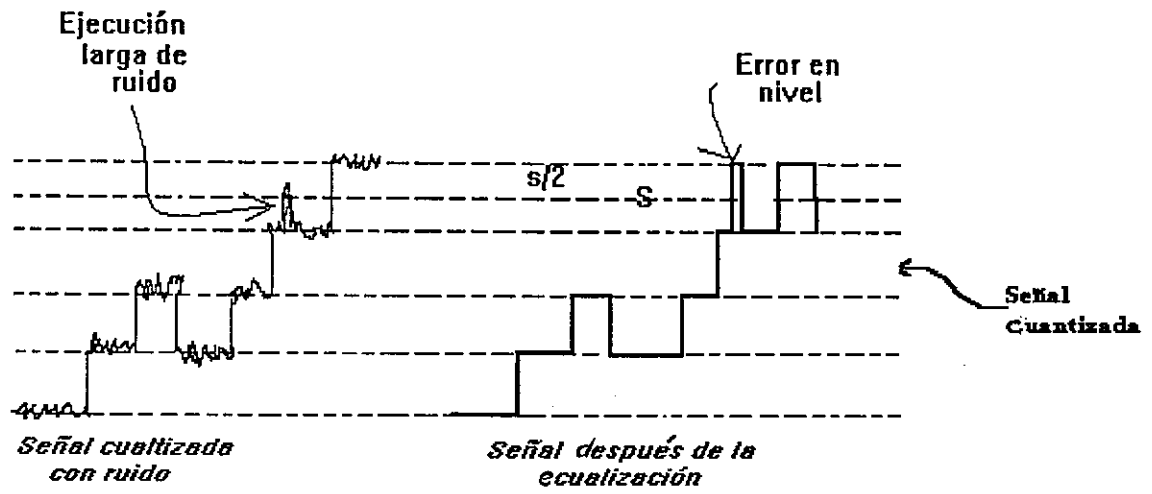
Hasta ahora como hemos presentado, nuestra señal muestreada y cuantizada estando así le llamamos **PAM** (Pulse Amplitud Modulation), nuestro siguiente paso para generar una **PCM** con **CODIFICACIÓN**, que básicamente es asignarle un código a cada nivel de cuantización; cada uno de los cuales representa un número de determinada cantidad de dígitos que luego es transmitido según la cuantización, sus niveles M de ellos depende el número de dígitos para el código pues tenemos $2^n = M$. En los sistemas prácticos utilizan de 7 a 8 dígitos para la codificación que sería

$$\begin{aligned} 2^7 &= 128 \text{ quantum step} \\ \text{ó} \quad 2^8 &= 256 \text{ quantum step} \end{aligned}$$

(graf11)

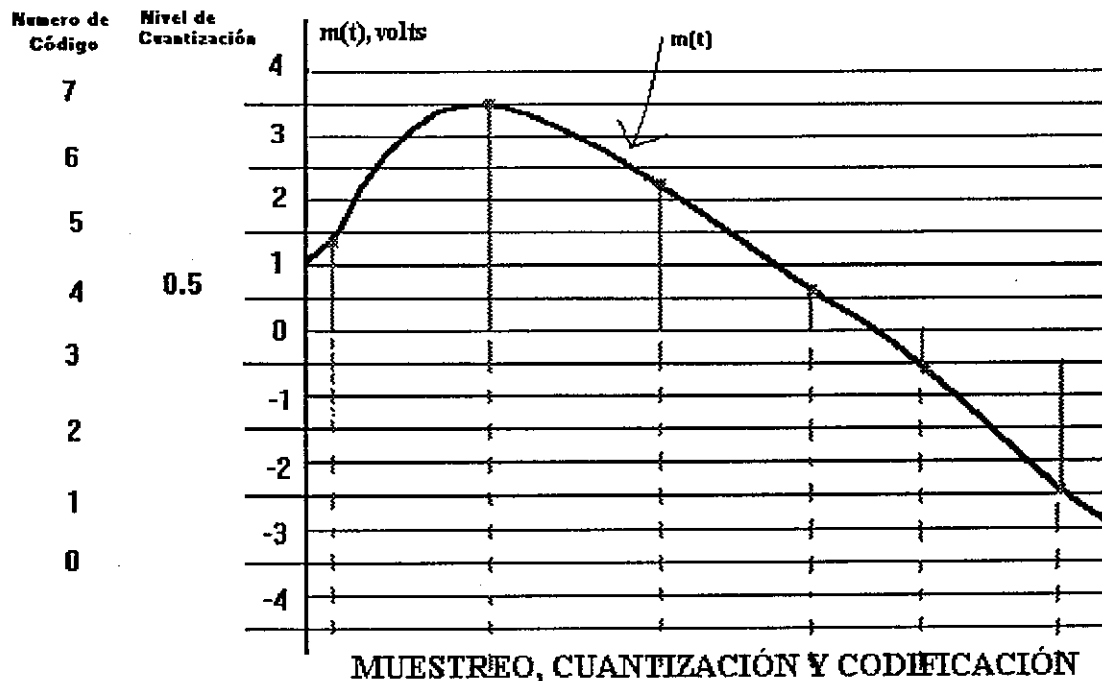
Donde n es el número de dígitos.

Se observa que la primera operación es la separación de la señal con el ruido adherido a la misma, a lo largo de la transmisión como se observa en la graf10, o sea que se recuantiza la señal. El bloque de decodificación es también llamado convertidor Digital-Analógico; de aquí sale la señal cunantizada que al filtrarla toma su forma original $m'(t)$, que puede tener un error de decisión y de ruido.



ERROR DE CUANTIZACIÓN

GRAFIO



Valores de muestreo	1.3	3.6	2.3	0.7	-0.7	-2.4	-3.4
Nivel de cuantización más próximo	1.5	3.5	2.5	0.5	-0.5	-2.5	-3.5
Número del código	5	7	6	4	3	1	0
Representación binaria	101	111	110	100	011	001	000

GRAF11

Entonces $m(t)$ es equivalente a $m'(t)$.

En la actualidad, se usa el método de realizar un companding (compresión) antes de codificar, por el hecho de que las señales de voz son más bajas en amplitud en su mayoría, por lo que las altas se comprimen y las bajas no. En sí la codificación es asignarle un valor binario a cada intervalo muestreado, según su amplitud por lo que en este caso se realiza el companding antes.

En la Graf12, se observa todo lo dicho en resumen; en el segundo grupo decodificador, se ve un cuantizador de nuevo para eliminar el ruido como en los repetidores.

APLICACIONES:

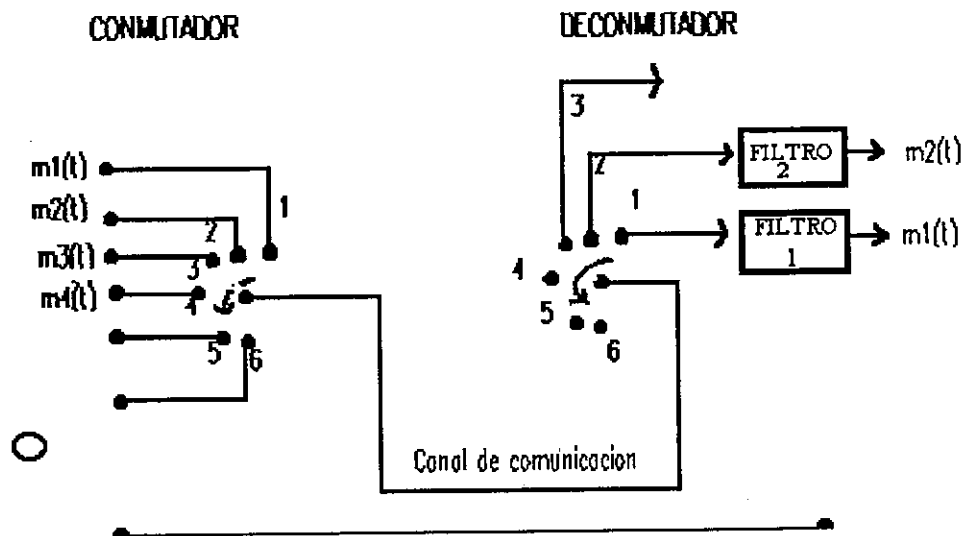
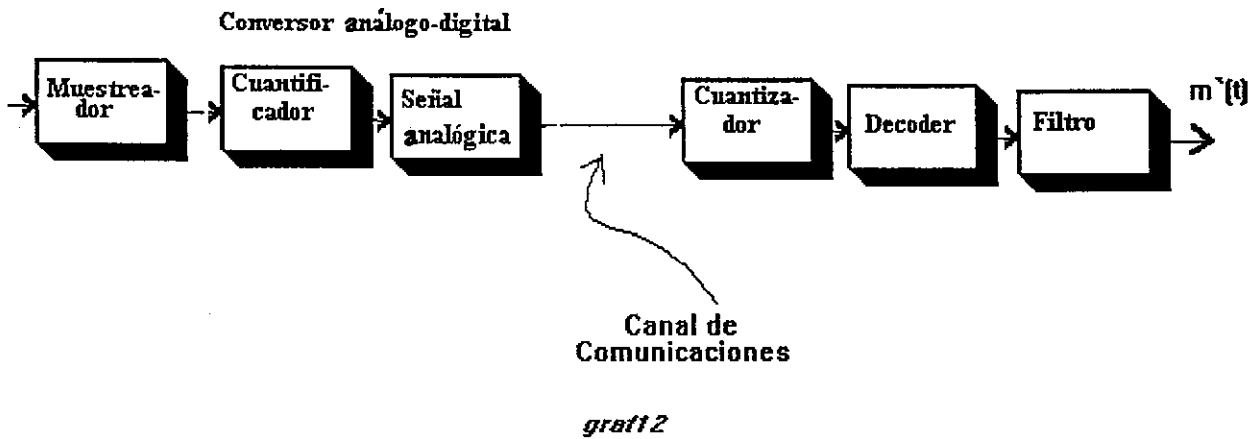
La mayor aplicación es la conexión interoficinas; oficinas que se conectan de dos puntos que se switchean cuando las distancias son muy grandes; **PCM** es más económica, aunque existe muchas veces lo que se llama crosstalk (la señal de otro canal interfiere en el canal usado, se induce una señal de un canal en otro), entre la portadora de los pares. La solución es que las señales se transmitan en un cable y reciban en otro.

Las señales pueden ser multiplexadas; una forma es por **FDM** (Frequency Division Multiplexing), que consiste en aplicar una serie de señales en el espectro de frecuencias, pero se requiere de canales de muy alta capacidad, ancho de banda grandísimos, por lo que se ha tendido más a utilizar un switch rotatorio para tomar una muestra de cada una de las señales que se va a transmitir en un tiempo determinado, limitadas en su ancho de banda; el switch muestrea secuencialmente y lo mismo se hace al recibir la señal hay otro switch a la misma velocidad. Si de todas las señales la frecuencia más alta es f_m , entonces el switch trabaja a $2f_m n$ (donde n es el número de señales muestreadas) revoluciones/seg. vea graf13, señales moduladas en amplitud (vea graf14 **TDM** time division multiplex).

Si tenemos n señales de información, la señal de banda base en general será $1/2f_m n$ seg.

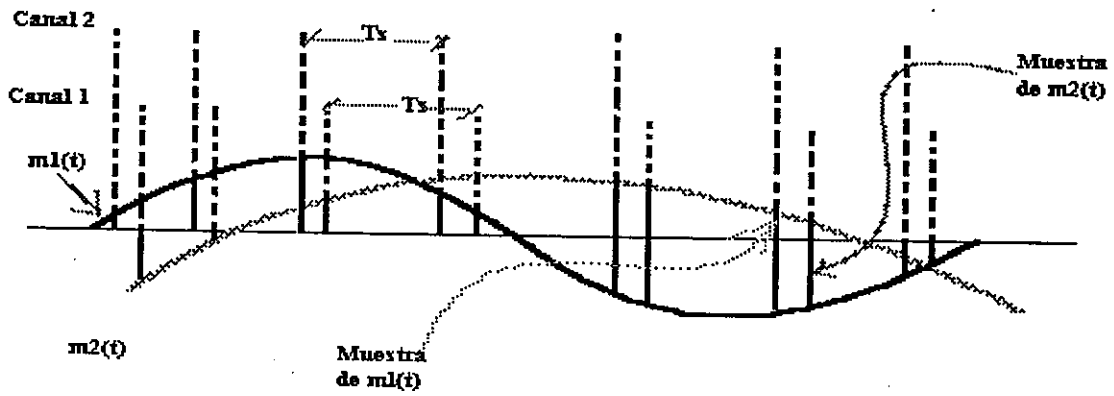
Actualmente se han diseñado sistemas inteligentes que al multiplexar las señales por división del tiempo, le dan prioridad a aquellos canales que tienen mayor tráfico.

SISTEMA DE COMUNICACION PCM



MUESTREO DE DIVERSAS SEÑALES

graf13



TDM EN SEÑALES MODULADAS EN AMPLITUD
graf 4

MODULACIÓN DELTA (DM):

El método para transmitir la señal de audio, en un formato digital, es diferente a **PCM** en el aspecto de que la señal se codifica antes de multiplexarla; código que consta únicamente de un bit a la vez. La modulación delta es un esquema en el que $\delta(t)$ (diferencia entre $m(t)$ y $m^{\wedge}(t)$), y es $m(t)$ la señal que contiene la información y $m^{\wedge}(t)$ la aproximación delta realimentada a la entrada del circuito; el bit de la comparación es el codificador, tiene únicamente dos posibilidades; uno o cero, que es usado para decrementar e incrementar la señal estimada $m_q(t)$ que va al contador.

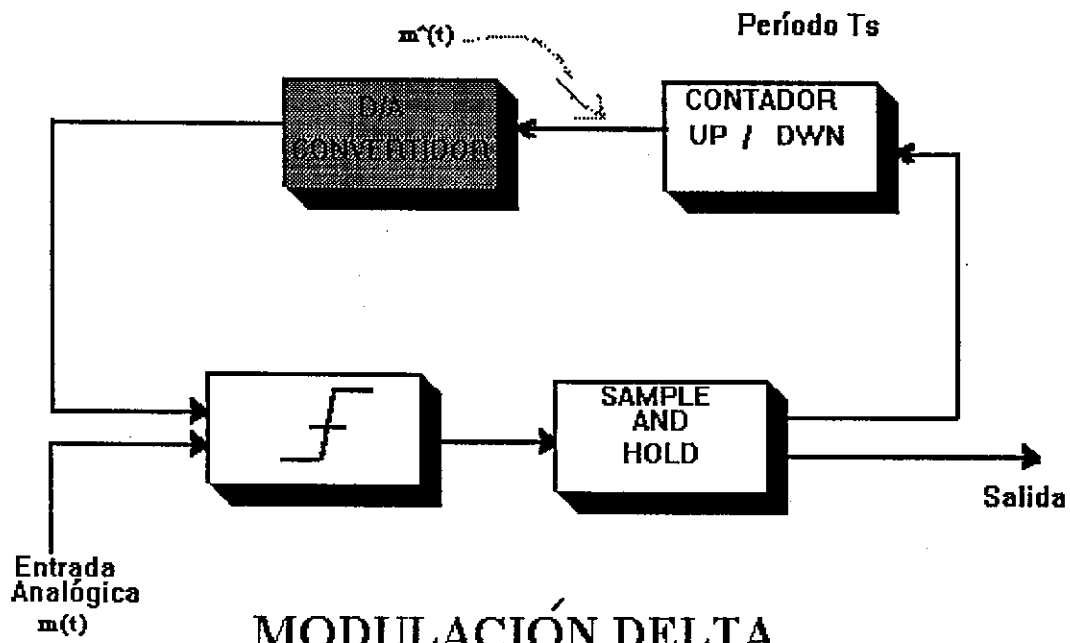
(graf15)

Este circuito muestra la modulación lineal. En esta gráfica, la señal de banda base $m(t)$ se compara con la señal cuantizada aproximada $m^{\wedge}(t)$; se obtiene a la salida del comparador $V(L)$ si $m(t)$ es menor que la cuantizada o bien $V(H)$ si es lo contrario; el cambio a la salida del comparador (siempre se hace una comparación con la condición previa) es abrupto y la señal pasa por cero. A la salida del comparador tenemos una señal positiva con $V(L)$, con la que se incrementa en uno el step y una negativa con $V(H)$ con la cual se decrementa en uno el step, y es la que se toma para el circuito de retroalimentación que consta primeramente de un contador, el cual con $V(L)$ incrementa y con $V(H)$ decrementa, y almacenan el resultado acumulado; señal que se convierte en analógica al pasar por un convertidor de señal digital a analógica (**D/A**).

En **DM**, se transmite la derivada de la señal de entrada analógica, no como en **PCM** que se envía la amplitud muestreada.

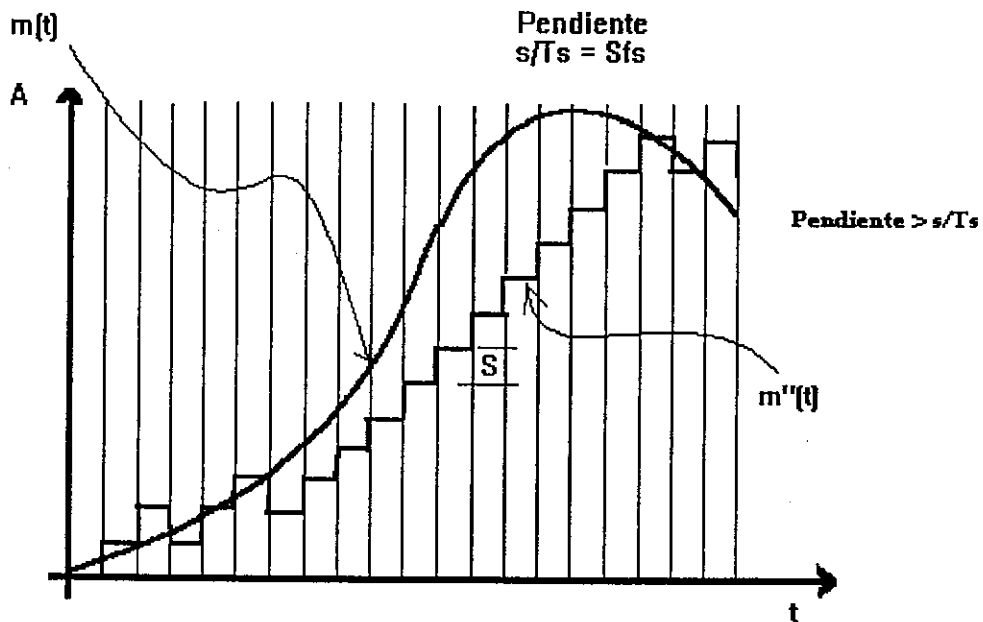
Puede darse el caso en que la señal tenga una pendiente muy inclinada, como lo muestra la siguiente figura:

(graf16)



MODULACIÓN DELTA

graf15



SEÑAL DE PENDIENTE INCLINADA

GRAF16

La aproximación delta es muy pobre; hay diferencia en la señal y el escalón de aproximación, no logra igualar la señal; el error $m(t) - m^{\wedge}(t)$ se hace mayor cada vez más, excediendo a $s/2$; se describe esta disparidad entre $m(t)$ y $m^{\wedge}(t)$ como un error de pendiente sobrecargada lo que sucede cuando la pendiente es mayor que s/T_s .

Podemos ver en la siguiente gráfica el inicio de la modulación delta que nos acarrea un gran error entre $m(t)$ y $m^{\wedge}(t)$ al inicio, observe:

(graf17)

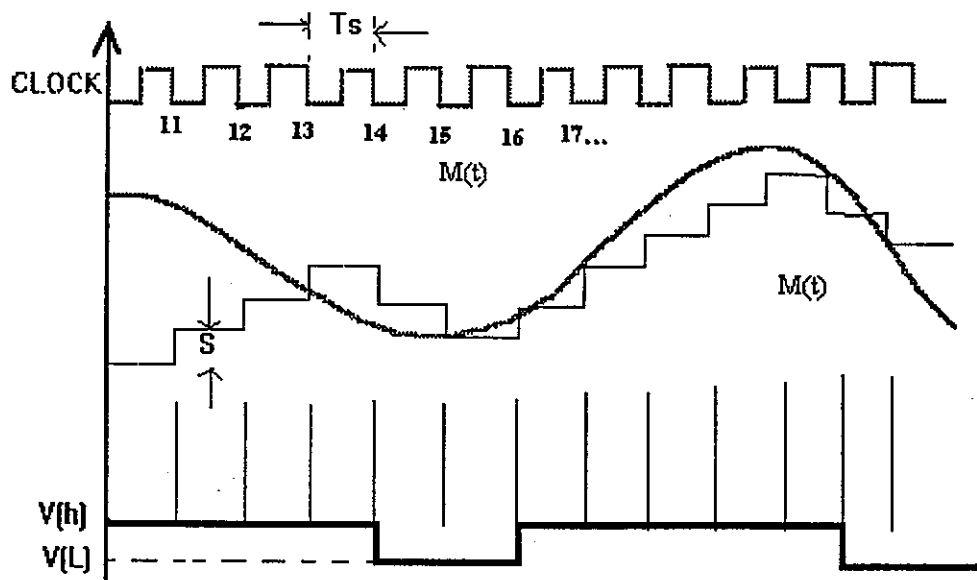
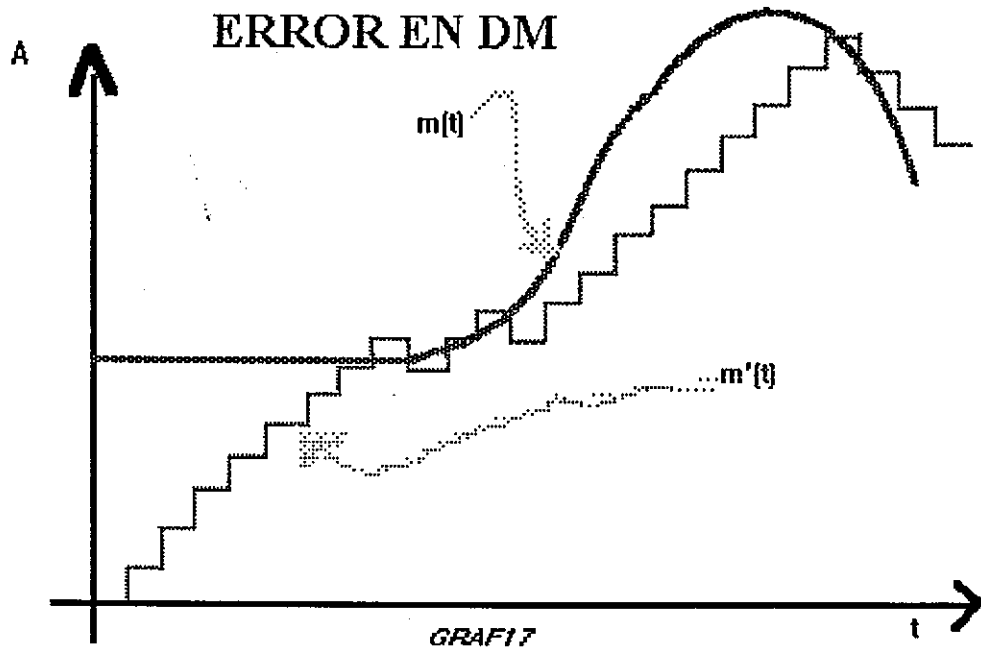
Ahora bien, la siguiente figura tenemos la señal a la salida del D/A que recibe los datos del contador. Observe la siguiente gráfica:

(graf18)

La gráfica anterior nos dice en realidad cómo se transmite la señal codificada observando V_h y V_l en la figura. Esta figura graf18 se ve que cada período de reloj (es decir cada T_s) se muestrea la señal; se tiene un pulso sumado al anterior (decir una grada hacia arriba) siempre y cuando $m(t) > m^{\wedge}(t)$, lo que causa un incremento en el contador; si $m^{\wedge}(t) > m(t)$ es necesario que en lugar del crecimiento de $m^{\wedge}(t)$ baje teniendo ahora un decremento en el contador, la grada baja un step.

Una de las ventajas de la modulación delta sobre **PCM** son las siguientes:

- El multiplexaje se realiza con simples multiplexores digitales en tanto que en **PCM** se toman muestras analógicas.
- La modulación delta es más rentable con cantidades pequeñas de canales.
- La modulación delta es menos compleja, por lo que se le tiene mayor confiabilidad.



Esta modulación tiene su aplicación en las comunicaciones militares en las que requieren sistemas digitales con baja velocidad de bits. Las fuerzas armadas de los Estados Unidos cuentan con conmutadores telefónicos basado en sistemas con modulación Delta.

Cuestionario 2

ASK MODULACIÓN DE AMPLITUD (on-off keying) :

La forma de modulación de amplitud, la portadora, se varía entre dos niveles; uno coincide con cero (condición OFF) y el que tiene una amplitud distinta de cero (condición ON). **ASK** es en sí una conmutación de corrimiento de amplitud en este tipo de modulación; la amplitud de una señal portadora de alta frecuencia se altera entre dos o más valores. En el caso binario (que es el ejemplo que se muestra acá), se tiene el conmutado encendido o apagado. (**OOK**)

La onda modulada son pulsos de radio frecuencia; unos llamados marcas que representan al uno y otros espacios que representan al cero y el ancho de banda básica se duplica lo comprobará más adelante. La onda ASK para un binario sería:

$$\begin{aligned} \varnothing(t) &= A \cos W_c(t) & 0 \leq t \leq T \\ &0 & \text{en otro caso} \end{aligned}$$

teniendo $X_c(t) = A \cos 2\pi f_c t$ (la portadora)

$x(t) = 1$ ó 0 que es la información digital, entonces $X_c(t) = A \cos 2\pi f_c t$ aparece por medio período de tiempo.

Transformando tenemos:

$$\begin{aligned} X_c(f) &= \int v(t) e^{-j2\pi f t} dt \\ \text{si el } \cos 2\pi f_c t &= \frac{1}{2} e^{jW_c t} + \frac{1}{2} e^{-jW_c t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_c(t) &= \frac{A}{2} \{ e^{j2\pi f_c t} + e^{-j2\pi f_c t} \} e^{-j2\pi f (f_c - f) t} \\ &= \frac{A}{2} \{ (e^{j2\pi f_c t}) dt + (e^{-j2\pi f_c t}) dt \} \\ &= \frac{A}{2} \{ \delta(f - f_c) + \delta(f + f_c) \} \end{aligned}$$

CUESTIONARIO 2

7. ¿Qué nombre recibe el método de modulación en el que una onda continua es transmitida en un equivalente digital?

PCM

8. ¿Qué pasos son necesarios para poder transmitir una señal analoga en modulación PCM?

MUESTREO, CUANTIZACION Y CODIFICACION

9. ¿Qué nombre reciben los puntos de regeneración de la señal. ser transmitida a largas distancias?

REPETIDORES

10. ¿Qué nombre recibe la modulación de una señal que ha sido muestreada y cuantizada?

PAM

11. Nombre del teorema que dice que se debe de tomar información de una señal a intervalos de tiempo menores o iguales a $1/2f_m$, o bien a frecuencias mayores o iguales a $2f_m$.

TEOREMA DEL MUESTREO

12. Nombre que recibe la modulación que utiliza únicamente un dos bits como código; se utiliza para transmitir señales de audio en formato digital, se diferencia de la modulación PCM, en que la señal es codificada antes de ser multiplexada.

MODULACION DELTA

13. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera?

- a. En DM se transmite la derivada de la señal de información.
- b. Utiliza un circuito complicado de implementar.
- c. Menos compleja, de mayor confiabilidad.
- d. Los multiplexores digitales son de alta complejidad .
- e. DM es utilizada en las fuerzas armadas de los Estados Unidos.

ACE

pues

$$e^{j2\pi ft} dt = \delta(f) \quad \text{siendo} \quad f = f_c - f \quad \text{ó} \quad f = f_c + f$$

la obtenemos así:

$$X_c(t) = A/2 \delta(f_c - f) + A/2 \delta(f_c + f),$$

donde la primera parte de esta ecuación, representa un ancho de banda **B**; la segunda parte también y en total hacen un ancho de banda para nuestra ecuación de **2B**, de lo que se deduce que el ancho de banda se duplica. La onda es trasladada en el espectro con un medio de su amplitud.

En la fig19, se muestra un transmisor ASK y sus formas de onda de la información, señal modulada y moduladora respectivamente.

El ancho de banda de la señal antes de modularla es la mitad del ancho ocupado después. Se puede detectar en forma coherente (sincrónica) o no (asincrónica), la forma coherente que es la más usada pero más sensible al ruido; su diagrama de bloques es:

(graf19a)

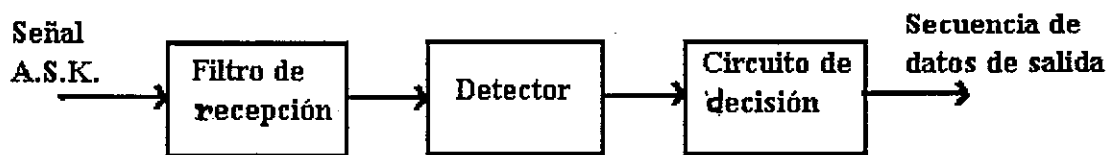
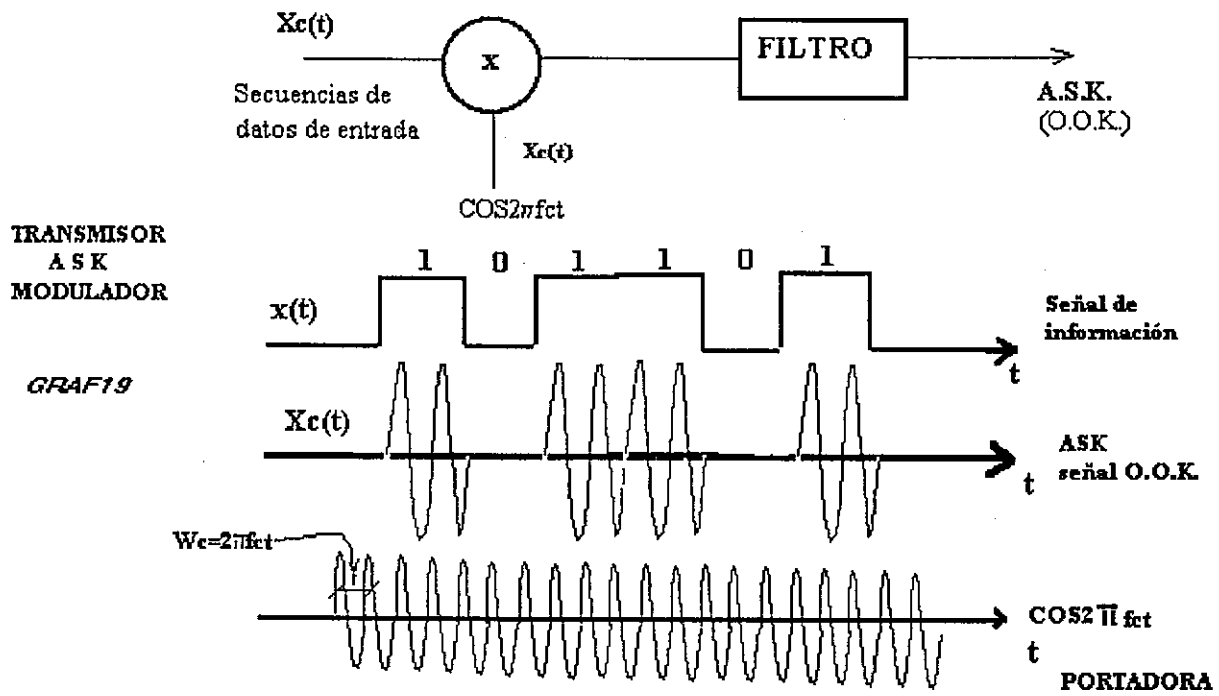
Para un transmisor y receptor de **ASK** respectivamente.

En la modulación de nuestra información digital, el filtro se usa para eliminar los niveles indeseables de las componentes, a la salida ya se tiene la señal **O.O.K.**, en las formas de onda de la señal tenemos primero la digital, que es nuestra información, y luego la señal ya modulada que es nuestra **ASK**.

Se ve en esta figura el diagrama de bloques de un Receptor de **ASK**; el filtro en la entrada elimina también las señales fuera de RF (radio frecuencia), que está adaptado a ésta. Una vez filtrada, se le aplica la decodificación, muestreo, decisión etc.

ASK puede ser coherente; es aquella forma de transmitir y recibir una señal con una portadora en el origen y una en el destino sincronizadas en frecuencia y fase.

ASK no coherente es el esquema que no requiere de una coherencia local de fase, sino de receptores de detección de envolvente y filtros.



RECEPTOR DE A.S.K.

GRAF 19A

El receptor de ASK no coherente se muestra en la siguiente figura:

figASK.

Cuestionario 3

FSK MODULACIÓN EN FRECUENCIA:

FSK consiste en el desplazamiento de frecuencia, teniendo la ventaja de permitir el uso de dispositivos saturables; es usada en radios digitales de banda angosta y en equipos de radio de banda ancha; es más efectiva que ASK y no es tan eficiente como PSK, pero si permite la detección coherente.

FSK trata de que $X(t)$ (señal de información) selecciona la frecuencia a modular de un banco de Osciladores (dos en caso binario), que muestran discontinuidad en la conmutación, a menos que estuviera bien ajustada la frecuencia, amplitud y fase. Tenemos:

$$\begin{aligned} X_c(t) &= A \cos[2\pi(f_c + \delta f)t] && \text{cuando } x(t) = 1 \\ X_c(t) &= A \cos[2\pi(f_c - \delta f)t] && \text{cuando } x(t) = -1 \end{aligned}$$

si la transformamos

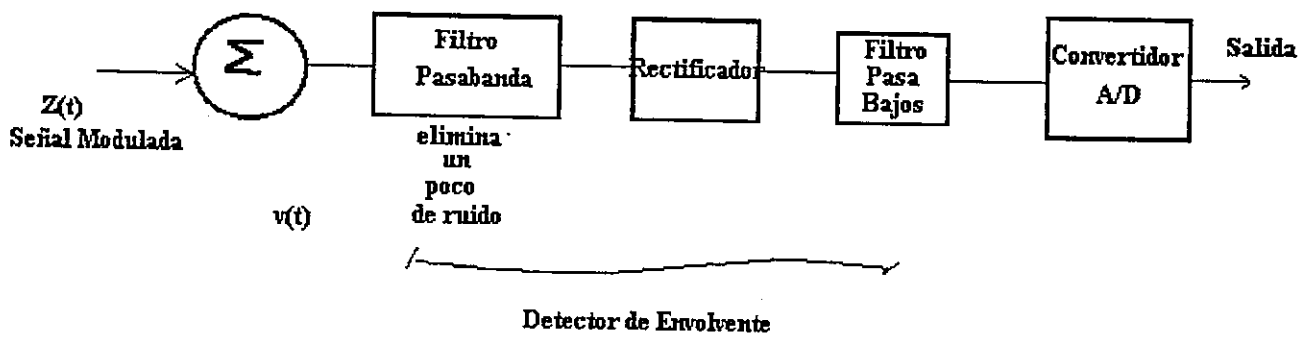
$$[X(t)] = A/2 \delta(f_c - \delta f) \text{ Ó } A/2 \delta(f_c + \delta f)$$

$$X(f) = 1/2 \text{ comb } 1/2T \{ [\text{sen} 2\pi(f-f_1)T + \text{sen } 2\pi(f+f_1)T] + [\text{sen} 2\pi(f-f_2)T + \text{sen } 2\pi(f+f_2)T] e^{-j2\pi f_c T} \},$$

donde comb es la combinación de señales, y δf es $f_1 - f_2$ o bien $f_1 + f_2$, además

$$f_1 = f_c - \delta f \quad \text{y} \quad f_2 = f_c + \delta f.$$

Receptor de ASK



GRAFASK

CUESTIONARIO 3

14. Forma de modulación de amplitud, la señal varía entre dos niveles, uno que es cero y el otro la amplitud de la señal?

ASK

15. Diga cuál de los incisos siguientes lista las partes de un transmisor de ASK.

- a. Filtro, detector y circuito de decisión.
- b. Convertidor D/A, contador y muestreador.
- c. Mezclador y filtro.

C

16. Diga cuál de los incisos siguientes lista las partes de un demodulador de ASK.

- a. Filtro, detector y circuito de decisión.
- b. Convertidor D/A, contador y muestreador.
- c. Mezclador y filtro.

A

17. ¿Cuál de las siguientes expresiones es cierta cuando se habla de un filtro en un transmisor?

- a. Usado para amplificar la señal ha transmitir.
- b. Para eliminar las componentes indeseables de ruido.
- c. Para eliminar los niveles indeseables de las componentes de la señal.
- d. Decodificador.

C

18. ¿Cuál de las siguientes expresiones es cierta cuando se habla de un filtro en un receptor?

- a. Usado para amplificar la señal ha transmitir.
- b. Para eliminar las componentes indeseables de ruido.
- c. Para eliminar los niveles indeseables de las componentes de la señal.
- d. Decodificador.

B

19. Permite la detección coherente, consiste en el desplazamiento de frecuencia, según la información; así es la conmutación.

ASK

Como se observa en la fig20, que lo que varía es la frecuencia, las frecuencias de los osciladores están sincronizadas en fase, siendo $F1 = M/T$ y $F2 = H/T$ donde M y H son números enteros, y podríamos visualizar el espectro como el de dos señales **O.O.K.** desplazadas T (un período, una de la otra).

Sabemos que la señal tiene un ancho de banda B , si se traslada a f_c , entonces su ancho de banda se duplica. Como nuestra señal se compone de dos ondas a una frecuencia distinta $F1 = f_c - \delta F$ y $F2 = f_c + \delta F$ (pues $x(t)$ va de -1 a 1).

Transformando se obtiene:

$$\begin{aligned} X_c(t) &= A \cos\{2\pi(f_c + \delta f)t\} \\ X(f) &= A/2 \delta(f_c - \delta f) \text{ ó } A/2 \delta(f_c + \delta f) \end{aligned}$$

Según si es 1 ó 0, $\delta f = f \pm f1$ $\delta f = f \pm f2$ respectivamente.

$$X(f) = \frac{1}{2} \text{comb } \frac{1}{2T} \{ [\text{sen}(f - f1)t + \text{sen}(f + f1)t] + [\text{sen}(f - f2)t + \text{sen}(f + f2)t] \} e^{-j2\pi f T}$$

de donde

$$\begin{aligned} f1 &= f_c - \delta f \\ f2 &= f_c + \delta f \\ \delta f &= (M - H)f_0 \end{aligned}$$

La señal **FSK** es dos señales **ASK** en una y su ecuación podría quedar así:

$$\begin{aligned} \phi_1(t) &= A \text{sen}(mW_0 t) & 0 < t \leq T \\ &0 & \text{en cualquier caso} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_2(t) &= A \text{sen}(nW_0 t) & 0 < t \leq T \\ &0 & \text{en cualquier caso} \end{aligned}$$

Como estas ondas son recibidas juntas, se necesitan dos filtros acoplados en el receptor. Si los receptores son sincrónicos deben estar sincronizados los osciladores en frecuencia y fase uno a cada señal de entrada por tener estas frecuencias distintas.

La representación matemática del **FSK** es:

$$Z(t) = A \cos(W_c t + W_d \int D(t) dt' + \emptyset]$$

donde $D(t)$ es la señal binaria aleatoria, cuyo nivel es 1 cuando $b_k=1$ y -1 cuando $b_k=0$ (siendo b_k información binaria en unos y ceros), \emptyset es la fase de la portadora en $t=0$.

Obteniendo la frecuencia instantánea que es:

$$f_i = d(\text{fase de } Z(t))$$

$$W_i = W_c + W_d D(t) + \emptyset$$

$$W_i = W_c \pm W_d \text{ (pues } D(t) = \pm 1)$$

donde W_d como vimos anteriormente es δf .

Como tenemos dos señales centradas en f_1 y f_2 , su espectro sería como se muestra en la figura 20. Si hablamos de un receptor no coherente, el espacio entre frecuencias (en este caso f_1 y f_2) debe de ser $2\delta f \geq 1$ (para evitar traslapes en los filtros pasabanda, donde $2\delta f$ es la diferencia entre las dos frecuencias utilizadas. Hay otros métodos de detección no coherente que tienen un rendimiento más bajo que el anterior y son:

Teniendo un discriminador para convertir las variaciones de frecuencia en variaciones de amplitud seguido de una detección de envolvente.

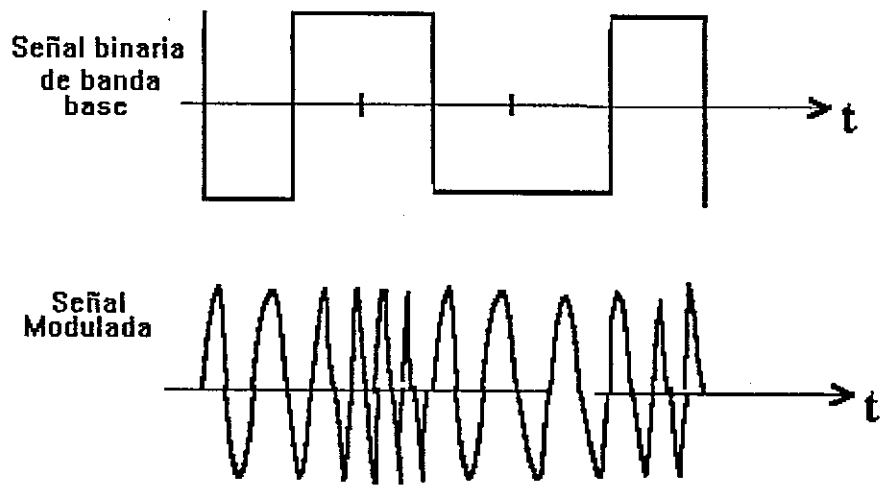
Detector de cruce por cero. Observando la figura, se puede ver cómo queda el ancho de banda y la densidad de cada una de las señales que se combinan.

(graf21)

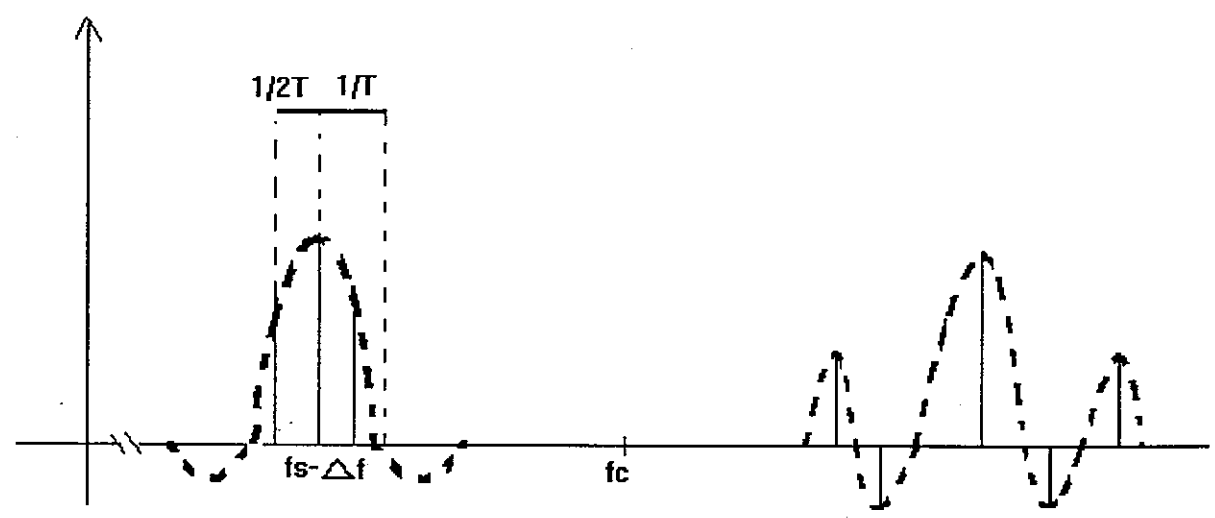
El ancho de banda del **FSK** depende de la separación de las frecuencias utilizadas; ambas frecuencias se refieren de la central como se vio anteriormente que la ecuación **FSK** eran:

$\emptyset_1(t) + \emptyset_2(t)$. Observe esa ecuación, entonces:

$$2\delta W = (m - n)W_o \text{ como ya se dijo.}$$



MODULACION F.S.K.
GRAF20



SEÑALES COMBINADAS
GRAF21

En general se puede decir que el ancho de banda de **FSK** es mayor que el del **ASK**

$$Bt = 2(\delta f + B) \quad \text{y} \quad B = 1/T,$$

entonces $Bt = 2\delta f * 1/T(1 + Fr)$, donde **Fr** es el factor de roll-off introducido por la utilización del filtro de premodulación el cuál permitirá lograr mayor eficiencia al atenuar los lóbulos laterales de la señal modulada, pues el que lleva la información y mayor potencia es el lóbulo central.

A continuación, se observa un diagrama de bloques del modulador **FSK**

(graf22)

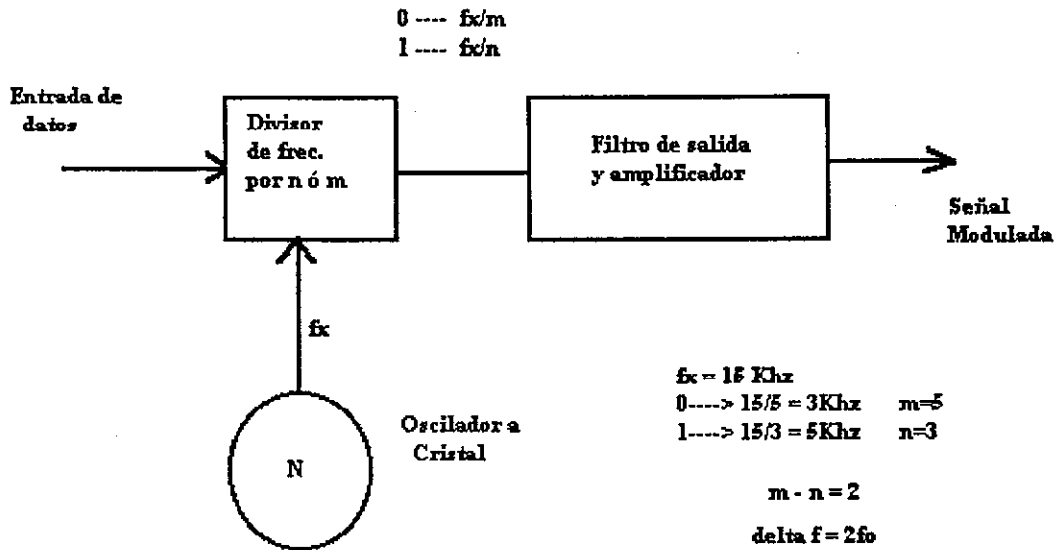
Este es un modulador digital que cambia el factor divisor en función de la señal de datos. La señal a dividir es provista por un cristal lo que asegura su estabilidad. El filtro atenúa las componentes indeseables, vea la gráfica siguiente:

(graf23)

El demodulador sincrónico que se observa en la graf23a como se ve, primero, separa las señales f_1 y otra f_2 , luego las multiplica por su portadora las filtra y al sumarlas se obtiene la señal de información.

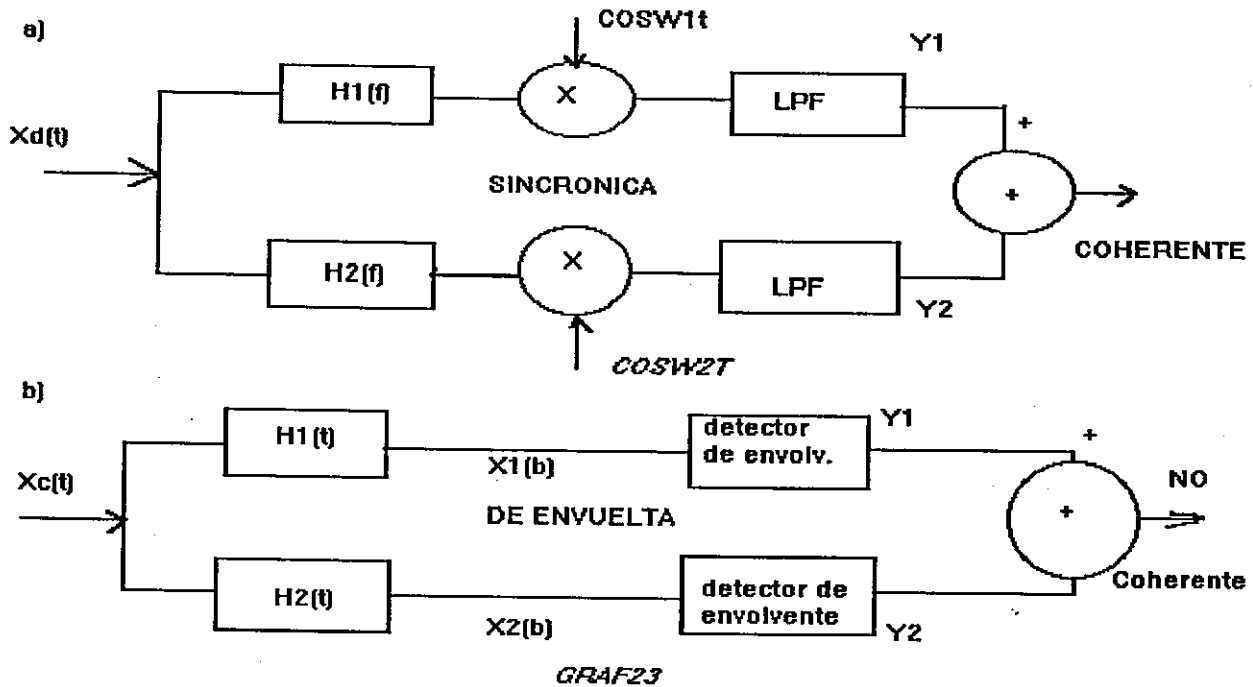
Cuando no se conoce la fase de la señal de entrada, se usa un detector incoherente que son los que incluyen un detector de envolvente como lo muestra la (graf23) y se filtró antes cada señal una en frecuencia centrada en f_1 y la otra en f_2 , luego teniendo la señal **O.O.K.** de nuevo, no importando si fue coherente o no coherente se aplican a un comparador, el cual genera un uno si $X(f_1) > X(f_2)$ y un -1 si es lo contrario, y obtener así la señal digital.

Cuestionario 4



MODULADOR FSK

GRAF22



CUESTIONARIO 4

20. ¿Qué sucede con el ancho de banda de una señal digital que se modula en frecuencia, en FSK?

- a. Disminuye en la mitad.
- b. Se mantiene del mismo tamaño.
- c. Se duplica.
- d. Crece en un treinta por ciento.

C

21. ¿Qué significa FI?

- a. Frecuencia Independiente.
- b. Frecuencia Intermedia.
- c. Frecuencia Ideal.

B

22. ¿En qué consiste el FSK ?

- a. Es el desplazamiento de frecuencia.
- b. Es el desplazamiento de amplitud.
- c. Es el desplazamiento de fase.

A

23. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es una ventaja de la modulación de frecuencia (FSK)?

- a. Se ocupa menos ancho de banda.
- b. No se adhiere el ruido a la señal.
- c. Permite el uso de dispositivos saturables.
- d. Se asemeja a una señal ASK.

C

24. ¿Qué relación tiene el ancho de banda del FSK respecto al ASK.

- a. Es igual
- b. Es mayor
- c. Es menor

B

PSK MODULACIÓN EN FASE:

Técnica de modulación ampliamente utilizada, más en transmisiones de satélites, radio enlaces de banda ancha, y en este tipo de modulación en el que la información está representada por el valor absoluto de la fase.

Suponiendo que es una señal sinusoidal $X_c(t) = x(t)\text{Acos}2\pi f_c t$

$$\begin{aligned} \text{si } X(t) &= 1 \text{ ó } -1 \text{ (información)} \\ X(t) &= \text{Acos } 2\pi f_c t \text{ ó } -\text{Acos } 2\pi f_c t \\ &\quad \text{Acos}(2\pi f_c t + \pi) \end{aligned}$$

Es el esquema que utiliza las formas de onda $S_1(t) = -\text{Acos}W_c t$ y $S_2 = \text{Acos}W_c t$, de acuerdo a los dígitos binarios 0 y 1 respectivamente. Por lo que tendríamos :

$$Z(t) = D(t) (\text{Acos}W_c t),$$

donde $Z(t)$ es la señal modulada y $D(t)$ la onda binaria aleatoria de período T_b y niveles -1 y 1.

La única diferencia con **PSK** es que en **ASK**, la portadora se switchea entre on y off y **PSK** entre +A y -A; el ancho de banda entre éstas es el mismo pero también tienen sus diferencias; Ask es una modulación lineal; **PSK**, en general, no lo es. La ventaja primaria del Psk sobre el esquema de Ask está cuando las comparamos dentro de un mismo medio de limitaciones de potencia y ruido.

Psk consiste en alterar la fase de la portadora entre dos o más valores en respuesta al código PCM; para PCM binaria, es conveniente un desfase de 180 grados, pues simplifica el diseño del modulador, por lo que se emplea a menudo. Este en particular se llama conmutador inverso de fase (**PRK**) expresado por $S_1(t)$ y $S_2(t)$.

Cuando es uno tiene una fase, y cuando es -1 cambia en 180 grados; se asigna 1V para 1 lógico y -1V negativo para cero lógico.

La onda transmitida es:

graff

La modulación puede hacerse en RF o bien en frecuencia intermedia FI; se puede realizar con un modulador balanceado (para no invertir potencia en la portadora); en RF se usa para enlaces más económicos, de baja capacidad, la señal se envía sin portadora.

(graf23a)

Se observa en el siguiente diagrama de bloques el receptor PSK, cuya etapa principal la constituye el detector sincrónico donde se multiplica la señal modulada con la portadora, habiendo previamente filtrado la señal de ondas no requeridas, que es convertida a una frecuencia intermedia para su amplificación.

En la figura, se tiene el detector sincrónico, (pues debe de estar sincronizado con el oscilador del transmisor).

Esta señal debe de ser sincrónica y estar en fase, de lo contrario, si nuestro oscilador fuera de $\delta W + W$ al multiplicar la señal

$$x(t)\cos Wct\cos(Wc + \delta W)t$$

Sabiendo que $\cos U\cos V = 1/2 [\cos(u + v) + \cos(u - v)]$

entonces $\cos Wct \cos(Wc + \delta W)t = 1/2[\cos(2Wc + \delta W)t + \cos(-\delta W)t]$

Por lo que nuestra ecuación queda:

$$K/2 x(t) [\cos\delta Wct + \cos(2Wct + \delta Wct)] \text{ se filtra}$$

$$K/2X(t) \cos\delta Wt \text{ donde el } \cos\delta Wt \text{ es un factor que afecta}$$

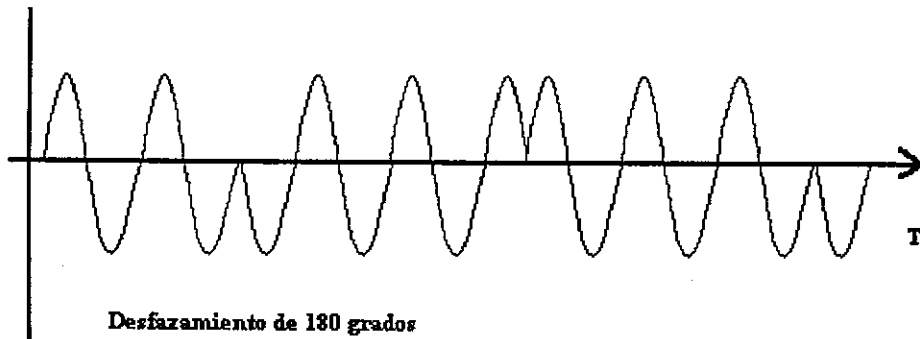
nuestra información.

Así también si en lugar de un cambio de frecuencia fuera un desfase tendríamos la señal recuperada igual a $K/2X(t) \cos\theta$ para $\theta \geq \pi/2$ la salida es casi nula. De aquí se observa que por eso la señal de referencia debe de coincidir en frecuencia con la portadora, y debe de estar bien sincronizada en fase.

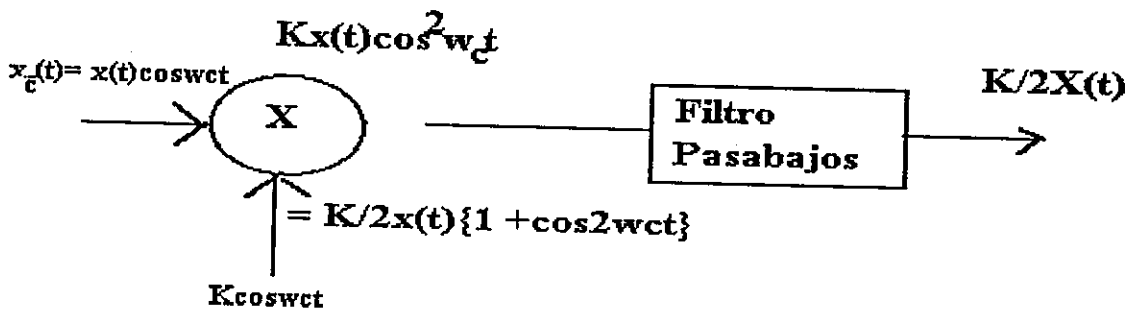
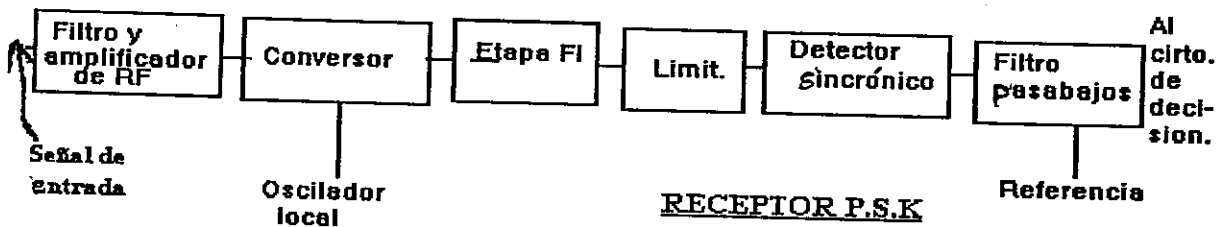
Este problema lo podemos resolver enviando una señal piloto junto con la señal modulada, el cual se toma en el receptor para sincronizar el oscilador local.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

PSK



GRAFF



DETECTOR SINCRÓNICO

GRAF23A

Las señales en **PSK** también se pueden multiplexar, claro que hay que tener cuidado en que no se traslapen; por eso muchas veces es necesario filtrarlas y así recortadas, para saber cuánto ocupan en el espectro, y limitarlas, ya que sabemos que lo que interesa es el lóbulo central pues lleva el 90% de la potencia.

Al traslaparse las señales, ocurre una interferencia llamada Intersímbolo. La ventaja que nos muestra en resumen **PSK** es que posee mayor potencia para iguales condiciones; comparada con **ASK** en un receptor y respecto a **FSK** es el ancho de banda que es menor.

COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MODULACIÓN:

ANCHO DE BANDA

Cuando se requiere transmitir a alta velocidad y en un canal pasabanda ruidoso, se prefiere **VSB** (vestigial Side Band), que **ASK**, **FSK** y **PSK** (que son esquemas de una eficiente utilización de ancho de banda) **VSR** tiene un ancho de banda rb , **PSK** y **ASK** lo tienen de $2rb$ y **FSK** un poco más grande que $2rb$, por lo que si se quisiera un esquema de modulación que lo primordial fuera el ancho de banda **FSK**, no se tomaría en cuenta.

POTENCIA

Entre los esquemas de modulación digital la **PSK** es la que requiere menor potencia a utilizar y **DPSK** (**PSK** diferencia es un decibelio mayor que la coherente **PSK**). Si comparamos con **FSK** en su forma no coherente requiere 7 db. más de la potencia que la **PSK**. En las grandes Industrias de comunicaciones cada, decibelio salvado de potencia resulta en salvar millones de dólares anuales.

INMUNIDAD A LOS DETERIOROS DEL CANAL

Los canales de comunicaciones representan gran deterioro para las señales que los transitan; está el desvanecimiento y la no linealidad, variaciones aleatorias que éste tiene, **PSK** y

FSK; el umbral de receptor no depende de los cambios en la amplitud de cada uno, mientras que en ASK sí, es más sensible a los cambios en las características del canal.

Si el canal tiene desvanecimiento, los esquemas no coherentes deben de ser usados; lo contrario es que no sería posible establecer la coherencia, pero sí se transmite remotamente y se tienen serios problemas de potencia se considera un esquema coherente que usa menos potencia que un sistema no coherente aunque con errores de datos.

EQUIPO

La complejidad en los equipos al transmitir no es notoria; no hay mayor diferencia entre uno y otro, (PSK, ADK, FSK); en el receptor sí, lo cual depende si éste es coherente o no coherente.

En hardware utilizado para una detección coherente es más complejo que cuando es no coherente; un DPSK es más complejo que un no coherente FSK, que a la vez es más complejo que un ASK. Cuanto más complejo sea el equipo, más costoso es.

En resumen, deben de tomarse varios aspectos en la selección de un detector:

1. Si el ancho de banda es lo primordial, se piensa en VSB y en lo menos que se piensa es en FSK.
2. Si los requerimientos de potencia son primordiales PSK coherente o \DPSK mejor, y lo menos es ASK.
3. Si no se requiere un equipo complejo, se escoge un demodulador no coherente.

Cuestionario 5

CUESTIONARIO 5

25. ¿En qué consiste la modulación PSK?
- a. Es un conmutador de desplazamiento de fase.
 - b. Es un conmutador de desplazamiento de frecuencia.
 - c. Es un conmutador de desplazamiento de amplitud.
- A
26. ¿En cuál de los siguientes aspectos tiene ventaja el PSK sobre ASK?
- a. ruido
 - b. potencia
 - c. potencia y ruido
- C
27. PSK consiste en alterar la frecuencia de:
- a. La señal de información.
 - b. La portadora.
 - c. La señal modulada en amplitud
- B
28. ¿Qué parte de la señal modulada lleva más potencia?
- a. El lóbulo central
 - b. Va perfectamente distribuida.
 - c. Los lóbulos laterales.
- A

MODULACIÓN MULTISÍMBOLO:

En los sistemas digitales, se ha considerado que sólo se puede transmitir una de dos señales por cada intervalo de señalización. Tales sistemas tienen una eficiencia de ancho de banda de 1 bps/Hz., pero es más eficiente si se transmite a más bits/seg. En la modalidad, M-PSK se transmite 1 de M posibles señales durante cada intervalo de señalización.

A efecto de reducir el ancho de banda base, pueden utilizarse más de dos niveles en la amplitud de la información, con lo que sacrificamos un poco más de potencia, y se obtiene como resultado que el ancho de banda se reduzca, y0 podría tenerse un multinivel o multifase, o bien combinados, encontrando su aplicación en sistemas de satélites y teléfonos; este sistema ya mencionado presenta inmunidad al ruido.

Se puede tener multifase, multinivel y multifrecuencia (este último en lugar de reducir el ancho de banda lo aumenta y es inmune al ruido); para estudiar el multinivel, se considera que el modulador toma bloques de n dígitos binarios y asigna una 2^n formas de onda posible a cada combinación (m) de los dígitos binarios.

MPSK (PSK Multisimbólica):

Normalmente el canal para transmitir es de dos veces la frecuencia de la señal de banda base, **QPSK** permite transmitir en la mitad del ancho de banda, y usar como dispositivo de almacenamiento al flip flop D, y se tiene a éste para que se active cuando el pulso de reloj pasa de positivo a negativo.

La señal puede tomar uno de los M valores estándar separados en un ángulo de $\theta_k = k \cdot 2\pi/M$; las señales que pueden ser transmitidas durante cada intervalo de señalización de duración T_s son:

$$S_k(t) = A \cos(\omega_c t + K \cdot 2\pi/M) \quad K = 0, 1, 2, 3, \dots, M-1 \quad 0 \leq t \leq T_s$$

Si consideramos un primer caso de **MPSK** con $M=4$ conocido como **QPSK**, los dígitos binario pueden ser 00, 01, 10, 11 y los ángulos de fase

$$\delta\theta = 2\pi/4 = \pi/2$$

$$\frac{X(t)\delta\theta}{2} = \begin{matrix} \pi/4 \\ 3\pi/4 \\ -3\pi/4 \\ -\pi/4 \end{matrix} \quad S(t) = A \cos(Wct + \frac{X(t)\delta\theta}{2})$$

Forma posible de ser transmitida.

Donde WcT es la parte modulada, y $X(t)\delta\theta/2$ es el desfase que provoca la información.

Si la tasa de señalización es r bits/seg., entonces cada pulso binario tendrá la duración de T/r y el modulador de $2/r$.

$$s(t) = A \cos Wct \cdot \cos \frac{X(t)\delta\theta}{2} - A \sin Wct \cdot \sin \frac{X(t)\delta\theta}{2}$$

$$= a_x \cos Wct + b_x \sin Wct \quad \text{siendo}$$

$$a_x = \cos \frac{X(t)\delta\theta}{2} \quad b_x = -\sin \frac{X(t)\delta\theta}{2}$$

Substituyendo los valores para $X(t)\delta\theta/2$ tenemos

Dibit	$X(t)\delta\theta/2$	a_x	b_x	(a_x, b_x)	$\theta_k - \theta_{k-1}$
00	$\pi/4$	$(2^{1/2})/2$	$-(2^{1/2})/2$	$(1, -1) / (2^{1/2})/2$	$+45^\circ$
01	$3\pi/4$	$-(2^{1/2})/2$	$-(2^{1/2})/2$	$(-1, -1) / (2^{1/2})/2$	$+135^\circ$
10	$-3\pi/4$	$-(2^{1/2})/2$	$(2^{1/2})/2$	$(-1, 1) / (2^{1/2})/2$	-135°
11	$-\pi/4$	$(2^{1/2})/2$	$(2^{1/2})/2$	$(1, 1) / (2^{1/2})/2$	-45°

Como vemos la ecuación de cos (componente que está en fase) y sen (componente en cuadratura), son ondas en cuadratura y así se transmite, simultáneamente; es decir, respecto a la portadora sin modular unas señales son enviadas en cuadratura y otras en fase.

Para $M = 2$ $\delta\theta = 2\pi/2 = \pi$, uno estaría en $\pi/2$ y otro en $-\pi/2$ y $x(t)\delta\theta/2 = \pi/4$.
Observando la tabla anterior las ecuaciones vistas con $M = 4$ lo llamamos 4PSK, cuyos puntos localizados en el plano cartesiano se denomina constelación.

(Graf24)

En la gráfica anterior, se puede observar que al ser un uno se asigna un ángulo de fase de la portadora en este caso $\pi/4$, el cual viene de lo que ya se ha explicado, y son cuatro posibles valores que se pueden dar en ángulos de fase.

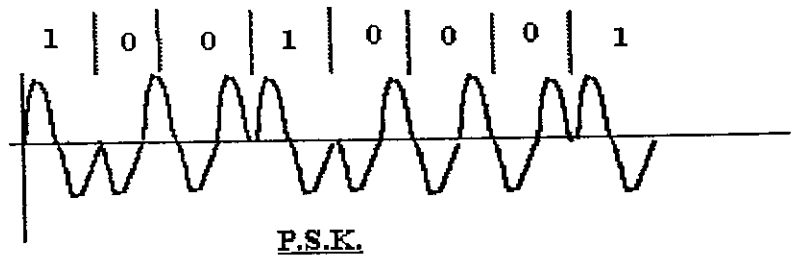
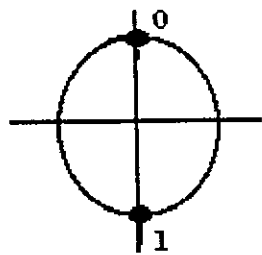
Se realiza la modulación, si combinamos dos señales en cuadratura de una forma lineal. Se almacena un par de bits en un registro de desplazamiento aplicados a dos moduladores PSK, cuyas portadoras están en cuadratura entre sí respectivamente; cada modulador recibe los datos a la mitad de la velocidad que entran los bits, pues prácticamente se reparten en dos canales. Luego las dos señales moduladas se suman.

Otro método consiste en que teniendo una única portadora se hace pasar por desfasador, el cual cambia según los bits de entrada, y se usa sólo en RF.

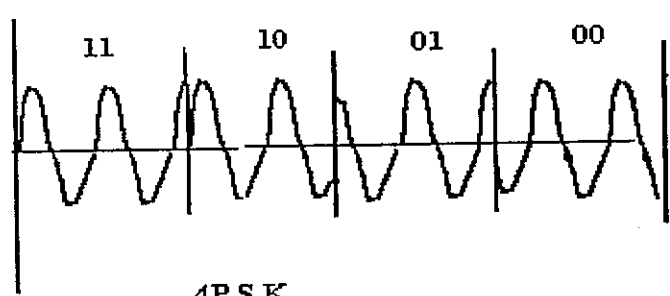
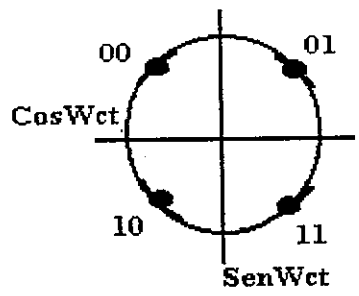
Tomando el primer método, se sabe que la señal de entrada se ha dividido en dos secuencias binarias intercaladas de velocidad $r/2$ modulándolas en cuadratura; deben estar en perfecta cuadratura; de lo contrario, habrá interferencia. Observemos el modulador en la siguiente gráfica.

(graf24a)

Si $M=8$ entonces $\delta\theta = \pi/4$ y cada fase es de tres dígitos; observemos la figura siguiente; se asigna según el código de Grey para minimizar errores. Tenemos que

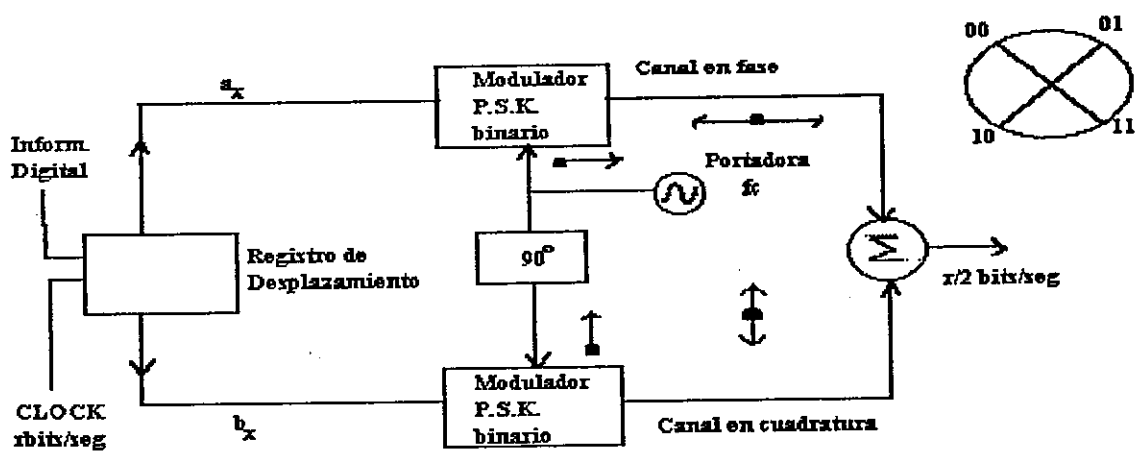


P.S.K.



4P.S.K.

GRAF24



MODULADOR 4P.S.K.
GRAF24A

$$x(t) \delta \theta / 2 = \pi/8, \pi/4, 3\pi/8, \pi/2, 5\pi/8.$$

(graf25)

La siguiente figura muestra el diagrama de fase de una señal **PSK**

(graf26)

El modulador **8PSK** consiste en dos moduladores **4PSK**, y uno de **2PSK**. La salida de un modulador **4PSK** está dada por los dos primeros bits del tribit que se transmite. Lo mismo sucede con el modulador inferior cuando el tribit es cero; si es uno su constelación, se modifica como se indica en la figura anterior graf26, cuya suma de señales entrega la constelación **8PSK**.

En **8PSK** tenemos $M = 8$ $\delta \theta = \pi/4$ entonces tenemos $\frac{X(t) \delta \theta}{2}$,

y los valores de fase quedan $\pi/8, 3\pi/8, 5\pi/8, 7\pi/8, -7\pi/8, -5\pi/8, -3\pi/8, -\pi/8$.

Si observamos los espectros de 2, 4 y **8PSK** de la misma tasa de señalización, se observa que efectivamente se deducen los anchos de banda al incrementar los niveles de señalización, y a la modulación multisimbólica.

(graf27)

Sumando el ahorro de ancho de banda, inmunidad al ruido y la implementación de los circuitos, hacen a **4PSK** el esquema de modulación más difundido, aunque si nuestro deseo es reducir el ancho de banda, se puede recurrir a una implementación más compleja. Una regla que es recomendable es que el 99% de la potencia de la señal debe estar dentro de la banda ocupada.

Debe de tenerse cuidado con el filtrado en estos sistemas de Psk del lóbulo principal, pues los lóbulos laterales son su principal desventaja .

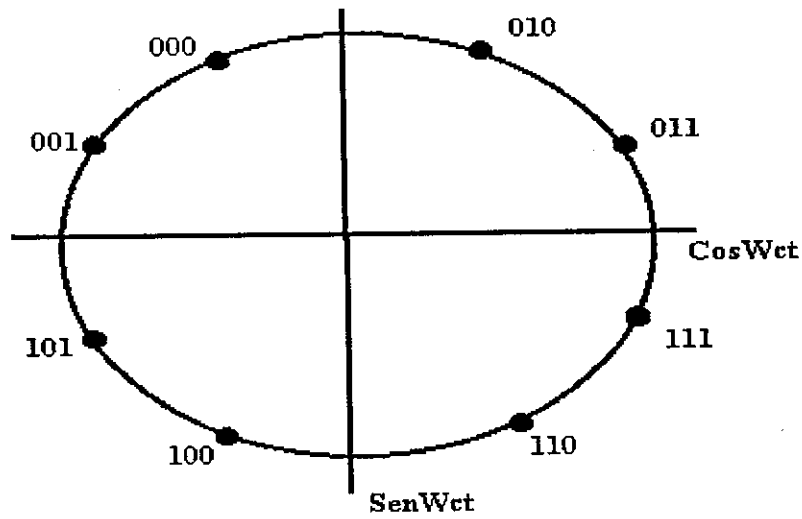
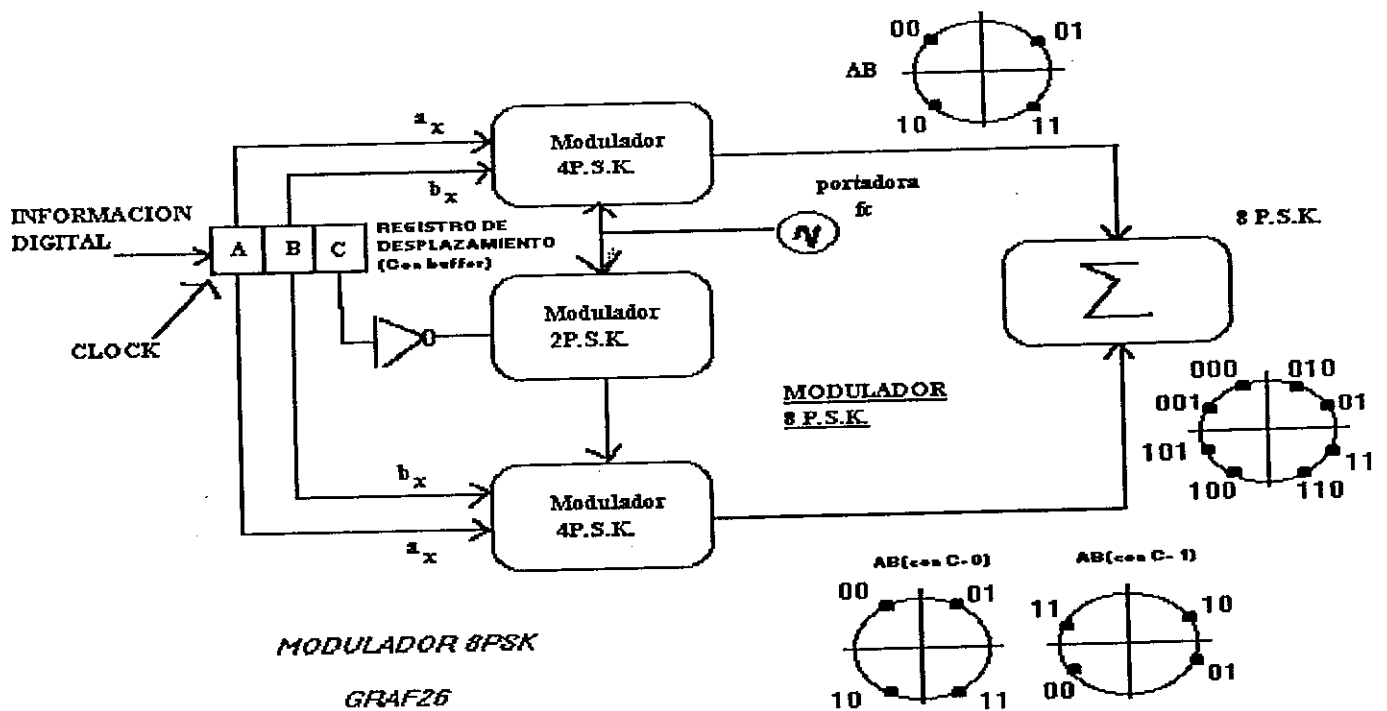
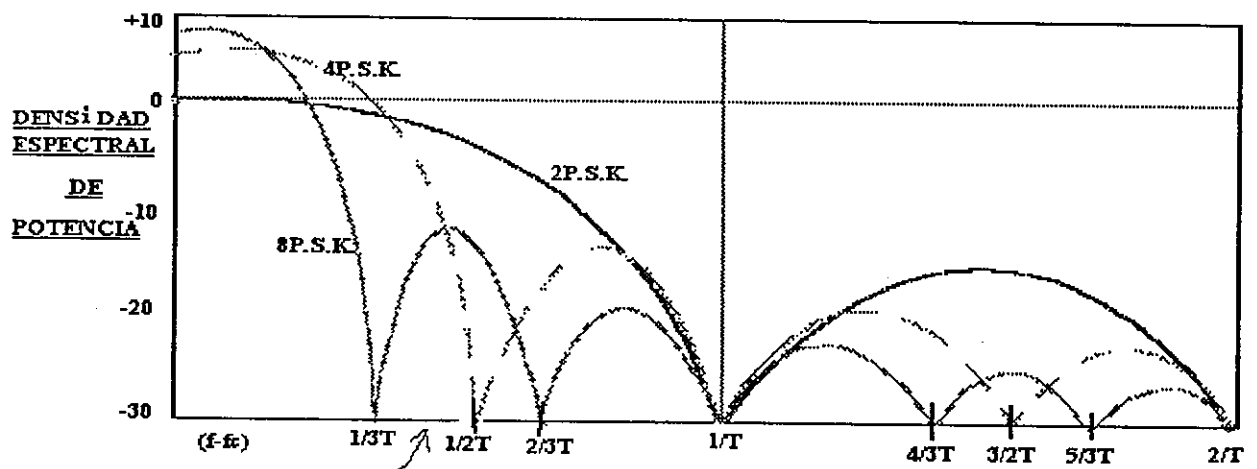


DIAGRAMA DE FASE DE UNA SEÑAL 8PSK
GRAF25





ESPECTROS P.S.K. PARA IGUAL TASA DE SEÑALIZACION

GRAF27

Lóbulos laterales

QAM: (Cuadratura Amplitud Modulación)

Otro método de modulación en el que se intenta transmitir más de 1 bit/seg. Es el intento de transmitir dos señales moduladas en cuadratura de fase.

En lo que se refiere a **PSK**, todos los puntos de la constelación se encontraban en una circunferencia, lo que implica una constancia de amplitud; como en **4PSK** dijimos que se podía transmitir en dos canales señales **2PSK** en cuadratura para formar una **4PSK**, sin independencia de amplitud (amplitud constante).

Si ahora se permite que las dos señales banda base en cuadratura sean independientes en amplitud, **QAM** es entonces la modulación multinivel de amplitud de dos señales en cuadratura, enviadas en canales totalmente independientes.

$$S_i(t) = a \cos W_c t + b \sin W_c t$$

donde a y b toman los valores, según el nivel, M previsto, entonces $M = L^2$ donde L se refiere a niveles. Para dos niveles, + 1 en cada canal es **4PSK**, esto es si cada canal puede tomar cuatro niveles distintos, lo cual es **16 QAM** es decir $L = 4$ y $M = 16$.

Con este método la envolvente de la portadora ya no será constante; además, la distancia entre puntos es mayor en **QAM** que en **PSK** (ud. lo puede comprobar).

Se observa que la siguiente gráfica es la representación en el plano de cada nivel que toma la señal en **16QAM**, en el que se observa que efectivamente la amplitud es independiente.

(graf28).

En la graf19, se presenta el diagrama de un modulador **QAM**; se transmiten a r bits/seg., luego un conversor 2 a L niveles que transforma una señal binaria en una multinivel a una velocidad dada por la siguiente ecuación:

$$r_s = r/2 \cdot 1/\log_2 L \text{ (símbolos/seg.)}$$

Por ejemplo, si la fuente de datos tiene una velocidad de $r = 10$ Mbits/seg. el flujo dividido será 5 Mbits/seg., usando un sistema **16QAM** tendremos $L = 4$ niveles en cada señal a_1 y b_1 , con lo que sus velocidades serán

$$r_s = 10\text{Mbits/seg} / 2 \cdot 1/\log_2 4 = 2.5 \text{ Mbits/seg}$$

Una limitación de este método de modulación es la necesidad de utilizar amplificadores de potencia muy lineales. En los sistemas de satélites, a efecto de mejorar las relaciones señal a ruido, es deseable la generación de potencia de salida altas, lo que se logra mejor con dispositivos limitados en amplitud.

Para compensar la linealidad que requiere QAM, se genera 16QAM como combinación de 4PSK (las que al amplificarlas por dispositivos alineales no sufren ninguna degradación).

La señal de salida de uno de los amplificadores se hace el doble de la del otro amplificador, y de la combinación lineal de ambos se obtiene la señal 16 QAM, la cual es filtrada para limitar su espectros.

Observe la siguiente gráfica:

(graf 29)

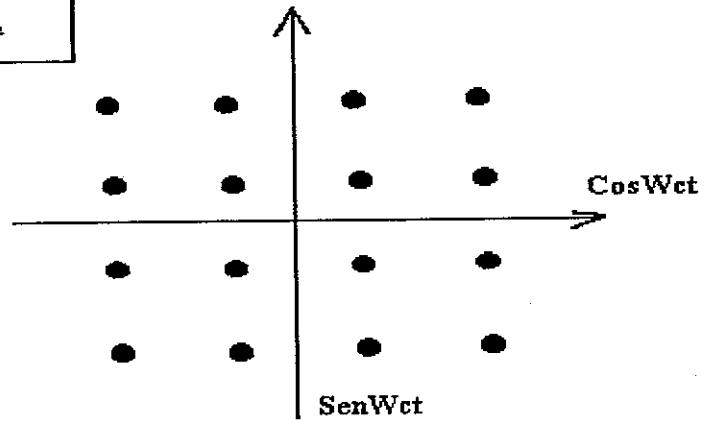
En la gráfica anterior, se observa que se tiene una corriente de datos de entrada a razón de $f_b = 1/T_b$ bits/seg, y luego del conversor en paralelo entrega dos corrientes de $f_s + 1/T_s$ bps donde $T_s = 2T_b$ y f_x es la razón de símbolos o baudios, y f_b es la razón de bits total para el sistema. Los filtros que se ven son para restringir el ancho de banda.

ASK puede verse como PSK tan sólo si sus señales en cuadratura tuvieran la misma amplitud.

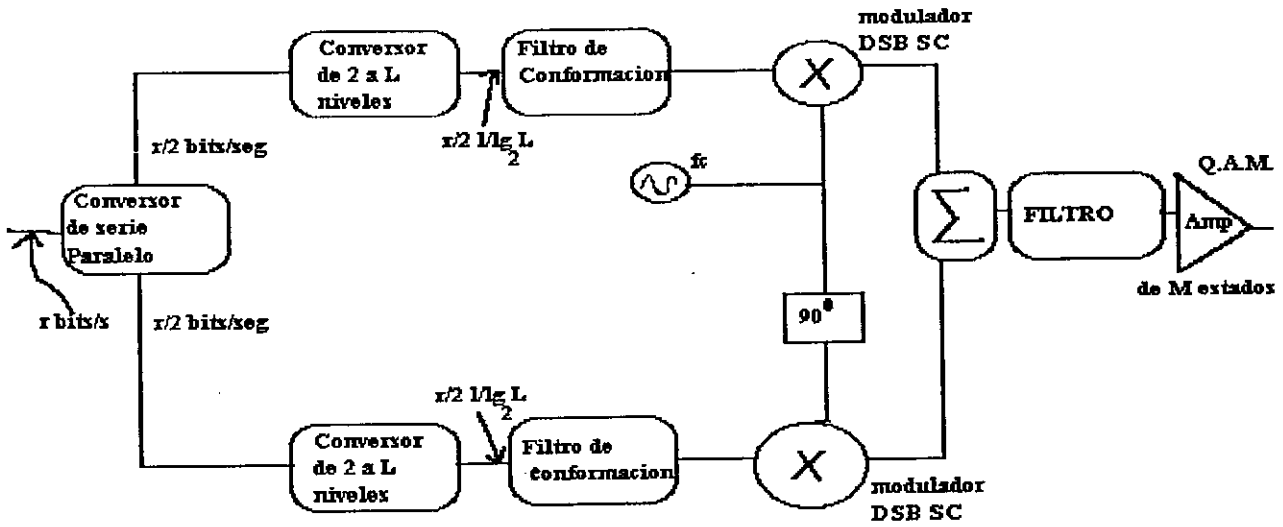
El Demodulador QAM de $M = L^2$ niveles se muestra en la gráfica siguiente:

(graf30)

16 Q.A.M.

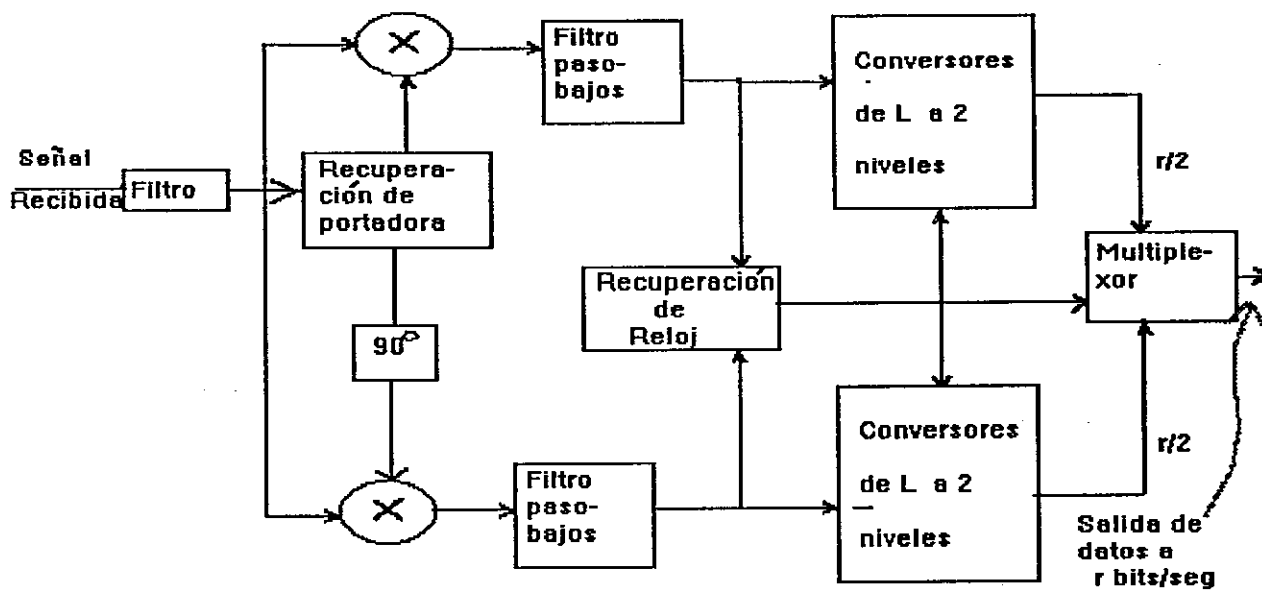


REPRESENTACION DE 16QAM
GRAF28



MODULADOR QASK
GRAF29

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central



DEMODULADOR ASK
GRAF30

El conversor de L a 2 niveles consiste en L-1 comparadores, cuyas salidas son 1 si al instante de muestreo, la señal supera el umbral preestablecido; de lo contrario, se tendrá un cero lógico.

Todas las salidas de los L-1 comparadores conectan a un circuito lógico, que determina la palabra binaria de salida correspondiente.

El muestreo se realiza a $r/(2\log_2 L)$ y su tasa binaria es $r/2$ finalmente se tiene un conversor paralelo-serie multiplexa los datos, y se obtiene la señal de salida a r bits/seg.

FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING):

Con los métodos de modulación y representación espectral eficiente buscamos tener una maximización del ancho de banda y también minimizar las componentes espectrales que caen fuera del ancho de banda mínimo (NIQUIST).

Con el presente método, se busca un eficiente ancho de banda, cuya densidad de potencia desciende más rápidamente fuera del ancho de banda mínimo.

La potencia transmitida y el ancho de banda del canal son los dos recursos básicos en los sistemas de comunicaciones. Uno de estos dos es más importante que el otro en muchos casos, por lo que hay canales de potencia limitada y otros de banda limitada.

La señalización M-aria es más útil en canales de potencia limitada, para conservar la potencia transmitida a costa de mayor ancho de banda y mayor complejidad del equipo.

En una serie de señales M-arias, se transmite cada una en el intervalo de $(0, T_s)$ y es necesario identificar unívocamente en el receptor cada símbolo.

Teniendo el conjunto de sinusoides

$$\begin{aligned} \phi_n(t) &= A \cos W_n t & 0 < t \leq T_s \\ &0 & \text{de otra forma} \end{aligned}$$

Cada señal se toma con una energía igual a E_s y cumplen la condición de ortogonalidad que es:

$$\int_0^{T_s} \phi_n(t) \phi_m(t) dt = 0 \quad n \neq m$$

$$E_s = A^2 T_s / 2,$$

la separación mínima entre las señales ortogonales es de $\Delta f = 1/T_s$ siendo $\Delta f \geq 1/T_s$ y el ancho de banda mínimo necesario es $B_{\min} = M/2T_s$ donde $T_s = T_b \log_2 M$.

El receptor óptimo consiste en un banco de M filtros acoplados, como se muestra en la figura:

Graf AA

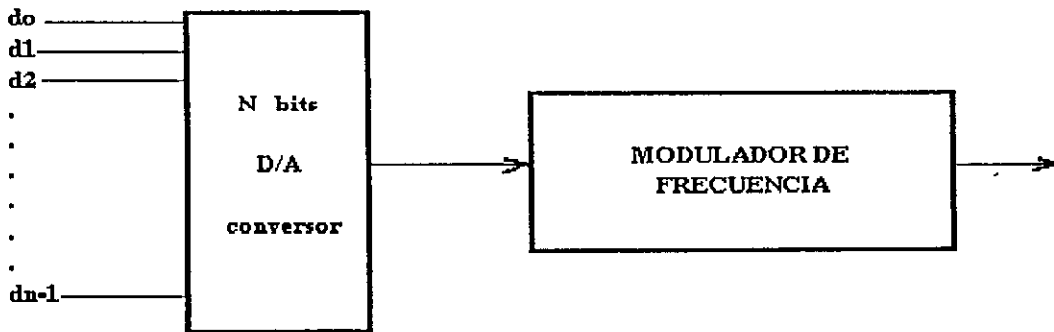
En los sistemas M -arios, el ancho de banda se incrementa en proporción a M , y si M tiende al infinito no habría errores.

Grafbb

QPSK es una extensión de PSK, en el transmisor N símbolos se hacen presentes cada T_s , a un N -bit D/A convertidor (convertidos de digital a analógico), luego se pasa a un modulador el cual genera una portadora, cuya frecuencia es determinada por la señal moduladora. La señal transmitida según la duración del intervalo de símbolos, es de frecuencia f_0 ó f_1 ó ... f_{M-1} con $M=2^N$. En el receptor como se ha mencionado, la señal es aplicada a M filtros pasabanda, cada uno seguido de un detector de envolvente (en el caso que sea no coherente); cada filtro está centrado en f_0, f_1, \dots, f_{M-1} ; a la salida del detector se aplica la señal que un dispositivo que determina cuál es la mayor señal, y la transmite (su envolvente) a un N -bit convertidor analógico a Digital (A/D).

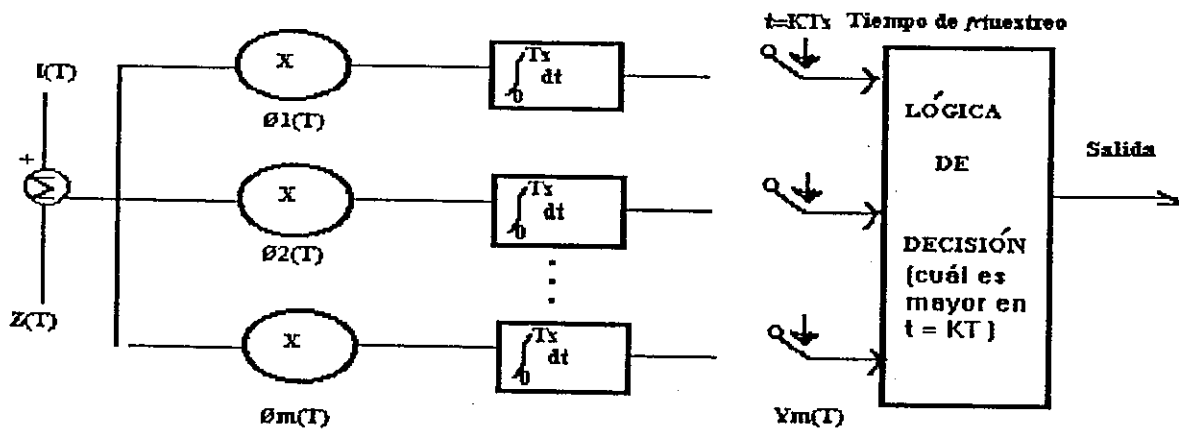
COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE MODULACIÓN DIGITAL

Al elegir un método de modular, una señal digital depende como primer punto de la eficiencia del ancho de banda (en bits por segundo sobre Hertz = bps/hz.), el desempeño en errores (P_e vrs S/N), y la complejidad del equipo (costo). La potencia transmitida necesaria y la complejidad del equipo aumentan generalmente con el aumento en la eficiencia de banda.



BANCO DE M FILTROS ACOPLADOS

GRAFAA



TRANSMISOR DE SEÑAL M-ARIA
GRAFBB

En la figura que observa, se presentan algunos de los distintos métodos de modulación, según su complejidad en esquemas de modulación :

figMAG

Aunque escoger una de éstas también depende de otros factores, como ya se ha mencionado; los canales de transmisión no todos son lineales y lo que importa al escoger un método de modulación es si puede haber o no linealidades del tipo de saturación (Ej. al usar un amplificador con características no lineales). En estos canales FSK y PSK, mantienen su rendimiento notablemente bien, mientras que QPSK y QASK no.

Otro tipo de deterioro es la distorsión de retraso; si se tiene un filtro de respuesta de magnitud invariable con el tiempo, no varía la frecuencia; la pendiente de la característica fase-frecuencia puede identificarse como un retraso en frecuencia; esta clase de distorsión de los filtros se considera constante y se llama DISTORSION DE RETRASO. OOK Y PSK tienen buen rendimiento pero QPSK sufre una severa degradación.

En presencia de desvanecimiento, los comportamientos en errores de la OOK y los sistemas biortogonales no se degradan tan rápidamente como los otros, mientras que la FSK y los sistemas diferencialmente coherentes biortogonales son peores.

Los métodos de modulación digital se usan para la transmisión de señales PCM, por medio de canales pasabanda. Los métodos de modulación binaria son de conmutación de corrimiento de amplitud, ASK, conmutación de corrimiento de frecuencia, QPSK y conmutación de corrimiento de fase, QPSK; de una sinusoidal.

El uso de un filtro acoplado en la detección de señal en un demodulador hace que la señal PSK requiera hasta 3 dB de potencia menos que el ASK y FSK para una probabilidad de error dado. El PSK necesita una detección coherente, mientras que para el FSK y ASK; la detección puede ser coherente o no. El PSK diferencial se usa para ganar la mayor ventaja sobre el PSK y evitar la sincronización en la detección. La QPSK utiliza los principios de la multiplexión en cuadratura, para ofrecer el doble de la capacidad de la razón de bits que la PSK, dentro del mismo ancho de banda. La M-aria FSK produce ahorros de potencia transmitida a expensas de ancho de banda.

Cuestionario 6

CUESTIONARIO 6

29. ¿Qué ventaja importante se encuentra al realizar una modulación multisímbolo?

- a. Se realiza en menor cantidad de tiempo.
- b. El equipo utilizado es menos complicado.
- c. Se reduce el ancho de banda ocupado.

C

30. ¿En cuál de las tres formas de modulación multisímbolo se aumenta el ancho de banda, pero su ventaja es ser inmune al ruido.?

- a. multifase
- b. multinivel
- c. multifrecuencia.

C

31. ¿Qué característica tienen los puntos localizados en el plano cartesiano de una señal PSK?

- a. Independencia de amplitud
- b. Constancia de amplitud
- c. Constancia de fase.

B

32. ¿Qué característica tienen los puntos localizados en el plano cartesiano de una señal QAM?

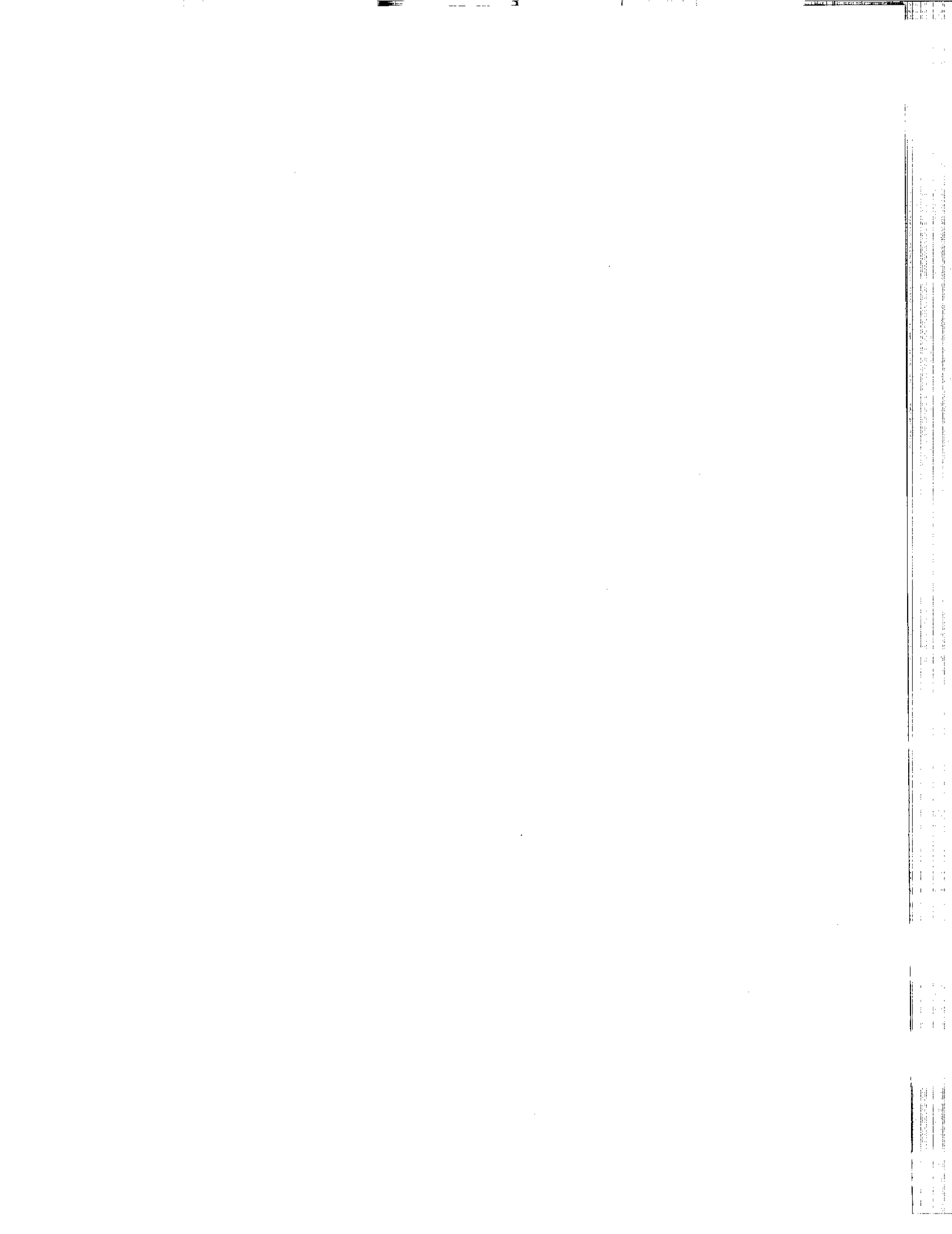
- a. Independencia de amplitud
- b. Constancia de amplitud
- c. Constancia de fase

A

33. ¿Desventaja de QAM?

- a. Necesidad de amplificadores de potencia lineales.
- b. Necesidad de un perfecto filtrado del ruido.
- c. Constante variación del ancho de banda.
- d. No se puede eliminar el ruido fácilmente.

A

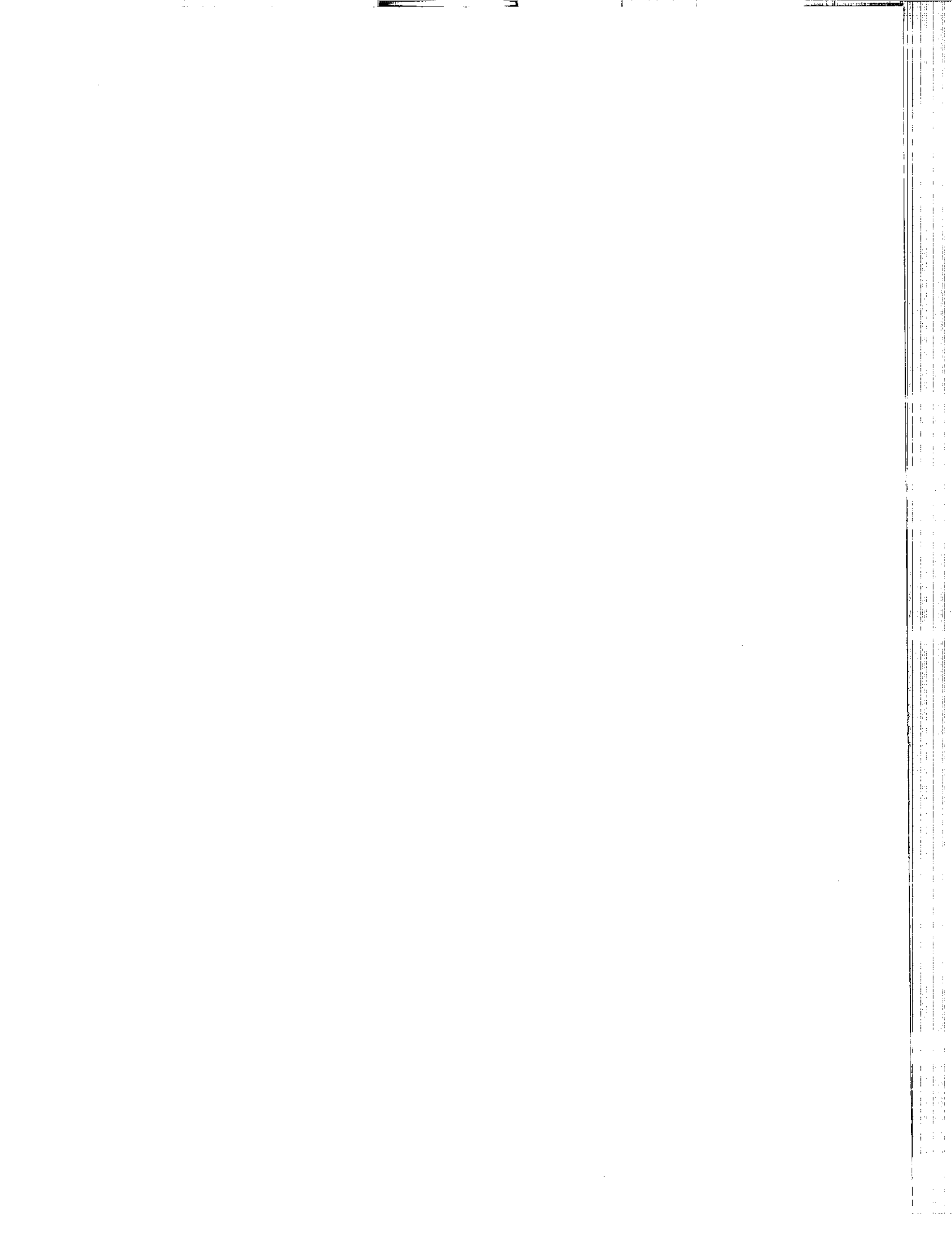


CONCLUSIONES

- 1- El método de enseñanza por medio de tutoriales es de gran utilidad para el estudiante, pues lo ayuda a organizar su tiempo de manera que no afecte en las demás actividades que pueda tener.
- 2- El tutorial, en general, representa un auxiliar para el catedrático.
- 3- También es un complemento de lo aprendido en clase.
- 4- El tutorial es un medio inteligente de enseñanza.
- 5- El haber leído el Tutor de Modulación Digital se comprobó que las transmisiones digitales son más fidedignas que las analógicas; hay menos pérdida de información, aunque son más costosas sus instalaciones.

RECOMENDACIONES

1. Para mejorar el aprendizaje en los estudiantes universitarios, debe aprovechar mejor su tiempo y a la vez utilizar la tecnología; se recomienda la implementación de laboratorios computarizados, que le permite el acceso a los estudiantes con carnet, y ofrecerle variedad en tutoriales para distintas carreras y grados de estudio.
2. Implementar el tutorial de Modulación Digital para los estudiantes de Ingeniería Electrónica para un mejor aprendizaje y entendimiento de dicho tema, para aprovechar el tiempo ocioso o libre del alumno; con esto, se podría realizar una evaluación y así dar un paso hacia adelante.



BIBLIOGRAFIA

- CEBALLOS, Francisco Javier. Microsoft Visual Basic, Aplicaciones para Windows. Estados Unidos: AddisonWesley. s.f.

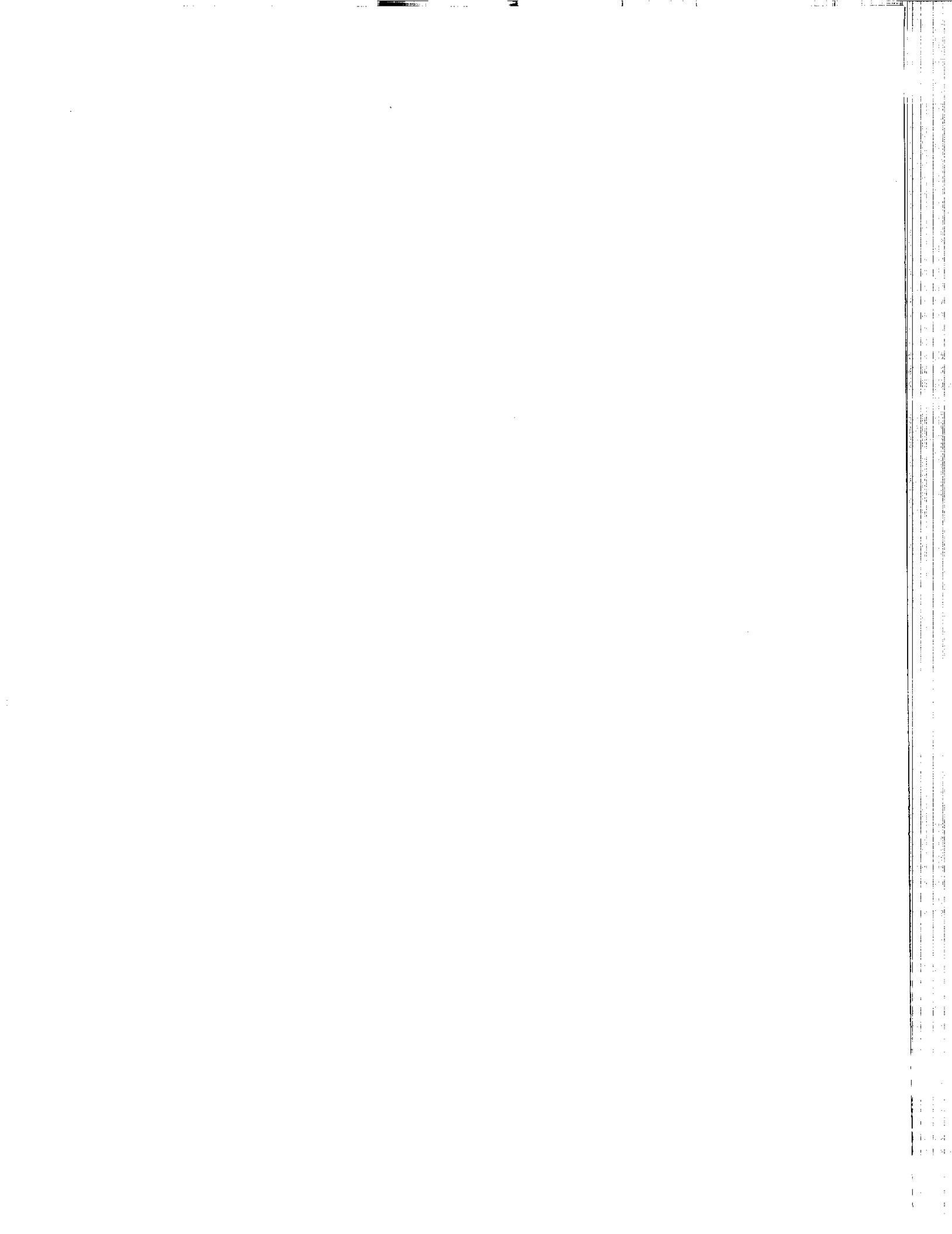
- FREEMAN, Roger L. Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones. Diseño de redes digitales y analógicas. México: Edit. Limusa, 1989.

- PERRY, Paul; La Biblia del Turbo Pascal para windows. Guía Completa de Programación en Pascal Para el Entorno Windows. México: Edit. Anaya Multimedia Americana S.A., 1993.

- SCHILLING, Taub. Principles of Communication Systems; 2a. edición. Sigapore: McGRAW Hill International Editors. s.f.

- SHANMUGAM K. Sam. Digital and Analog Communication Systems. Estados Unidos: Edit. John Wiley & Sons. s.f.

- STREMBLER FERREL, G. Sistemas de Comunicación. 2a. edición. México: Edit. Addison-Wesley Publishing Company, 1985.



APÉNDICES

APENDICE A

MANUAL DEL USUARIO

Esta es una pequeña explicación de cómo hacer uso del programa titulado "**TUTOR DE MODULACION DIGITAL**". Es importante tomar en cuenta que el programa corre bajo windows, en una computadora con procesador 286 o mayor. Además, se necesitan de 4Mbytes de disco duro para su instalación y un mínimo de 4Mbytes de memoria Ram.

Primero, si desea instalarlo a partir del diskette, lo que tiene que hacer es escribir lo siguiente:

a: instalar

Comando que le permitirá a ud. poderlo instalar en su computadora, dentro del directorio tutor. Después de este paso, ya lo podrá correr escribiendo la palabra **TUTOR**.

El programa inicia con una ventana que nos muestra el logo del tutor de modulación. En la parte superior de esta ventana, se muestra un menú. Al teclearlo con el botón izquierdo del mouse o bien con la tecla **Alt+la letra subrayada en la palabra**, avanza a la siguiente pantalla.

A lo largo del programa, se muestra una serie de botones que dicen **anterior**, para regresar de página y **siguiente**; para avanzar de página. Además, al inicio tiene un menú, por el que podemos navegar a un **glosario** para averiguar todas las palabras que no se conozcan o que el estudiante no recuerde que estén relacionadas con la modulación digital. También puede regresar a la pantalla **índice**, de la cual se puede ir a cualquier capítulo de nuestro tutor. La opción que nos muestra **símbolos** nos lleva a una pantalla donde se explica cada uno de los símbolos utilizados en nuestro tutorial.

La palabra **salir**, en cualquier página del tutor, nos regresa al índice, del cual con hacer un click de nuevo, terminamos con el programa. Todo lo realizamos con el mouse, al oprimir el botón izquierdo sobre la tecla o palabra del menú deseada.

En el tutorial, se presentan unos exámenes que para contestar correctamente y en orden las preguntas , se dan tres oportunidades. De lo contrario, la máquina contesta por ella misma, poniendo la respuesta correcta pero tomando la pregunta como mala. Si no se contesta más de la mitad de las preguntas correctamente, se regresa al capítulo para que el estudiante lo intente de nuevo.

Espero que amplíe sus conocimientos con este tutorial de fácil modo de usar. Como se verá, está diseñado para que cualquier estudiante lo pueda utilizar, suerte.

APENDICE B

PASOS PARA LA PROGRAMACION

Este tutorial de modulación digital fue diseñado en Microsoft Visual Basic 3.0, que en un programa instalado bajo windows de lenguaje de programación Basic, Software con el que se puede realizar una innumerable cantidad de aplicaciones, entre las cuales se encuentra una variedad utilizada en el tutor.

Visual Basic presenta una pantalla en blanco a la que llama **Forma**. Para programar cada página o pantalla en el tutor, se utilizó una forma. Por ejemplo, al iniciarse el tutorial se ve una pantalla que es la presentación del mismo; ésta es una forma a la que se le insertó una gráfica y una opción de menú en la parte superior, con el fin de desaparecer esta forma de presentación y dar inicio a nuestro tutor.

Luego de esta pantalla, se le pregunta a la persona que lo está usando, si desea continuar o salir; esto es programado en basic, pues al oprimir un botón se activa la secuencia de instrucciones en el mismo. Para continuar, se le pone la lógica de desaparecer la forma actual y activar la siguiente. Si la persona desea salir con el botón que lo indica, también se le programa al mismo la instrucción de finalizar el programa, y la persona sale tranquilamente de la aplicación.

Para la ejecución de la aplicación, se programan menús, botones, y formas. Además de esto se programa una serie de validaciones dentro de los cuestionarios. Si la persona contesta mal una de las preguntas, se toma su respuesta en un string y se compara con la correcta, que es respuesta previamente almacenada en una variable tipo string. De no ser iguales, se muestra un mensaje que le indica al usuario que no ha contestado bien. El mensaje también es otra forma que desaparece al presionar un botón.

Se dan tres oportunidades para contestar correctamente. Conteo que se lleva en una variable numérica; de lo contrario, la respuesta que está en un string se le asigna a esa casilla automáticamente. Pregunta que para la suma de buenas no será tomada en cuenta.

Es decir, que se incrementa la variable que lleva el conteo de las malas. Al terminar el cuestionario, se suman las buenas (respuestas correctas); si las mismas son mayores que la mitad del total de preguntas, se pasa al capítulo siguiente. De no ser así, se regresa al capítulo anterior.

Sin embargo, el programa está diseñado para que el alumno pueda entrar desde la pantalla índice a cualquier capítulo y viceversa. Esto se hace por medio de botones, que en cada uno es programado el cargar y descargar la forma respectiva. Puede ir a buscar en la pantalla del índice, en opciones, el glosario, el cual sirve para aclarar el significado correcto de alguna palabra o sigla, ya que hay una variedad que se refieren a la modulación digital. Si el alumno quiere ver la versión del tutor, también se le presenta la opción en la pantalla del índice.

Visual Basic cuenta con un manual del usuario para realizar aplicaciones, que pueden ser de mucha utilidad como en nuestro caso.