



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

***"ACTUALIZACIÓN, MEJORA Y PROPUESTA DEL
MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA
LA ASIGNATURA DE COMUNICACIONES
DIGITALES"***

ACTIVIDAD DE APOYO A LA DOCENCIA
Que para obtener el título de
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T A

DEAN GROVES AVENDAÑO

ASESOR:

ING. NARCISO ACEVEDO HERNÁNDEZ



MEXICO 2017



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
"ARAGÓN"



**INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo. Sobre todo a mis papás, Gabriela Avendaño y Cheyenne L. Groves, por el amor, la motivación y el apoyo recibido a lo largo de mi vida, ya que sin ellos nada de esto sería posible.

Quisiera hacer extensiva mi gratitud a mis hermanos, Cheyenne E. Groves y Anthony Groves, al igual que a sus familias, por su apoyo incondicional siempre que lo necesito.

Así mismo quisiera agradecer a Rosa Avendaño, Raúl Reyes, Claudia Reyes y Karen Reyes, por toda la ayuda que me han brindado, por guiarme a lo largo de mi formación académica y ser una inspiración para mí.

Especial reconocimiento merece el interés mostrado por mi trabajo y las sugerencias recibidas de mi mejor amiga y pareja, Angélica Martínez, con la que me encuentro en deuda por el ánimo infundido y la confianza en mí depositada.

También quiero dar las gracias al Ing. Narciso Acevedo, asesor de este trabajo, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua de la misma. Por otro lado a los profesores involucrados, Ing. Julián Zúñiga, Pablo Luna, José Luis Pérez y Fernando Vázquez, por su colaboración en el suministro de los datos necesarios para la realización de la parte empírica de esta investigación.

Y finalmente a la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser mi segundo hogar.

A todos ellos, muchas gracias



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
 "ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
 COMUNICACIONES DIGITALES
 CONTENIDO

JUSTIFICACIÓN	1
Introducción.....	1
Desarrollo.....	2
Aportación 1.....	2
Aportación 2.....	2
Aportación 3.....	3
Aportación 4.....	5
Aportación 5.....	9
Aportación 6.....	10
Aportación 7.....	10
Aportación 8.....	10
Aportación 9.....	11
Aportación 10.....	11
Aportación 11.....	11
PRÁCTICAS	12
Práctica 1 Modulación Analógica: Modulación en Amplitud (AM).....	13
Objetivos generales.....	13
Objetivos particulares.....	13
Introducción.....	13
Trabajo de casa.....	17
Equipo a utilizar.....	17
Desarrollo.....	17
Cuestionario.....	27
Práctica 2 Modulación Analógica: Modulación en Frecuencia (FM).....	30
Objetivos generales.....	30
Objetivos particulares.....	30
Introducción.....	30
Trabajo de casa.....	33
Equipo a utilizar.....	34
Desarrollo.....	34
Cuestionario.....	37

Práctica 3 Codificación Lineal PCM.....	40
Objetivos generales.....	40
Objetivos particulares.....	40
Introducción.....	40
Trabajo de casa.....	43
Equipo a utilizar.....	43
Desarrollo.....	44
Cuestionario.....	50
Práctica 4.....	53
Objetivos generales.....	53
Objetivos particulares.....	53
Introducción.....	53
Trabajo de casa.....	54
Equipo a utilizar.....	54
Desarrollo.....	55
Cuestionario.....	60
Práctica 5.....	63
Objetivos generales.....	63
Objetivos particulares.....	63
Introducción.....	63
Trabajo de casa.....	64
Equipo a utilizar.....	64
Desarrollo.....	65
Cuestionario.....	68
Práctica 6.....	71
Objetivos generales.....	71
Objetivos particulares.....	71
Introducción.....	71
Trabajo de casa.....	73
Equipo a utilizar.....	73
Desarrollo.....	73
Cuestionario.....	78
Práctica 7.....	81
Objetivos generales.....	81
Objetivos particulares.....	81
Introducción.....	81
Trabajo de casa.....	83
Equipo a utilizar.....	83
Desarrollo.....	83

Cuestionario.....	87
Práctica 8.....	90
Objetivos generales.....	90
Objetivos particulares.....	90
Introducción.....	90
Trabajo de casa.....	92
Equipo a utilizar.....	93
Desarrollo.....	93
Cuestionario.....	99
Práctica 9.....	102
Objetivos generales.....	102
Objetivos particulares.....	102
Introducción.....	102
Trabajo de casa.....	103
Equipo a utilizar.....	103
Desarrollo.....	104
Cuestionario.....	106
Práctica 10.....	109
Objetivos generales.....	109
Objetivos particulares.....	109
Introducción.....	109
Trabajo de casa.....	110
Equipo a utilizar.....	110
Desarrollo.....	111
Cuestionario.....	120
Práctica 11.....	123
Objetivos generales.....	123
Objetivos particulares.....	123
Introducción.....	123
Trabajo de casa.....	124
Equipo a utilizar.....	125
Desarrollo.....	125
Cuestionario.....	132
Práctica 12.....	135
Objetivos generales.....	135
Objetivos particulares.....	135
Introducción.....	135
Trabajo de casa.....	137
Desarrollo.....	138

Práctica 13.....	146
Objetivos generales.....	146
Objetivos particulares.....	146
Introducción.....	146
Trabajo de casa.....	147
Desarrollo.....	148
Práctica 14.....	155
Objetivos generales.....	155
Objetivos particulares.....	155
Introducción.....	155
Trabajo de casa.....	156
Desarrollo.....	156
MANUAL MATLAB	161
Objetivos generales.....	161
Introducción.....	161
Instrucciones for, while, if.....	162
Relaciones de comparación.....	165
Operaciones básicas.....	165
Graficación con MATLAB.....	170
CONCLUSIÓN	174
BIBLIOGRAFÍA	175



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
JUSTIFICACIÓN

- **INTRODUCCIÓN:**

A lo largo de mi formación como Ingeniero Eléctrico Electrónico en la Facultad de Estudios Superiores Aragón, me di cuenta de las virtudes de la Carrera, en la cual se trabaja la mejora continua. Debido a ello vi la posibilidad de realizar mi proyecto de grado en el área de los laboratorios, basándome en una de las certificaciones en los sistemas de gestión de la calidad ISO 9001: 2008 (actualmente en migración a la norma 9001:2015).

La importancia de los laboratorios en la enseñanza de la ingeniería es primordial. Cuando se aprende exclusivamente de manera teórica, es decir, sólo con problemas referidos en libros de texto y aulas de clases, esto impide muchas veces la total comprensión de las materias impartidas en nuestra Universidad. Por un lado, este tipo de aprendizaje es unilateral, ya que consiste únicamente en la transmisión directa del conocimiento entre el profesor/alumno y además no contempla la ejecución de problemas reales, ni la enseñanza de técnicas específicas que sólo pueden ser demostradas de manera física.

Por otro lado, en el modelo teórico se tiene que llegar a un resultado "ideal", por el contrario al realizarlos de manera física los resultados son sólo aproximaciones. El trabajo práctico se basa en una experimentación directa por parte de los alumnos, que permite el descubrimiento y aprendizaje de errores personales.

Debido a estas razones, las prácticas de laboratorio son una estrategia de aprendizaje donde el estudiante desarrolla y adquiere habilidades prácticas que le permiten comprobar y en muchos casos entender los conceptos teóricos y técnicas de ingeniería, pero sobre todo establecer relaciones con otros conocimientos previos y reforzar aquellos en los que tiene deficiencias.

El uso de laboratorios requiere de tiempo adicional al de una clase convencional, por consiguiente el tiempo invertido en el mismo debe de ser íntegro. Para lograr este objetivo es necesario contar con prácticas concisas, documentadas y comprobadas.

Con estas ideas en mente decidí involucrarme en la materia de Comunicaciones Digitales y aprovechando mi visión de estudiante recién egresado, contribuir a la innovación, mejora y actualización del Manual de prácticas.

- **DESARROLLO:**

Como primer paso realicé experimentalmente las prácticas que actualmente se utilizan, con la finalidad de analizarlas, identificar los errores que estas contienen y mejorar la redacción del Manual, tomando en cuenta los comentarios de mi asesor.

Aportación 1

La primera falla que encontré fue que la primer práctica "Modulación Analógica" es muy larga y el tiempo de clase es insuficiente para llevarla a cabo. En esta están incluidos los análisis de Modulación por Amplitud (AM) y Modulación por Frecuencia (FM). El hecho de que ambas modulaciones estén juntas dificulta el entendimiento de cada una de ellas.

Resolución:

Por este motivo tomé la decisión de separarlas en dos prácticas diferentes. Esto es beneficioso no solo para que los alumnos lo comprendan mejor sino también para aumentar la información de las mismas.

Aportación 2

Gracias a que dividí la primera práctica se pudo enriquecer el contenido de los temas. Las aportaciones que se realizaron fueron: Incluir los diferentes tipos de Modulación en amplitud (AM con doble banda lateral y portadora completa, AM con doble banda lateral y portadora suprimida y AM con banda lateral única) y los diferentes tipos de Modulación en frecuencia (FM de banda angosta y FM de banda ancha).

Al agregar estos temas se necesitaba utilizar diferentes tipos de filtros, para poder llevarla a cabo. Por este motivo decidí consultarlo con mi asesor el cual me propuso dos posibilidades: la primera opción consistía en que los alumnos trajeran los filtros previamente armados y la segunda era utilizar un equipo con el que se cuenta en el laboratorio, llamado Filtro Universal. Después de analizarlo decidí optar por la segunda opción, a pesar de que previamente no se había utilizado el equipo y por esta razón no se tenía la certeza de que funcionara. Utilizar el Filtro Universal me pareció más factible ya que es importante que los alumnos tengamos contacto con todo tipo de equipos.


Después de esta resolución me di a la tarea de experimentar con el Filtro Universal, hacer pruebas e investigar el funcionamiento del equipo. Finalmente comprobé que funcionaba correctamente y al comprender como se utiliza pude agregarlo a la práctica "Modulación analógica: Modulación en amplitud (AM)".

Aportación 3


La Introducción de los manuales es un punto muy importante ya que ahí se plantean los temas que se llevarán a cabo en cada una de las prácticas. Al leer el manual original me percaté de algunas deficiencias que se tenían en este punto; por lo tanto, realicé correcciones para que estas fueran concisas y que realmente tuviera coherencia con el desarrollo.

Ejemplo:

En este caso el texto de la figura A.1 sólo hace mención a los tipos de modulación analógica pero no se explica cada uno.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN



I N G E N I E R Í A

INTRODUCCIÓN:

La modulación es el proceso que consiste en hacer variar alguno o algunos de los parámetros de una señal de alta frecuencia (amplitud, frecuencia o fase), llamada señal de radiofrecuencia o portadora, en función de otra señal de baja frecuencia que contiene información, llamada señal mensaje o moduladora.

Lo anterior con la finalidad de acoplar la señal de información a las características del medio o canal de transmisión, y de esta manera la señal de información pueda llegar a su destino con el mínimo de errores.

Cuando el parámetro de la onda de radiofrecuencia que se varía es la amplitud, se tiene la modulación lineal o en amplitud; y a su vez esta puede ser de doble banda lateral con portadora (AM DBL-P), de doble banda lateral con portadora suprimida (AM DBL-PS), de banda lateral única (BLU) o de banda lateral residual (BLR).

Si ahora el parámetro que se varía de la onda portadora es la frecuencia, se tiene la modulación en frecuencia; siendo esta de banda angosta (NBFM) o de banda ancha (WBFM).

Por último, al variar la fase de la señal de alta frecuencia; se tiene una onda modulada en fase (PM)

Figura A.1 Práctica original 1 "Modulación Analógica".

Resolución:

En la introducción agregué información sobre los tipos de modulación por amplitud (AM con doble banda lateral y portadora completa, AM con doble banda lateral y portadora completa y AM con doble banda lateral y portadora suprimida) e incluí unas imágenes para complementar la información dada (Figura A.2).

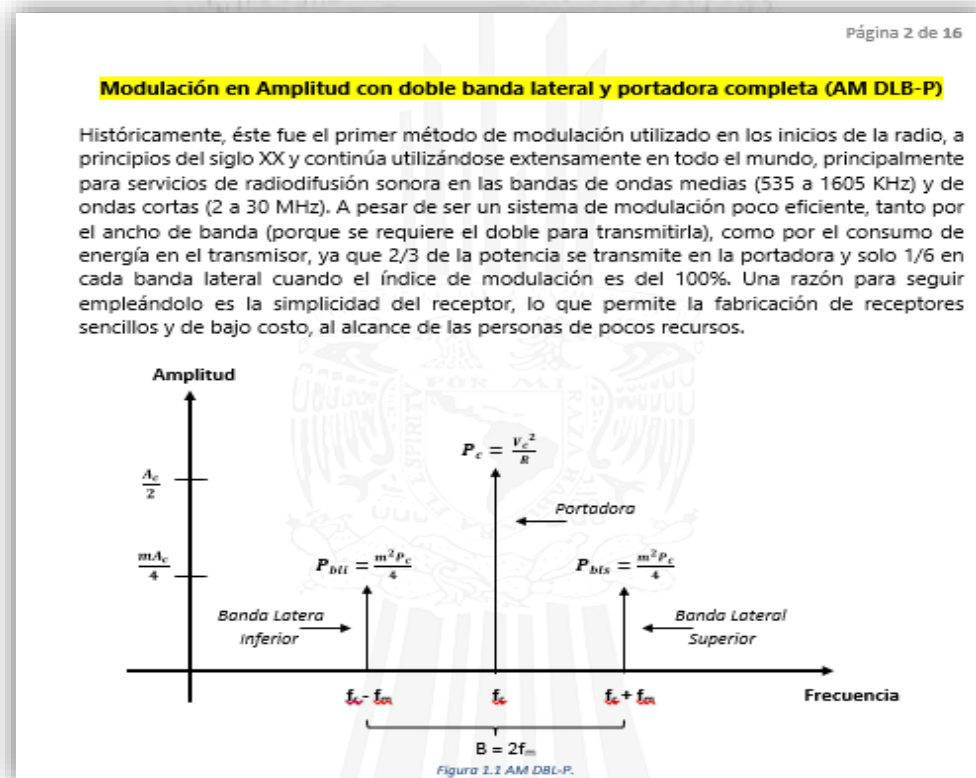


Figura A.2 Práctica modificada 1 “Modulación Analógica: Modulación en amplitud (AM)”.

Aportación 4:

Al momento de desarrollar una práctica hay veces en que las explicaciones de conexión y los diagramas de las mismas no son muy claras, por este motivo me di a la tarea de identificar todas aquellas cuya información fuera deficiente.

Ejemplo 1:

En este ejemplo, la práctica no tenía una explicación de cómo conectar los equipos, lo que provocaba que el diagrama fuera confuso (Figura A.3).

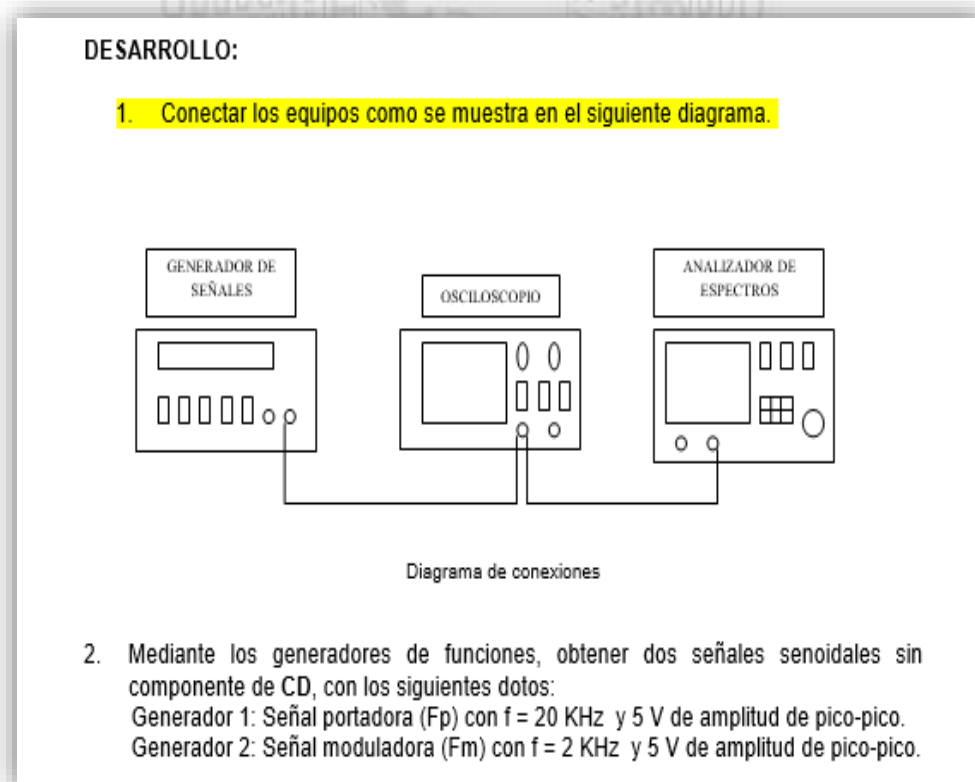


Figura A.3 Práctica original 1 "Modulación Analógica".

Resolución:

Con el fin de que el diagrama fuera más explícito y fácil de entender, utilicé imágenes del equipo real que se utiliza en el laboratorio y explique lo más claro posible las pasos para hacer las conexiones necesarias (Figura A.4).

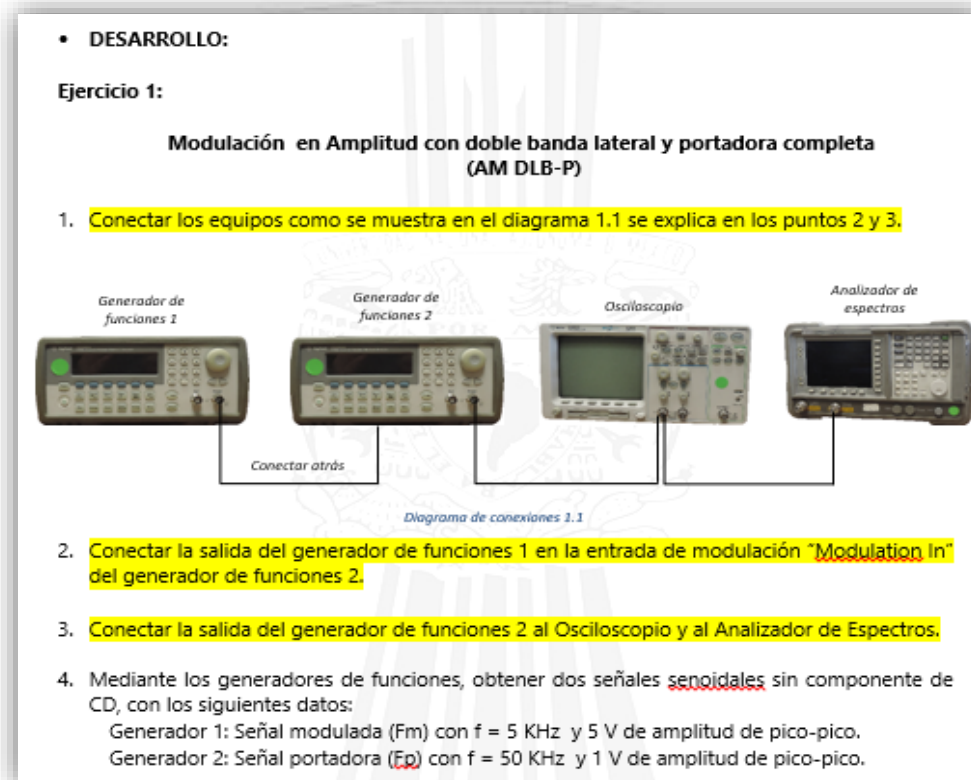


Figura A.4 Práctica modificada 1 "Modulación analógica: Modulación en amplitud (AM)".

Ejemplo 2:

A partir de la segunda práctica en adelante, sólo se mencionaban las conexiones que se tenían que realizar sin dar ningún apoyo visual. Esto complica el aprendizaje porque cuando un alumno realiza las prácticas, es confuso, ya que al ser la primera vez que interactúa con estos equipos pierde tiempo mientras se familiariza con los mismos. Siendo que este tiempo podría ser aprovechado en el desarrollo de la práctica (Figura A.5).

DESARROLLO:**EJERCICIO 1****Ruido de cuantificación.**

El procedimiento para obtener el ruido de cuantificación es el siguiente:

1. En la sección TIMING & GENERATORS del módulo PCM disponer una frecuencia de muestreo (Sampling) de 8 KHz.
2. Suministrar la alimentación al módulo.
3. Del generador de onda senoidal de la misma sección del módulo, extraer una señal de 5 Vpp de amplitud y aplicarla por un lado al mestreador/retenedor localizado en la sección LINEAR PCM y por otro al ajuste de fase en la sección QUANTIZATION NOISE. Conectar la salida de cada una de estas etapas al restador localizado en la sección QUANTIZATION NOISE.
4. Conectar el osciloscopio a la salida del restador.
5. Registrar todo lo observado en un cuaderno y dar una explicación al respecto.

Figura A.5 Práctica original 2 "Codificación lineal PCM".

Resolución:

A cada uno de los ejercicios de las prácticas les agregué una imagen del equipo real correspondiente a lo pedido en el desarrollo (Figura A.6).

- **DESARROLLO:**

Ejercicio 1:

Ruido de cuantificación.

El procedimiento para obtener el ruido de cuantificación es el siguiente:

1. En la sección TIMING & GENERATORS del módulo PCM (T20B) disponer una frecuencia de muestreo (Sampling) de 8 KHz.
2. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
3. Con ayuda del osciloscopio tomar del Generador de Onda Senoidal (Sync. Sine Generator) (TP38) una señal de 5 Vpp de amplitud y conectarla por un lado a la entrada del muestreador/retenedor (TP4) localizado en la sección LINEAR PCM y por otro a la entrada del ajuste de fase (Phase Adj) (TP13) en la sección QUANTIZATION NOISE. Conectar la salida del ajuste de fase (Phase Adj) (TP14) a TP15 y conectar la señal PAM (TP5) a TP16 (Figura 3.3).

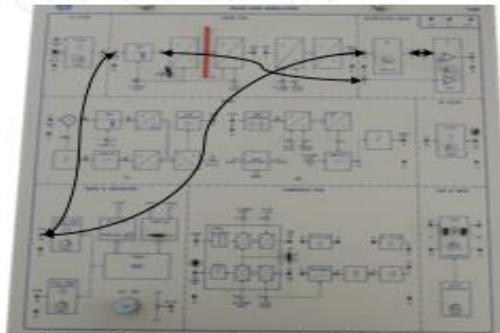


Figura 3.3 Diagrama de conexiones en el módulo T20-B.

Figura A.6 Práctica modificada 3 "Codificación lineal PCM".

Aportación 5:

Para que el contenido de las prácticas sea interpretado de un solo modo y no se preste a confusiones, es muy importante una correcta redacción. Debido a esto, me di el tiempo para revisar y corregir este tipo de errores, en cada una de las prácticas.

Ejemplo:

Para que las instrucciones fueran más claras, cambie la redacción y así fueran más específicas.

EJERCICIO 1
Codificador y ley de codificación.

- 1.- En la sección CODEC del módulo PCM seleccionar ley μ .
- 2.- Suministrar la alimentación al módulo.
- 3.- Del generador de onda senoidal en la sección TIMING & GENERATORS, obtener una señal de 2 Vpp de amplitud y aplicarla a la entrada del CODEC.
- 4.- Monitorear en el osciloscopio la entrada del CODEC y el punto TX FRAME SYNC (TP 41), y ajustar la base de tiempo para visualizar aproximadamente 1.5 periodos de la señal senoidal.
- 5.- Tomar nota en el cuaderno de lo observado y explicar al respecto.
- 6.- Desplazar el canal del osciloscopio de TX FRAME SYNC a la salida del CODEC y analizar la señal PCM de salida.

Figura.7 Práctica original 3 "Codificador-Decodificador (CODEC)".

*Resolución:***Ejercicio 1:****Codificador y ley de codificación.**

1. En la sección COMPANDED PCM del módulo T20B seleccionar ley μ .
2. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
3. Por medio del osciloscopio, del generador de onda senoidal (Sync. Sine Generator) (TP38), en la sección TIMING & GENERATORS, obtener una señal de 2 Vpp de amplitud y aplicarla a la entrada del CODEC (TP40).
4. Monitorear en el canal 1 del osciloscopio la entrada del CODEC (TP40) y en el canal 2 el punto Tx Frame Sync (TP41). Ajustar la base de tiempo en el osciloscopio para visualizar aproximadamente 1.5 periodos de la señal senoidal (Figura 4.1).

Figura A.8 Práctica modificada 4 "Codificador-Decodificador (CODEC)".

Aportación 6:

Al realizar las prácticas hay veces que no sabemos cuál es el resultado al que tenemos que llegar. Con esto en mente mi aportación fue agregar imágenes de los resultados finales en algunos de los ejercicios de las prácticas.

4. Monitorear en el canal 1 del osciloscopio la entrada del CODEC (TP40) y en el canal 2 el punto Tx Frame Sync (TP41). Ajustar la base de tiempo en el osciloscopio para visualizar aproximadamente 1.5 periodos de la señal senoidal (Figura 4.1).

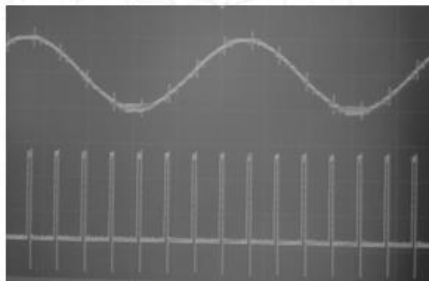


Figura 4.1 Comparación entre TP40 y TP41.

5. Tomar nota de lo observado en la hoja de observaciones y resultados y explicar al respecto.
6. Desplazar el canal del osciloscopio de la entrada del CODEC (TP40) a la salida del CODEC (TP43) y analizar la señal PCM de salida (Figura 4.2).

Figura A.8 Práctica original 3 "Codificador-Decodificador (CODEC)".

Aportación 7:

En el momento en el que estaba realizando las prácticas, noté algunas incongruencias entre los resultados que estaba obteniendo y los que estaban especificados en las prácticas antiguas. La razón era que el manual no correspondía a los equipos actuales con los que cuenta el laboratorio. Al no contar con los manuales de los equipos actuales, me base en el de los anteriores para realizar los ajustes necesarios.

Aportación 8:

Una de las acciones que lleve a cabo fue revisar todos los equipos que se encuentran en el laboratorio, gracias a esto me percate que existía un equipo que podría agregar al manual y se encontraba en desuso. Así fue como se creó la práctica 11 "Modulación digital: ASK, FSK y PSK".

Aportación 9:

Cuando inicie este proyecto mi objetivo fue que se abarcara el mayor contenido del temario, de la materia teórica, en el manual. Debido a esto y a la falta de equipo en el laboratorio, propuse la implementación de prácticas virtuales realizadas con la herramienta MATLAB. Así fue como se crearon las siguientes prácticas:

- Practica 12 "Análisis de Fourier con MATLAB"
- Practica 13 "Modulación digital: ASK, FSK y PSK con MATLAB"
- Practica 14 "Teorema de muestreo de Nyquist con MATLAB"

Aportación 10:

Con el fin de complementar las practicas virtuales y con la intención de facilitar la ejecución de las mismas, realicé un anexo que contiene las funciones básicas de MATLAB y una descripción general de su uso.

Aportación 11:

Para cuando concluí todas las correcciones antes mencionadas, el paso final fue darles el formato con el que se están unificando las prácticas en el laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES

PRÁCTICAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 1
MODULACIÓN ANALÓGICA: MODULACIÓN EN AMPLITUD
(AM)

- **OBJETIVO GENERAL:**

Comprobar los conceptos teóricos de la modulación en amplitud (AM).

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Comprender las diferencias, ventajas y desventajas de los diferentes tipos de modulación en amplitud (AM).
- b) Analizar los principales parámetros de una señal modulada en amplitud.
- c) Analizar el oscilograma y el espectro en frecuencia de una señal modulada en amplitud.

- **INTRODUCCIÓN:**

Modulación

La modulación es el proceso que consiste en hacer variar alguno o algunos de los parámetros de una señal de alta frecuencia (amplitud, frecuencia o fase), llamada señal de radiofrecuencia o portadora, en función de otra señal de baja frecuencia que contiene información, llamada señal mensaje o moduladora.

Lo anterior con la finalidad de acoplar la señal de información a las características del medio o canal de transmisión, y de esta manera la señal de información pueda llegar a su destino con el mínimo de errores.

Cuando el parámetro de la onda de radiofrecuencia que se varía es la amplitud, se tiene la modulación lineal o en amplitud; y a su vez esta puede ser de doble banda lateral con portadora completa (AM DBL-P), de doble banda lateral con portadora suprimida (AM DBL-PS), o de banda lateral única (AM BLU).

Modulación en Amplitud (AM)

Modulación en amplitud (AM) es el proceso de cambiar la amplitud de una portadora de frecuencia relativamente alta de acuerdo con la amplitud de la señal modulante (información). Con la modulación en amplitud, la información se imprime sobre la portadora en la forma de cambios en amplitud (Figura 1.1).

La modulación de amplitud es una forma de modulación relativamente barata y de baja calidad de modulación que se utiliza en la radiodifusión de señales de audio y vídeo. La banda de radiodifusión comercial AM abarca desde 535 a 1605 kHz. La radiodifusión comercial de tv se divide en tres bandas (dos de VHF y una de UHF), donde el video se transmite por AM y el audio por FM.

Los diversos esquemas de modulación de amplitud se designan también como de envolvente variable y comprenden los siguientes:

- ❖ AM con doble banda lateral y portadora completa (AM DBL-P).
- ❖ AM con dos bandas laterales y portadora suprimida (AM DBL-PS).
- ❖ Banda lateral única (AM BLU).

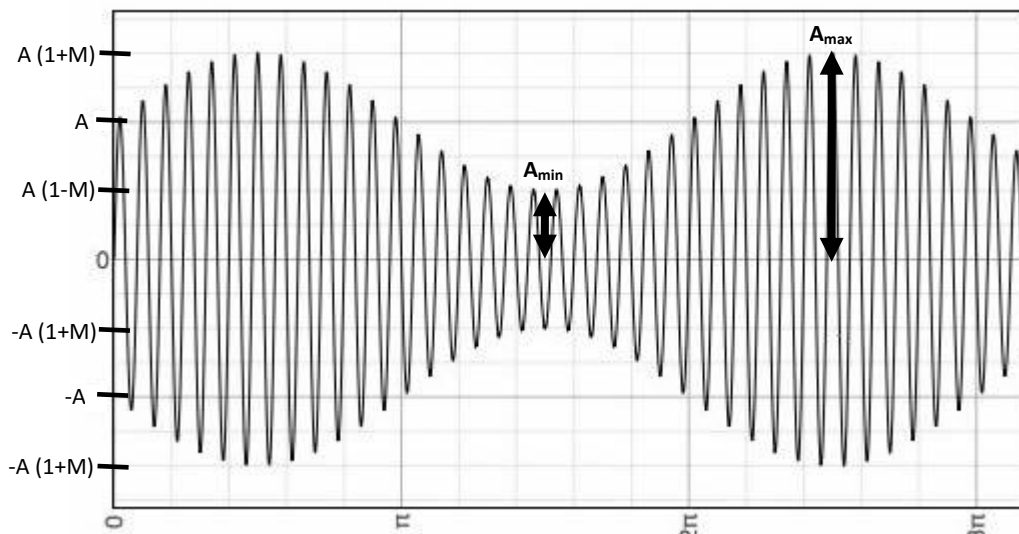


Figura 1.1 Señal AM.

$$\text{Índice de modulación: } m = \frac{A_{max}}{A}$$

$$\text{Porcentaje de modulación: } \%m = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} (100)$$

Modulación en Amplitud con doble banda lateral y portadora completa (AM DLB-P)

Históricamente, éste fue el primer método de modulación utilizado en los inicios de la radio, a principios del siglo XX y continúa utilizándose extensamente en todo el mundo, principalmente para servicios de radiodifusión sonora en las bandas de ondas medias (535 a 1605 KHz) y de ondas cortas (2 a 30 MHz). A pesar de ser un sistema de modulación poco eficiente, tanto por el ancho de banda (porque se requiere el doble para transmitirla), como por el consumo de energía en el transmisor, ya que 2/3 de la potencia se transmite en la portadora y solo 1/6 en cada banda lateral cuando el índice de modulación es del 100%. Una razón para seguir empleándolo es la simplicidad del receptor, lo que permite la fabricación de receptores sencillos y de bajo costo, al alcance de las personas de pocos recursos.

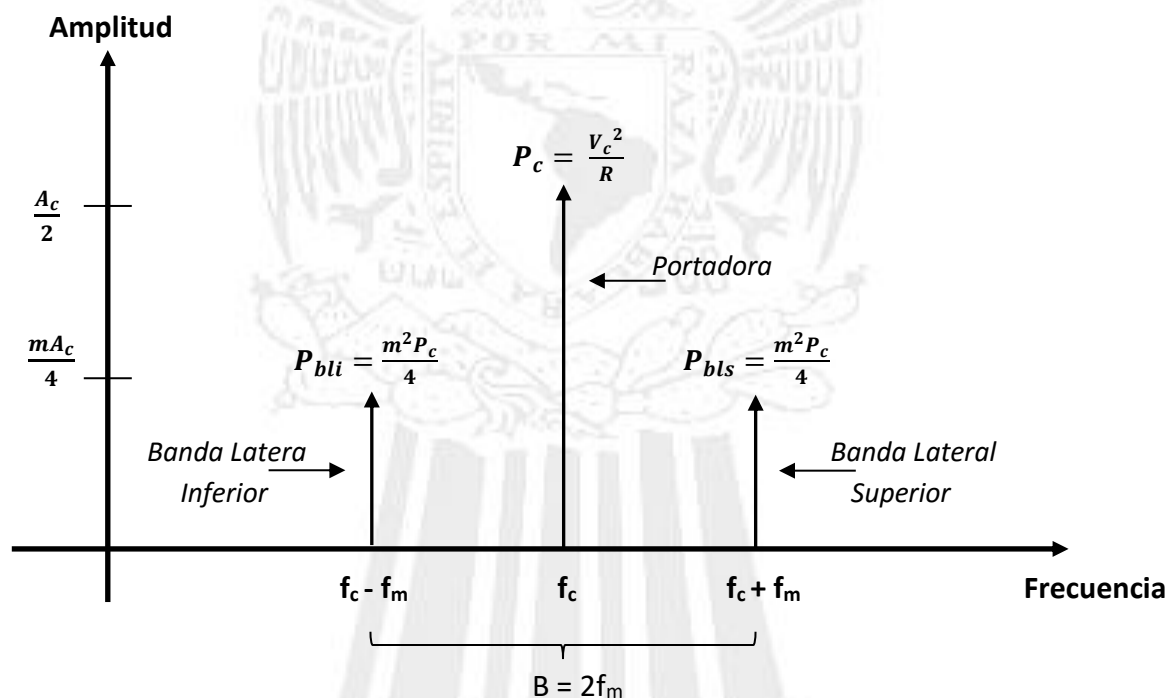


Figura 1.2 AM DLB-P.

Modulación en Amplitud con doble banda lateral y portadora suprimida (AM DLB-PS)

La señal modulada ocupa el doble del ancho de banda que la señal en banda base. Esto es, en cierta forma, un desperdicio del ancho de banda que puede eliminarse o bien transmitiendo solamente una de las bandas laterales, o bien transmitiendo dos señales diferentes, con el mismo ancho de banda base, empleando dos portadoras de la misma frecuencia, pero en cuadratura de fase, es decir desfasadas entre sí 90° . Este tipo de modulación mejora el desperdicio de potencia, ya que gracias a que no cuenta con una portadora, la potencia en cada banda lateral es de $\frac{1}{2}$.

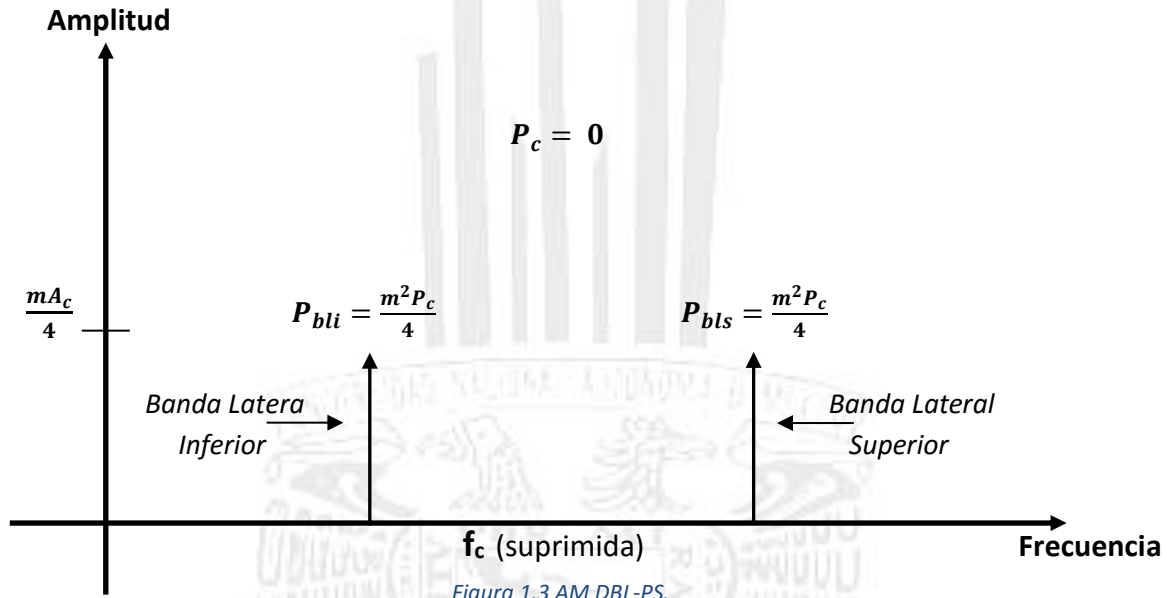


Figura 1.3 AM DBL-PS.

Modulación en Amplitud con banda lateral única (AM BLU)

Este método de modulación es utilizado extensamente en los sistemas de comunicaciones y es el método de modulación más eficiente de modulación de amplitud, tanto desde el punto de vista espectral como de potencia, ya que corrige la pérdida de potencia y el ancho de banda es igual a la frecuencia de la moduladora. En principio, la potencia máxima necesaria para transmitir en banda lateral es sólo del 16% de la requerida para transmitir con modulación de AM completa.

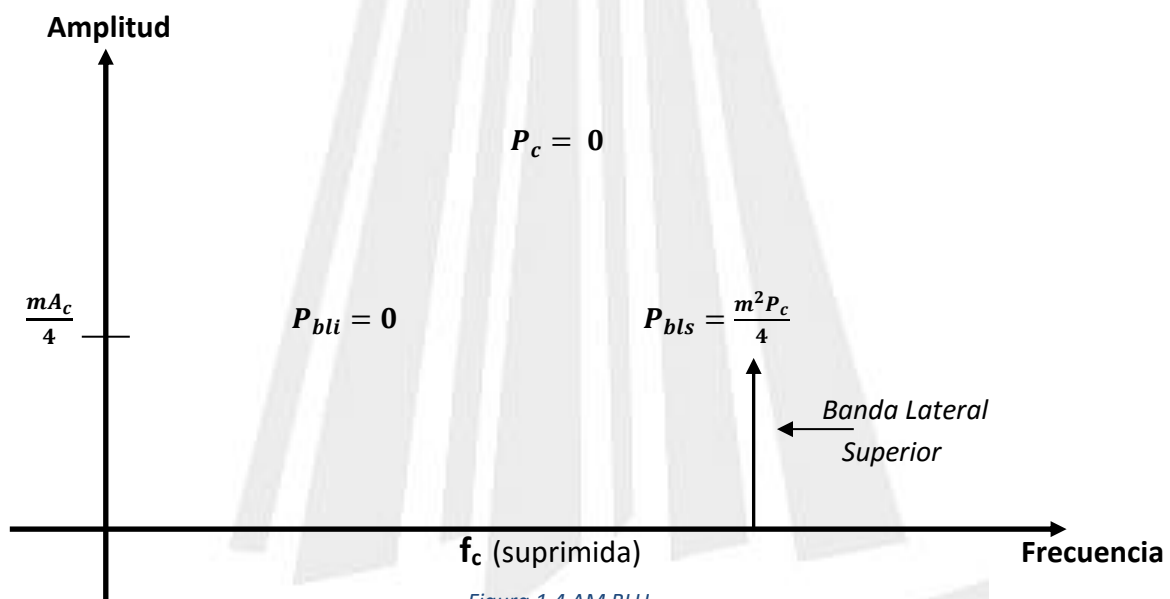


Figura 1.4 AM BLU.

• **TRABAJO DE CASA:**

- a) Investigar las principales características de los sistemas de modulación en amplitud (A.M.).
- b) Investigar los campos de aplicación y las restricciones de los sistemas de A.M.
- c) Definir los conceptos de índice de modulación y porcentaje de modulación.
- d) Considerando una señal portadora de 25 KHz y una señal moduladora de 2.5 KHz. Decir que sucede en frecuencia si se varían una a la vez, la frecuencia de la portadora, la frecuencia de la moduladora y el índice de modulación para A.M.
- e) En un sistema de comunicaciones de AM ¿Qué significan los términos señal moduladora, portadora, onda modulada y envolvente de AM?
- f) Investigue las ventajas y desventajas de la modulación en amplitud.

• **EQUIPO A UTILIZAR:**

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| ✓ 2 generadores de funciones. | ✓ 1 Filtro universal. |
| ✓ 1 Analizador de espectros. | ✓ Cables. |
| ✓ 1 Osciloscopio. | ✓ 1 conector tipo T. |

• **DESARROLLO:**

Ejercicio 1:

Modulación en Amplitud con doble banda lateral y portadora completa (AM DLB-P)

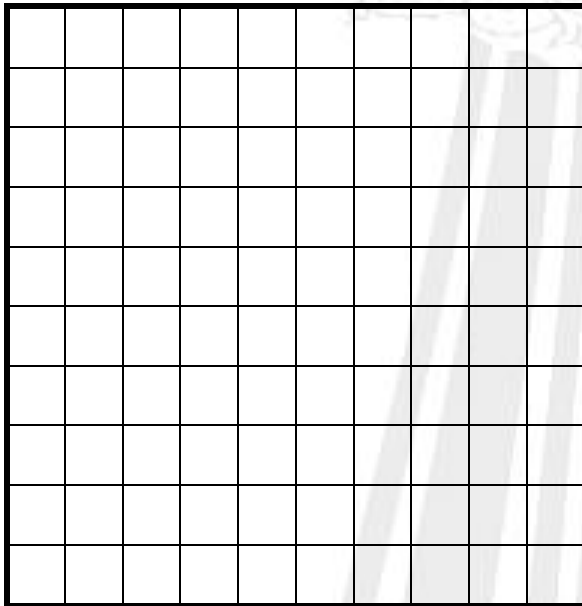
1. Conectar los equipos como se muestra en el diagrama 1.1 se explica en los puntos 2 y 3.



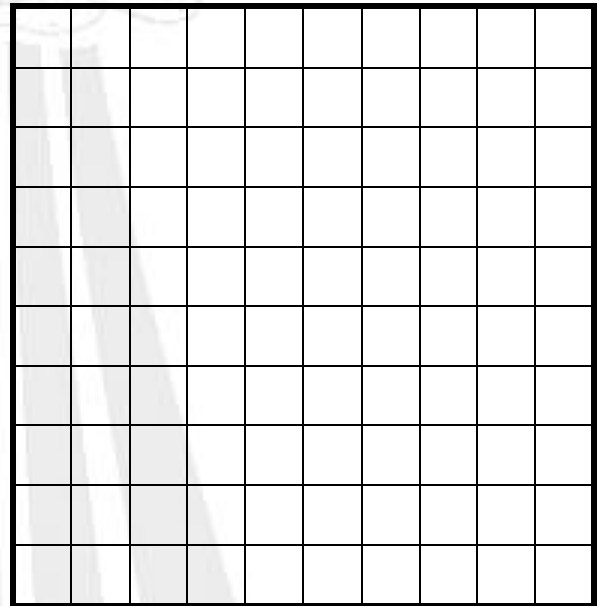
Diagrama de conexiones 1.1
 Todos los derechos reservados
 Facultad de Estudios Superiores Aragón

2. Conectar la salida del generador de funciones 1 en la entrada de modulación "Modulation In" del generador de funciones 2.
3. Conectar la salida del generador de funciones 2 al Osciloscopio y al Analizador de Espectros.
4. Mediante los generadores de funciones, obtener dos señales senoidales sin componente de CD, con los siguientes datos:
 Generador 1: Señal modulada (F_m) con $f = 5 \text{ KHz}$ y 5 V de amplitud de pico-pico.
 Generador 2: Señal portadora (F_p) con $f = 50 \text{ KHz}$ y 1 V de amplitud de pico-pico.
5. En la señal portadora seleccione la opción "Mod", en el botón "Type" escoja AM y en el apartado "Source" ponerlo en "Ext".
6. Poner al 100% el porcentaje de modulación (AM Depth). Observar las señales del osciloscopio y el analizador de espectros y dibujarlas en las tablas siguientes.

Nota: Para obtener la imagen en el analizador de espectros se tiene que seleccionar "System", elegir la opción "Alignments", escoger el apartado "Align now" y finalmente "All". Para tener una mejor vista de la señal, se recomienda poner el inicio de la frecuencia en 0 Hz y el final en 100 KHz.

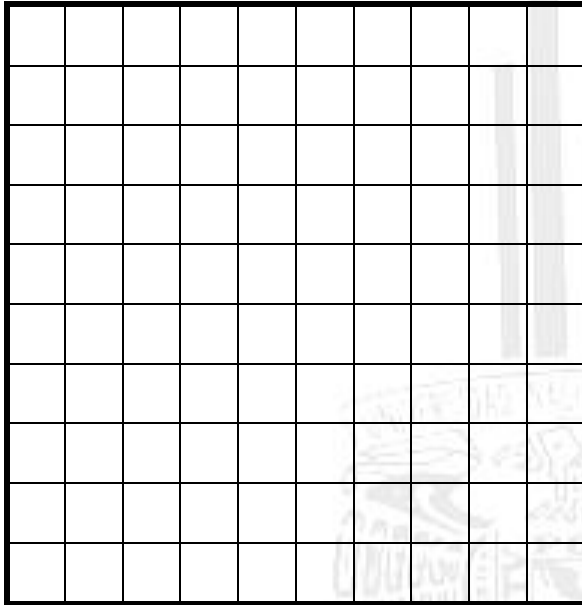


Osciloscopio

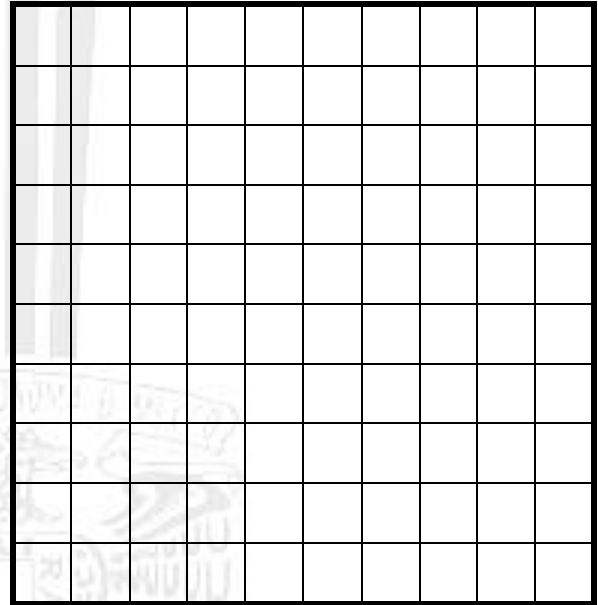


Analizador de espectros

7. Poner al 70% el porcentaje de modulación (AM Depth). Observar las señales del osciloscopio y el analizador de espectros y dibujarlas en las tablas siguientes.

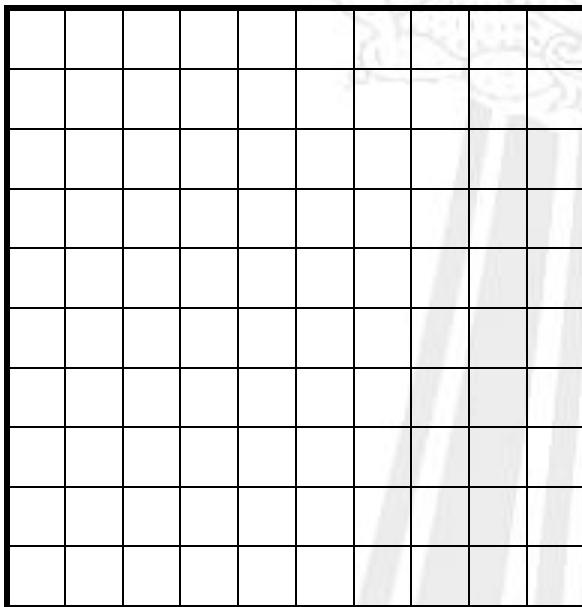


Osciloscopio

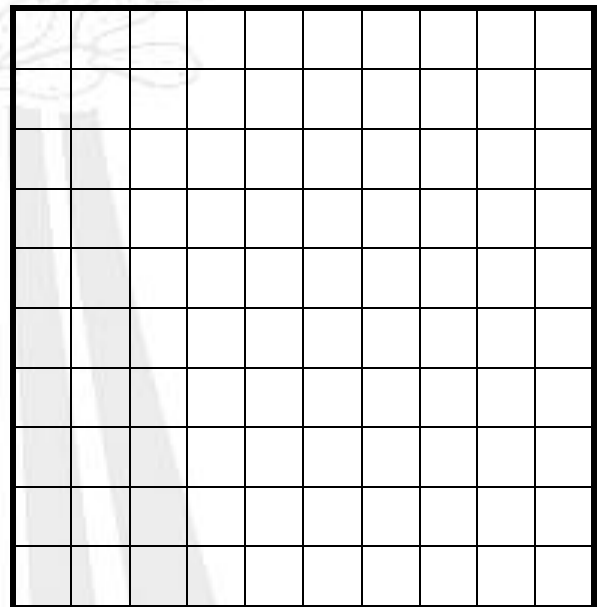


Analizador de espectros

8. Poner al 0% el porcentaje de modulación (AM Depth). Observar las señales del osciloscopio y el analizador de espectros y dibujarlas en las tablas siguientes.

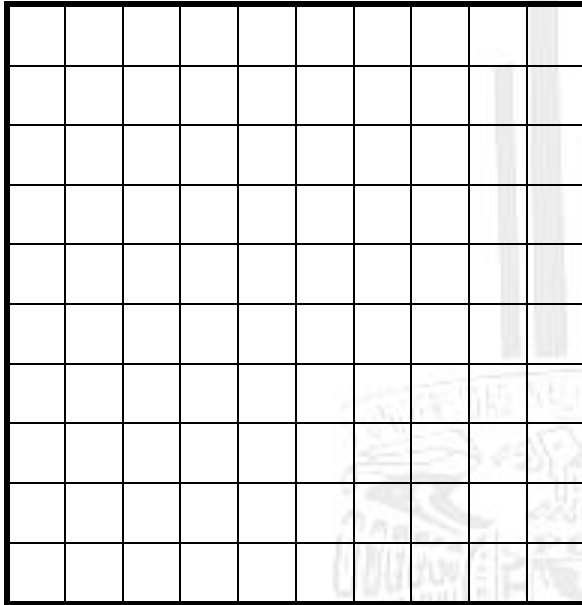


Osciloscopio

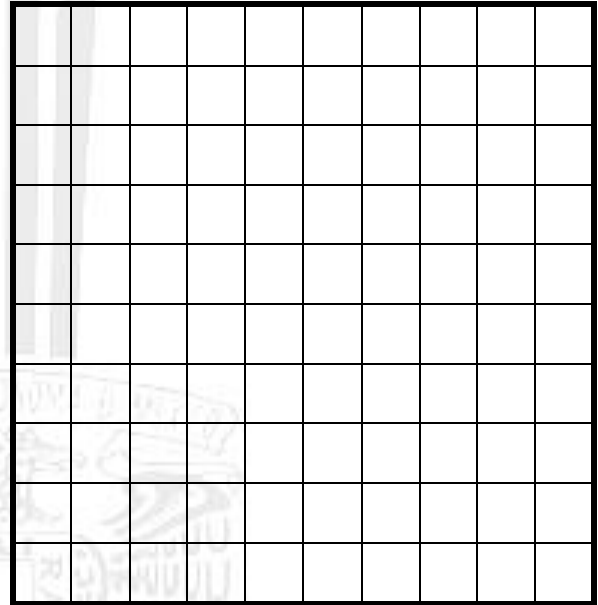


Analizador de espectros

9. Poner al 120% el porcentaje de modulación (AM Depth). Observar las señales del osciloscopio y el analizador de espectros y dibujarlas en las tablas siguientes.



Osciloscopio



Analizador de espectros

10. Variar los siguientes valores uno a la vez (regresando al valor original, después de cambiarlos y llenar las tabla 1.1). Anotar lo observado.

	25 KHz	50 KHz (original)	75KHz
Frecuencia (Portadora)			

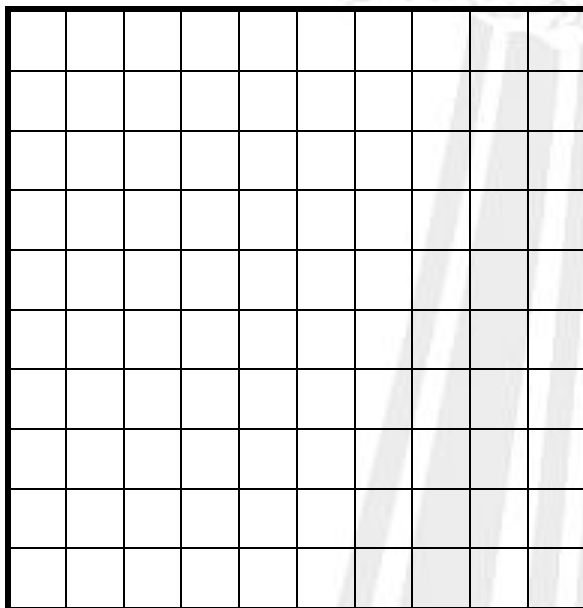
	2 KHz	5 KHz (original)	10 KHz
Frecuencia (Moduladora)			

	500 μ V	1 V (original)	5V
Amplitud (Portadora)			

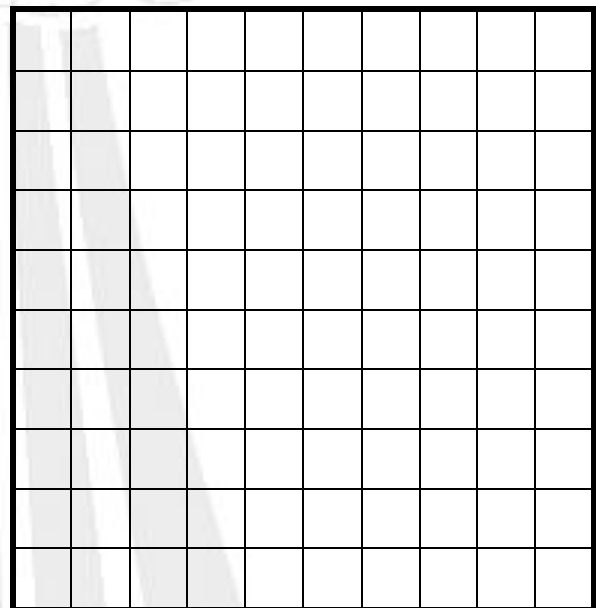
	2 V	5 V (original)	10 V
Amplitud (Moduladora)			

Tabla 1.1

11. Generar una señal cuadrada en el generador de funciones 1 y poner al 100% el índice de modulación. Observar las señales del osciloscopio y el analizador de espectros y dibujarlas en las tablas siguientes.

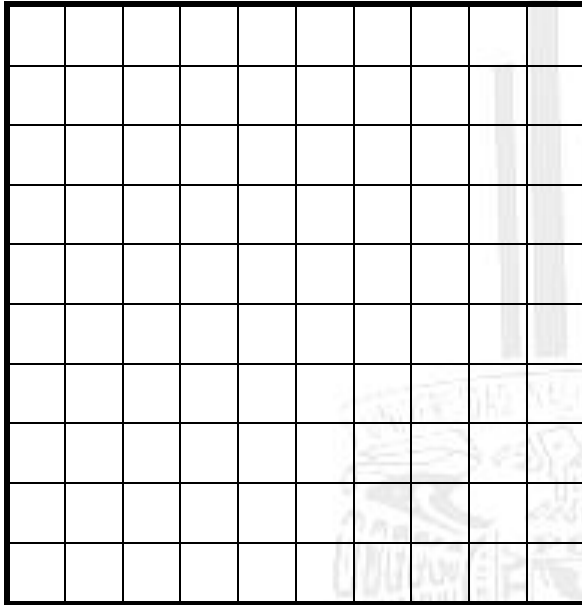


Osciloscopio

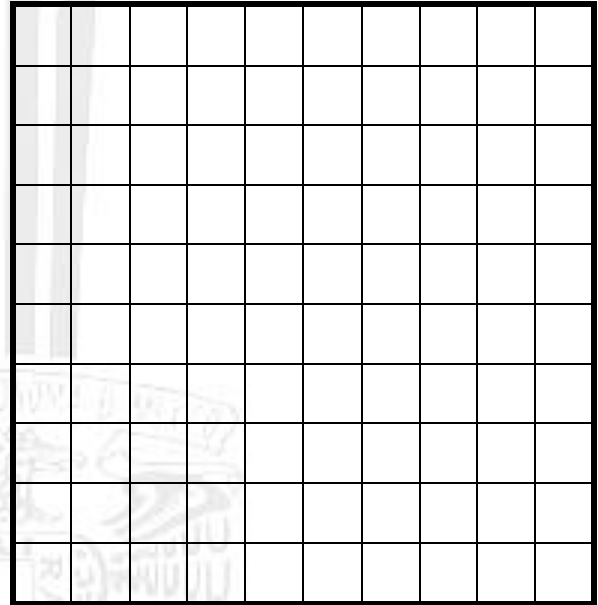


Analizador de espectros

12. Poner al 50% el índice de modulación. Observar las señales del osciloscopio y el analizador de espectros y dibujarlas en las tablas siguientes.

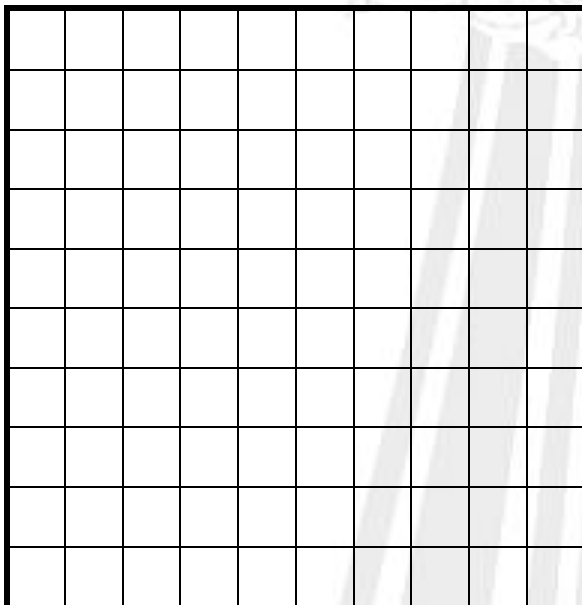


Osciloscopio

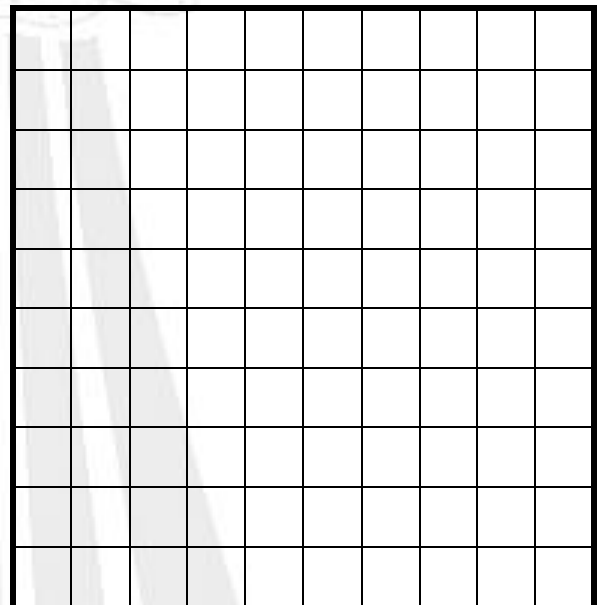


Analizador de espectros

13. Generar una señal triangular en el generador de funciones 1 y poner al 100% el índice de modulación. Observar las señales del osciloscopio y el analizador de espectros y dibujarlas en las tablas siguientes.

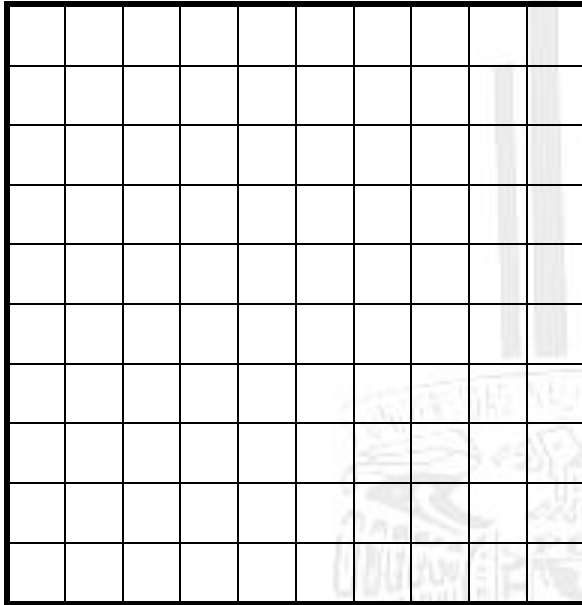


Osciloscopio

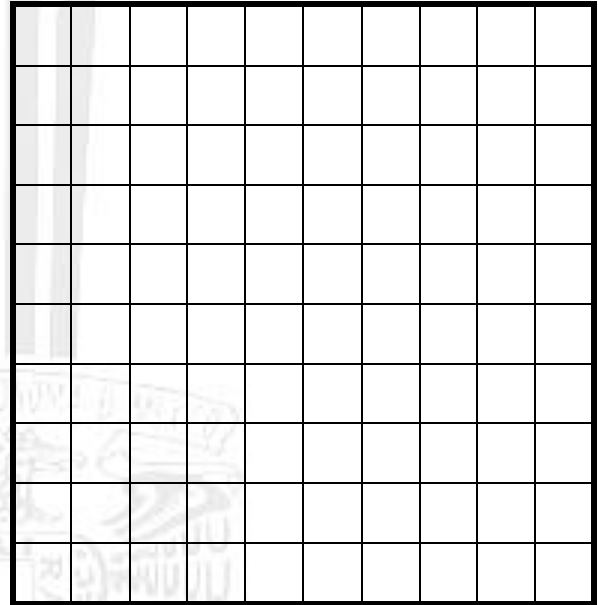


Analizador de espectros

14. Poner al 50% el índice de modulación. Observar las señales del osciloscopio y el analizador de espectros y dibujarlas en las tablas siguientes.

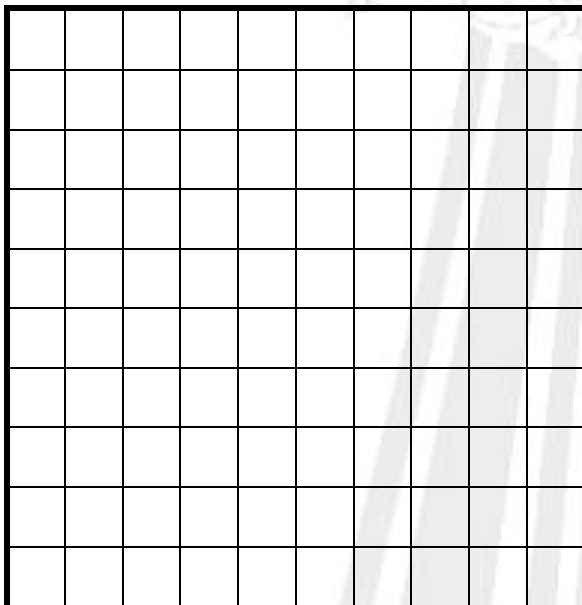


Osciloscopio

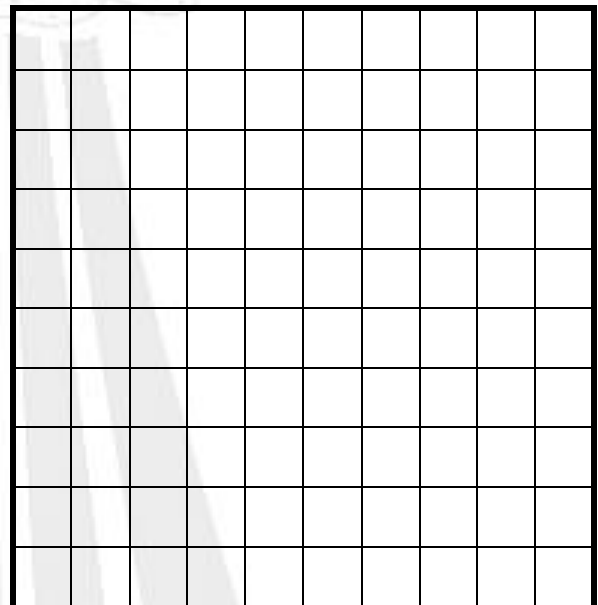


Analizador de espectros

15. Generar una señal cuadrada en el generador de funciones 1 y cuadrada en el generador de funciones 2, poner al 100% el índice de modulación. Observar las señales del osciloscopio y el analizador de espectros y dibujarlas en las tablas siguientes.

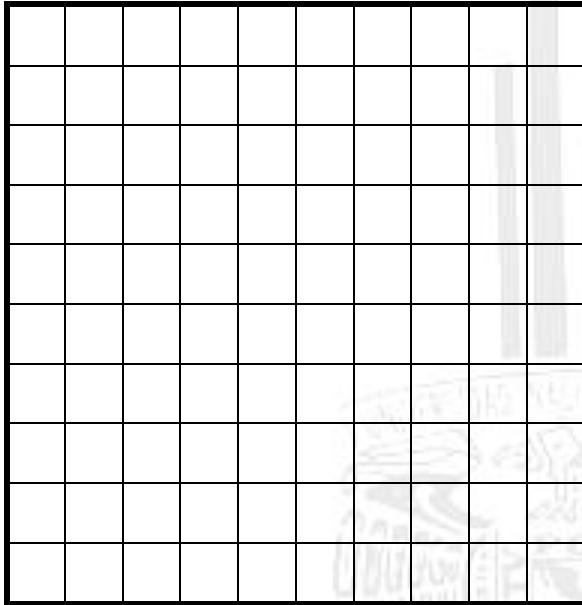


Osciloscopio

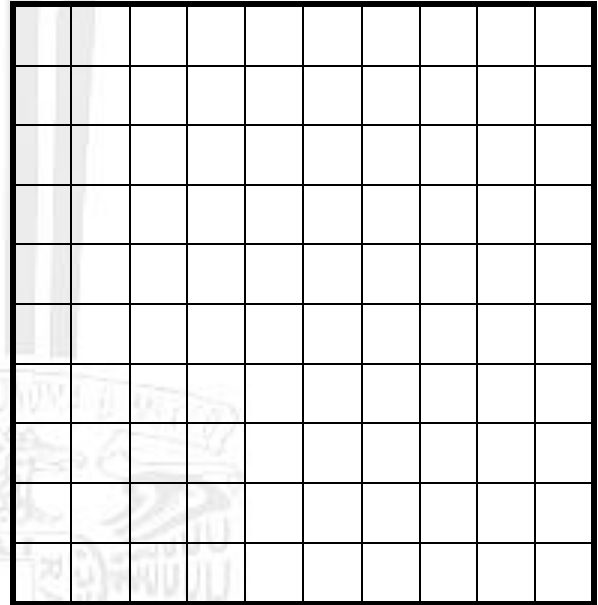


Analizador de espectros

16. Poner al 50% el índice de modulación. Observar las señales del osciloscopio y el analizador de espectros y dibujarlas en las tablas siguientes.



Osciloscopio



Analizador de espectros

Ejercicio 2:

Modulación por Amplitud con doble banda lateral y portadora suprimida (AM DBL-PS)

1. Conectar los equipos como se muestra en el diagrama de conexiones 1.2 y se explica en los puntos 2 y 3.

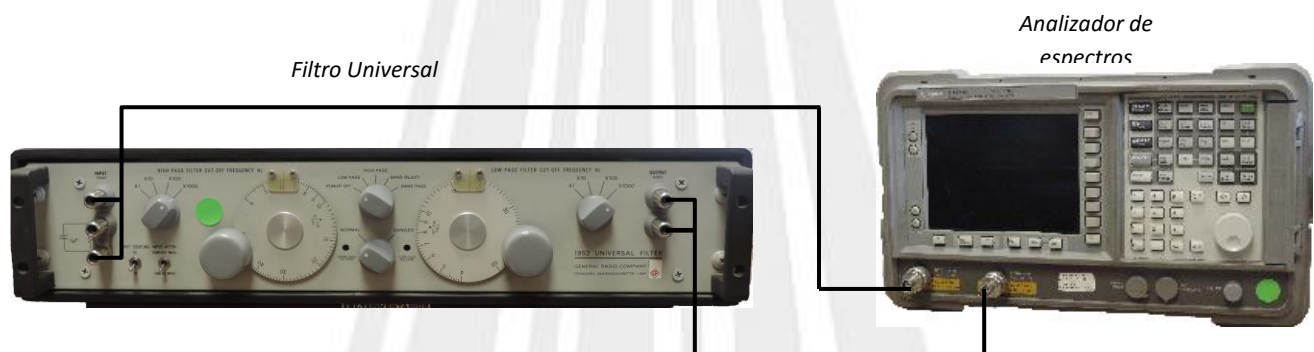


Diagrama de conexiones 1.2

2. Conectar con un BNC / caimán de INPUT del analizador de espectros al OUTPUT del filtro universal.

3. Conectar con un BNC / caimán de RF OUT del analizador de espectros al INPUT del filtro universal.
4. Activar la salida RF OUT del analizador de espectros con el botón SOURCE y en la opción AMPLITUDE cambiar de Off a On.
5. En el analizador de espectros ajustar la frecuencia inicial a 0 Hz y la frecuencia final a 100 KHz. Ajustar la amplitud Ref Level a 15 mV.
6. Poner el switch INPUT ATTEN a 0 db (3V MAX) del filtro universal. Seleccionar el filtro supresor de banda. Girar la perilla del filtro paso altas a 5.4Khz aproximadamente y la perilla del filtro paso bajas a 58 KHz aproximadamente.

Nota: Si en el analizador no se ve que corte a 50 KHz, variar las frecuencias de los filtros hasta que llegue a un valor aproximado.

7. Conectar como se muestra en el diagrama de conexiones 1.3 y se explica en los puntos 8, 9 y 10.



Diagrama de conexiones 1.3

8. Conectar la salida del generador de funciones 1 en la entrada de modulación "Modulation In" del generador de funciones 2.
9. Conectar la salida del generador de funciones 2 a la entrada del filtro universal.
10. Conectar la salida del filtro universal a la entrada del analizador de espectros.

11. Mediante los generadores de funciones, obtener dos señales senoidales sin componente de CD, con los siguientes datos:
Generador 1: Señal modulada (F_m) con $f = 10$ KHz y 5 V de amplitud de pico-pico.
Generador 2: Señal portadora (F_p) con $f = 50$ KHz y 1 V de amplitud de pico-pico.
Un índice de modulación del 100%.
12. Observar el analizador de espectros y anotar sus observaciones en la hoja de observaciones y resultados.

Ejercicio 3:

Modulación en Amplitud con banda lateral única (BLU)

1. Hacer los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 del ejercicio 2.
2. Seleccionar el filtro pasa bajas en el filtro universal.
3. Ajustar la frecuencia del filtro pasa bajas a 18 KHz aproximadamente.

Nota: Si la frecuencia de corte no es en 50 KHz, ajustar la perilla hasta obtenerla.

4. Hacer los mismos pasos de los puntos 7, 8, 9 y 10 del ejercicio 2.
5. Mediante los generadores de funciones, obtener dos señales senoidales sin componente de CD, con los siguientes datos:
Generador 1: Señal modulada (F_m) con $f = 30$ KHz y 5 V de amplitud de pico-pico.
Generador 2: Señal portadora (F_p) con $f = 50$ KHz y 1 V de amplitud de pico-pico.
Índice de modulación del 100%.
6. Observar el analizador de espectros y anotar sus observaciones en la hoja de observaciones y resultados.

• **CUESTIONARIO**

1. Explicar diversas aplicaciones de estos tipos de modulación, además de la radiodifusión comercial.
2. Calcular el índice de modulación para los puntos 6, 7 y 8 del ejercicio 1 del trabajo de laboratorio.
3. Explicar por qué se produce la variación del espectro de la señal moduladora en el ejercicio 1, cuando:
 - a) Cambia la señal moduladora de senoidal a cuadrada.
 - b) Cambia la señal moduladora de senoidal a triangular.
 - c) Se hace variar su simetría.
4. ¿Por qué no es recomendable hacer una modulación mayor al 100% (sobremodulación)?
5. De acuerdo a los ejercicios anteriores, ¿Qué filtro es el más conveniente y por qué?



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 2
MODULACIÓN ANALÓGICA: MODULACIÓN EN FRECUENCIA
(FM)

- **OBJETIVO GENERAL:**

Comprobar los conceptos teóricos de la modulación en frecuencia (FM).

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Comprender las diferencias, ventajas y desventajas de la modulación en frecuencia (FM).
- b) Analizar los principales parámetros de una señal modulada en frecuencia.
- c) Analizar el oscilograma y el espectro en frecuencia de una señal modulada en frecuencia.

- **INTRODUCCIÓN:**

Modulación en Frecuencia (FM)

La modulación en frecuencia, también conocida como modulación angular, se introdujo por primera vez en 1931, como alternativa a la modulación por amplitud. Se sugería que una onda con modulación angular es menos susceptible al ruido que una onda de AM, en consecuencia, podría mejorar el desempeño de las radiocomunicaciones. El mayor Edwin H. Armstrong desarrolló el primer sistema de radio de FM funcional en 1936, y en julio de 1939 comenzaron las primeras emisiones con programa regular, en Alpine, New Jersey.

La diferencia entre modulación por frecuencia y modulación por fase es, en esencia, cuál propiedad de la portadora se hace variar en forma directa con la señal moduladora: la frecuencia o la fase, y cuál se hace variar en forma indirecta. Siempre que se vara la frecuencia de una

portadora también varía la fase, y viceversa. Por consiguiente, la FM y la PM deben estar presentes al mismo tiempo siempre que se hace cualquier forma de modulación angular. Si la frecuencia de la portadora se hace variar directamente de acuerdo con la señal moduladora se obtiene la FM. Si se varía la fase de la portadora en forma directa por la señal moduladora, resulta la PM.

La modulación en frecuencia es aquella en la que la señal portadora, se hace variar según la señal moduladora que contiene la información a transportar, es la frecuencia. La señal moduladora varía su frecuencia con valores continuos, cuando la señal moduladora es de origen analógico. Por el contrario, la señal modulada tomará un número discreto de valores de la frecuencia, igual al número de valores que corresponden a la señal moduladora, cuando la señal de origen sea digital.

Actualmente, si bien no se usa con exclusividad en los sistemas de transmisión de datos, se continúa empleando en radiocomunicaciones (en especial, debido a su calidad, en las estaciones de radiodifusión pública). Existen dos tipos de modulación de frecuencia: de banda angosta y banda ancha.

Modulación de Frecuencia de Banda Angosta

Si el índice de modulación es menor que 0.25, se trata de Banda Angosta. Comparando el espectro de FM con el de AM, podemos observar que la diferencia más significativa es el hecho de que FM las bandas laterales están en cuadratura respecto a la portadora.

El ancho de banda de FM de Banda Angosta, como el de AM, es $2f_m$, siendo f_m la máxima componente de frecuencia de la señal modulante.

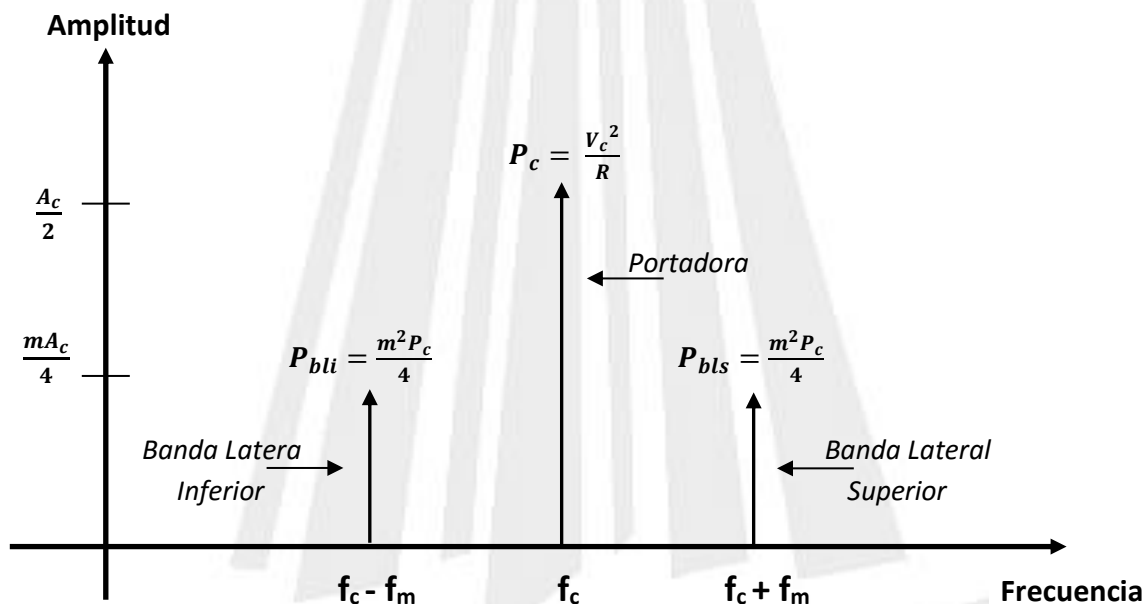


Figura 2.1 FM Banda Angosta.

Modulación de Frecuencia de Banda Ancha

J. R. Carson demostró, en 1922, que para determinada frecuencia de señal moduladora, una onda de frecuencia modulada no puede caber en una banda más angosta que una onda de amplitud modulada. De acuerdo a la explicación anterior, y a las funciones de Bessel, se puede ver que el ancho de banda de una onda de modulación angular es una función de la frecuencia de la señal moduladora y del índice de modulación. En la modulación de ángulo se producen varios conjuntos de bandas laterales y, en consecuencia, el ancho de banda puede ser bastante mayor que el de una onda de amplitud modulada (AM) con la misma señal moduladora.

Si el índice de modulación es mayor que uno, se trata de Banda Ancha.

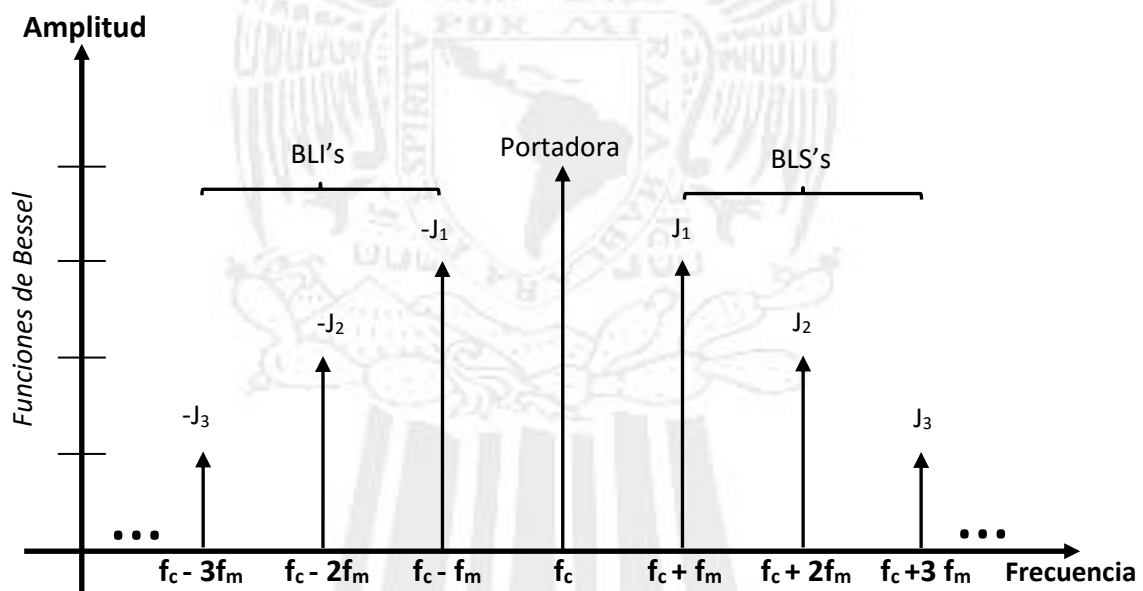


Figura 2.2 FM Banda Ancha.

En la siguiente tabla se mencionan las frecuencias laterales significativas. Se consideran que una frecuencia lateral es no significativa, a menos que su amplitud sea igual o mayor a 1% de la amplitud de la portadora no modulada ($J_n \geq 0.01$). Se ve en la tabla que cuando aumenta el índice de modulación (m), aumenta la cantidad de frecuencias laterales importantes o significativas. Por consiguiente, el ancho de banda de una onda con modulación angular es función del índice de modulación.

$m = \text{Índice de modulación}$; $J_0 = \text{Potadora}$; $J_1 \text{ a } J_{14} = \text{Pares laterales de frecuencia}$

m	J ₀	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆	J ₇	J ₈	J ₉	J ₁₀	J ₁₁	J ₁₂	J ₁₃	J ₁₄
0.00	1.00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.25	0.98	0.12	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.5	0.94	0.24	0.03	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.4	0	0.52	0.43	0.20	0.06	0.02	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	0.01	--	--	--	--	--	--	--	--
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	--	--	--	--	--	--	--	--
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	--	--	--	--	--	--	--
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	--	--	--	--	--	--
5.45	0	-0.34	-0.12	0.26	0.40	0.32	0.19	0.09	0.03	0.01	--	--	--	--	--
6.0	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	--	--	--	--	--
7.0	0.30	0	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	--	--	--	--
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	--	--	--
8.65	0	0.27	0.06	-0.24	-0.23	0.03	0.26	0.34	0.28	0.18	0.10	0.05	0.02	--	--
9.0	-0.09	0.25	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.31	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	--
10.0	-0.25	0.05	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.32	0.29	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01

Tabla 2.1 Funciones de Bessel de primera clase.

• **TRABAJO DE CASA:**

- a) Investigar las principales características de los sistemas de modulación en frecuencia (F.M.).
- b) Investigar los campos de aplicación y las restricciones de los sistemas de F.M.
- c) Mencionar las diferencias entre F.M. y A.M.
- d) Investigar las ventajas y desventajas que tiene F.M. sobre A.M.
- e) Definir el concepto de desviación de frecuencia.
- f) Investigar que son y para qué sirven las funciones de Bessel y la regla de Carson.

- g) Para un modulador de FM con desviación máxima de frecuencia $\Delta f = 10$ KHz, una frecuencia de señal moduladora $f_m = 10$ KHz, $V_c = 5$ V y una portadora de 50 KHz, determine:
- El ancho de banda mínimo y real mediante la tabla de funciones de Bessel.
 - El ancho mínimo aproximado de banda, con la regla de Carson.

• **EQUIPO A UTILIZAR:**

- ✓ 2 generadores de funciones.
- ✓ 1 Analizador de espectros.
- ✓ 1 Osciloscopio.
- ✓ Cables
- ✓ 1 conector tipo T

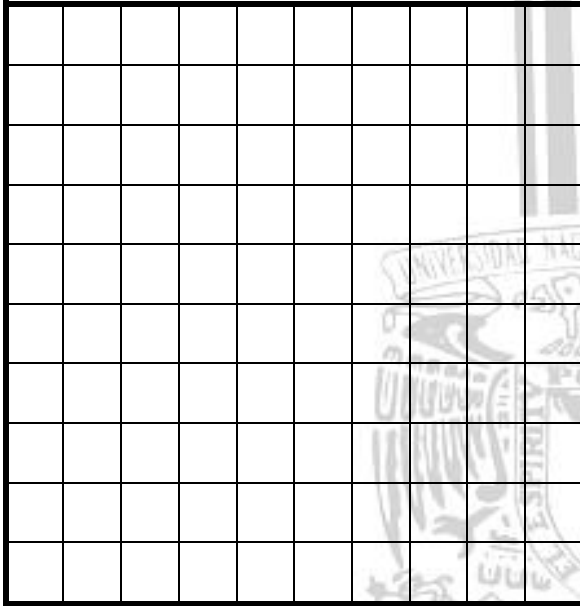
• **DESARROLLO:**

- Conectar los equipos como se muestra en el diagrama de conexiones 2.1 y se explica en los puntos 2 y 3

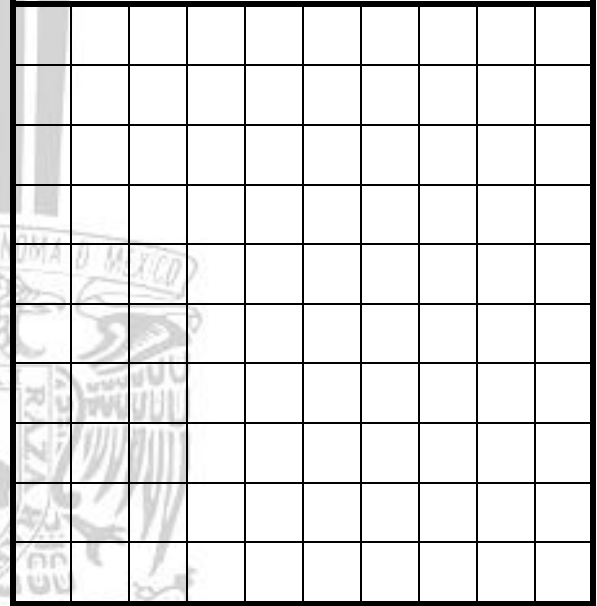


- Conectar la salida del generador de funciones 1 en la entrada de modulación "Modulation In" del generador de funciones 2.
- Conectar la salida del generador de funciones 2 al Osciloscopio y al Analizador de Espectros.
- Mediante los generadores de funciones, obtener dos señales senoidales sin componente de CD, con los siguientes datos:
 Generador 1: Señal modulada (F_m) con $f = 5$ KHz y 5 V de amplitud de pico-pico.
 Generador 2: Señal portadora (F_p) con $f = 50$ KHz y 1 V de amplitud de pico-pico.

5. En la señal moduladora seleccione la opción "Mod", en el botón "Type" escoja FM y en el apartado "Source" ponerlo en "Ext".
6. Poner al valor mínimo la desviación de frecuencia (Freq Dev). Observar las señales del osciloscopio y el analizador de espectros y dibujarlas en las tablas siguientes.

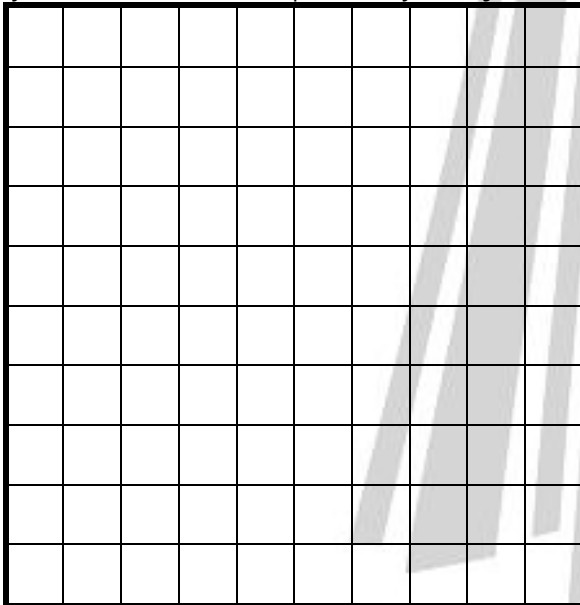


Osciloscopio

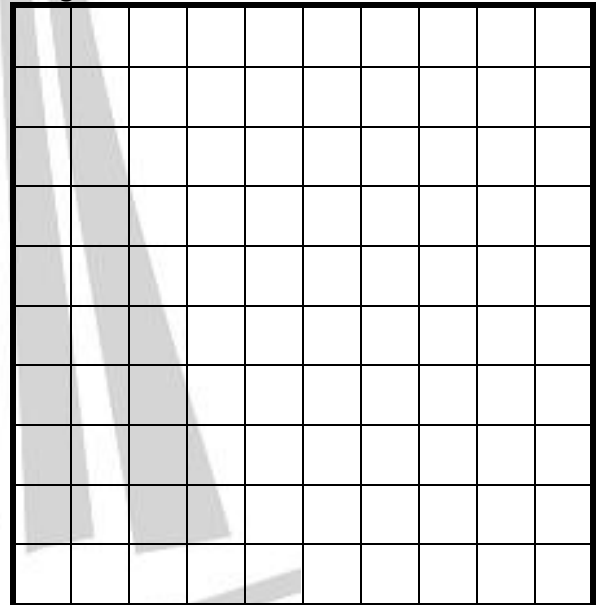


Analizador de espectros

7. Cambiar la desviación de frecuencia (Freq Dev) a 1.25 KHz. Observar las señales del osciloscopio y el analizador de espectros y dibujarlas en las tablas siguientes.

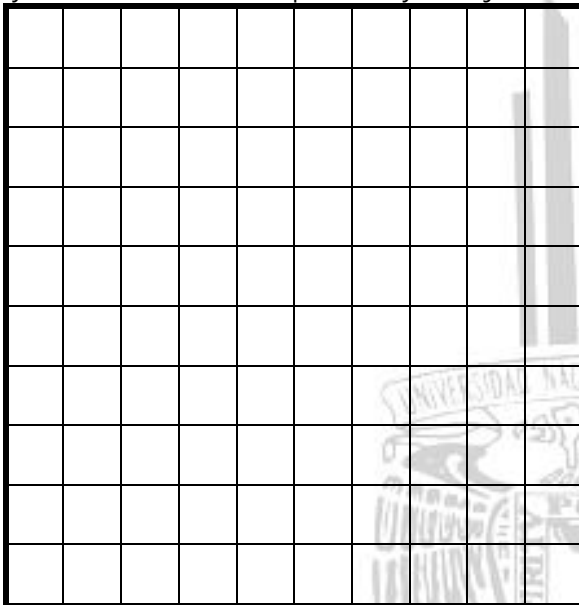


Osciloscopio

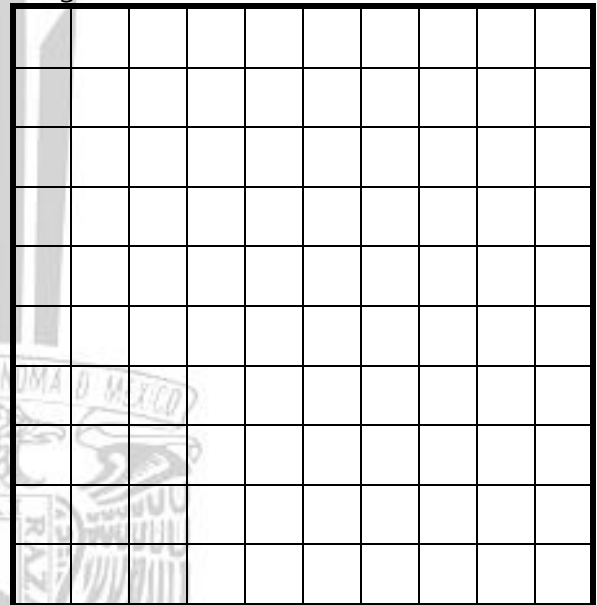


Analizador de espectros

8. Cambiar la desviación de frecuencia (Freq Dev) a 20 KHz. Observar las señales del osciloscopio y el analizador de espectros y dibujarlas en las tablas siguientes.



Osciloscopio



Analizador de espectros

9. Con los datos del punto 4, encontrar los valores necesarios para que el índice de modulación sea igual a 0.5, 2 y 3. Observar el analizador de espectros y compararlo con la tabla de las funciones de Bessel.
10. Variar los siguientes valores uno a la vez (regresando al valor original, después de cambiarlos y llenar la tabla 2.2. Anotar lo observado.

	25 KHz	50 KHz (original)	75KHz
Frecuencia (Portadora)			

	2 KHz	5 KHz (original)	10 KHz
Frecuencia (Moduladora)			

	500 μ V	1 V (original)	5V
Amplitud (Portadora)			

	2 V	5 V (original)	10 V
Amplitud (Moduladora)			

Tabla 2.2

- Usando los datos del ejercicio "g" del trabajo de casa, realizarlo físicamente, observar el analizador de espectros y compararlo con tus resultados.

• **CUESTIONARIO**

- De acuerdo a lo visto ¿Cuál es la importancia de las funciones de Bessel?
- ¿Cuántos conjuntos de bandas laterales se producen cuando una frecuencia de portadora se modula con una frecuencia única de entrada?
- ¿Cuáles son los requisitos para que una frecuencia lateral se considere significativa?
- ¿Cuántos tipos de modulación por frecuencia hay?



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 3
CODIFICACIÓN LINEAL PCM

- **OBJETIVO GENERAL:**

Comprender el funcionamiento de un sistema con codificación lineal PCM.

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Estudiar y analizar el funcionamiento del codificador y del decodificador PCM lineal de 4 y 12 bits.
- b) Analizar el ruido de cuantificación generado en el proceso de la digitalización.
- c) Obtener y trazar en forma experimental la curva de cuantificación.
- d) Verificar la calidad en la transmisión de la señal de voz, al variar la ley de codificación y la frecuencia de muestreo.

- **INTRODUCCIÓN:**

La modulación por codificación de pulso (PCM) fue desarrollada en 1939 por AT&T en sus laboratorios de Paris. Se acredita a Alex H. Reeves haberla inventado, aunque se reconocieron sus méritos al desarrollarla, no fue sino hasta mediados de la década de 1960, al difundirse la electrónica de estado sólido, que la PCM se hizo dominante.

La modulación por código de pulso es la única de las técnicas de modulación por codificación digital (PWM, PPM, PAM, PCM) que se usa para transmisión digital. La modulación por codificación de pulso (PCM) es en esencia, una conversión analógica a digital de un tipo

especial en el que la información contenida en las muestras instantáneas de una señal analógica está representadas por palabras digitales en un flujo de bits en serie.

La figura 3.1 muestra un diagrama de bloques simplificado de un sistema PCM de un solo canal o simplex (de un solo sentido). El filtro Pasabanda (Tx Filter) limita la frecuencia de la señal analógica de entrada al intervalo de frecuencias de banda de voz, de 300 a 3400 Hz. El circuito de muestreo y retención (S&H) muestra, en forma periódica, la señal analógica de entrada, y convierte esas muestras en una señal PAM de varios niveles. El convertidor Analógico a Digital (A/D) convierte las muestras PAM en códigos PCM paralelos, que se convierten a su vez en datos en serie, en el convertidor de paralelo a serie (P/S), y a continuación salen a la línea de trasmisión. Las repetidoras en la línea de transmisión regeneran en forma periódica los códigos PCM. En el receptor, el convertidor serie a paralelo (S/P) convierte los datos series de la línea de transmisión en códigos PCM paralelos. El convertidor Digital a Analógico (D/A) convierte el código paralelo PCM en señales PAM de varios niveles. El circuito de retención y el filtro Pasabajas (Rx Filter) regresan la señal PAM a su forma analógica original.

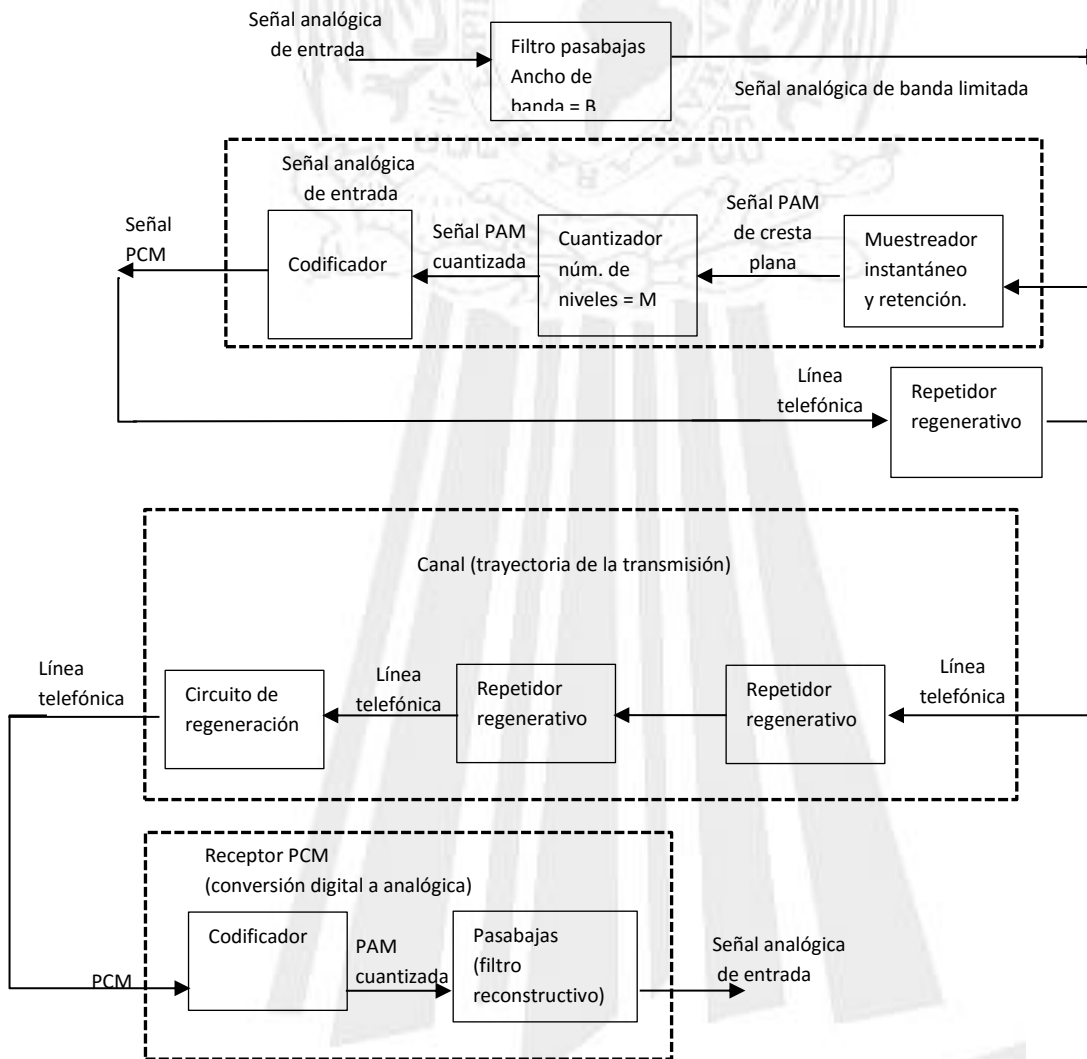


Figura 3.1 Sistema de Transmisión PCM.
 Todos los derechos reservados

La señal PCM se genera por medio de tres operaciones básicas, las cuales son: muestreo, cuantización y codificación. La operación de muestreo genera una señal modulada por amplitud de pulso (PAM) de cresta plana. La operación de cuantización introduce un error en la señal analógica de salida recuperada llamado *error de cuantización*, y es causado debido a errores de redondeo o truncamiento que efectúa el convertidor analógico digital (DAC). La salida del cuantizador es una señal PAM *cuantizada*. Finalmente, la señal PCM se obtiene de la señal PAM cuantizada al codificar cada valor de muestreo cuantizado para transformarlo en una palabra digital como se muestra en la figura 3.2.

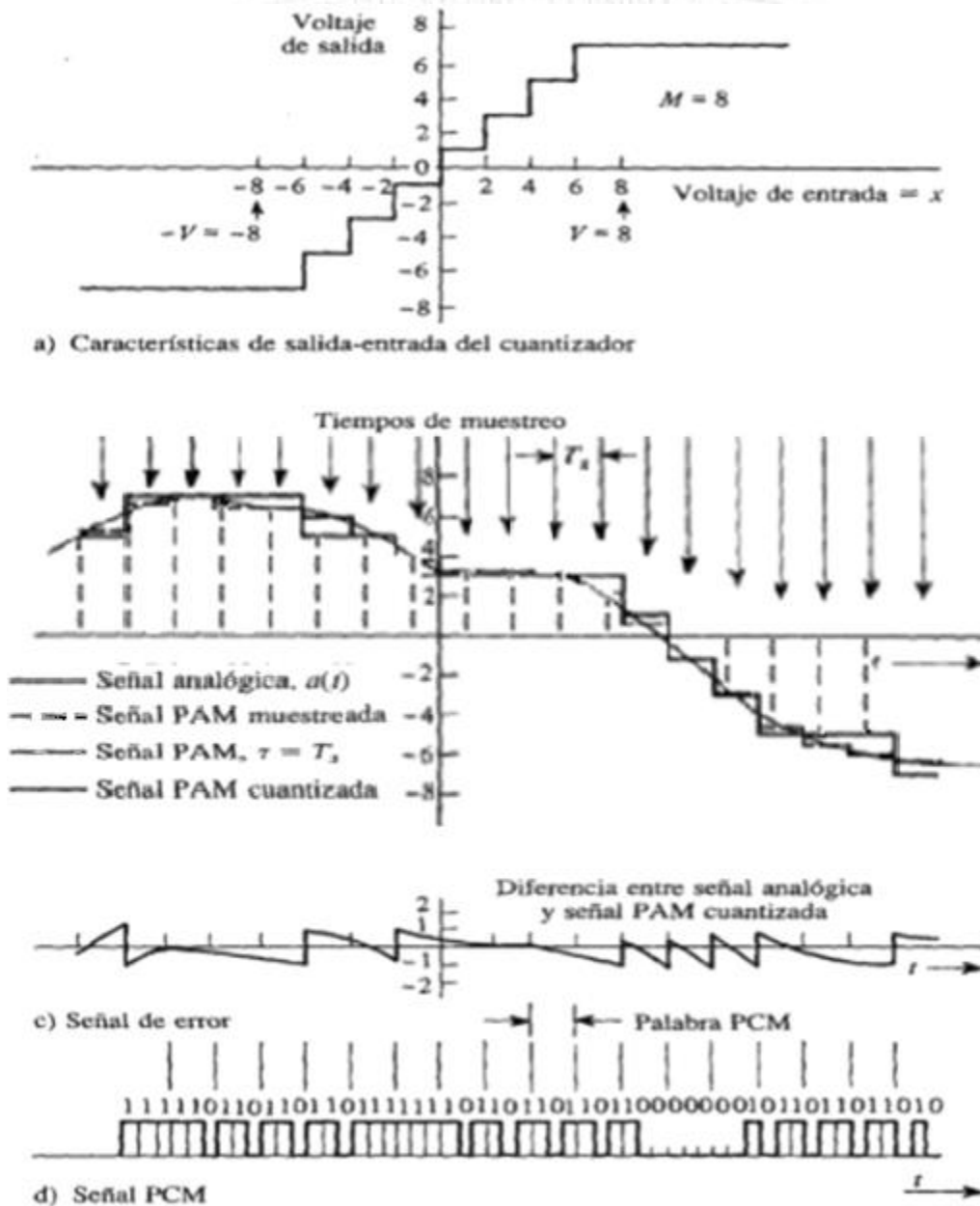


Figura 3.2 Formas de onda de un sistema PCM.

La modulación PCM es muy utilizada debido a las muchas ventajas que ofrece, entre las cuales se pueden destacar: Usa circuitería digital relativamente barata en casi todo el sistema, las señales PCM provenientes de todos los tipos de fuentes analógicas (audio, video, etc.) se pueden combinar con señales de datos (computadoras digitales) y transmitir a través de un sistema de comunicación digital de alta velocidad común (mediante la multicanalización por división de tiempo TDM), en los sistemas de telefonía digital de larga distancia que requieren repetidores, se puede generar una forma de onda PCM limpia a la salida de cada repetidor, donde la entrada es una forma de onda PCM ruidosa, el rendimiento de ruido de un sistema digital puede ser superior al de un sistema analógico. Estas ventajas superan la principal desventaja de PCM: un ancho de banda mucho más grande que el de la señal analógica correspondiente.

- **TRABAJO DE CASA:**

- a) Mediante un diagrama a bloques, explicar el funcionamiento de un sistema PCM.
- b) Explicar el teorema de muestreo.
- c) Explicar cuál es la función de un filtro anti-aliasing.
- d) Describir en que consiste el proceso de cuantificación.
- e) Explicar qué es el ruido de cuantificación.
- f) Describir el proceso de codificación PCM no lineal.

- **EQUIPO A UTILIZAR:**

- ✓ Módulo T20B.
- ✓ Fuente de alimentación de ± 12 Vcc.
- ✓ Voltímetro digital.
- ✓ Osciloscopio.
- ✓ Cables.

• **DESARROLLO:**

Ejercicio 1:

Ruido de cuantificación.

El procedimiento para obtener el ruido de cuantificación es el siguiente:

1. En la sección TIMING & GENERATORS del módulo PCM (T20B) disponer una frecuencia de muestreo (Sampling) de 8 KHz.
2. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
3. Con ayuda del osciloscopio tomar del Generador de Onda Senoidal (Sync. Sine Generator) (TP38) una señal de 5 Vpp de amplitud y conectarla por un lado a la entrada del muestreador/retenedor (TP4) localizado en la sección LINEAR PCM y por otro a la entrada del ajuste de fase (Phase Adj) (TP13) en la sección QUANTIZATION NOISE. Conectar la salida del ajuste de fase (Phase Adj) (TP14) a TP15 y conectar la señal PAM (TP5) a TP16 (Figura 3.3).

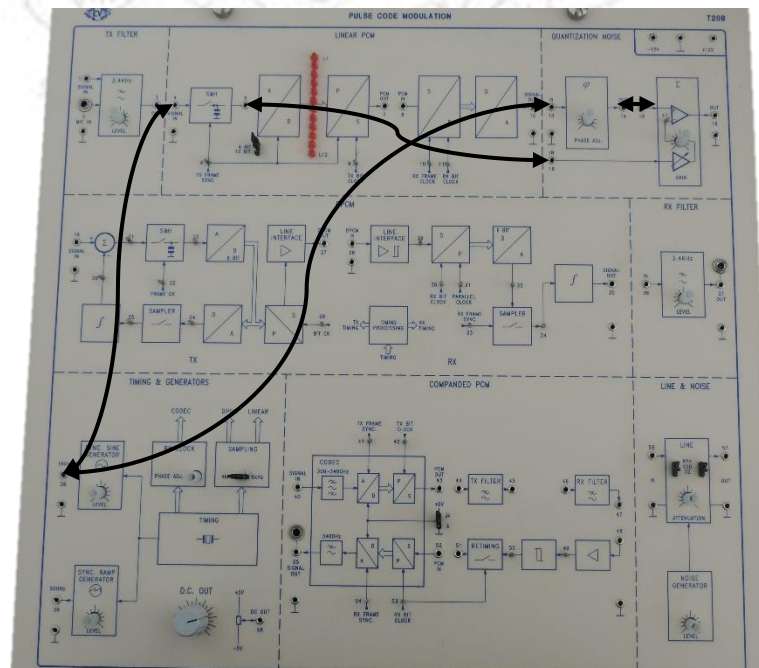


Figura 3.3 Diagrama de conexiones en el módulo T20-B.

4. Conectar el canal 1 del osciloscopio a la salida del ajuste de fase (Phase Adj) (TP14) y el canal 2 a TP17, y ajustar la ganancia (Gain) y el ajuste de fase (Phase Adj) de modo que se obtengan dos señales en fase y de la misma amplitud.

5. Registrar en la hoja de observaciones y resultados todo lo observado, compara con la figura 3.4 y dar una explicación al respecto.

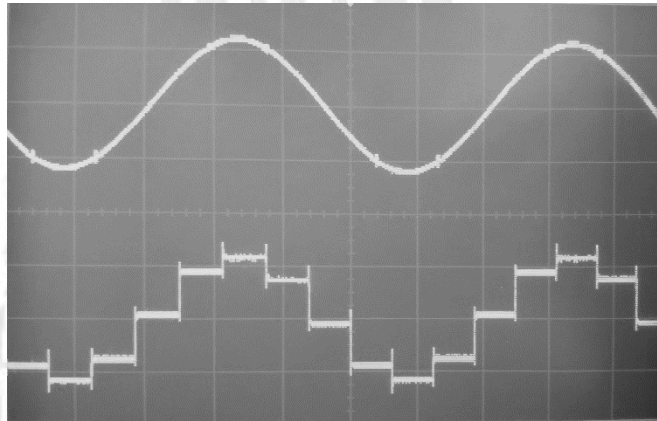


Figura 3.4 Comparación entre TP14 y TP17.

6. Conectar el canal 2 de osciloscopio a la salida del restador (TP18).
7. Registrar en la hoja de observaciones y resultados todo lo observado, compara con la figura 3.5 y dar una explicación al respecto.

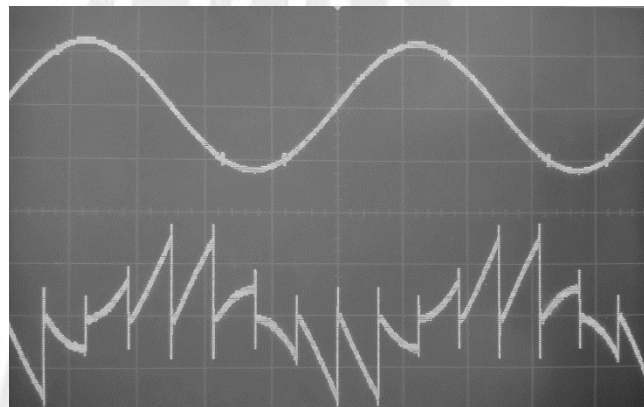


Figura 3.5 Comparación entre TP14 y TP18 (8KHz).

8. Ajustar a 4 KHz la frecuencia de muestreo (Sampling), en la sección TIMING & GENERATORS y analizar de nuevo la señal en TP18.

9. Registrar en la hoja de observaciones y resultados todo lo observado, compara con la figura 3.6 y dar una explicación al respecto.



Figura 3.6 Comparación entre TP14 y TP17 (4KHz).

Ejercicio 2:

Curva de cuantificación y ley de codificación.

Funcionamiento a 12 bits.

El procedimiento para obtener la curva de cuantificación es el siguiente:

1. En la sección LINEAR PCM disponer una codificación a 12 bits.
2. En la sección TIMING & GENERATORS del módulo PCM, disponer una frecuencia de muestreo (Sampling) de 8 KHz.
3. De la misma sección obtener una componente de CD (TP58) y aplicarla al muestreador/retenedor (S/H) (TP4). Conectar un voltímetro digital al mismo punto y suministrar la alimentación al módulo.
4. Variar el potenciómetro Dc Out del mínimo (-5 Vcc) al máximo (+5 Vcc) y observar la variación del encendido de los LEDS puestos en la salida paralelo del convertidor A/D.
5. Evaluar el paso de voltaje precisado para cambio de 1 bit la salida del convertidor (la medida se realiza con dificultad ya que la diferencia entre niveles de cuantificación adyacentes es muy baja, equivalente a $\frac{10}{2^{12}}V \approx 2.5 mV$).

6. Monitorea en el canal 1 del osciloscopio la salida PCM (TP7) y en el canal 2 la señal del pulso de muestreo (Tx Frame Sync) (TP6).
7. Variar el potenciómetro Dc Out del mínimo (-5 Vcc) al máximo (+5 Vcc) y observar la variación de la forma de onda de la señal PCM serie.
8. Observar que cada bit se representa en formato NRZ, o sea con un nivel de tensión positivo (1) o nulo (0) de duración equivalente al periodo del reloj de bit.
9. Pregunta: ¿Cuántos bits están comprendidos entre dos impulsos sucesivos de sincronismo de una trama?

Funcionamiento a 4 bits

El procedimiento para obtener la curva de cuantificación es el siguiente:

1. Seleccionar una codificación a 4 bits en la sección LINEAR PCM y repetir el procedimiento del ejercicio 2.
2. ¿Qué valor tiene ahora la diferencia entre los niveles de cuantización adyacentes?
3. Trazar la curva de cuantificación, anotando en la abscisa el valor de tensión de entrada y en la ordenada el correspondiente nivel de cuantificación (el cambio de un nivel al adyacente, está indicado por los LEDs o bien se puede detectar observando la señal PCM serie en TP7).
4. Analizar la señal PCM en TP7 y observar que dentro de dos impulsos de sincronismo de trama sucesivos hay 4 bits variables (generadores por la codificación) y de 8 bits fijos a 0.

Ejercicio 3:

Decodificación de la señal PCM.

Funcionamiento a 12 bits.

1. En la sección LINEAR PCM disponer una codificación a 12 bits.
2. En la sección TIMING & GENERATORS del módulo PCM, disponer una frecuencia de muestreo (Sampling) de 8 KHz.

3. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
4. Conectar el generador de onda senoidal (Sync. Sine Generator) (TP38), localizado en la sección TIMING & GENERATORS a la entrada del filtro de 3.4 KHz (TP1), que se encuentra en la sección TX FILTER. Conectar la salida de este filtro (Out) (TP3) a la entrada del muestreador/retenedor (S/H) (TP4), la salida del codificador PCM (TP7) a la entrada del decodificador (TP8) y la salida de este (TP12) a la entrada del filtro de 3.4 KHz (TP36) de la sección RX FILTER (Figura 3.7).

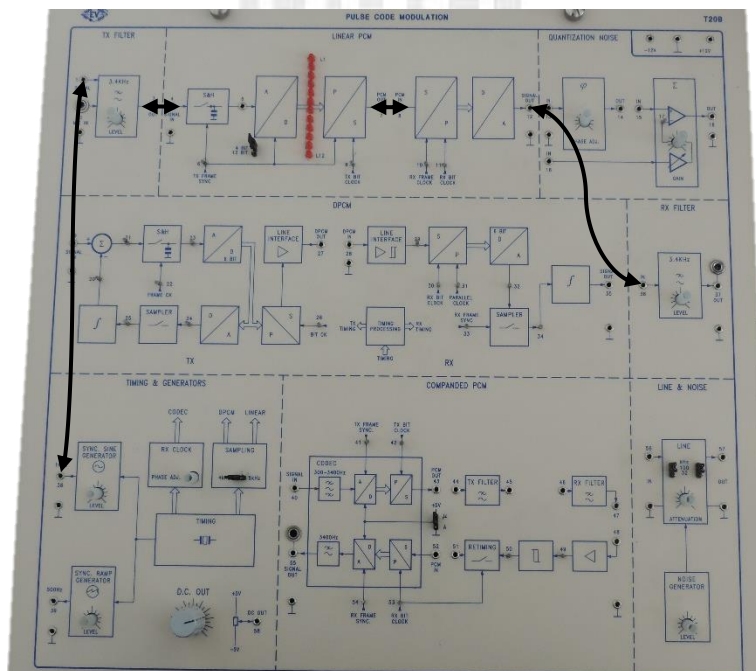


Figura 3.7 Diagrama de conexiones en el módulo T20-B.

5. Conectar el canal 1 del osciloscopio a la salida del filtro de transmisión (TP3), variar LEVEL del generador de onda senoidal en la sección TIMING & GENERATORS y del filtro de transmisión (Tx Filter) de modo que se obtenga una señal de 5 Vpp de amplitud.
6. Monitorear en la canal 1 del osciloscopio la entrada del muestreador/retenedor (S/H) (TP3) y con el canal 2 la salida del filtro de recepción (Rx Filter) (TP37) y ajustar LEVEL de este último para obtener señales de igual amplitud (observar que existe un desfase entre la señal transmitida y la señal recibida; ello se debe a los retardos introducidos por los procesos de modulación y demodulación) (Figura 3.8).

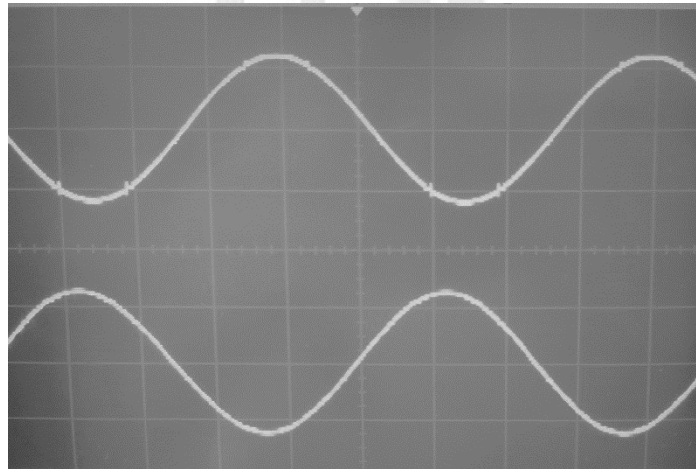


Figura 3.8 Comparación entre TP3 y TP37.

7. Desconectar el osciloscopio de la salida del filtro de recepción (Rx Filter) (TP37) y registrar en la hoja de observaciones y resultados paso a paso el proceso para obtener el ruido de cuantificación, conectándolo a los siguientes puntos:
 - a) Salida de muestreo y retención (S&H) (TP5).
 - b) Pulso de muestreo (Tx Frame Sync) (TP6).
 - c) Salida del modulador PCM (TP7).
 - d) Reloj de velocidad de línea (Rx Frame Clock) (TP10).
 - e) Reloj de conversión (Rx Bit Clock) (TP11).
 - f) Señal de salida PCM (Signal Out) (TP12).
 - g) Salida del filtro de recepción (Rx Filter) (TP37).

Funcionamiento a 4 bits.

1. Manteniendo las mismas conexiones, seleccionar en el circuito una codificación a 4 bits.
2. Realizar nuevamente los pasos del punto 7 del ejercicio anterior y observar la degradación con respecto a la codificación de 12 bits.

Ejercicio 4:

Transmisión de la voz.

1. En la sección LINEAR PCM disponer una codificación a 12 bits.
2. En la sección TIMING & GENERATORS del módulo PCM, disponer una frecuencia de muestreo (Sampling) de 8 KHz.
3. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
4. Conectar la salida del filtro de 3.4 KHz (TP3), que se encuentra en la sección TX FILTER a la etapa muestreador/retenedor (TP4), la salida del codificador PCM (TP7) a la entrada del decodificador (TP8) y la salida de este (TP12) al filtro de 3.4 KHz (TP36) de la sección RX FILTER.
5. Conectar el micrófono a la entrada del filtro de transmisión (TP2) y el auricular a la salida del filtro de recepción (TP37).
6. Escuchar la señal recibida cambiando la codificación (12/4 bits) y la frecuencia de muestreo.

• CUESTIONARIO:

1. Explicar el funcionamiento de un codificador y de un decodificador PCM lineal de 4 y de 12 bits.
2. Indicar cuales son las características de los dos tipos de codificación referidos en el punto anterior (1), mencionando cuál de ellos es el más utilizado y por qué.
3. Explicar a qué frecuencia mínima se debe muestrear la señal de voz en el momento de digitalizarla.

Referencia: Elettronica Veneta. Modulación PCM. Módulo T20B/EV. Motta di Livenza.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 4
CODIFICADOR - DECODIFICADOR (CODEC)

- **OBJETIVO GENERAL:**

Analizar y entender el funcionamiento de un codificador-decodificador (CODEC).

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Describir un sistema de comunicación implementado con un CODEC y analizar sus características de funcionamiento.
- b) Analizar las codificaciones PCM efectuadas con las leyes A y μ .
- c) Analizar el diagrama de ojo al variar las características del canal.
- d) Verificar la calidad de transmisión de la voz al variar las características del canal y el ruido.

- **INTRODUCCIÓN:**

El proceso de convertir una señal analógica a digital se llama codificación, y la operación inversa, convertir una señal digital a analógica se llama decodificación; esto lo realiza un circuito integrado llamado CODEC.

Estos dispositivos son usados principalmente en telefonía para llevar a cabo la compresión de una señal codificada en PCM con 12 bits por medio de una aproximación lineal por secciones

a la ley μ , para producir un número binario de 8 bits al descartar algunos de los bits. El proceso de manera general se puede resumir como sigue:

La muestra PCM de 12 bits inicia con un bit de signo, el cual es retenido. Los 11 bits restantes definen la amplitud de la muestra, con el bit más significativo al principio.

Para muestras de bajo nivel, los últimos bits junto con el bit de signo podrían ser los únicos diferentes de cero. El número de segmento para el código de 8 bits se determina restando de 7 el número de ceros subsecuentes (sin contar el bit de signo) en el código de 12 bits. Los siguientes 4 bits después del primer 1 se cuentan como el número de nivel dentro del segmento, y se descartan los demás bits.

Para la decodificación se usa el proceso de expansión, el cual sigue un algoritmo análogo al que se utiliza en la compresión, para recuperar la señal con 12 bits.

- **TRABAJO DE CASA:**

- a) Investigar qué es un CODEC y que función desempeña en un sistema de comunicaciones.
- b) Investigar en que consiste la ley A.
- c) Investigar en que consiste la ley μ .
- d) Dibujar el diagrama a bloques de un sistema de comunicaciones que contenga un CODEC.

- **EQUIPO A UTILIZAR:**

- ✓ Módulo T20B.
- ✓ Fuente de alimentación de ± 12 Vcc.
- ✓ Osciloscopio.
- ✓ Cables

- **DESARROLLO:**

Ejercicio 1:**Codificador y ley de codificación.**

1. En la sección COMPANDED PCM del módulo T20B seleccionar ley μ .
2. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
3. Por medio del osciloscopio, del generador de onda senoidal (Sync. Sine Generator) (TP38), en la sección TIMING & GENERATORS, obtener una señal de 2 Vpp de amplitud y aplicarla a la entrada del CODEC (TP40).
4. Monitorear en el canal 1 del osciloscopio la entrada del CODEC (TP40) y en el canal 2 el punto Tx Frame Sync (TP41). Ajustar la base de tiempo en el osciloscopio para visualizar aproximadamente 1.5 periodos de la señal senoidal (Figura 4.1).

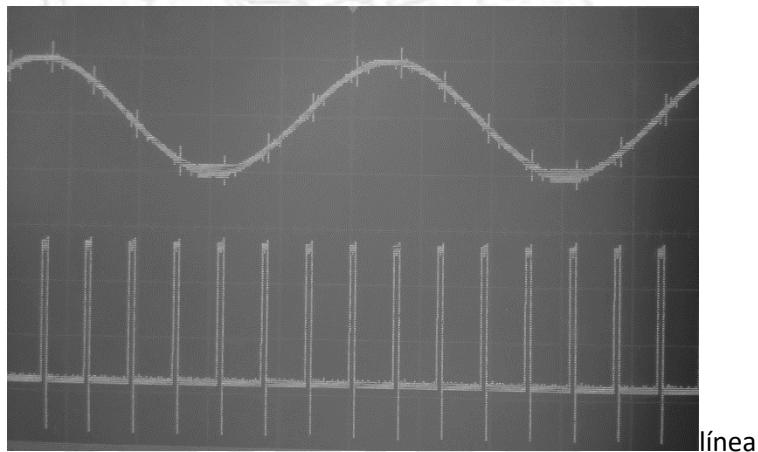


Figura 4.1 Comparación entre TP40 y TP41.

5. Tomar nota de lo observado en la hoja de observaciones y resultados y explicar al respecto.
6. Desplazar el canal del osciloscopio de la entrada del CODEC (TP40) a la salida del CODEC (TP43) y analizar la señal PCM de salida (Figura 4.2).

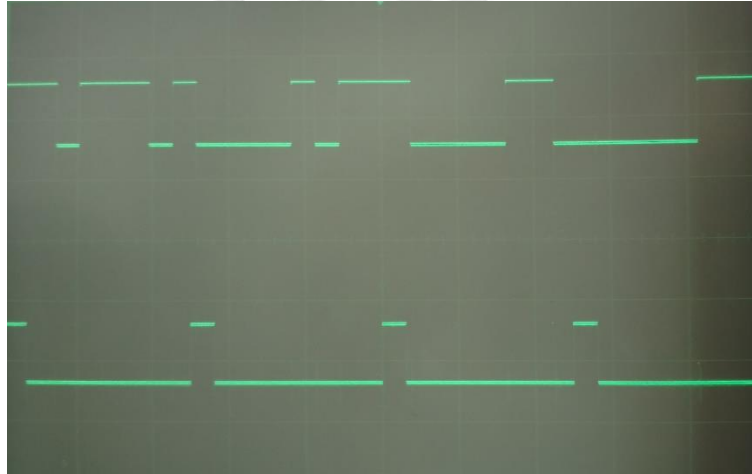


Figura 4.2 Comparación entre TP43 y TP41.

7. Tomar nota de lo observado en la hoja de observaciones y resultados y explicar al respecto.
8. Analizar las señales en la salida del CODEC (PCM Out) (TP43) y en Tx Bit Clock (TP42). Observar la correspondencia entre periodos de reloj e intervalos de bit (Figura 4.3).

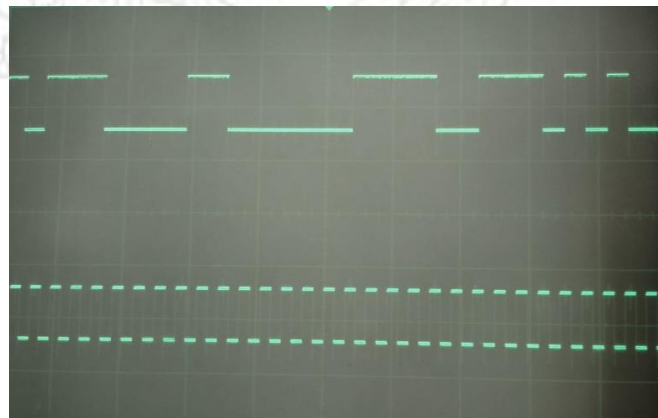


Figura 4.3 Comparación entre TP43 y TP42.

9. Con el objeto de observar la diferencia entre las leyes de codificación (A y μ), analizar el código PCM suministrado por el CODEC para un nivel de entrada cero. Predisponer el CODEC en ley μ y suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
10. Conectar la entrada del CODEC (Signal In) (TP40) a tierra.

11. Conectar el canal 1 del osciloscopio a Tx Frame Sync (TP41) y el canal 2 a la salida del CODEC (TP43), luego observar la predominancia de bits 1 en la señal PCM (Figura 4.4).

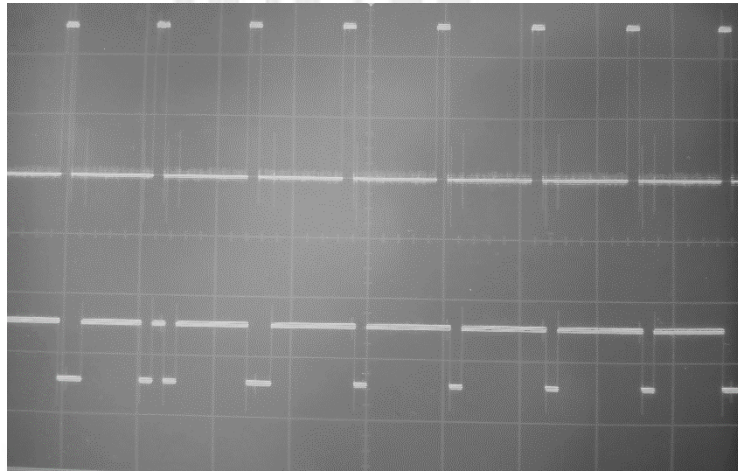


Figura 4.4 Comparación entre TP41 y TP43.

12. Predisponer el CODEC en ley A y observar que ahora la señal PCM está constituida principalmente por bits 0 y 1 alternados (Figura 4.5). Comentar si lo observado en la salida del CODEC coincide con la teoría estudiada en el trabajo previo de la práctica.

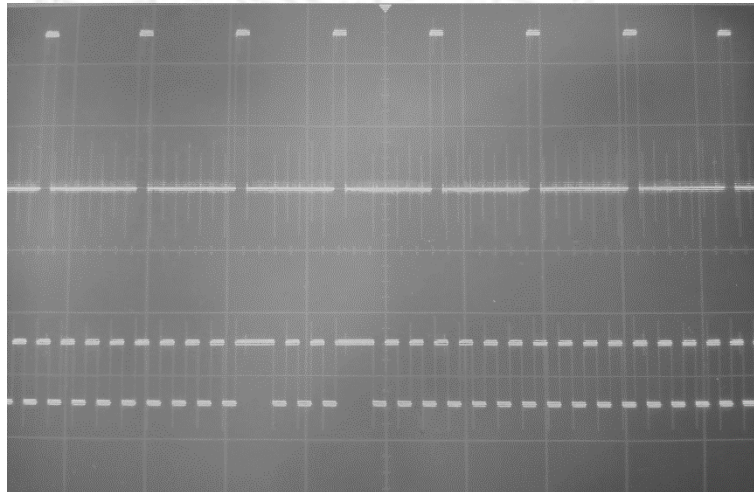


Figura 4.5 Comparación entre TP41 y TP43.

Ejercicio 2:

Sistemas de comunicación con CODEC.

Formas de onda y diagrama de ojo.

1. Realizar las conexiones necesarias para tener un sistema de comunicación con el CODEC (TP43-TP44, TP45-TP56, TP57-TP46, TP47-TP48 y TP51-TP52) y ajustar la línea a 100 KHz, atenuación mínima y ruido cero (Figura 4.6).

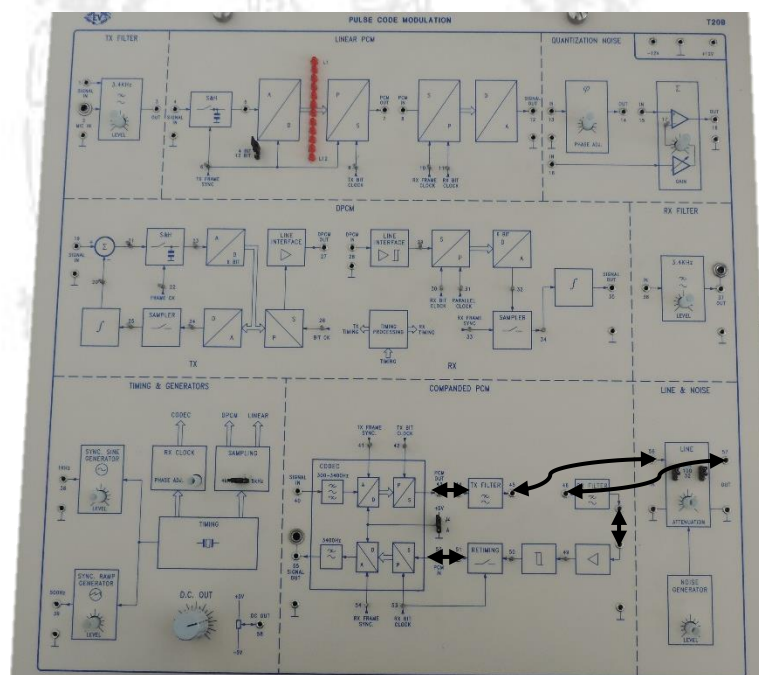


Figura 4.6 Diagrama de conexiones en el módulo T20-B.

2. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
3. Por medio del osciloscopio, del generador de onda senoidal (TP38), en la sección TIMING & GENERATORS, obtener una señal de 2 Vpp de amplitud y aplicarla a la entrada del CODEC (TP40).
4. Monitorear en el canal 1 del osciloscopio la entrada del CODEC (TP40) y en el canal 2 las formas de onda a lo largo de todo el recorrido de la señal PCM:
 - a) Salida NRZ del CODEC (PCM Out) (TP43).
 - b) Salida del filtro de transmisión (Tx Filter) (TP45).

- c) Salida de la línea (Line) (TP57).
 - d) Salida del filtro de recepción (Rx Filter) (TP47).
 - e) Salida del elemento de decisión (TP50).
5. Analizar la forma de onda en la salida del amplificador de recepción (TP49). La señal obtenida se conoce como diagrama de ojo similar al de la figura 4.7.

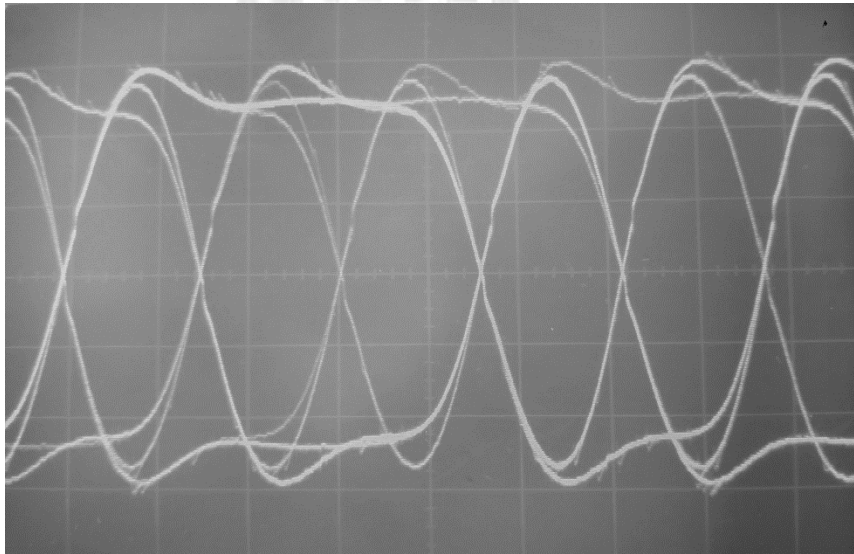


Figura 4.7 Diagrama de ojo.

6. Observar lo que ocurre al suprimir los filtros de transmisión y de recepción y comentar lo observado en la hoja de comentarios y resultados.
7. Regresar el sistema a las condiciones del punto 1 de este experimento.

Señal analógica recibida.

8. Observar en el canal 1 del osciloscopio la entrada del codificador (TP40) y en el canal 2 la salida del decodificador (TP55). Ajustar el Phase Adj. de la sección TIMING & GENERATORS de modo que se obtenga en la salida (TP55) la misma señal aplicada a la entrada (TP40).
9. Conectar ahora en el canal 1 del osciloscopio a TP49 y en el canal 2 a Rx Bit Clock (TP53). Observar las formas de onda.

Ejercicio 3:

Influencia del canal y del ruido.

1. Realizar las mismas conexiones que en el punto 1 del ejercicio 2.
2. Analizar el diagrama de ojo en TP49 aumentando el ruido y la atenuación de línea. Observar el cierre gradual del ojo.
3. Observar la forma de onda antes y después del filtro de recepción (Rx Filter) (TP46 y TP47). Indicar si mejora o no la relación señal a ruido.

Ejercicio 4:

Transmisión de la voz.

1. Realizar las mismas conexiones que en el punto 1 del ejercicio 2.
2. Conectar el micrófono a la entrada correspondiente (TP2), poner LEVEL del TX FILTER en posición intermedia y conectar la salida del filtro de transmisión (TP3) a la entrada del CODEC (TP40). Conectar los auriculares a (TP55)
3. Escuchar la señal recibida al variar los siguientes parámetros e indicar lo ocurrido en la hoja de observaciones y resultados.
 - a) Nivel de ruido.
 - b) Atenuación y banda de paso de la línea.
 - c) Fase del Rx Clock.

• CUESTIONARIO:

1. Explicar en qué consiste el proceso de compansión (companding) y cuál es su utilidad.
2. Indicar cuáles son las características de las leyes A y μ . Hacer una comparación entre ellas.
3. Explicar qué es el diagrama de ojo y por qué recibe este nombre.

Referencia: Elettronica Veneta. Modulación PCM. Módulo T20B/EV. Motta di Livenza.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 5
PCM DIFERENCIAL

- **OBJETIVO GENERAL:**

Analizar una señal digitalizada aplicando la modulación por pulsos codificados en forma diferencial.

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Analizar el funcionamiento de un codificador y de un decodificador PCM diferencial.
- b) Analizar las formas de onda de las señales.
- c) Realizar un ejemplo de transmisión de la señal de voz.

- **INTRODUCCIÓN:**

Cuando se muestrean señales de audio o video en general se ve que las muestras adyacentes son casi del mismo valor. Esto significa que existe mucha redundancia en las señales muestreadas y, por consiguiente, el ancho de banda y la gama dinámica de un sistema de PCM que se desperdicien cuando se retransmiten valores de muestreo redundante.

Una manera de reducir al mínimo la transmisión redundante y de disminuir el ancho de banda es transmitir señales PCM correspondientes a la diferencia de los valores de muestreo adyacente. Lo anterior se conoce como modulación por codificación de pulso diferencial (DPCM). El valor de muestreo actual presente en el receptor se regenera utilizando el valor pasado más el valor diferencial actualizado recibido a través del sistema diferencial. Además, el valor actual se puede

estimar a partir de valores pasados por medio de un filtro de predicción, el cual se obtiene por medio de una línea de retardo con tomas para formar un filtro transversal.

La DPCM es ventajosa, por ejemplo, en la transmisión muestreada de información de imagen porque una porción apreciable del código asignado a cada nivel describe simplemente el nivel de fondo promedio. O sea una imagen cuantizada en 6 bits (es decir, 64 niveles de brillantez por elemento de imagen) puede transmitirse con comparable fidelidad con la DPCM de 4 bits.

Entre las desventajas de la DPCM está el hecho de que si se comete un error, se mantiene una polaridad incorrecta hasta que se corrija. Además, estos sistemas adolecen de una posible sobrecarga de rapidez de crecimiento debido a las operaciones de diferenciación y truncamiento.

El propósito de la trayectoria de retroalimentación del codificador DPCM es hacer una predicción del siguiente valor de muestra. El sentido de esto es que si el sistema puede hacer una buena predicción del siguiente valor muestreado, no hace falta que el codificador envíe tanta información, es decir, el codificador ha eliminado alguna redundancia en los datos.

- **TRABAJO DE CASA:**

- a) Enunciar las características de un sistema PCM diferencial.
- b) Explicar cómo es la señal codificada en PCM diferencial con respecto de la PCM normal.
- c) Indicar en qué casos se prefiere utilizar PCM diferencial en lugar de PCM normal.

- **EQUIPO A UTILIZAR:**

- ✓ Módulo T20B.
- ✓ Fuente de alimentación de ± 12 Vcc.
- ✓ Osciloscopio.
- ✓ Cables.

- **DESARROLLO:**

Ejercicio 1:**Codificador PCM diferencial.**

1. En la sección TIMING & GENERATORS del módulo PCM (T20B), seleccionar una frecuencia de muestreo (Sampling) de 8 KHz.
2. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
3. Por medio del osciloscopio obtener del generador de rampas (TP39) en la misma sección del módulo, una señal diente de sierra de 2 Vpp de amplitud y aplicarla a la entrada del codificador PCM diferencial (TP19).
4. Conectar el canal 1 del osciloscopio a la entrada del codificador PCM diferencial (TP19) y con el canal 2 monitorear los siguientes puntos:
 - a) Señal reconstruida con base en el valor muestreado anterior (TP20).
 - b) Señal diferencial entre el valor actual y el valor reconstruido en base a la muestra anterior (TP21).
 - c) Señal diferencial muestreada a enviarse al convertidor A/D (TP23).
 - d) Salida del convertidor de digital a analógico (D/A) (TP24)
 - e) Señal muestreada, enviada al integrador de reconstrucción sucesiva (TP25).

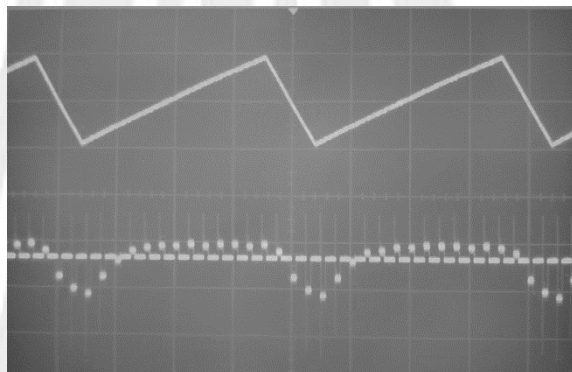


Figura 5.1 Comparación entre TP19 y TP25.

5. Anotar en la hoja de observaciones y resultados sus deducciones en base a las formas de onda analizadas.
6. Analizar con el osciloscopio los puntos siguientes:
 - a) Señal de entrada (Signal In) (TP19).
 - b) Impulso de sincronismo de trama (Frame Ck) (TP22).
 - c) Reloj de bit (Bit Ck) (TP26).
 - d) Salida PCM diferencial (DPCM) (TP27).
7. Anotar en la hoja de observaciones y resultados sus deducciones en base a las formas de onda analizadas.

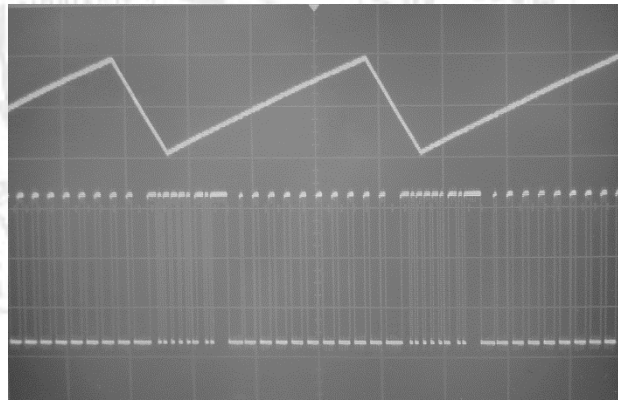


Figura 5.2 Comparación entre TP19 y TP27.

Ejercicio 2:

Decodificador PCM diferencial.

1. En la sección TIMING & GENERATORS del módulo PCM (T20B), seleccionar una frecuencia de muestreo (Sampling) de 8 KHz.
2. Conectar la salida del modulador PCM diferencial (DPCM Out) (TP27) con la entrada del demodulador PCM diferencial (DPCM In) (TP28) y la salida de este (Signal Out) (TP35) con la entrada del filtro de recepción en la sección RX FILTER (TP36).
3. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.

4. Por medio del osciloscopio obtener del generador de diente de sierra (TP39) en la sección TIMING & GENERATORS, una señal diente de sierra de 2 Vpp de amplitud y aplicarla a la entrada del modulador PCM diferencial (TP19) (Figura 5.3).

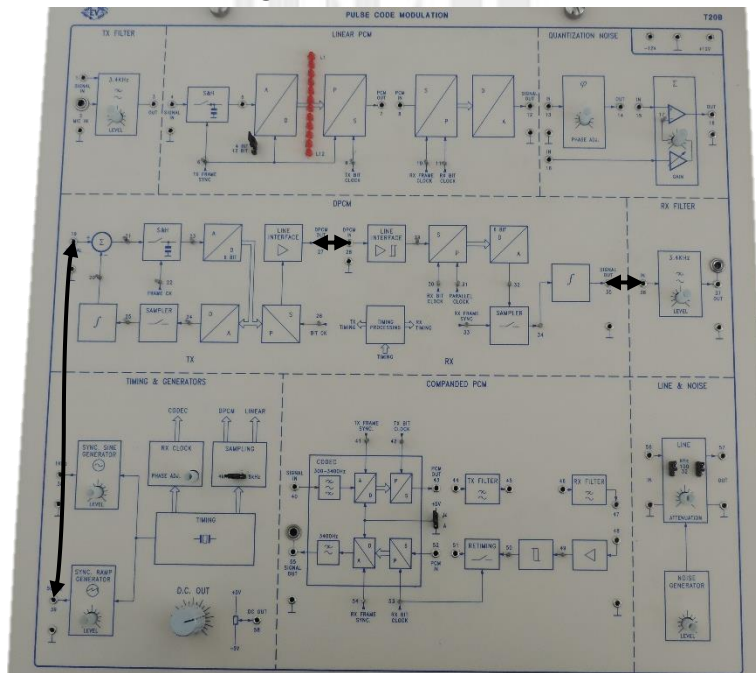


Figura 5.3 Diagrama de conexiones en el módulo T20-B.

5. Conectar el canal 1 del osciloscopio a la entrada del modulador PCM diferencial (TP19) y con el canal 2 monitorear los siguientes puntos:
 - a) Representación numérica de la señal PCM diferencial (TP30).
 - b) Señal diferencia en forma analógica (TP32).
 - c) Señal muestreada, enviada al integrador de reconstrucción sucesiva (TP34).
 - d) Salida del integrador correspondiente a la señal inicial reconstruida mediante integraciones sucesivas (Signal Out) (TP35).
 - e) Salida del filtro paso bajas a 3.4 KHz (Rx Filter) (TP37).

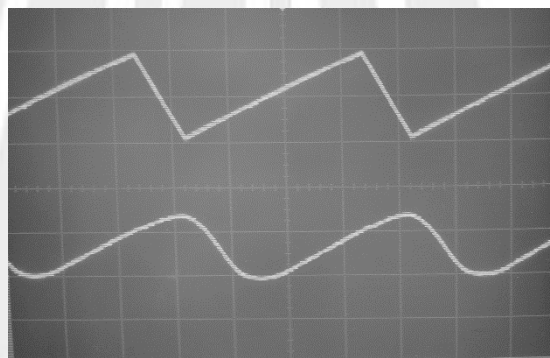


Figura 5.4 Comparación entre TP19 y TP37.

6. Anotar sus observaciones en la hoja de observaciones y resultados.

Ejercicio 3:

Transmisión de voz.

1. Conectar la entrada del modulador PCM diferencial (TP19) a la salida del filtro de transmisión (Tx Filter) (TP3).
2. Insertar la línea (100 KHz), conectando la salida del modulador PCM diferencial (DPCM Out) (TP27) a la entrada de la línea (TP56). Conectar la salida de la línea (TP57) a la entrada del demodulador PCM diferencial (DPCM In) (TP28).
3. Conectar la salida del demodulador PCM diferencial (Signal Out) (TP35) a la entrada del filtro de recepción (Rx Filter) (TP36).
4. Conectar el micrófono a la entrada del filtro de transmisión (Mic In) (TP2) y el auricular a la salida del filtro de recepción (TP37).
5. Escuchar la señal recibida al variar el nivel del ruido y la atenuación de la línea.

• CUESTIONARIO:

1. Auxiliándose de un diagrama a bloques, explicar en qué consiste un sistema DPCM.
2. Explicar cuáles son las ventajas de la DPCM con respecto a la PCM normal.
3. Investigar qué factores se deben tomar en cuenta en un análisis detallado de sistemas PCM.

Referencia: Elettronica Veneta. Modulación PCM. Módulo T20B/EV. Motta di Livenza.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 6
MODULACIÓN DELTA LINEAL

- **OBJETIVO GENERAL:**

Analizar y comprender el comportamiento de la modulación delta lineal en un sistema de comunicaciones.

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Analizar las características de la modulación delta lineal.
- b) Comprobar las diferencias de la modulación Delta Lineal con respecto a la PCM.
- c) Verificar los conceptos teóricos de la técnica de modulación digital delta lineal.

- **INTRODUCCIÓN:**

La modulación delta (DM) es un caso especial de la modulación por codificación de pulso diferencial (DPCM) cuando se tienen dos niveles de cuantización, o sea, que es una técnica que permite codificar una señal analógica en cifras binarias (bits), mediante las operaciones de muestreo y codificación. La modulación delta (DM) presenta los inconvenientes de los ruidos de cuantificación y de sobrecarga de pendiente, ya que la disminución de uno de ellos implica generalmente el aumento del otro y viceversa.

Un generador de impulsos suministra al modulador un tren de impulsos $P_i(t)$. En la otra entrada el modulador recibe también la señal $\Delta(t)$. La salida $P_o(t)$ del modulador no es otra cosa que el

tren de impulsos de entrada $P_i(t)$ multiplicado por $+1$ o -1 , en función del signo (no de la amplitud) de $\Delta(t)$. Si $\Delta(t)$ es positiva cuando llega el impulso $P_i(t)$, entonces la multiplicación es por $+1$; mientras que si $\Delta(t)$ es negativa, la multiplicación será por -1 .

La señal impulsiva $P_o(t)$ se aplica a un integrador en cuya salida encontramos $\hat{s}(t)$. Como se observa a en la figura 6.1, la señal escalonada $\hat{s}(t)$ es una aproximación de la señal analógica de entrada $s(t)$.

Las señales $s(t)$ y $\hat{s}(t)$ son comparadas por un circuito comparador, cuya salida será positiva [$\Delta(t) > 0$ si $\hat{s}(t) > s(t)$] o negativa [$\Delta(t) < 0$ si $\hat{s}(t) < s(t)$].

Por lo tanto, ahora está claro el significado físico de $\Delta(t)$ como diferencia (en signo y no en amplitud) entre la señal a codificar $s(t)$ y la señal que se aproxima $\hat{s}(t)$.

En este punto ya se puede observar una diferencia fundamental entre la PCM y la DM. En la DM no se transmite una codificación binaria de la señal $s(t)$ (como ocurre en PCM), sino una codificación binaria (de un solo bit) de la diferencia $\Delta(t)$ entre $s(t)$ y una señal que se aproxima $\hat{s}(t)$.

Por lo tanto, la DM está representada por una serie de ceros y unos lógicos que codifican la derivada de una señal analógica: un "cero" indica una disminución de la señal, mientras que un "uno" se asocia a un aumento.

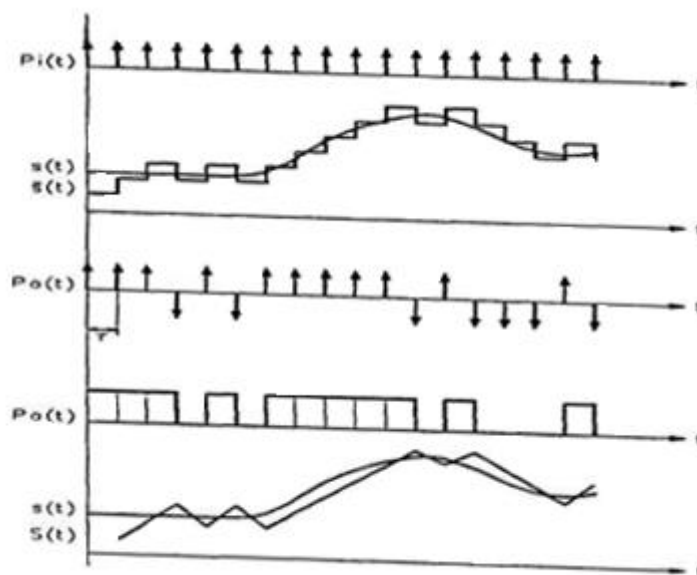


Figura 6.1 Formas de onda.

- **TRABAJO DE CASA:**

- a) Mediante un diagrama a bloques, explicar el funcionamiento de un sistema de comunicaciones que emplee modulación delta lineal.
- b) Explicar cuál es el comportamiento de una señal modulada con delta lineal con respecto a una señal modula con PCM diferencial.
- c) Indicar en qué casos se prefiere la utilización de la modulación delta lineal.
- d) Explicar en qué consiste la sobrecarga de pendiente.

- **EQUIPO A UTILIZAR:**

- ✓ Módulo T20C.
- ✓ Fuente de alimentación de ± 12 Vcc.
- ✓ Osciloscopio.
- ✓ Cables.

- **DESARROLLO:**

Ejercicio 1:

Modulación delta lineal.

1. Conectar la salida del filtro pasa bajas (Analog Out) (TP4) a la entrada del modulador delta (Analog In) (TP5). Conectar la salida del divisor de frecuencia (Frequency Divider) (TP2) con la entrada del filtro paso bajas (Low Pass Filter) (TP3).
2. Ajustar el conmutador SW1 en modo LINEAR.
3. Posicionar el control de tamaño de escalón RV3 al máximo, el de ganancia RV4 en la penúltima muesca (casi al máximo) y el de la frecuencia de reloj RV1 en 32 KHz.

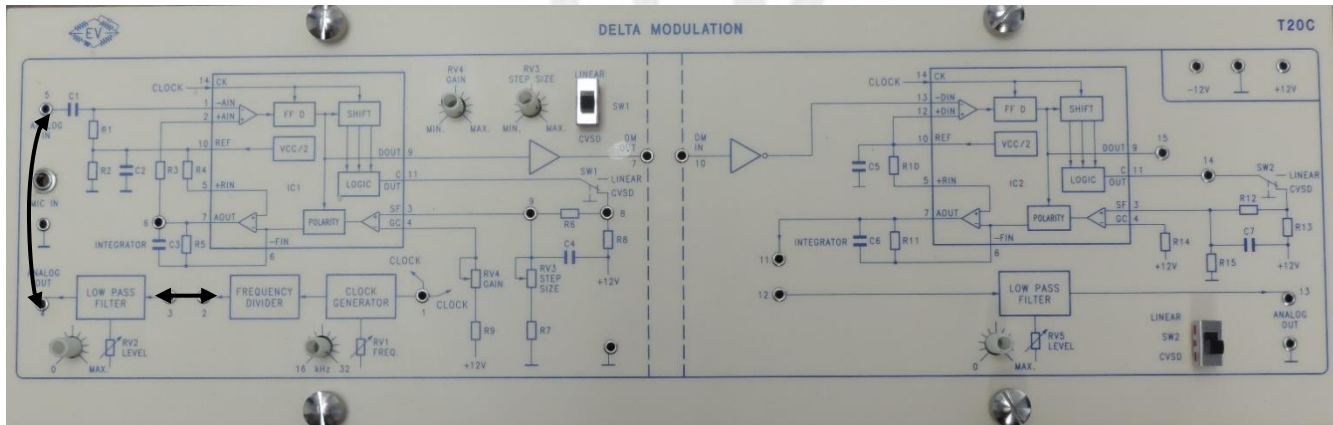


Figura 6.2 Diagrama de conexiones modulación delta lineal.

4. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
5. Conectar el canal 1 del osciloscopio a la entrada de modulador delta (Analog In) (TP5) y ajustar el nivel de salida del filtro paso bajas RV2, de modo que se obtenga una señal de unos 150 mVpp aproximadamente.
6. Conectar el otro canal del osciloscopio a la salida del integrador del modulador delta (TP6). De ser necesario, ajustar RV2 hasta lograr una señal similar a la figura 6.3.

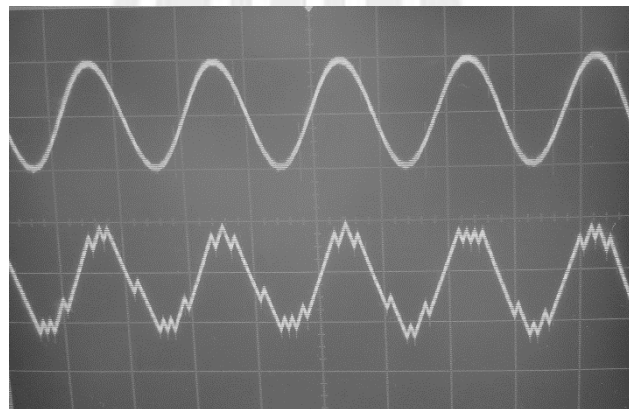


Figura 6.3 Comparación entre TP5 y TP6.

7. Tomar nota en la hoja de observaciones y resultados lo observado y explicar al respecto.
8. Analizar en el osciloscopio la salida del integrador (TP6) con la salida del modulador delta (TP7), compararla con la figura 6.4 y tomar nota de lo ocurrido en la hoja de observaciones y resultados.

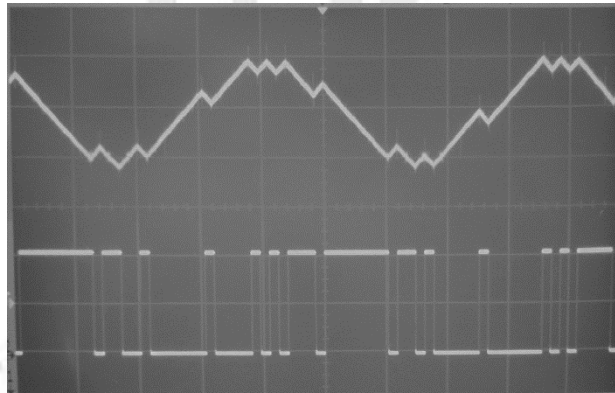


Figura 6.4 Comparación entre TP6 y TP7.

9. Regresar las conexiones del osciloscopio a las condiciones del punto 6.
10. Aumentar la amplitud de la señal de la entrada del modulador delta hasta unos 300 mVpp aproximadamente, comparar con la figura 6.5 y observar lo que ocurre con la señal en la salida del integrador.

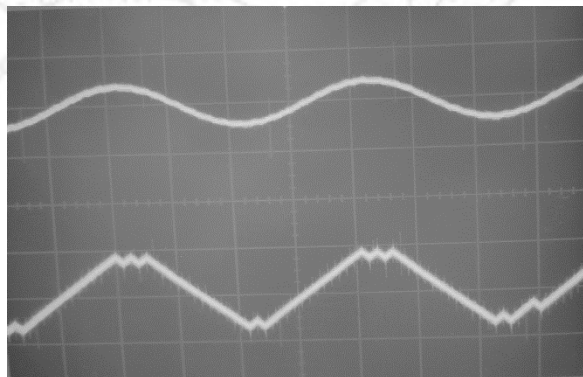


Figura 6.5 Comparación entre TP5 y TP6.

11. Nuevamente, aumentar hasta aproximadamente 600 mVpp la amplitud de la señal de la entrada del modulador delta, comparar con la figura 6.6 y explicar lo ocurrido.

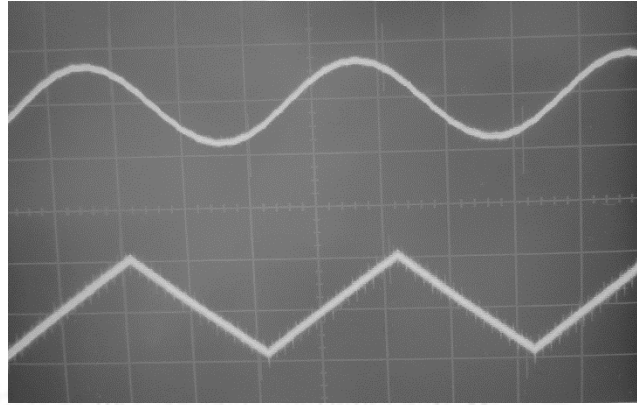


Figura 6.6 Comparación entre TP5 y TP6.

12. Poner al máximo el control de ganancia RV4 y tomar nota de lo ocurrido.
13. Ajustar RV2 a cero de manera que no se tenga señal a la entrada. Tomar nota en la hoja de observaciones y resultados de lo obtenido al monitorear la salida del modulador delta (TP7) y la del integrador (TP6), explicando al respecto.

Ejercicio 2:

Demodulación delta lineal.

1. Ajustar los conmutadores SW1 y SW2 en modo LINEAR.
2. Mantener las conexiones del punto 1 del ejercicio 1.
3. Conectar la salida del modulador (DM Out) (TP7) a la entrada del demodulador (DM In) (TP10).
4. Proporcionar alimentación de ± 12 V al módulo.
5. Ajustar el control de frecuencia de reloj RV1 en 32 KHz.

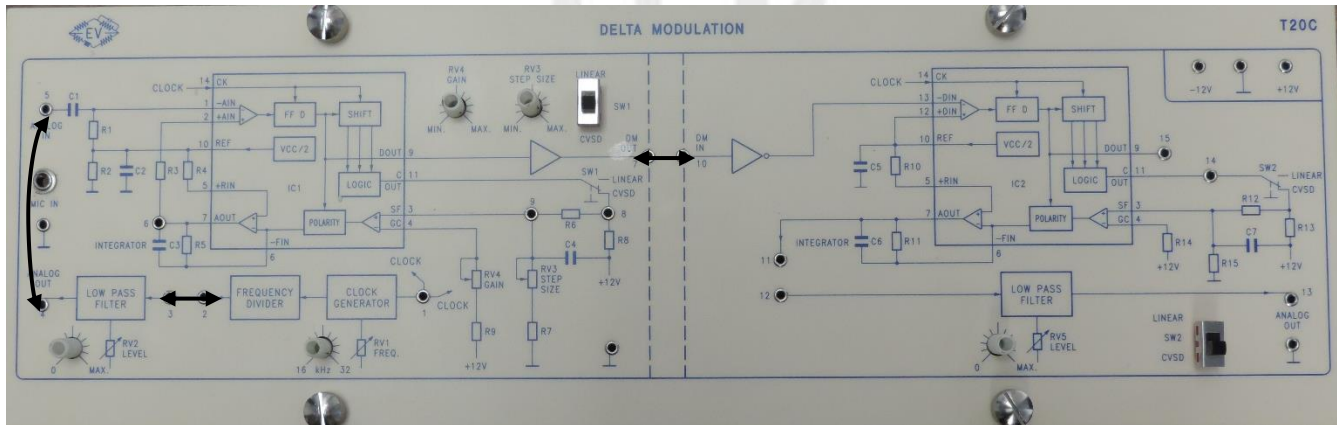


Figura 6.7 Diagrama de conexiones demodulación delta lineal.

6. Aplicar a la entrada analógica una onda senoidal de aproximadamente 400 mVpp de amplitud.
7. Ajustar el control de tamaño del escalón (Step Size) (RV3) y el de ganancia (Gain) (RV4) al mínimo.
8. Conectar el canal 1 del osciloscopio al integrador del modulador (TP6) y el canal 2 al integrador del demodulador (TP11).
9. Ajustar el control de ganancia (RV4) y el nivel de salida del filtro paso bajas RV2 de modo que se obtengan en el osciloscopio las formas de onda relativas a las señales reconstruidas (Figura 6.8).

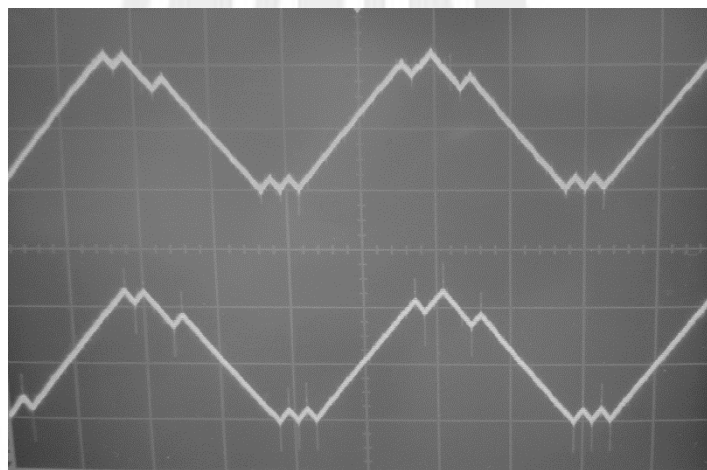


Figura 6.8 Comparación entre TP6 y TP11.

10. Indicar en la hoja de resultados y observaciones cuales son las diferencias que existen entre ellas.

• **CUESTIONARIO:**

1. Dibujar el diagrama a bloques de un modulador y un demodulador Delta Lineal.
2. Explicar en qué consiste el ruido de cuantificación.
3. Explicar en qué consiste el ruido de sobrecarga de pendiente.
4. Explicar por qué se necesita usar una mayor frecuencia de muestreo para la modulación Delta Lineal que para la PCM.

Referencia: Elettronica Veneta. Modulación delta lineal y adaptiva. Módulo T20C/EV. Motta di Livenza.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 7
MODULACIÓN DELTA ADAPTIVA

- **OBJETIVO GENERAL:**

Comprender el funcionamiento de la técnica de modulación digital Delta Adaptativa dentro de un sistema de comunicaciones.

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Analizar y entender las características de la modulación Delta Adaptativa.
- b) Verificar la calidad de la transmisión de la señal de voz al variar el tipo de modulación Delta.

- **INTRODUCCIÓN:**

La modulación Delta Adaptativa es una técnica de modulación digital que resuelve los inconvenientes de la modulación Delta Lineal, ya que mediante esta es posible disminuir el ruido de sobrecarga de pendiente sin empeorar el ruido de cuantificación.

Lo anterior se logra utilizando el método de "*compansión*" (compresión/expansión), mediante el cual el modulador varía su ganancia en base a la amplitud de la señal analógica de entrada. De esta manera se podrá tener una pequeña amplitud de la rampa cuando la señal es baja y una amplitud mayor cuando la señal aumenta. Por lo tanto, la amplitud de la rampa se adapta a la amplitud de la señal, razón por la cual este tipo de modulación se denomina adaptativa. Un esquema difundido y eficaz para realizar la modulación Delta Adaptativa es conocido como CVSD (Continuously Variable Slope Deltamod), implementado en distintos circuitos integrados presentes en el mercado. En la figura 7.1 se muestra un diagrama de bloques genérico de un modulador y demodulador realizado con CVSD.

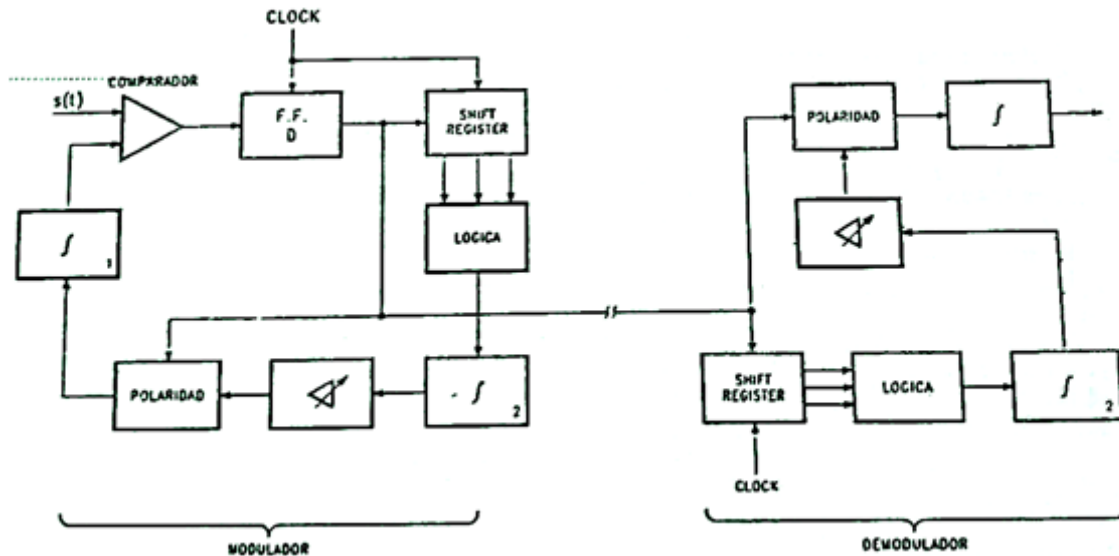


Figura 7.1 Sistema de comunicación realizado con CVSD

La tensión de control no es otra cosa que la señal digital suministrada por el modulador, integrado con una constante de tiempo mayor (integrador 2) que la del integrador principal (integrador 1); lo anterior porque la tensión de control obtenida de esta manera tiene que poder seguir en promedio variaciones más lentas en el tiempo.

La señal digital saliente del flip-flop D, que constituye el resultado de la modulación, se aplica también a un registro de desplazamiento de 3 bits. El algoritmo utilizado realiza un control de los 3 últimos bits suministrados por el modulador y verifica si se generaron tres "0" o tres "1" seguidos. Esta condición se denomina coincidencia. Cuando la misma se verifica, significa que la ganancia del integrador 1 es demasiado baja. La salida del detector de coincidencia (marcado como lógica en la figura 7.1) es integrada por el integrador 2.

La tensión de salida del integrador 2 controla la ganancia del integrador 1 a través de un circuito que le suministra al integrador también el signo del bit ("0" o "1"), suministrado en ese instante por el modulador.

Con esta técnica se obtiene una medida del nivel promedio de la señal de entrada y en base al nivel promedio se varía la ganancia del integrador. De esta manera, para señales débiles la rampa tendrá una altura reducida (implicando un ruido de cuantificación reducido) y para señales fuertes una altura mayor, implicando una sobrecarga de pendiente reducida.

• **TRABAJO DE CASA:**

- a) Investigar cuál es la mejora principal que introduce la función adaptativa a un modulador delta.
- b) Realizar los ajustes necesarios al diagrama a bloques del trabajo previo de la práctica anterior con el fin de que funcione como modulador delta adaptativo.
- c) Explicar cuáles son las similitudes y/o diferencias de una señal modulada en delta lineal con respecto a una señal modulada con delta adaptativa.
- d) Indicar en qué casos es recomendable la utilización de la modulación delta adaptativa.

• **EQUIPO A UTILIZAR:**

- ✓ Módulo T20C.
- ✓ Fuente de alimentación de ± 12 Vcc.
- ✓ Osciloscopio.
- ✓ Cables.

• **DESARROLLO:**

Ejercicio 1:

Modulación delta adaptativa.

1. Conectar la salida del filtro pasa bajas (ANALOG OUT) (TP4) a la entrada del modulador delta (ANALOG IN) (TP5) y conectar TP2 con TP3 (Figura 7.2).

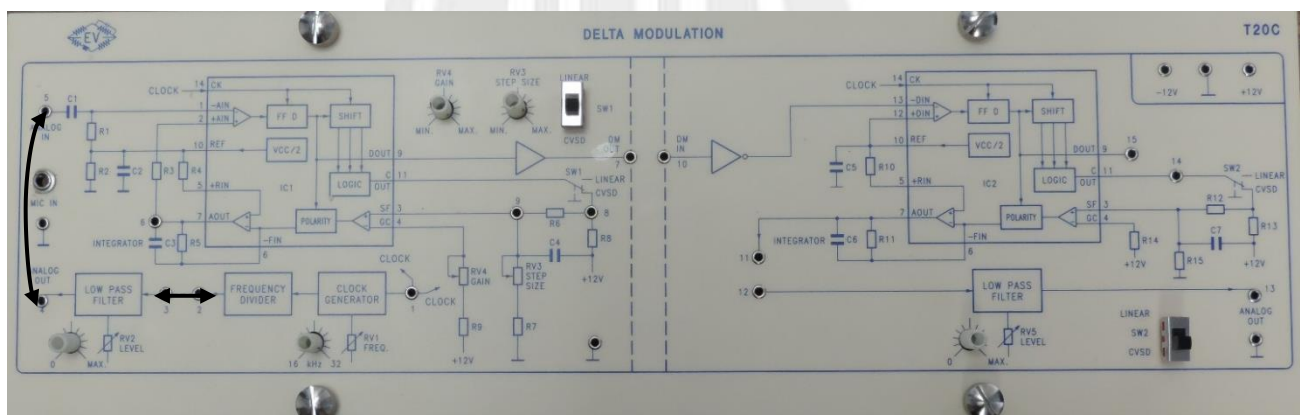


Figura 7.2 Diagrama de conexiones modulación delta adaptativa.

2. Ajustar el conmutador SW1 en modo CVSD.
3. Ajustar el control de tamaño de escalón (Step Size) (RV3), el de ganancia (Gain) (RV4) al máximo y el de la frecuencia de reloj (RV1) en 32 KHz.
4. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
5. Conectar el osciloscopio a la entrada del modulador delta (TP5) y ajustar el nivel de salida del filtro pasa bajas (RV2) de modo que se obtenga una señal de unos 500 mVpp aproximadamente.
6. Conectar el otro canal del osciloscopio a la salida del integrador del modulador delta (TP6).
7. Anotar en la hoja de observaciones y resultados lo que sucede al ajustar el conmutador SW1 en LINEAR.
8. Regresar el conmutador a CVSD.
9. Aumentar la amplitud de la señal hasta 1 Vpp y verificar el aumento de la amplitud del escalón. Explicar a qué se debe lo anterior.
10. Monitorear con el osciloscopio por un lado la salida del modulador (DM Out) (TP7) y por otro el punto TP8 (Figura 7.3). En este último se debe observar la presencia de impulso negativo cada vez que la salida del modulador se mantiene alta o baja por lo menos durante tres bits. Estos impulsos son integrados por el filtro silábico y la tensión continua obtenida varía la ganancia del integrador y por consiguiente la pendiente de la rampa.

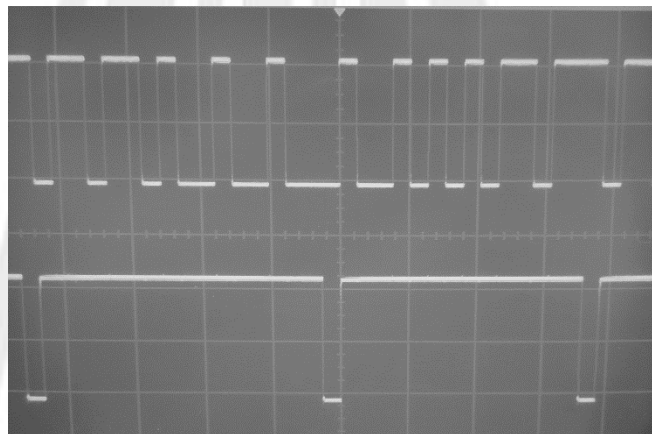


Figura 7.3 Comparación entre TP7 y TP8.

11. Ajustar RV2 a cero de manera que no se tenga señal a la entrada. Tomar nota en la hoja de observaciones y resultados de lo observado al monitorear la salida del modulador delta (DM Out) (TP7) y la del integrador del modulador (TP6). Proporcionar una explicación al respecto.

Ejercicio 2:

Demodulación delta adaptativa.

1. Ajustar los conmutadores SW1 y SW2 en modo CVSD.
2. Mantener las conexiones del punto 1 del ejercicio 1.
3. Conectar la salida del modulador (DM Out) (TP7) a la entrada del demodulador (DM In) (TP10).
4. Suministrar alimentación de ± 12 V al módulo.

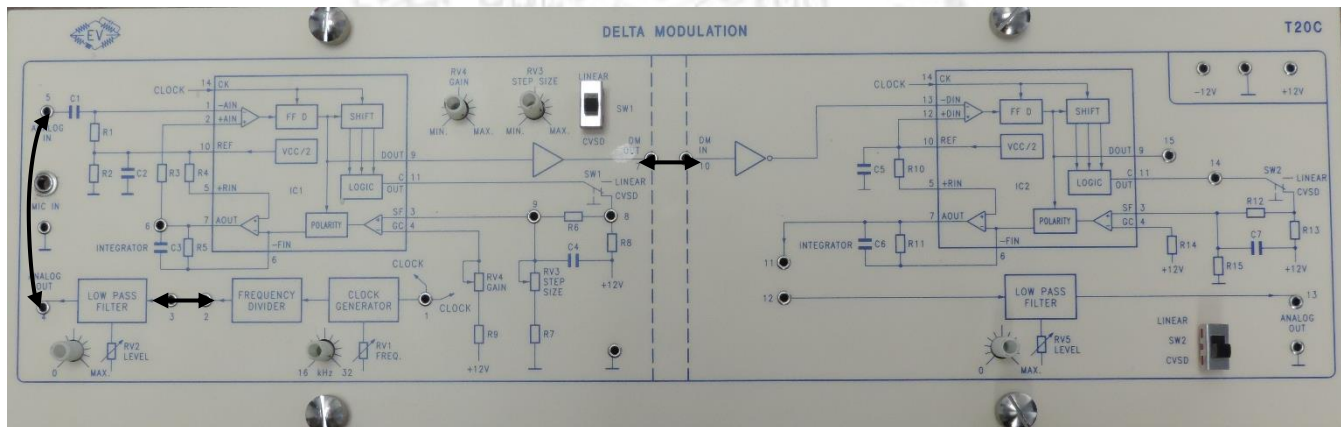


Figura 7.4 Diagrama de conexiones demodulación delta adaptativa.

5. Ajustar el control de frecuencia de reloj RV1 en 32 KHz.
6. Aplicar a la entrada analógica una onda senoidal de 1 Vpp de amplitud.
7. Ajustar el control de tamaño del escalón (Step Size) (RV3) y el de ganancia (Gain) (RV4) al mínimo.

- Conectar el canal 1 del osciloscopio al integrador del modulador (TP6) y el canal 2 al integrador del demodulador (TP11). Ajustar el control de ganancia de modo que se obtengan en el osciloscopio las formas de onda relativas a las señales reconstruidas (Figura 7.5). Indicar cuales son las diferencias que existen entre ellas.

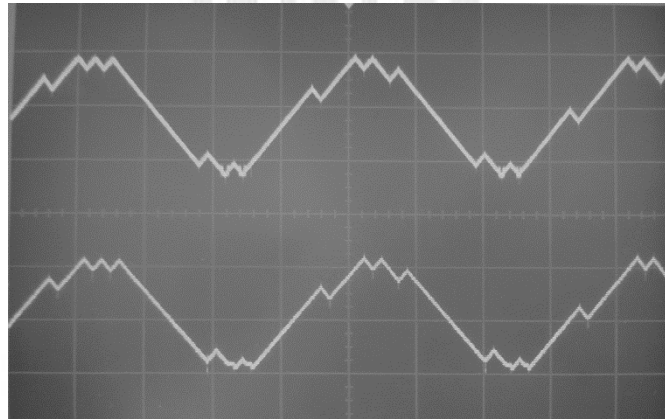


Figura 7.5 Comparación entre TP6 y TP11.

- Conectar el canal 1 del osciloscopio a TP8 y el canal 2 a TP14. Observar que los impulsos son los mismos (el del demodulador esta retardado de un periodo de reloj respecto al del modulador).
- Monitorear con el osciloscopio por un lado la entrada del demodulador (TP10) y por otro el punto TP14. Ajustar el control de tamaño del escalón (Step Size) (RV3) y el de ganancia (Gain) (RV4) al máximo (Figura 7.6). En este último punto se debe observar la presencia de un impulso para cada grupo de tres bits consecutivos a nivel alto o a nivel bajo en la señal delta que entra al demodulador.

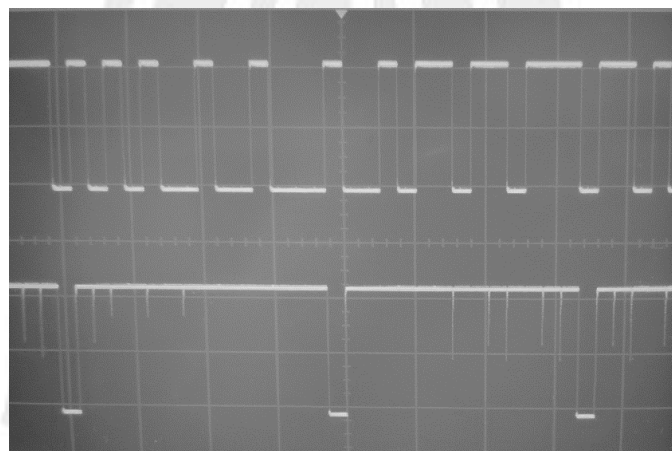


Figura 7.6 Comparación entre TP10 y TP14.

Ejercicio 3:

Filtrado de la señal reconstruida.

1. Mantener el circuito como en el ejercicio anterior.
2. Conectar la salida del integrador del demodulador (TP11) a la entrada del filtro paso bajas de salida (TP12).
3. Ajustar el nivel del filtro con RV5 al máximo.
4. Monitorear en el osciloscopio la entrada (TP12) y la salida del filtro (TP13).
5. Analizar las formas de onda obtenidas y anotar sus observaciones en la hoja de observaciones y resultados.
6. Conectar el canal 1 del osciloscopio a la entrada del modulador (TP5) y el canal 2 a la salida del filtro paso bajas del demodulador (TP13). Ajustar el nivel del filtro con RV5 de modo que se obtenga la misma amplitud en ambas señales. Comparar ambas señales.

• CUESTIONARIO:

1. Explicar cuáles son las ventajas de la modulación Delta Adaptativa con respecto a la modulación Delta Lineal.
2. Explicar cuáles son las desventajas de la modulación Delta Adaptativa con respecto a la modulación Delta Lineal.

Referencia: Elettronica Veneta. Modulación delta lineal y adaptiva. Módulo T20C/EV. Motta di Livenza.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 8
MULTIPLEXOR PAM DE 4 CANALES

- **OBJETIVO GENERAL:**

Comprender el funcionamiento de un multiplexor PAM de cuatro canales dentro de un sistema de comunicaciones.

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Analizar el funcionamiento de un modulador PAM.
- b) Analizar el funcionamiento del transmisor y receptor PAM de cuatro canales.
- c) Analizar las forma de onda de las señales.

- **INTRODUCCIÓN:**

En sistemas de telemetría TDM/PAM antiguos se usaba una forma de interruptor rotativo denominado conmutador. Muchos segmentos de conmutación se unían a las diversas señales de entrada al tiempo que una escobilla que giraba a alta velocidad movida por un motor de CD muestreaba con rapidez las señales a su paso sobre los contactos. En la actualidad los conmutadores se han remplazado por circuitos electrónicos.

El *teorema de muestreo* nos dice que una señal $s(t)$ se puede convertir en una serie de impulsos, tomando los valores instantáneos de amplitud a intervalos constantes equivalentes a $T=1/(2f_M)$, siendo f_M la máxima frecuencia de la señal $s(t)$ (Figura 8.1).

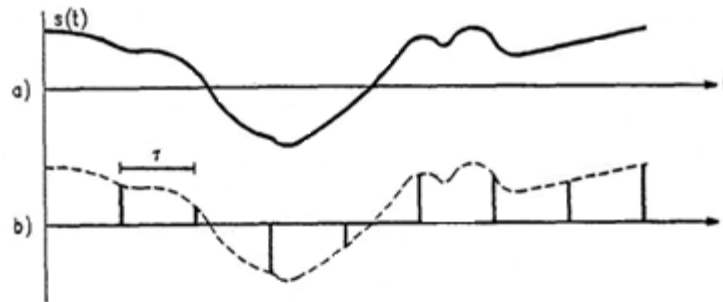


Figura 8.1 a) Señal analógica. b) Señal muestreada.

Utilizando los valores muestreados en lugar de la señal $s(t)$ se tienen disponibles amplios espacios libres en el eje de los tiempos, los cuales pueden llenarse con muestras procedentes de otras señales. Este proceso se conoce como *Multiplexación por División de Tiempo* (TDM) de señales PAM (Figura 8.2).

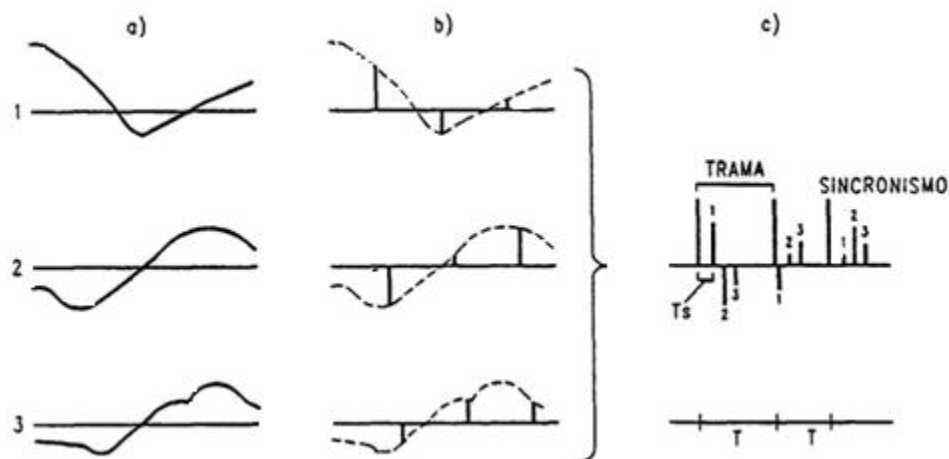


Figura 8.2 a) Señales analógicas b) Señales PAM c) Multiplicación por División en el Tiempo (TDM/PAM)

Para poder separar en el receptor los distintos paquetes de bits de manera correcta, intercalada a los paquetes PCM se debe transmitir también una secuencia de sincronismo (sincronismo de trama). Por lo tanto, en el interior del intervalo de separación entre muestras T , se localizarán los paquetes de bits procedentes de las N señales, más la secuencia de sincronismo.

El conjunto constituido por el sincronismo y los bits PCM se denomina *Trama*. La trama tiene una duración equivalente al intervalo de muestreo T y el tiempo T_s asignado a cada muestra en el interior de la trama será inversamente proporcional al número de los canales a transmitir. T_s es comúnmente denominado *Time Slot* (ranura de tiempo).

En el caso de la transmisión de TDM de N señales telefónicas PCM, en donde la secuencia de sincronismo ocupa el espacio reservado a un número s de canales PCM. Se tienen los siguientes valores:

$f_M = 4 \text{ KHz}$ Frecuencia máxima del canal telefónico (banda total).

$T = \frac{1}{(2 * f_M)} = 125 \mu\text{s}$ Intervalo de muestreo (duración de la trama).

$T_s = \frac{T}{(N+s)}$ Intervalo de tiempo asignado a cada canal (Time Slot).

$T_b = \frac{T_s}{m}$ Intervalo de tiempo asignado a cada bit (Bit Time).

$F_c = \frac{m}{T}$ Velocidad de transmisión PCM.

$F_b = \frac{1}{T_b}$ Velocidad de transmisión del flujo TDM/PCM.

En el caso del sistema montado en el módulo T20F ($N=4$; $m=8$; $s=1$) se tienen los valores siguientes:

$T_s=25 \mu\text{s}$

$T_b=3.125 \mu\text{s}$

$F_c=64 \text{ kbits/s}$

$F_b=320 \text{ kbits/s}$

• **TRABAJO DE CASA:**

1. Investigar y explicar el funcionamiento de un multiplexor por división de tiempo.
2. Investigar y explicar qué es una trama.
3. Explicar qué es Ranura de Tiempo.
4. Explicar cómo se obtiene el sincronismo de trama.
5. Dibujar el diagrama a bloques de un sistema de comunicaciones de cuatro canales que use Multiplexaje por División de Tiempo PAM/TDM.

• **EQUIPO A UTILIZAR:**

- ✓ Módulo T20D.
- ✓ Módulo T20E.
- ✓ Fuente de alimentación de ± 12 Vcc.
- ✓ Osciloscopio.
- ✓ Cables.

• **DESARROLLO:**

Ejercicio 1:

Señales de temporización.

1. Realizar el enlace entre los módulos T20D y T20E mediante la interfaz de 26 pines.
2. Conectar las cuatro terminales de la sección SYNCHRONOUS GEN del módulo T20E a las entradas 1 a 4 de la sección TX del módulo T20D (Figura 8.3).

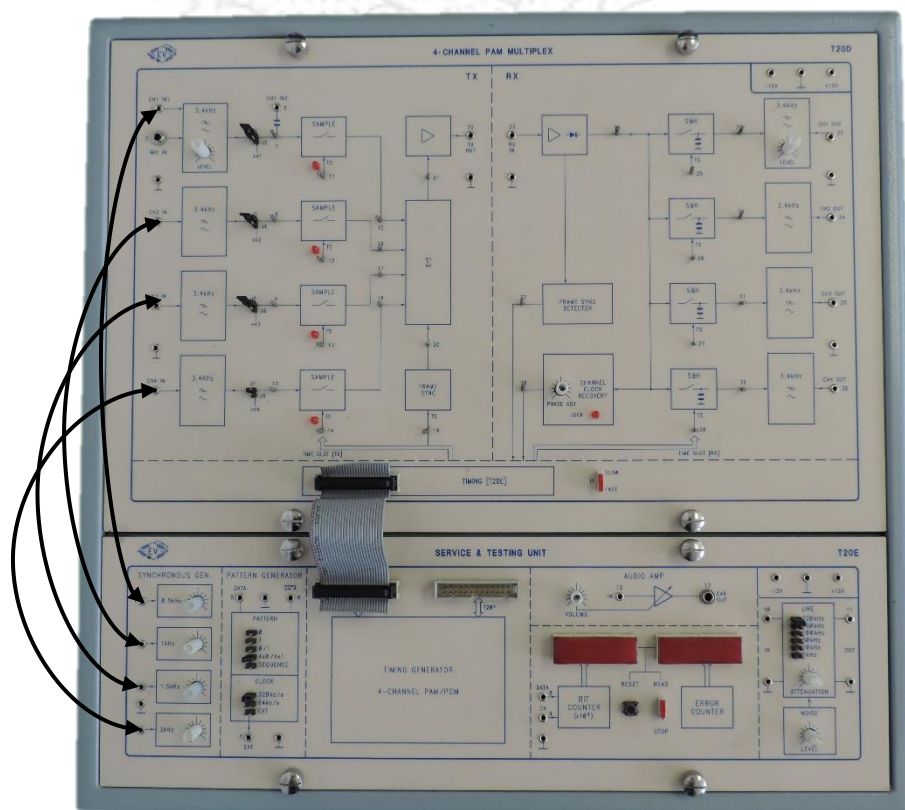


Figura 8.3 Diagrama de Conexiones entre el Módulo T20D y T20E.

3. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
4. Ajustar el conmutador del módulo T20D en modo FAST.
5. Analizar los impulsos de temporización para la inserción de sincronía en la trama, mantener en el canal 1 del osciloscopio el punto TP19 y monitorear con el canal 2 del osciloscopio los pulsos de muestreo relativos TP11/12/13/14 (Figura 8.4).

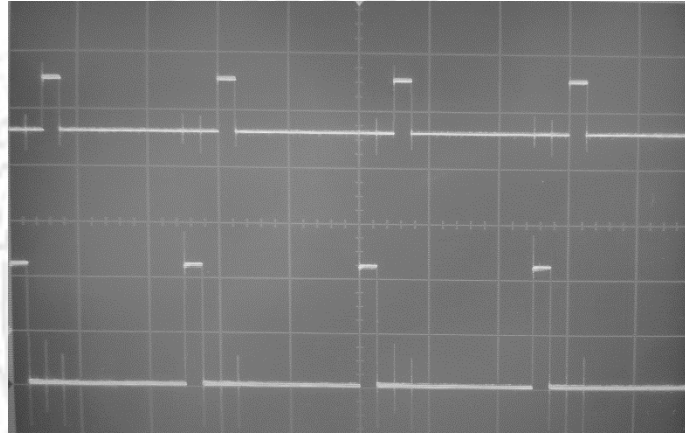


Figura 8.4 Comparación entre TP19 y TP14.

6. Medir el corrimiento de tiempo existente entre los trenes de pulsos de cada canal.
7. Mantener las condiciones anteriores.
8. Con la ayuda del osciloscopio ajustar a 1 Vpp la amplitud de los generadores senoidales síncronos de 0.5/1/1.5/2 KHz del módulo T20E.
9. Analizar en el módulo T20D las formas de onda relativas al canal 1:
 - a) Señal analógica de entrada (TP7).
 - b) Impulsos de muestreo (TP11).
 - c) Señal muestreada (TP15).
10. Tomar nota de lo observado en la hoja de observaciones y resultados.
11. Analizar las formas de onda relativas a los demás canales:
 - a) Canal 2: TP8, TP12 y TP16.
 - b) Canal 3: TP9, TP13 y TP17.
 - c) Canal 4: TP10, TP14 y TP18.

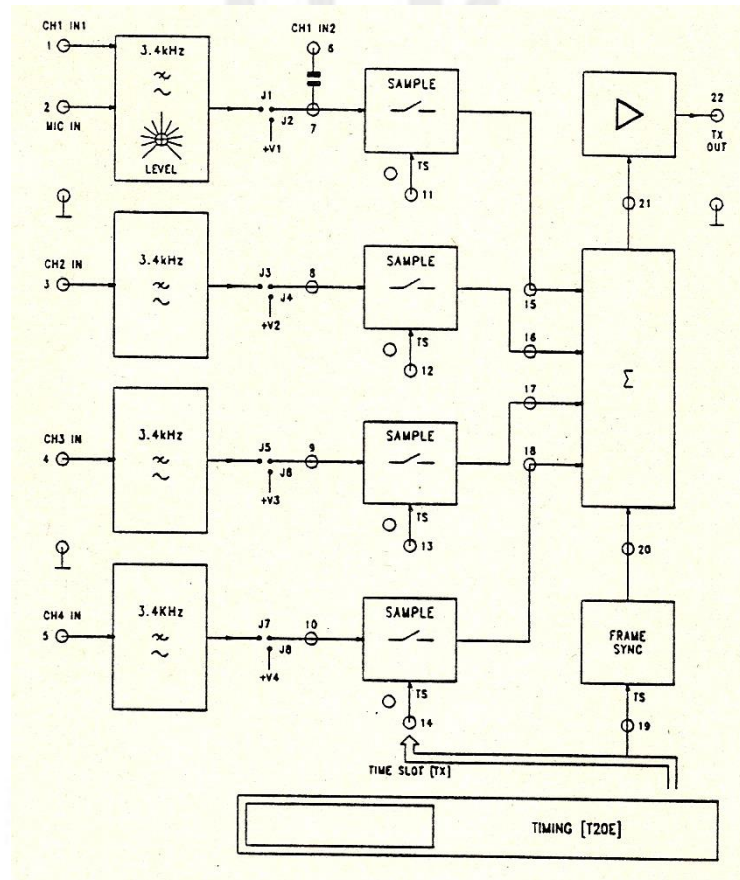


Figura 8.5 Diagrama a bloques del módulo T20-D.

Señal PAM/TDM

1. Mantener las conexiones anteriores y desconectar las señales sinusoidales de la entrada de los canales 2/3/4, de modo que se deje la señal únicamente en el canal 1.
2. Analizar las formas de onda de temporización para la inserción de sincronía (TP19) y señal PAM/PCM de salida (TP22) (Figura 8.6) y comentar lo observado.

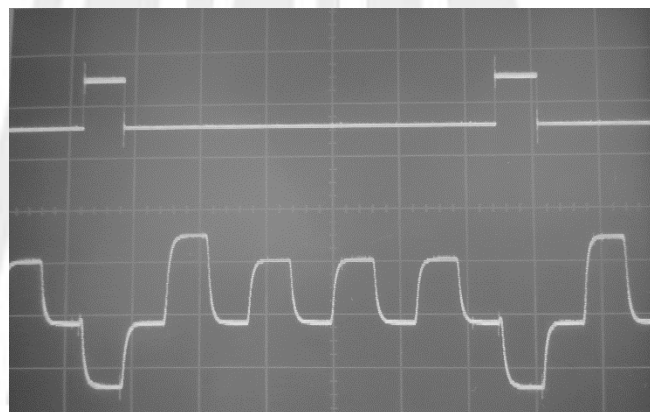


Figura 8.6 Comparación entre TP19 y TP22.

3. Aplicar las otras señales analógicas a los canales 2/3/4. Observar lo que ocurre. Tomar nota de la forma de onda final en la hoja de observaciones y resultados.

Ejercicio 2:

Receptor PAM de cuatro canales.

1. Realizar el enlace entre los módulos T20D y T20E mediante la interfaz de 26 pines.
2. Conectar las cuatro terminales de la sección SYNCHRONOUS GEN del módulo T20E a las entradas 1 a 4 de la sección TX del módulo T20D.
3. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
4. Posicionar el conmutador del módulo T20D en modo FAST.
5. Conectar la salida del transmisor del módulo T20D (TP22) a la entrada de la línea del módulo T20E (TP10) y la salida de esta (TP11) a la entrada del receptor del módulo T20D (TP23).

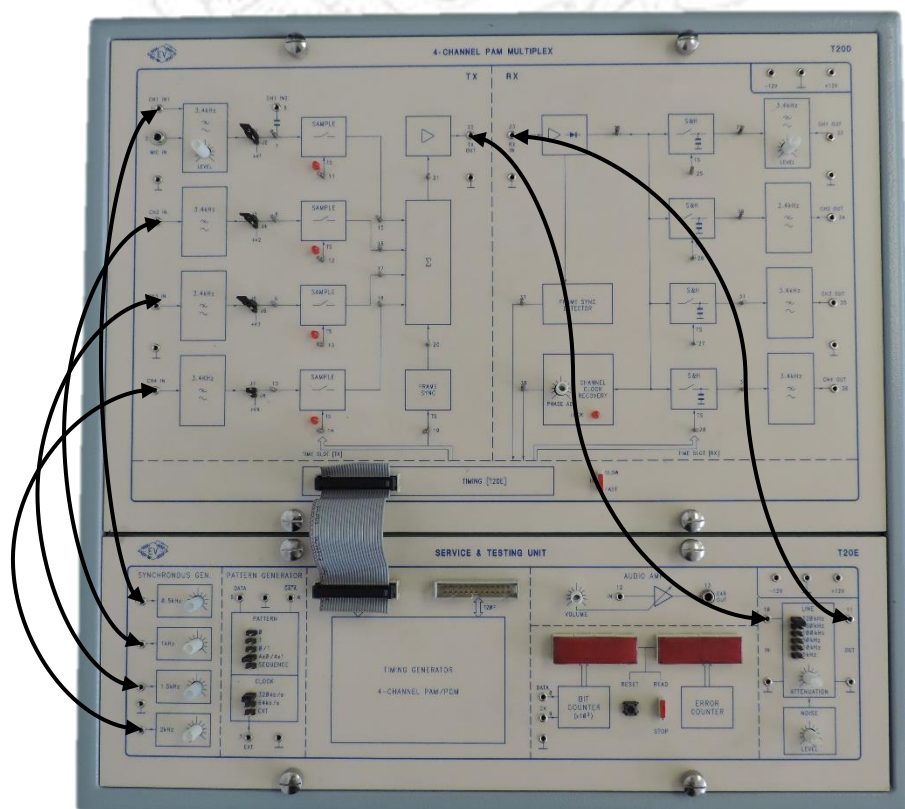


Figura 8.7 Diagrama de Conexiones entre el Módulo T20D y T20E.

6. Posicionar el control de atenuación de línea al mínimo y desconectar el puente que selecciona la banda de paso de la línea.
7. Analizar las formas de onda en la entrada y en la salida del amplificador/rectificador (TP23/24) (Figura 8.8).

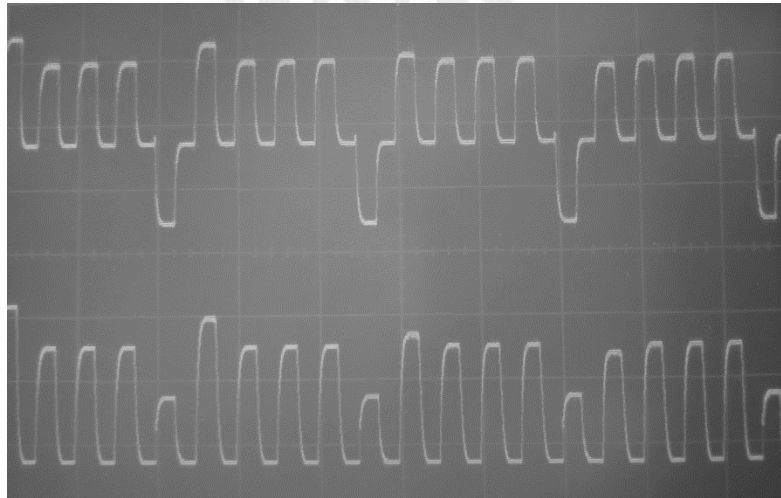


Figura 8.8 Comparación entre TP23 y TP24.

8. Observar los impulsos de sincronismo tomados de la señal TDM (TP37).
9. Ver la señal de reloj suministrada por el regenerador (TP38).
10. Analizar las señales de muestreo para los cuatro demoduladores (TP29/30/31/32) y anotar, en la hoja de observaciones y resultados, cuál es la relación de fase entre estas señales y la señal de reloj suministrada por el regenerador (TP38) (Figura 8.9).

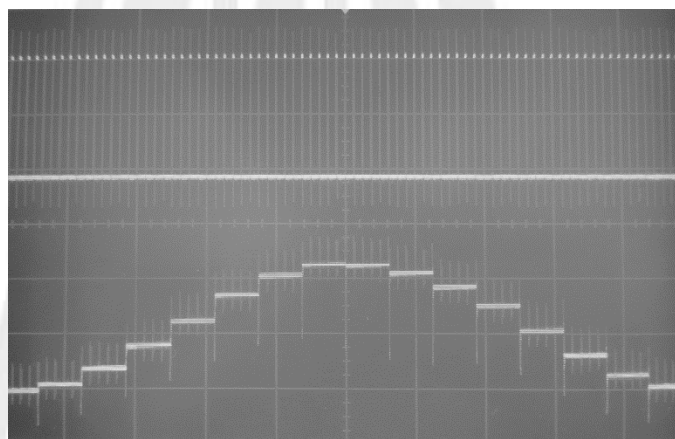


Figura 8.9 Comparación entre TP38 y TP29.

11. Mantener las condiciones del ejercicio anterior.

12. Observar las formas de onda de la señal PAM/TDM en la entrada de los demoduladores (TP24) y las señales en la salida de los demoduladores (TP33/34/35/36) (Figura 8.10).

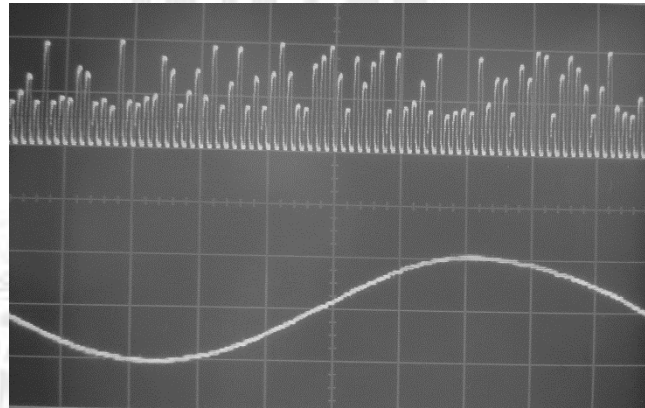


Figura 8.10 Comparación entre TP24 y TP33.

13. Girar PHASE ADJUST hasta obtener la máxima amplitud de la señal escalonada en la salida del demodulador, antes de ser filtrada (TP29). Hacer lo mismo con los 3 canales restantes (TP30/31/32).
14. Explica en la hoja de observaciones y resultados por qué el ajuste del punto anterior varía la amplitud de la señal demodulada.
15. Analizar las formas de onda de las señales en la salida de los filtros de recepción (TP33/34/35/36) y compararlas con las transmitidas originalmente (TP1/3/4/5), respectivamente, explicando que pasa (Figura 8.11).

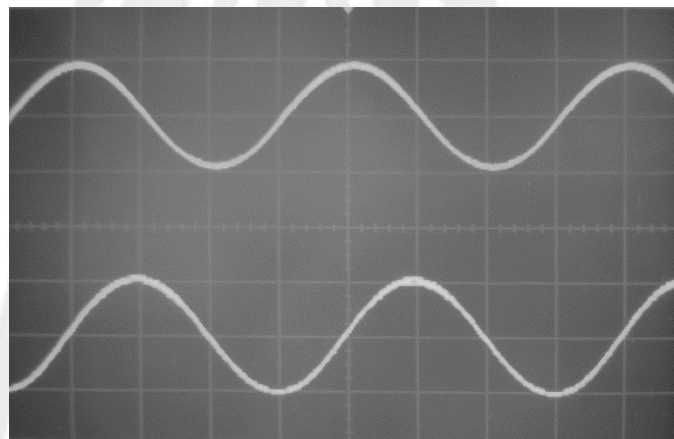


Figura 8.11 Comparación entre TP1 y TP33.

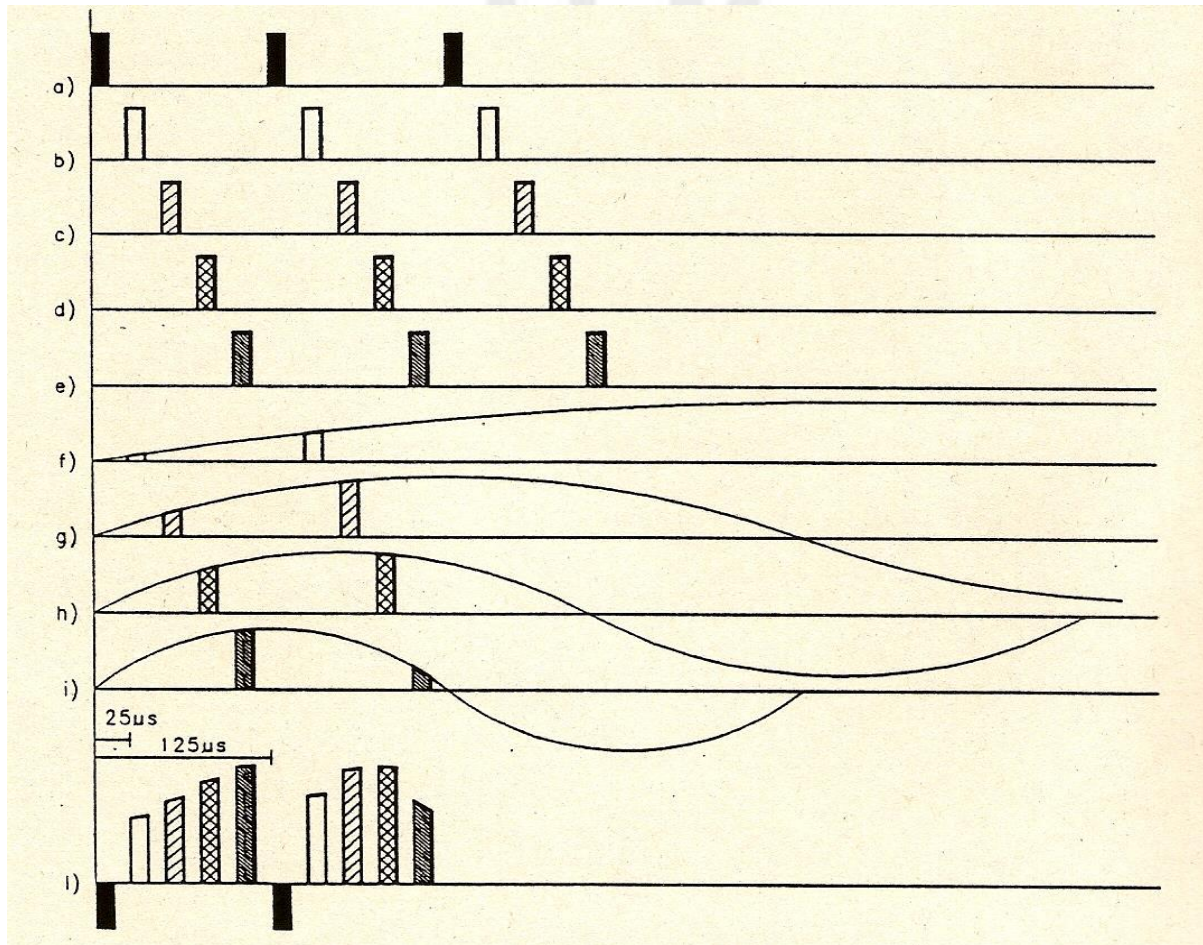


Figura 8.12 Formas de onda de la señal PAM/TDM

• **CUESTIONARIO:**

1. Investigar para qué tipo de sistemas de comunicación se usa principalmente la Multiplexación por División de Tiempo (TDM).
2. Explicar las ventajas de utilizar la Multiplexación por División de Tiempo (TDM).
3. Investigar y explicar cómo se forma una *supertrama*.

Referencia: *Elettronica Veneta*. Multiplex PAM de 4 canales. Módulo T20D-E/EV. Motta di Livenna.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 9
SISTEMA DE COMUNICACIÓN MULTIPLEX PAM EN
PRESENCIA DE RUIDO

- **OBJETIVO GENERAL:**

Analizar el comportamiento de un sistema de comunicaciones múltiplex PAM en presencia del ruido.

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Analizar el efecto de la línea y el ruido sobre la calidad de la conexión en un enlace múltiplex.
- b) Realización de una comunicación de audio.

- **INTRODUCCIÓN:**

Considerando un sistema de comunicaciones, en el cual se desea transmitir una señal PAM/TDM a través de una línea artificial (canal), en la cual es posible variar su longitud (atenuación) y el ancho de banda de paso, y usando un generador de ruido para añadir ruido a la señal, de modo que en la salida de dicha línea se obtenga la señal PAM/TDM afectada por ruido.

Ya que en una señal PAM la información está contenida en la amplitud de sus impulsos, cualquier disturbio solapado a los impulsos puede cambiar su amplitud original. Como resultado, la salida de los demoduladores PAM usados en el receptor del sistema, resultará distorsionada con respecto a la señal original de entrada al sistema.

Además del ruido, también el ancho de la banda de paso del canal de comunicación influye sobre la calidad de la señal recibida. Un ancho de banda insuficiente del canal de comunicación puede distorsionar los impulsos PAM, empeorando la relación señal/ruido en la entrada del receptor y disminuyendo por consiguiente la calidad de la señal recibida.

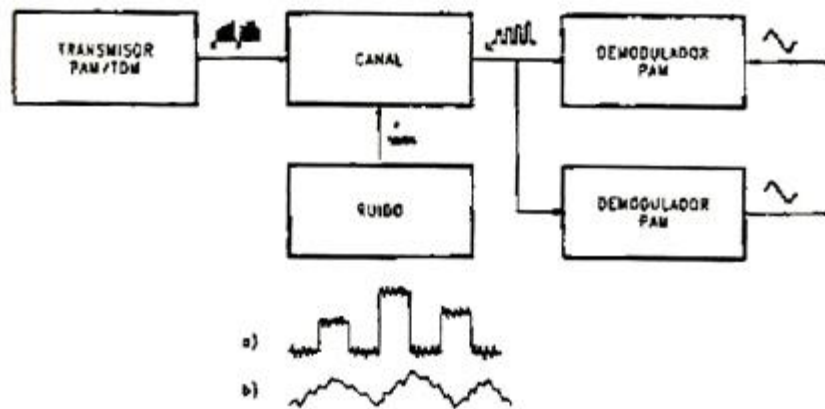


Figura 9.1 TDM en Presencia del Ruido.

• TRABAJO DE CASA:

- Investigar cuales son los principales factores que afectan una comunicación eléctrica y de qué manera lo hacen.
- Explicar de qué manera afecta el ancho de banda del canal de comunicación a la calidad de la señal recibida en un sistema de comunicaciones.
- Investigar y explicar que es el "Jitter" y que fenómeno se produce en la señal recibida.

• EQUIPO A UTILIZAR:

- ✓ Módulo T20D.
- ✓ Módulo T20E.
- ✓ Osciloscopio.
- ✓ Fuente de alimentación de ± 12 Vcc.
- ✓ Cables.

• **DESARROLLO :**

Ejercicio 1:

Efecto del ruido sobre la señal demodulada.

1. Realizar el enlace entre los módulos T20D y T20E mediante un cable plano de 26 pines.
2. Conectar las cuatro terminales de la sección SYNCHRONOUS GEN del módulo T20E a las entradas 1 a 4 de la sección TX del módulo T20D.
3. Suministrar la alimentación de ± 12 V a los dos módulos.
4. Posicionar el conmutador del módulo T20D en modo FAST.
5. Conectar la salida del transmisor del módulo (TP22) T20D a la entrada de la línea (TP10) del módulo T20E y la salida de esta (TP11) a la entrada del receptor (TP23) del módulo T20D.

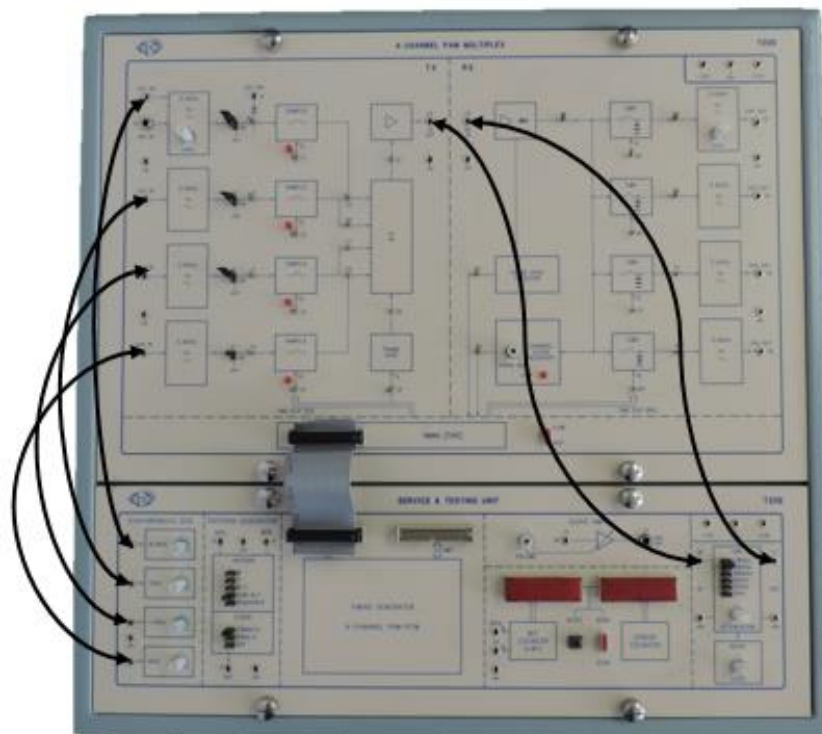


Figura 9.2 Diagrama de Conexiones entre el Módulo T20D y T20E.

6. Posicionar el control de atenuación de línea al mínimo y desconectar el puente que selecciona la banda de paso de la línea.

7. Aumentar gradualmente el ruido y analizar las formas de onda en la entrada y en la salida de la línea (TP22/23). Tomar nota en la hoja de observaciones y resultados lo ocurrido.
8. Analizar la forma de onda en la salida de los demoduladores (TP33/34/35/36) y observar como el ruido varía la amplitud de la señal de escalones (girar PHASE ADJUST para obtener la máxima amplitud de la señal).

Ejercicio 2:

Efecto del ruido sobre el regenerador de reloj.

1. Mantener las condiciones iniciales del ejercicio.
2. Analizar la forma de onda de la señal de reloj regenerada (TP38). Observar que al aumentar el ruido, aumenta también la fluctuación (Jitter) del reloj regenerado. Si se introduce atenuación en la línea, de manera que la relación señal a ruido empeore, se podrá apreciar más este efecto.
3. La pérdida del enganche del regenerador de reloj se señala también por la disminución de intensidad del led LOCK.
4. En base a lo observado, anotar en la hoja de observaciones y resultados cuáles son los efectos que producen la distorsión causada por ruido en las señales demoduladas.

Ejercicio 3:

Efecto de la banda del canal de comunicación.

1. Manteniendo las conexiones anteriores, analizar las formas de onda de la señal PAM/TDM antes y después de la línea (TP22 y TP23). Variar la banda de paso de la línea, observar lo que ocurre al disminuir la banda y tomar nota en la hoja de observaciones y resultados (Figura 9.3).

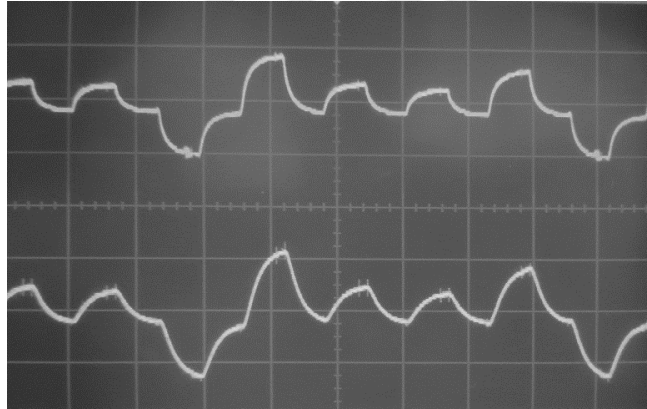


Figura 9.3 Señal antes y después de línea con banda en 50KHz.

2. Analizar las formas de onda en la salida de los filtros de recepción (TP33/34/35/36) y observar lo que ocurre variar la banda de paso de la línea. (Recordar que se debe regular PHASE ADJ para obtener la máxima amplitud).

Ejercicio 4:

Transmisión de la señal de voz.

1. Mantener las condiciones del ejercicio 1.
2. Utilizar la señal del micrófono como señal moduladora para el canal 1 y conectar el altavoz en la salida del mismo canal.
3. Escuchar la señal recibida al variar las condiciones siguientes:
 - a) fase de los impulsos de muestreo de recepción (PHASE ADJUST).
 - b) ruido.
 - c) banda de paso.
 - d) atenuación de la línea.

• CUESTIONARIO:

1. Investigar y explicar cómo se pueden reducir los efectos de la atenuación sobre la señal de información que se presentan en el canal dentro de un sistema de comunicaciones.
2. Investigar y explicar cuál es el proceso que se sigue para obtener una señal PCM/TDM.

Referencia: Elettronica Veneta. Multiplex PAM de 4 canales. Módulo T20D-E/EV. Motta di Livenza.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 10
COMUNICACIONES MULTIPLEX PCM CON CONFIGURACIÓN
DE LÍNEA AMI/HDB₃

- **OBJETIVO GENERAL:**

Analizar el comportamiento de un sistema múltiplex PCM con codificación de línea AMI/HDB₃.

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Describir el diagrama funcional de los circuitos generadores y receptores de la trama PCM/TDM.
- b) Analizar los aspectos característicos relativos a la formación del flujo PCM/TDM.
- c) Describir y analizar los aspectos funcionales de los codificadores y decodificadores AMI/HDB₃.
- d) Describir y analizar las funciones desarrolladas por el receptor de línea.

- **INTRODUCCIÓN:**

Los unos y los ceros binarios que describen una señal digital, como por ejemplo la señalización PCM, se tienen que convertir en niveles de voltaje o de corriente, representándolos en varios formatos de señalización de bits en serie llamados *códigos de línea*.

Existen dos categorías principales de éste tipo de códigos: *con retorno a cero (RZ)* y *sin retorno a cero (NRZ)*. En los primeros, la forma de onda retorna a un nivel de cero volts durante una porción (por lo general la mitad) del intervalo de bits. Las formas de onda para la codificación

de línea se pueden clasificar aún más de acuerdo con la regla utilizada para asignar niveles de voltaje que representen datos binarios.

Señalización unipolar. Aquí, el uno binario se representa con un nivel alto y el cero binario con un nivel cero.

Señalización polar. Los unos y los ceros binarios se representan por medio de niveles positivos y negativos iguales.

Señalización bipolar (seudoternaria). Los unos binarios se representan por medio de valores alternadamente negativos y positivos, mientras que el cero se representa con un nivel cero. El término *seudoternario* se refiere al uso de tres niveles de señales codificadas para representar datos de dos niveles (binarios). A este tipo de señalización también se le llama *señalización por inversión de marca alternada (AMI)*.

- **TRABAJO DE CASA:**

- a) Investigar y describir qué es un sistema TDM/PCM.
- b) Investigar las jerarquías normalizadas según el CCITT y BEL para el multiplexaje por división en el tiempo TDM.
- c) Investigar y explicar qué es codificación de línea.
- d) Investigar las características de los códigos AMI y HDB3.

- **EQUIPO A UTILIZAR:**

- ✓ Módulo TP20E.
- ✓ Módulo TP20F.
- ✓ Osciloscopio.
- ✓ Fuente de alimentación de ± 12 Vcc.
- ✓ Cables.

• **DESARROLLO:**

Ejercicio 1:

Palabra de sincronización e intervalos de tiempo.

1. Realizar el enlace entre los módulos T20E y T20F mediante un cable plano de 26 pines.
2. Hacer las siguientes conexiones:
 - a) TP1 del módulo T20E con TP2 del módulo T20F.
 - b) TP2 del módulo T20E con TP4 del módulo T20F.
 - c) TP3 del módulo T20E con TP6 del módulo T20F.
 - d) TP4 del módulo T20E con TP8 del módulo T20F.

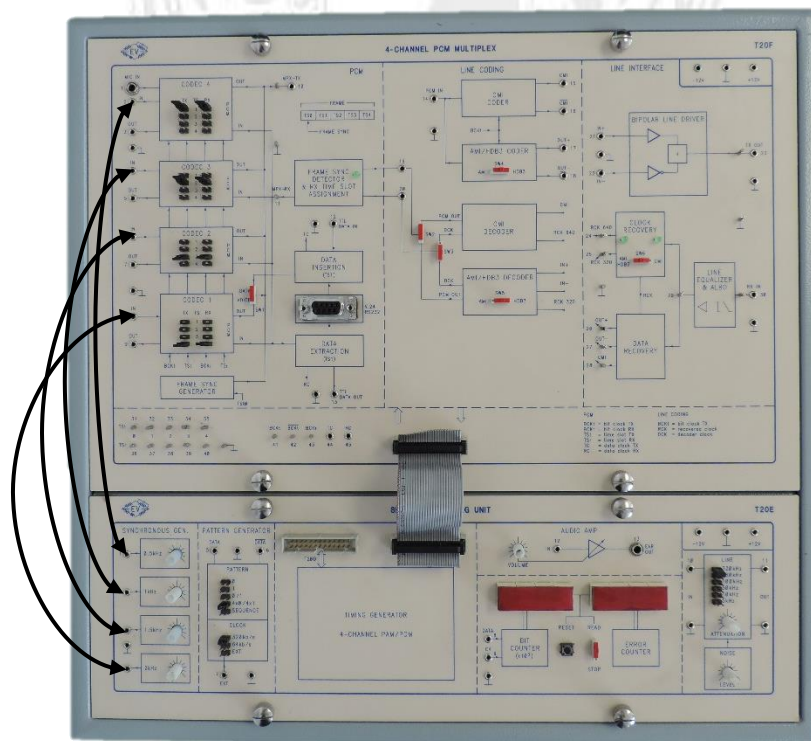


Figura 10.1 Diagrama de Conexiones entre el Módulo T20F y T20E.

3. En el módulo T20E, en PATTERN insertar el puente en 0/1, en CLOCK insertarlo en 64 Kb/s y en SYNCHRONOUS GEN poner todas las perillas al mínimo.

4. Desconectar todos los puentes de los 4 CODECS y que el desciador SW1 se encuentre en VOICE de modo que permanezca insertada en la trama PCM solo la palabra de sincronismo, en el Time Slot 0.
5. Suministrar la alimentación de ± 12 V a los dos módulos.
6. Con el canal 1 del osciloscopio analizar la forma de onda en TP31 (impulsos de asignación del intervalo de tiempo de transmisión (TSt) 0).
7. Con el canal 2 del osciloscopio monitorear los canales TP32/33/34/35 (Impulsos de asignación de los intervalo de tiempo de transmisión (TSt) 1/2/3/4). Observar que, respecto a los impulsos en TP31, los impulsos en TP32 están retardados de 25 μ s, los TP33 de 50 μ s, los TP34 de 75 μ s y los TP35 de 100 μ s (Figura 10.2).



Figura 10.2 Comparación entre TP31 y TP32.

8. Conectar ahora el canal 2 a TP10 (PCM OUT) (Figura 10.3). Comentar lo observado en la hoja de observaciones y resultados.

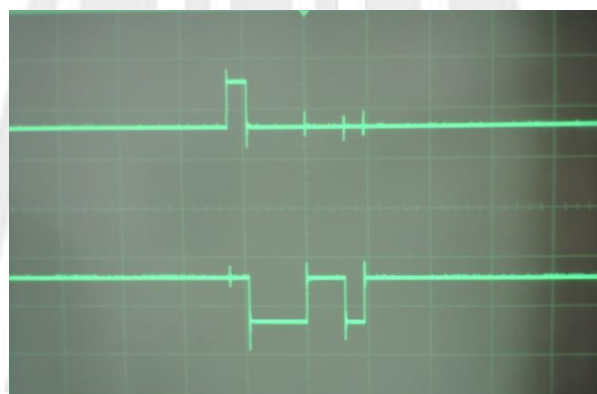


Figura 10.3 Comparación entre TP31 y TP10

9. Desplazar el osciloscopio de TP31 a TP41 (BIT CLOCK de transmisión). Anotar la duración del intervalo de bit en la hoja de observaciones y resultados.
10. Mantener el circuito en las condiciones anteriores y conectar el canal 1 del osciloscopio a TP31 (Intervalo de tiempo de transmisión (TSt) 0) y el canal 2 a TP10 (PCM OUT).
11. Conectar TP5 del módulo T20E a TP12 del módulo T20F y en el CODEC 1 poner el puente en el intervalo de tiempo 1 de transmisión, de modo que se introduzca la secuencia de bits alternados 0/1 en el intervalo de tiempo 1 de la trama PCM.
12. Observar como la secuencia 0/1 se inserta en el intervalo de tiempo 0 (por paquetes de 8 bits) inmediatamente después de los 8 bits de la palabra de sincronismo (Figura 10.4).

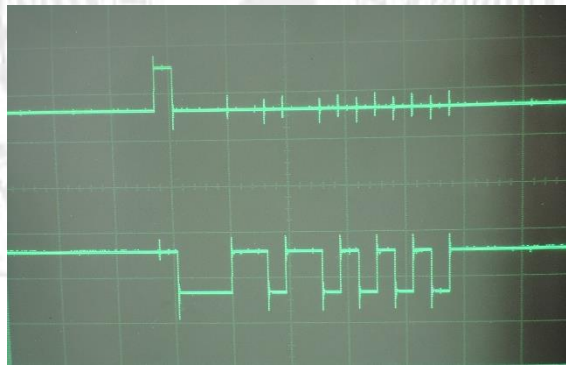


Figura 10.4 Comparación entre TP31 y TP10.

13. Asignar al CODEC 2 el intervalo de tiempo 2 de transmisión (insertar el puente que corresponda). Observar en TP10 como otros 8 bits se introducen en la trama PCM (los bits no son estables, debido a la ley de codificación del CODEC y a la variabilidad de la señal de entrada). Variar la amplitud de la señal analógica aplicada al CODEC 2 y observar la variación de los 8 bits asociados al intervalo de tiempo.
14. Asignar al CODEC 2 los otros 2 intervalos de tiempos de transmisión (3 y 4). Observar en TP10 lo que ocurre y anotarlo en la hoja de observaciones y resultados.
15. Asignar un intervalo de tiempo de transmisión a cada CODEC y analizar la trama PCM.

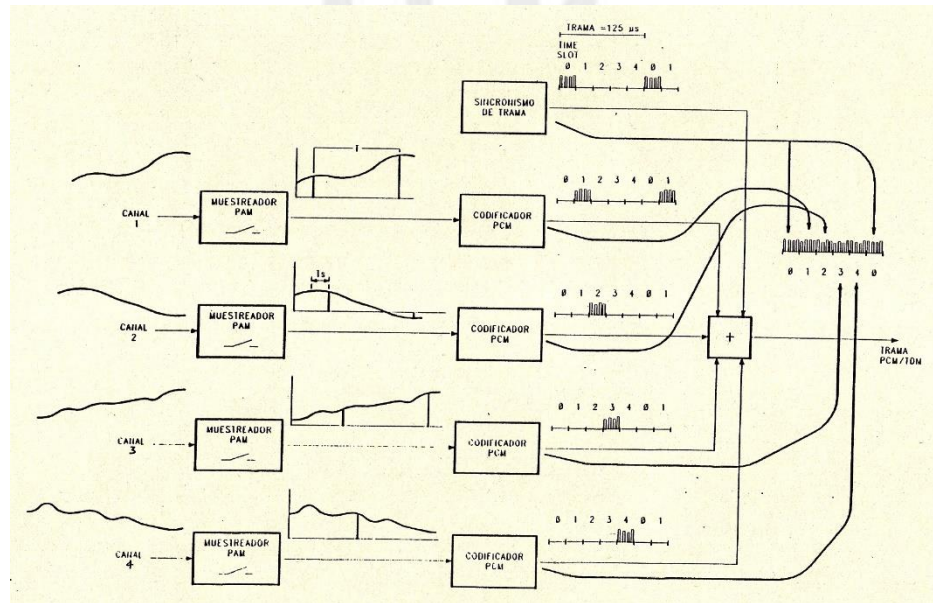


Figura 10.5 Funcionamiento del módulo T20-F TDM/PAM

Ejercicio 2:

Codificación AMI/HDB3.

AMI

1. Realizar el enlace entre los módulos T20E y T20F mediante un cable plano de 26 pines.
2. En el módulo T20E, en CLOCK insertar el puente en 320 Kb/s.
3. En el módulo T20F, posicionar los conmutadores AMI/HDB3 en AMI y conectar TP17 a TP21 y TP18 a TP22.
4. Suministrar la alimentación de ± 12 V a los dos módulos.
5. Conectar TP5 del módulo T20E con TP14 del módulo T20F.

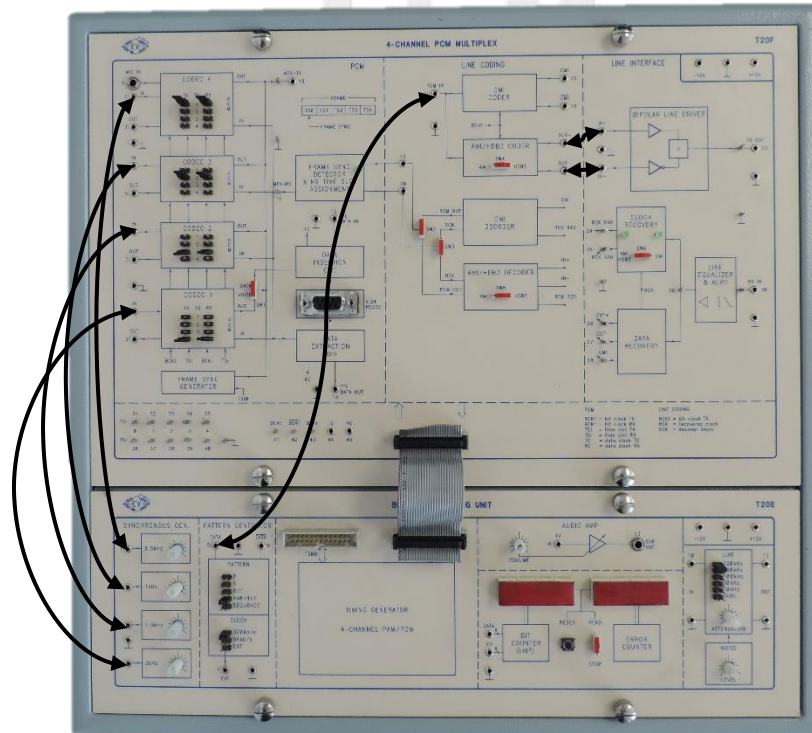


Figura 10.6 Diagrama de Conexiones entre el Módulo T20F y T20E.

6. Conectar el canal 1 del osciloscopio al periodo de reloj (TP41) y a la salida PCM positiva (TP17) (Figura 10.7).



Figura 10.7 Comparación entre TP41 y TP17.

7. Seleccionar en el módulo T20E las distintas secuencias y observar lo siguiente:
 - a) Si los datos son todos "0", la salida esta fija en cero.
 - b) Si los datos son todos "1", se obtiene un impulso en salida cada dos periodos de reloj (TP41); es decir, cada dos datos binarios.

c) Si los datos son "1/0" alternados, se obtendrá un impulso en salida cada 2 bits "1" de entrada, así como también si los datos son "4x1/4x0" o si se utiliza la secuencia de 64 bits. En estos últimos casos se puede observar que el impulso codificado se suministra con un retardo de 4 periodos de reloj respecto a la entrada del bit de datos.

8. Conectar el osciloscopio a TP17 (OUT+) y TP18 (OUT-). Verificar que el impulso correspondiente a la codificación de un bit "1" se suministra alternativamente a las dos salidas.

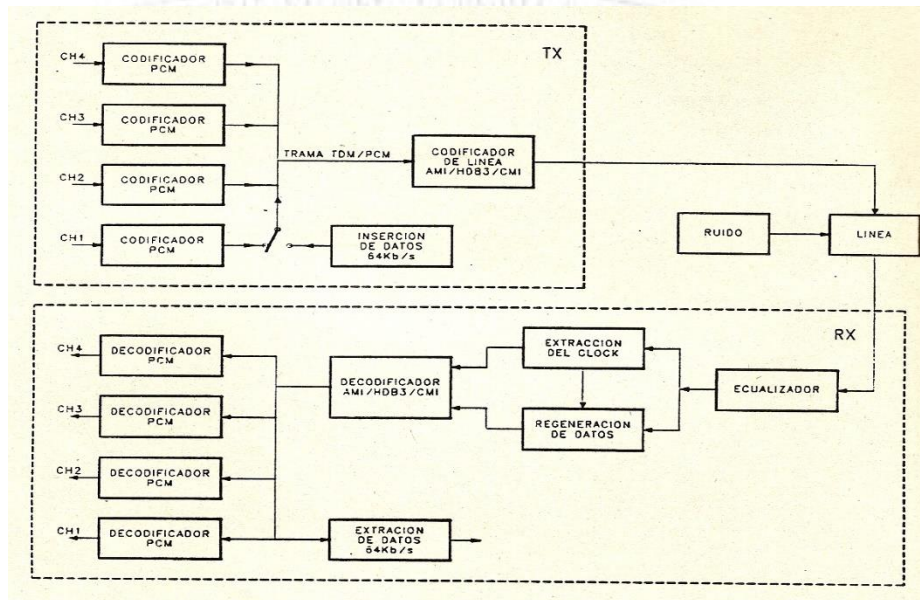


Figura 10.8 Diagrama a bloques del sistema TDM/PCM

HDB3

9. Mantener las conexiones anteriores.

10. Poner el desviador en posición HDB3 y verificar que, a diferencia de la codificación AMI anterior, se suministran impulsos a las salidas OUT + y OUT - también en presencia de secuencias con más de tres "0" consecutivos (seleccionar la secuencia 4x0/4x1).

Señal AMI/HDB3 bipolar ternaria.

11. Conectar el osciloscopio a TP23 y alternar el conmutador entre AMI y HDB3. Observar la señal bipolar ternaria de cada una.

Ejercicio 3:

Recepción de señales AMI/HDB3.

1. Configurar al sistema en modo AMI/HDB3:

Módulo T20E

- a) PATTERN: 4x0/4x1.
- b) CLOCK: 320 Kbps.
- c) LINE: 160 KHz; atenuación al mínimo, ruido al mínimo.

Módulo T20F

- a) Conmutadores AMI/HDB3: AMI.
- b) Conmutador AMI/HDB3 – CMI: AMI/HDB3.

INTERCONEXIONES:

- a) TP17 con TP21 del módulo T20F.
- b) TP18 con TP22 del módulo T20F.
- c) TP5 del módulo T20E con TP14 del módulo T20F.
- d) TP23 del módulo T20F con TP10 del módulo T20E.
- e) Tierra de TX OUT con tierra de LINE IN.
- f) TP11 del módulo T20E con TP30 del módulo T20F.
- g) Tierra de RX IN con tierra de LINE OUT.

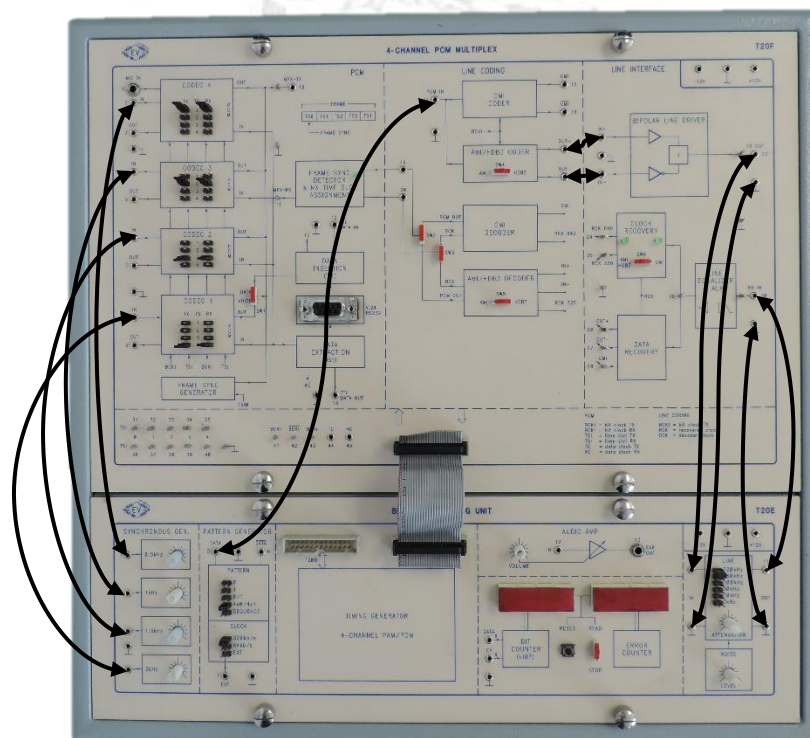


Figura 10.9 Diagrama de Conexiones entre el Módulo T20F y T20E.

2. Analizar la señal a la salida del transmisor (TP23) y a la entrada del receptor (TP30). Observar la atenuación y la distorsión de los impulsos introducidos por la línea (Figura 10.10).



Figura 10.10 Comparación entre TP23 y TP30.

3. Observar la señal a la salida del ecualizador (TP29) y dar una explicación al respecto en la hoja de observaciones y resultados.
4. Aumentar la atenuación de la línea y observar que para cierta cantidad de atenuación la amplitud de señal en TP29 permanece cuasiconstante. Ello se debe a la intervención del ALBO.
5. Verificar que en TP26 (salida unipolar+) se obtiene un pulso para cada pico positivo de la señal AMI/HDB3 (TP29) y que en TP27 (salida unipolar-), el pulso está presente para cada pico negativo de la señal AMI/HDB3 (TP29).

Ejercicio 4:

Decodificación de señales AMI.

1. Configurar al sistema en modo AMI:
Módulo T20E
 - a) Conmutador STOP/READ: READ.
 - b) PATTERN: 4x0/4x1.
 - c) CLOCK: 320 Kbps.
 - d) LINE: 160 KHz; atenuación al mínimo, ruido al mínimo.

Módulo T20F

- a) Conmutadores AMI/HDB3: AMI.
- b) Conmutador AMI/HDB3 – CMI: AMI/HDB3.
- c) Posicionar los conmutadores (SW2 y SW3) hacia AMI/HDB3.

INTERCONEXIONES:

- a) Cable plano entre los módulos T20E y T20F.
- b) TP5 del módulo T20E con TP14 del módulo T20F.
- c) TP23 del módulo T20F con TP10 del módulo T20E.
- d) Tierra de TX OUT con tierra de LINE IN.
- e) TP11 del módulo T20E con TP30 del módulo T20F.
- f) Tierra de LINE OUT con tierra de TX IN.
- g) TP17 con TP21.
- h) TP18 con TP22.
- i) TP19 del módulo T20F con TP8 del módulo T20E.
- j) TP20 del módulo T20F con TP9 del módulo T20E.

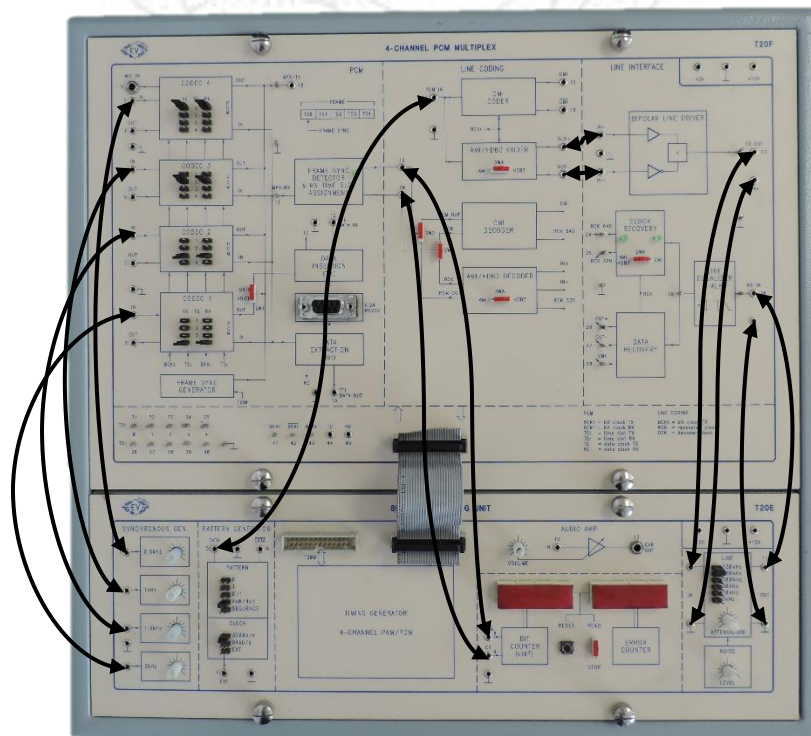


Figura 10.11 Diagrama de Conexiones entre el Módulo T20F y T20E.

2. Analizar la señal de datos a la entrada del codificador (TP14) y en la salida del decodificador (TP19) (Figura 10.12).



Figura 10.12 Comparación entre TP14 y TP19.

3. Observar juntas la señal de datos y la correspondiente señal de reloj (TP19 y TP20).
4. Repetir el procedimiento anterior para HDB3.

CUESTIONARIO:

1. Investigar y explicar cuáles son algunas de las propiedades que se desea cumpla la codificación de línea.
2. Explicar qué ventajas tiene el código bipolar AMI sobre la codificación NRZ unipolar.
3. Investigar y explicar cuál es la regla de codificación que sigue el código AMI.
4. Investigar y explicar cuál es la regla de codificación que sigue el código HDB3.
5. Realizar una comparación de los códigos de línea, subrayando las ventajas y desventajas de unos con respecto a los otros.

Referencia: Elettronica Veneta. Multiplex PAM de 4 canales con codificación de línea AMI/HDB3/CMI. Módulo T20F-E/EV. Motta di Livenza.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 11
MODULACIÓN DIGITAL: ASK, FSK Y PSK

- **OBJETIVO GENERAL:**

Comprobar los conceptos teóricos de las modulaciones digitales.

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Comprender las diferencias, ventajas y desventajas de los diferentes tipos de modulación digital.
- b) Analizar los principales parámetros de las señales en modulación digital.
- c) Analizar el oscilograma de las señales en modulación digital.

- **INTRODUCCIÓN:**

Modulación por Desplazamiento de Amplitud (ASK)

En esta forma de modulación la portadora sinusoidal toma dos valores de amplitud, determinados por la señal de datos binaria. Normalmente el modulador transmite la portadora cuando el bit de datos es "1" y la suprime completamente cuando el bit es "0". Existen también formas de ASK denominadas "multinivel", en las cuales la amplitud de la señal moduladora toma más de dos valores.

La modulación puede ser coherente o no coherente; en el primer caso, más complejo circuitalmente pero más eficaz contra los efectos del ruido.

Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (FSK)

En esta forma de modulación la portadora sinusoidal toma dos valores de frecuencia, determinados por la señal de datos binaria. El modulador puede realizarse en varios modos; entre los más difundidos podemos mencionar:

- a) Un Oscilador Controlado en Tensión (VCO).
- b) Un sistema que transmite una de las dos frecuencias, en función de la señal de datos.
- c) Un divisor de frecuencia gobernado por la señal de datos.

La técnica de demodulación más difundida es la que utiliza un circuito PLL. La señal FSK en la entrada del PLL toma dos valores de frecuencia. La tensión de error proporcionada por el comparador de fase sigue dichas variaciones y, por consiguiente, constituye la representación binaria NRZ (nivel alto y nivel bajo) de la señal FSK de entrada.

Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)

En esta forma de modulación la portadora sinusoidal toma dos valores de fase o más, determinados por la señal de datos binaria (modulación de dos fases) o la combinación de un determinado número de bits de la señal de datos misma (modulación de N fases). En la PSK de 2 fases, denominada 2-PSK, la portadora sinusoidal toma dos valores de fase, determinados por la señal de datos binaria. Una técnica de modulación es la que utiliza un modulador balanceado. La sinusoidal de salida del modulador es la portadora de entrada directa o inversa (desfasada 180°), en función de la señal de datos.

• TRABAJO DE CASA:

- a) Investigar las principales características de los sistemas de modulación digital.
- b) Investigar los campos de aplicación y las restricciones de los sistemas modulación digital.
- c) Mencionar las diferencias entre los diferentes tipos de modulaciones digitales.
- d) Investigue las ventajas y desventajas que hay entre los diferentes tipos de modulaciones digitales.

- **EQUIPO A UTILIZAR:**

- ✓ Módulo MCM31.
- ✓ Osciloscopio.
- ✓ Fuente de alimentación de +/- 12 Vcc.
- ✓ Cables.

- **DESARROLLO :**

Ejercicio 1:

Formas de onda del modulador ASK.

1. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
2. Predisponer el circuito en modo ASK, con fuente de datos de 24 bits y sin codificación de datos.
3. Hacer las siguientes conexiones:
 - a) J1c ; j3d ; j4 ; j5 ; j6a.
 - b) SW2=Normal ; SW3=24 bits ; SW4=1200 ; SW6=ASK ; SW8=BIT.
 - c) ATT=min ; NOISE= min.
4. Predisponer la secuencia de datos 00110011 00110011 00110011 en los DIP Switch y pulsar START.
5. Conectar el canal uno del osciloscopio en TP6 y el canal 2 en TP16 de manera de visualizar la señal de datos y la señal ASK (Figura 11.1).



Figura 11.1 Comparación entre TP6 y TP16.

6. Regular la fase de la portadora (PHASE) para hacer corresponder el cero de la senoidal con el inicio de los intervalos de bit.
7. Utilizar como portadora la frecuencia 1800Hz (poner SW4=1800).

Ejercicio 2:

Formas de onda del demodulador ASK.

1. Mantener las condiciones iniciales de los primeros 4 puntos del ejercicio 1.
2. Conectar el canal uno del osciloscopio en TP16 y el canal 2 en TP20 para visualizar la señal ASK antes y después del canal de comunicaciones.
3. Observar el efecto del canal de comunicaciones sobre la señal ASK. Ya que el canal de comunicaciones es de banda limitada (la respuesta en frecuencia es de tipo paso bajas), la señal ASK de salida resulta levemente nivelada. Situar SW4 en posición 1800 para que el efecto sea más evidente.
4. Situar nuevamente SW4 en posición 1200.
5. Con el canal uno del osciloscopio analizar TP6 y con el canal 2 analizar los siguientes puntos:
 - a) TP16.
 - b) TP20.
 - c) TP23.
 - d) TP24.
 - e) TP29.

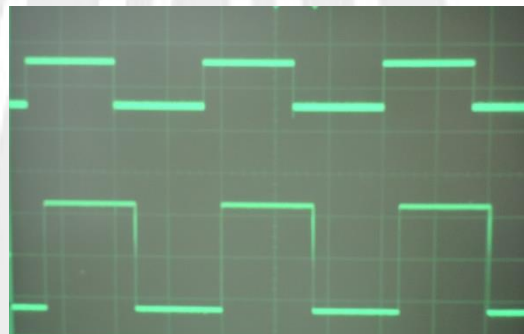


Figura 11.2 Comparación entre TP6 y TP29.

6. Introducir atenuación de línea (ATT) y observar como los datos recibidos ya no son iguales a los datos transmitidos. También la inserción de ruido (NOISE) altera los datos recibidos.

Ejercicio 3:**Formas de onda del modulador FSK.**

1. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
2. Colar el circuito en modo FSK, con fuente de datos de 24 bits y sin codificación de datos.
3. Hacer las siguientes conexiones:
 - a) J1c ; j3a ; j4 ; j5 ; j6b.
 - b) SW2=Normal ; SW3=24 bits ; SW4=1800 ; SW5=1200/0° ; SW6=FSK ; SW8=BIT.
 - c) ATT=min ; NOISE= min.
4. Predisponer la secuencia de datos 0011001100110011 en los DIP Switch y pulsar START.
5. Conectar el canal 1 del osciloscopio a TP6 y el canal 2 a TP16 y a continuación analizar la señal de datos de la señal FSK. Regular la fase (PHASE) de la portadora de 1200 Hz para tener una continuidad de señal FSK en el cambio entre las dos frecuencias (Figura 11.3).

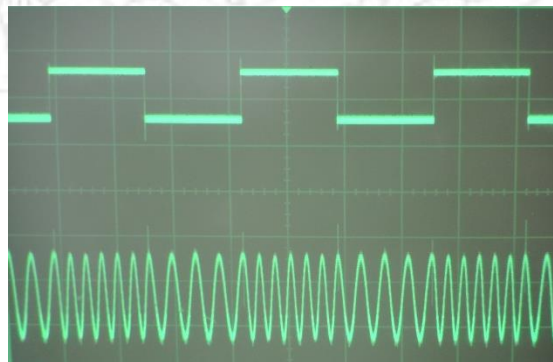


Figura 11.3 Comparación entre TP6 y TP16.

6. Anotar lo observado en la hoja de observaciones y resultados.

Ejercicio 4:**Formas de onda del demodulador FSK.**

1. Mantener las condiciones iniciales de los primeros 4 puntos del ejercicio 1.
2. Conectar el canal uno del osciloscopio en TP16 y el canal 2 en TP20 para visualizar la señal FSK antes y después del canal de comunicaciones.

3. Observar el efecto del canal de comunicaciones sobre la señal FSK. Ya que el canal de comunicaciones es de banda limitada (la respuesta en frecuencia es de tipo paso bajas), la señal FSK de salida resulta levemente atenuada. Situar SW4 en posición 1800 para que el efecto sea más evidente.
4. Con el canal uno del osciloscopio analizar TP6 y con el canal 2 analizar los siguientes puntos:
 - a) TP16.
 - b) TP20.
 - c) TP23.
 - d) TP24.
 - e) TP29.

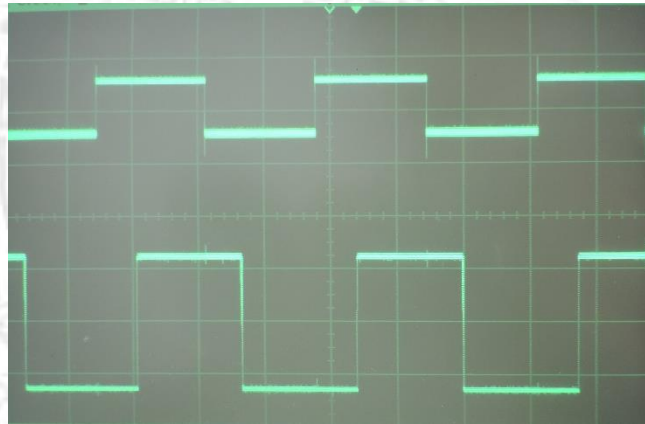


Figura 11.4 Comparación entre TP6 y TP29.

5. Introducir atenuación de línea (ATT) y observar como los datos recibidos ya no son iguales a los datos transmitidos. También la inserción de ruido (NOISE) altera los datos recibidos.

Ejercicio 5:

Formas de onda del modulador 2-PSK.

1. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
2. Colar el circuito en modo 2-PSK, con fuente de datos de 24 bits y sin codificación de datos.
3. Hacer las siguientes conexiones:
 - a) J1c ; j3b ; j4 ; j5 ; j6c.
 - b) SW2=Normal ; SW3=24 bits ; SW4=1200 ; SW6=PSK ; SW7=Squaring Loop ; SW8=BIT.
 - c) ATT=min ; NOISE= min.
4. Predisponer la secuencia de datos 0011001100110011 en los DIP Switch y pulsar START.

5. Conectar el canal 1 del osciloscopio a TP6 y el canal 2 a TP16, a continuación analizar la señal de datos y la señal 2-PSK. Regular la fase (PHASE) para invertir la fase de la portadora en correspondencia con 0° (Figura 11.5).



Figura 11.5 Comparación entre TP6 y TP16.

6. Anotar lo observado en la hoja de observaciones y resultados.

Ejercicio 6:

Formas de onda del demodulador 2-PSK.

1. Mantener las condiciones iniciales de los primeros 4 puntos del ejercicio 1.
2. Conectar el canal uno del osciloscopio en TP16 y el canal 2 en TP20 para visualizar la señal FSK antes y después del canal de comunicaciones.
3. Observar el efecto del canal de comunicaciones sobre la señal PSK. Ya que el canal de comunicaciones es de banda limitada, las transiciones de fase de la señal PSK de salida resultan levemente niveladas.
4. Con el canal uno del osciloscopio analizar TP6 y con el canal 2 analizar los siguientes puntos:
 - a) TP12.
 - b) TP16.
 - c) TP20.
 - d) TP21.
 - e) TP23.
 - f) TP24.
 - g) TP31.

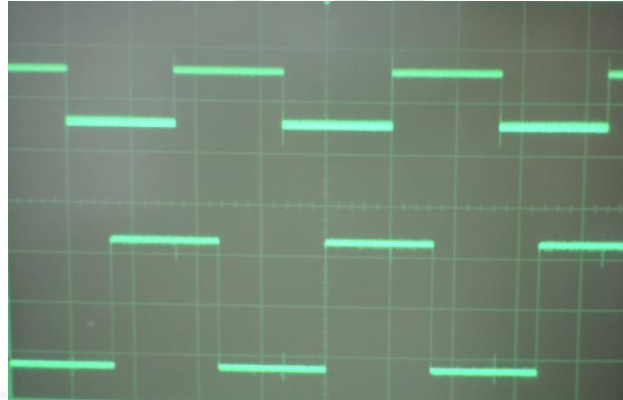


Figura 11.6 Comparación entre TP6 y TP31.

5. Introducir atenuación de línea (ATT) y observar como los datos recibidos ya no son iguales a los datos transmitidos. También la inserción de ruido (NOISE) altera los datos recibidos.

Ejercicio 7:

Formas de onda del modulador 8-QAM.

1. Suministrar la alimentación de ± 12 V al módulo.
2. Colar el circuito en modo 8-QAM absoluta, con fuente de datos de 24 bits y sin codificación de datos.
3. Hacer las siguientes conexiones:
 - a) J1a ; j3c ; j4 ; j5 ; j6c.
 - b) SW2=Normal ; SW3=24 bits ; SW4=1200 ; SW5=1200/90° ; SW6=QAM ; SW7=Squaring Loop ; SW8=TriBit.
 - c) ATT=min ; NOISE= min.
4. Predisponer la secuencia de datos ciclica 111001010011100101110000 en los DIP Switch y pulsar START.
5. Conectar el canal 1 del osciloscopio a TP6 y el canal 2 a TP16, a continuación analizar la señal de datos y la señal 8-QAM. Regular la fase (PHASE) para obtenerlos saltos de fase de la portadora en correspondencia con 0/90/180/270° (Figura 11.7).

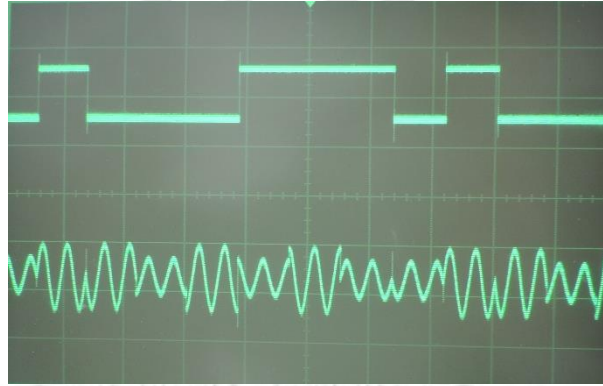


Figura 11.7 Comparación entre TP6 y TP16.

6. Anotar lo observado en la hoja de observaciones y resultados.

Ejercicio 8:

Formas de onda del demodulador 8-QAM.

1. Mantener las condiciones iniciales de los primeros 4 puntos del ejercicio 1.
2. Conectar el canal uno del osciloscopio en TP16 y el canal 2 en TP20 para visualizar la señal 8-QAM antes y después del canal de comunicaciones. Regular la fase para obtener los saltos de fase de la portadora en correspondencia con $0/90/180/270^\circ$.
3. Con el canal uno del osciloscopio analizar TP6 y con el canal 2 analizar los siguientes puntos:
 - a) TP16.
 - b) TP20.
 - c) TP23.
 - d) TP24.
 - e) TP27.
 - f) TP30.
 - g) TP31.

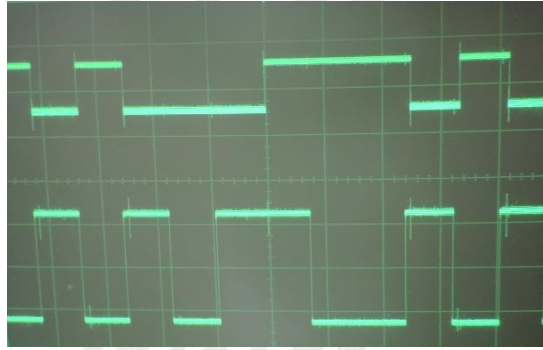


Figura 11.8 Comparación entre TP6 y TP31.

4. Introducir atenuación de línea (ATT) y observar como los datos recibidos ya no son iguales a los datos transmitidos. También la inserción de ruido (NOISE) altera los datos recibidos.

- **CUESTIONARIO:**

1. ¿Por qué la ASK es muy sensible a las variaciones de amplitud de la señal?
2. En la modulación QAM ¿Cuál es la duración de 1 bit y la duración de 1 símbolo?

Referencia: Elettronica Veneta. Modulaciones digitales. Módulo MCM31/EV. Motta di Livenza.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 1 2
ANÁLISIS DE FOURIER CON MATLAB

- **OBJETIVO GENERAL:**

Comprobar algunos conceptos teóricos sobre el análisis de Fourier.

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Comprender la relación que existe entre la serie de Fourier y la transformada de Fourier.
- b) Comprender los conceptos de linealidad y convolución en la transformada de Fourier.
- c) Analizar los principales parámetros del análisis de Fourier.

- **INTRODUCCIÓN:**

Series de Fourier

Las series de Fourier constituyen la herramienta matemática básica del análisis de Fourier empleado para analizar funciones periódicas a través de la descomposición de dicha función en una suma infinita de funciones sinusoidales mucho más simples (como combinación de senos y cosenos con frecuencias enteras).

Es una aplicación usada en muchas ramas de la ingeniería, además de ser una herramienta sumamente útil en la teoría matemática abstracta. Áreas de aplicación incluyen análisis vibratorio, acústica, óptica, procesamiento de imágenes y señales, y compresión de datos. En ingeniería, para el caso de los sistemas de telecomunicaciones, y a través del uso de los componentes espectrales de frecuencia de una señal dada, se puede optimizar el diseño de un sistema para la señal portadora del mismo. Refiérase al uso de un analizador de espectros.

Las series de Fourier tienen la forma:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \text{sen}(n\omega t))$$

Donde a_0 , a_n y b_n son los coeficientes de Fourier que toman los valores:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos(n\omega t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \text{sen}(n\omega t) dt$$

Transformada de Fourier

La transformada de Fourier es una herramienta que permite analizar cualquier tipo de función en el dominio de la frecuencia y no solamente las funciones periódicas. La transformada de Fourier de una función cualquiera $f(t)$ produce una función $F(\omega)$ continua de la variable de frecuencia " ω ". La transformada de Fourier se define mediante la siguiente relación:

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

La función anterior nos permite calcular la expresión $F(\omega)$ (dominio de la frecuencia) a partir de $f(t)$ (dominio del tiempo) y viceversa.

A la expresión que nos permite obtener $f(t)$ a partir de $F(\omega)$ se le llama transformada inversa de Fourier y se representa con la siguiente ecuación.

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

Esta transformación produce una función continua y compleja de la variable "w", por lo tanto la transformada de Fourier cuenta con una parte real y una parte imaginaria y puede expresarse en forma rectangular:

$$F(\omega) = R(\omega) + jI(\omega)$$

Además de ser una función compleja y continua de la variable "w", es una función con periodo de 2π , es decir:

$$F(\omega) = F(\omega + 2\pi)$$

Respectivamente las parte real e imaginaria de F(w) son:

$$F_R(\omega) = \sqrt{F_R^2(\omega) + F_I^2(\omega)}$$

La transformada de Fourier puede tener diversos significados dependiendo de la señal a analizar. Para señales de banda limitada la transformada de Fourier representa el espectro de la señal, esto es, nos dice el contenido de frecuencias de la señal. Un ejemplo de este tipo de señal es la señal de voz, limitada a un ancho de banda de 4 KHz.

- **TRABAJO DE CASA:**

- Investigar cual es la relación que existe entre la serie de Fourier y la transformada de Fourier.
- Investigar el teorema de Parseval y el teorema de la energía de Rayleigh.
- Investigar los conceptos de las diferentes propiedades de la transformada de Fourier.
- Calcular el análisis de Fourier (serie y transformada) de la figura 12.1 y llegar al siguiente resultado:

$$f(t) = \frac{4}{\pi n} \text{sen}(n\omega t) \quad (\text{Para } n \text{ impar}); \text{ Resultado de la serie de Fourier.}$$

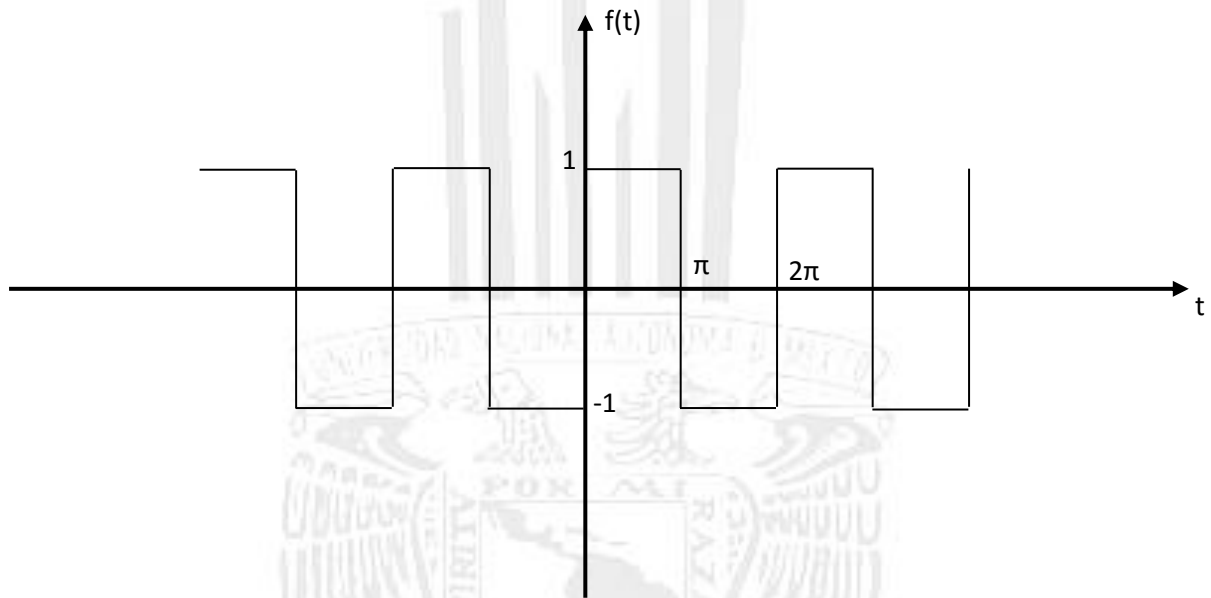


Figura 12.1 Señal rectangular.

- **DESARROLLO:**

Ejercicio 1:
Linealidad de la Transformada de Fourier

Dadas las señales $x_1(n) = 0.8^n$ y $x_2(n) = u(n) - u(n-8)$ evaluar la propiedad de linealidad de la TDF, calcular la transformada de la suma $x_1(n) + x_2(n)$ y la suma de las transformadas y comparar resultados.

```
% Propiedad lineal de la TDF
n=0:99;
a=0.8;
x1=a.^n;
% Escalón desplazado
M=8;
x2=ones(1,100)-[zeros(1,M) ones(1,100-M)];
y=x1+x2;
yt=fft(y);
ys=fft(x1)+fft(x2);
% Aquí se compara el resultado de la operación lineal
Linealidad=[yt(1:15)' ys(1:15)']
```

Ejercicio 2:**Desplazamiento en el tiempo**

Dadas las señales $x_1(n) = u(n) - u(n-3)$ y $x_2(n) = x_1(n-2)$ que se muestran en la figura 12.2. Validar la propiedad de desplazamiento en el tiempo y graficar la magnitud (Figura 12.3) y fase (Figura 12.4) de las transformadas de ambas secuencias.

```

n=0:99;
clf;
M=3;
% x1(n)=u(n)-u(n-3);
x1=ones(1,100)-[zeros(1,M) ones(1,100-M)];
N=2;
NN=5;
% x2(n)=x1(n-2)=u(n-2)-u(n-5)
x2=[zeros(1,N) ones(1,100-N)]-[zeros(1,NN) ones(1,100-NN)];
subplot(2,1,1);
plot(x1);
title('x1(n)=u(n)-u(n-3)');
subplot(2,1,2);
plot(x2);
title('x2(n)=u(n-2)-u(n-5)');
pause;
X1=fft(x1);
X2=fft(x2);
subplot(2,1,1);
plot(abs(X1));
title('Desplazamiento en tiempo Magnitud de X1(w)');
subplot(2,1,2);
plot(abs(X2));
title('Magnitud de X2');
pause;
subplot(2,1,1);
plot(angle(X1));
title('Fase de x1(W)');

```



```
subplot(2,1,2);
plot(unwrap(angle(X2)));
title('Fase de X2(W)');
% Aquí se presentan muestras de X1(W) y X2(W)
XW=[X1(1:15)' X2(1:15)']
```

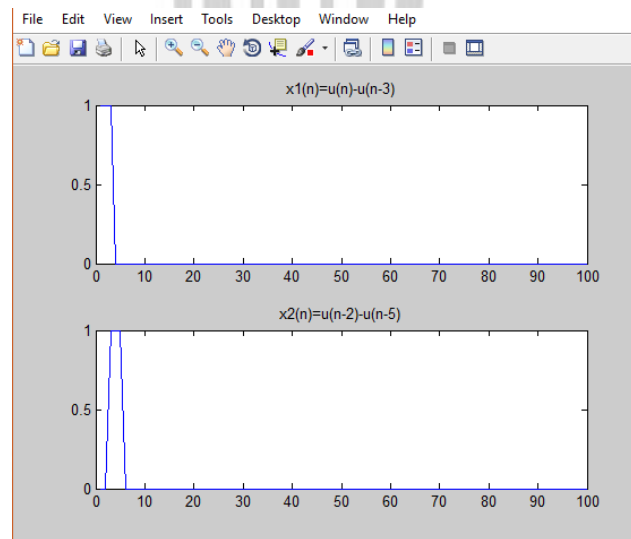


Figura 12.2 Señales $x_1(n) = u(n) - u(n-3)$ y $x_2(n) = x_1(n-2)$.

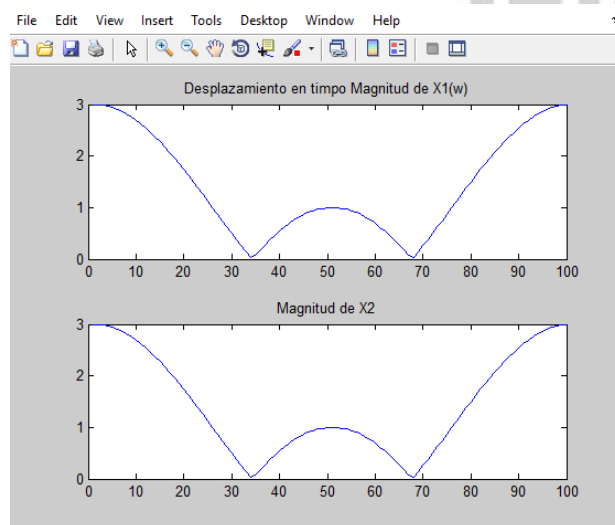


Figura 12.3 Magnitud.

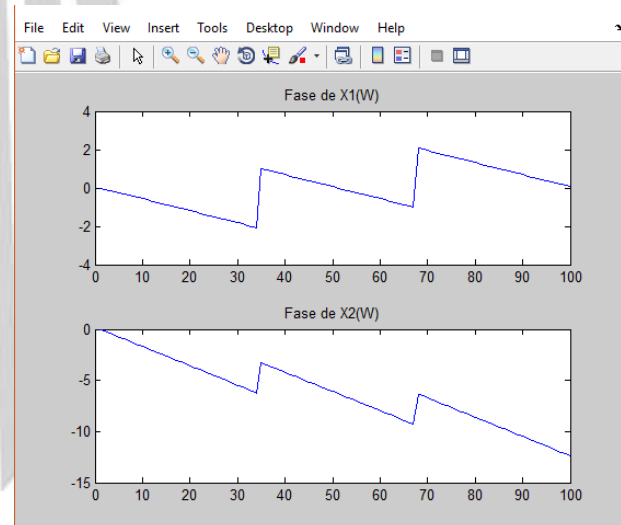


Figura 12.4 Fase.

Ejercicio 3:**Convolución**

Dada las secuencias $x=[1,2,3,\dots,25]$ y $h=[2,2,3,3]$ comprobar la propiedad de convolución de la transformada de Fourier:

```
n=1:25;
n=n/25;
h=[2 2 3 3];
y=conv(n,h);
N=fft(n,64);
H=fft(h,64);
FF=ifft(N.*H);
y(1:10)
FF(1:10)
```

Comparar los resultados de "y" y de "FF". Explicar en la hoja de observaciones a que se debe el resultado.

Ejercicio 4:**Modulación**

Dada la señal $f(t)=0.25+\sin(2\pi 12.5t)$ graficar el espectro de la señal $f(t)\cos(2\pi 30t)$:

```
N=256;
T=1/128;
k=0:N-1;
time=k*T;
f0=0.25+1*sin(2*pi*12.5*k*T);
F=fft(f0);
ff=0:1/length(k):1-(1/length(k));
frec=(1/T)*ff;
plot(frec,abs(F))
axis([0 70 0 200]);
```

```

title('Senoidal de 12.5 Hz');
pause
% Propiedad de modulación
f1=f0.*cos(2*pi*30*k*T);
F1=fft(f1);
plot(frec,abs(F1))
axis([0 70 0 200]);
title('Senoidal de 12.5 Hz multiplicada por 30Hz');

```

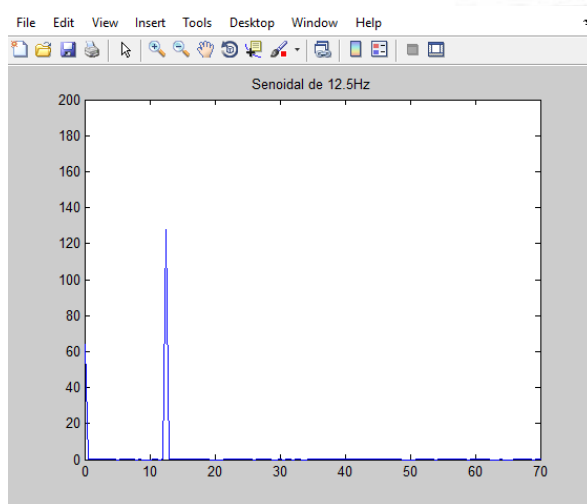


Figure 12.5 Senoidal de 12.5Hz.

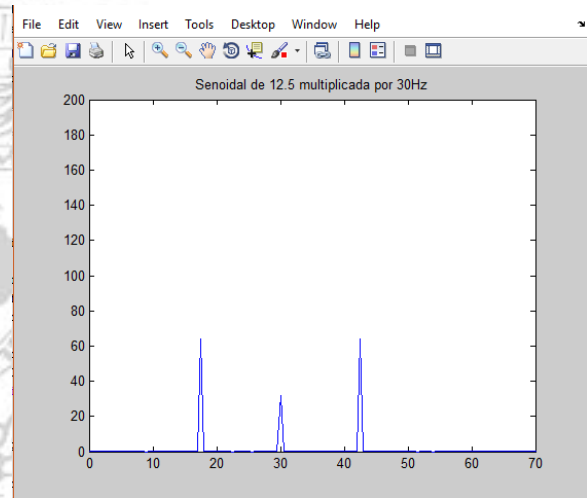


Figura12.6 Senoidal de 12.5Hz multiplicada por 30 Hz.

Ejercicio 5:

Serie de Fourier de una señal rectangular

Graficar los primero términos de la señal rectangular $x(t)$ definida por la serie de Fourier del inciso "b" del trabajo de casa:

```

t=0:0.01:2*pi;
f1=(4/pi)*sin(t);
plot(t,f1)
pause
f3=f1+(4/(3*pi))*sin(3*t);
plot(t,f3)
pause

```

```
f9=f3+(4/(5*pi)*sin(5*t))+(4/(7*pi)*sin(7*t))+(4/(9*pi)*sin(9*t));
plot(t,f9)
```

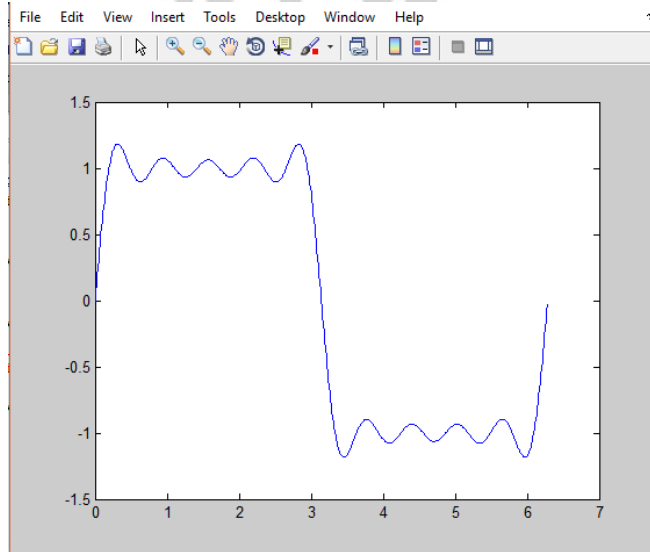


Figura 12.7 Serie de Fourier de una señal rectangular.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 13
MODULACIÓN DIGITAL: ASK, FSK Y PSK CON MATLAB

- **OBJETIVO GENERAL:**

Comprobar los conceptos teóricos de las modulaciones digitales con el uso de una herramienta virtual.

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Comprender las diferencias, ventajas y desventajas de los diferentes tipos de modulación digital.
- b) Analizar los principales parámetros de las señales en modulación digital.
- c) Analizar el oscilograma de las señales en modulación digital.

- **INTRODUCCIÓN:**

Modulación por Desplazamiento de Amplitud (ASK)

En esta forma de modulación la portadora sinusoidal toma dos valores de amplitud, determinados por la señal de datos binaria. Normalmente el modulador transmite la portadora cuando el bit de datos es "1" y la suprime completamente cuando el bit es "0". Existen también formas de ASK denominadas "multinivel", en las cuales la amplitud de la señal moduladora toma más de dos valores.

La modulación puede ser coherente o no coherente; en el primer caso, más complejo circuitalmente pero más eficaz contra los efectos del ruido.

Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (FSK)

En esta forma de modulación la portadora sinusoidal toma dos valores de frecuencia, determinados por la señal de datos binaria. El modulador puede realizarse en varios modos; entre los más difundidos podemos mencionar:

- a) Un Oscilador Controlado en Tensión (VCO).
- b) Un sistema que transmite una de las dos frecuencias, en función de la señal de datos.
- c) Un divisor de frecuencia gobernado por la señal de datos.

La técnica de demodulación más difundida es la que utiliza un circuito PLL. La señal FSK en la entrada del PLL toma dos valores de frecuencia. La tensión de error proporcionada por el comparador de fase sigue dichas variaciones y, por consiguiente, constituye la representación binaria NRZ (nivel alto y nivel bajo) de la señal FSK de entrada.

Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)

En esta forma de modulación la portadora sinusoidal toma dos valores de fase o más, determinados por la señal de datos binaria (modulación de dos fases) o la combinación de un determinado número de bits de la señal de datos misma (modulación de N fases). En la PSK de 2 fases, denominada 2-PSK, la portadora sinusoidal toma dos valores de fase, determinados por la señal de datos binaria. Una técnica de modulación es la que utiliza un modulador balanceado. La sinusoidal de salida del modulador es la portadora de entrada directa o inversa (desfasada 180°), en función de la señal de datos.

• TRABAJO DE CASA:

- a) Investigar las principales características de los sistemas de modulación digital.
- b) Investigar los campos de aplicación y las restricciones de los sistemas modulación digital.
- c) Mencionar las diferencias entre los diferentes tipos de modulaciones digitales.
- d) Investigue las ventajas y desventajas que hay entre los diferentes tipos de modulaciones digitales.

- **DESARROLLO:**

Ejercicio 1:**ASK**

Realizar la simulación de la señal ASK empleando una señal portadora de 25KHz y una moduladora de 5KHz, con una amplitud de 3V.

```
fp=25;          %Señal portadora
fm=5;          %Señal moduladora
A=3;          %Amplitud
t=0:0.001:1;
x=A.*sin(2*pi*fp*t)+(A/2);
u=A/2.*square(2*pi*fm*t)+(A/2);
v=x.*u;
subplot(3,1,1)
plot(t,x)
xlabel('Tiempo')
ylabel('Amplitud')
title('Señal portadora')
subplot(3,1,2)
plot(t,u)
xlabel('Tiempo')
ylabel('Amplitud')
title('Señal moduladora')
subplot(3,1,3)
plot(t,v)
xlabel('Tiempo')
ylabel('Amplitud')
title('Señal ASK')
```

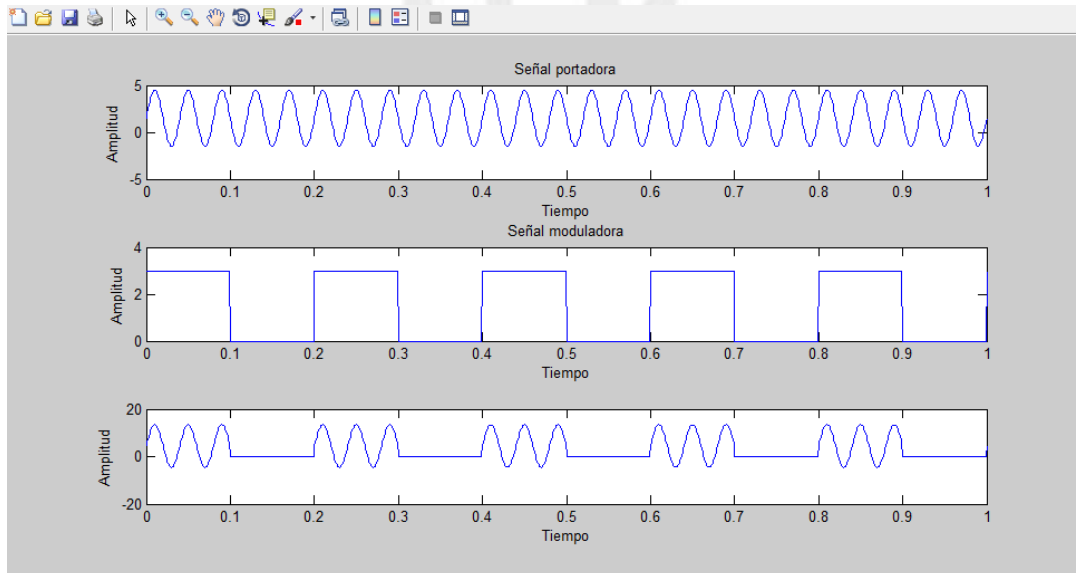


Figura 13.1 Señal modulada ASK.

Ejercicio 2:

FSK

Realizar la simulación de la señal FSK empleando dos señales portadoras (una de 10KHz y otra de 30KHz), una señal moduladora de 5KHz y una amplitud de 4V.

```

fp1=10      % Señal portadora 1
fp2=30      % Señal portadora 2
fm=5        % Señal moduladora
A=3         % Amplitud
A=A/2;
t=0:0.001:1;
c1=A.*sin(2*pi*fp1*t); % Para generar la señal senoidal de la portadora 1
c2=A.*sin(2*pi*fp2*t); % Para generar la señal senoidal de la portadora 2
subplot(4,1,1);
plot(t,c1)
xlabel('Tiempo')
ylabel('Amplitud')

```

```
title('Señal portadora 1')
subplot(4,1,2)
plot(t,c2)
xlabel('Tiempo')
ylabel('Amplitud')
title('Señal portadora 2')
m=A.*square(2*pi*fm*t)+A;
subplot(4,1,3)
plot(t,m)
xlabel('Tiempo')
ylabel('Amplitud')
title('Señal moduladora')
for i=0:1000 % Aquí se está generando la señal modulada
    if m(i+1)==0
        mm(i+1)=c2(i+1);
    else
        mm(i+1)=c1(i+1);
    end
end
subplot(4,1,4)
plot(t,mm)
xlabel('Tiempo')
ylabel('Amplitud')
title('Señal FSK')
```

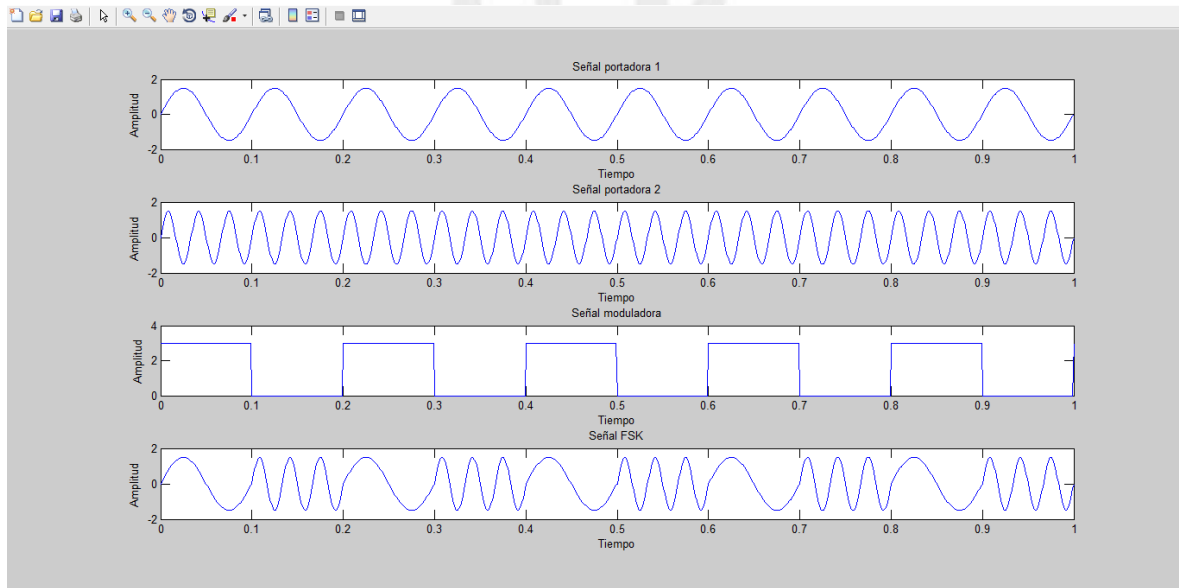


Figura 13.2 Señal modulada FSK.

Ejercicio 3:

PSK

Realizar

```

A=3; %Amplitud
t=0:0.001:1;
fp=30 %Señal portadora
fm=10 %Señal moduladora
x=A.*sin(2*pi*fp*t);
subplot(3,1,1);
plot(t,x);
xlabel('Tiempo');
ylabel('Amplitud');
title('Señal Portadora');
u=A/2.*square(2*pi*fm*t);
subplot(3,1,2);
plot(t,u);
xlabel('Tiempo');
ylabel('Amplitud');
title('Señal Moduladora');
    
```

```
v=x.*u;  
subplot(3,1,3);  
plot(t,v);  
axis([0 1 -6 6]);  
xlabel('Tiempo');  
ylabel('Amplitud');  
title('PSK');
```

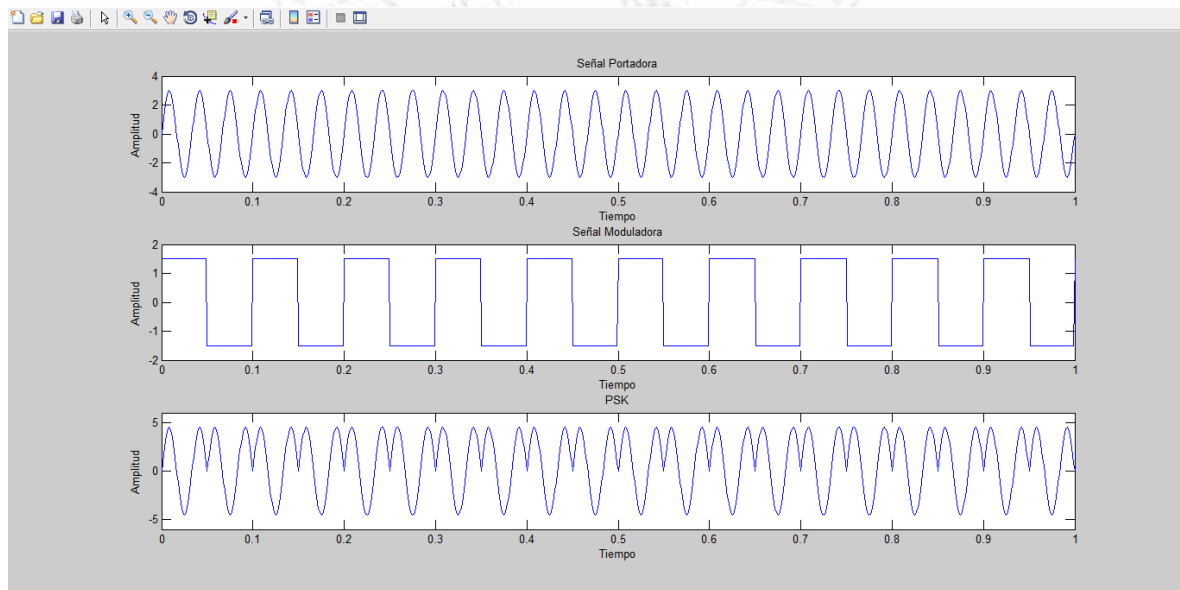


Figura 13.3 Señal modulada PSK.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
PRÁCTICA 14
TEOREMA DE MUESTREO DE NYQUIST CON MATLAB

- **OBJETIVO GENERAL:**

Comprobar los conceptos teóricos del teorema de muestreo de Nyquist con el uso de una herramienta virtual.

- **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- a) Aplicar la Transformada de Fourier Rápida en MATLAB, graficarla en tiempo y frecuencia.
- b) Conocer el Teorema del muestreo de Nyquist-Shannon

- **INTRODUCCIÓN:**

Teorema de muestreo de Nyquist.

El teorema trata del muestreo, que no debe ser confundido o asociado con la cuantificación, proceso que sigue al de muestreo en la digitalización de una señal y que, al contrario del muestreo, no es reversible (se produce una pérdida de información en el proceso de cuantificación, incluso en el caso ideal teórico, que se traduce en una distorsión conocida como error o ruido de cuantificación y que establece un límite teórico superior a la relación señal-ruido). Dicho de otro modo, desde el punto de vista del teorema, las muestras discretas de una señal son valores exactos que aún no han sufrido redondeo o truncamiento alguno sobre una precisión determinada, es decir, aún no han sido cuantificadas.

Hablamos de muestreo periódico de una señal analógica cuando tomamos mediciones de la misma a intervalos iguales. Por ejemplo cuando se graba una señal de audio a la PC mediante una placa de sonido, el conversor A/D de la PC estará digitalizando la señal a una cierta

frecuencia tal como 11, 22, ó 44 kHz, denominada frecuencia de muestreo. Es evidente que si la frecuencia de muestreo es muy baja, es decir, mediciones demasiado espaciadas, se perderán "detalles" de la señal original.

El Teorema del Muestreo, o Teorema de Nyquist-Shannon, establece que la frecuencia mínima de muestreo necesaria para evitar el "aliasing" debe ser.

$$f_m > 2BW$$

Con f_m : frecuencia de muestreo, BW: ancho de banda de la señal a muestrear ($BW = f_{max} - f_{min}$) Para señales con $f_{min}=0$, se puede expresar como:

$$f_m > 2f_{max}$$

- **TRABAJO DE CASA:**

- a) Investigar las principales características del teorema de muestreo de Nyquist.
- b) Investigar los campos de aplicación y las restricciones del teorema de muestreo de Nyquist.
- c) Investigar qué es delta de Dirac o peine de Dirac.
- d) Investigue las ventajas y desventajas del teorema de muestreo de Nyquist.

- **DESARROLLO:**

Teorema de muestreo en diferentes señales.

1. Realizar la simulación del siguiente código en MATLAB.

```
T=1;
t=-10:0.1:10;
fun=sin(t);
pdirac=0.0;

for n=min(t) :max(t)
    pdirac=pdirac+100*sinc(100*(t-T*n));
end
```

```

subplot (3,1,1)
plot(t,fun);
xlabel('Tiempo')
ylabel('Amplitud')
title('Señal senoidal')
subplot(3,1,2)
plot(t,pdirac);
xlabel('Tiempo')
ylabel('Amplitud')
title('Piene de Dirac')

mult=fun.*(pdirac);
subplot(3,1,3)
plot(t,mult);
xlabel('Tiempo')
ylabel('Amplitud')
title('Señal muestreada')

```

2. Cambiar el valor de $T=1$, por los siguientes valores y anotar lo ocurrido en la hoja de observaciones y resultados: 1.5 0.5, 0.3, 0.1.

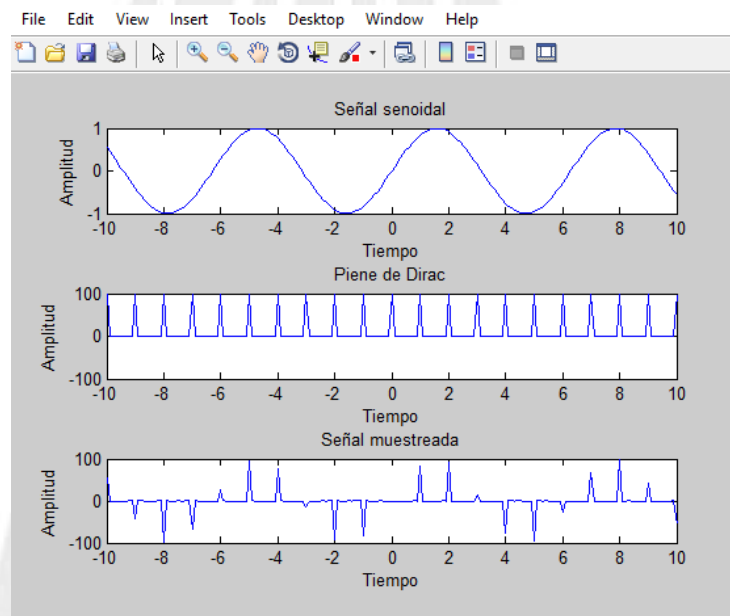


Figura 13.1 Teorema de muestreo de una señal senoidal.

3. Realizar la simulación del siguiente código en MATLAB.

```
t=[0:0.001:3];
d=[0:1:3];
y=2*pulstran(t,d,'tripuls',1)-1;
f=20;
e=[0:1/f:3];
h=pulstran(t,e,'rectpuls',0.01);
sampling=h.*y;
subplot(3,1,1)
plot(t,sampling,t,y);
xlabel('Tiempo')
ylabel('Amplitud')
title('Señal triangular con peine de Direc')
```

```
n=[0:1/f:3];
z=2*pulstran(n,d,'tripuls',1)-1;
subplot(3,1,2)
stem(n,z), axis([0 3 -2 2])
xlabel('Tiempo')
ylabel('Amplitud')
title('Señal muestreada')
```

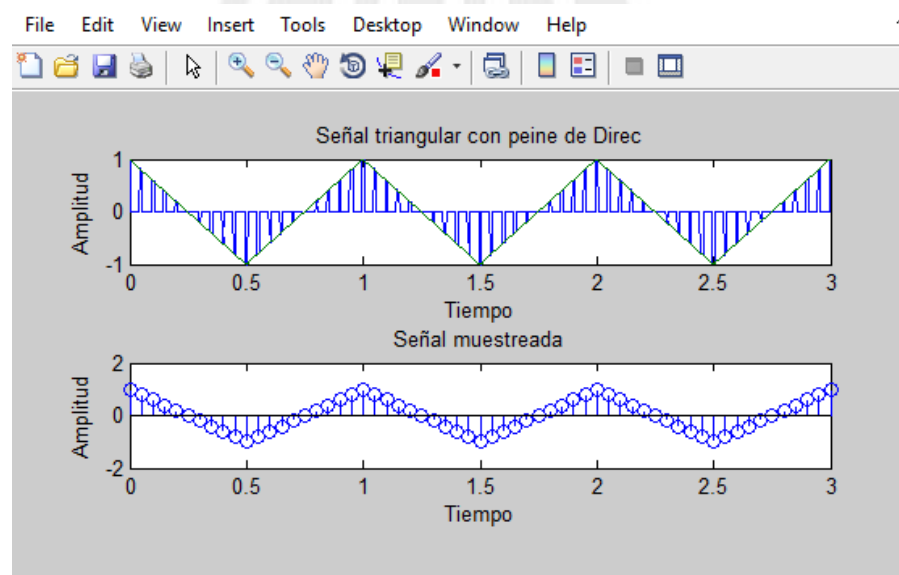


Figura 13.1 Teorema de muestreo de una señal triangular.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
M A N U A L M A T L A B

- **OBJETIVO GENERAL:**

Comprender los comandos básicos para el uso de MATLAB.

- **INTRODUCCIÓN:**

En estas notas tienen como finalidad presentar una introducción a MATLAB mediante una descripción general de su uso

MATLAB es un programa de cómputo basado en operaciones matriciales, orientado al cálculo numérico por computadora. Se puede considerar un entorno matemático de simulación que puede utilizarse para modelar y analizar sistemas. Sirve para estudiar sistemas continuos, lineales y no lineales. Este programa resulta muy útil para ingenieros y para el área científica ya que puede resolver problemas numéricos de una manera más sencilla que utilizando lenguajes de programación de alto nivel.

Una vez ejecutado MATLAB se presentan diferentes ventanas, la principal es la línea de comandos que puede identificarse mediante el símbolo `>>`, lugar en donde se ejecutan los comandos. En dicha ventana todo aquello que es introducido desde el teclado de la computadora será interpretado y evaluado por MATLAB.

Las variables que se desean utilizar se generan y almacenan en la memoria del programa al asignarles una cierta expresión:

$A = \text{expresión}$

En donde las expresiones pueden ser operaciones aritméticas, ecuaciones y funciones matemáticas. Al presionar *enter* MATLAB ejecuta la operación del lado derecho del signo de igualdad y le asigna el resultado a la variable del lado izquierdo.

Al incluir al final de la línea el símbolo ";" se omite el despliegue del resultado en la pantalla y solamente se asigna el resultado a la variable designada.

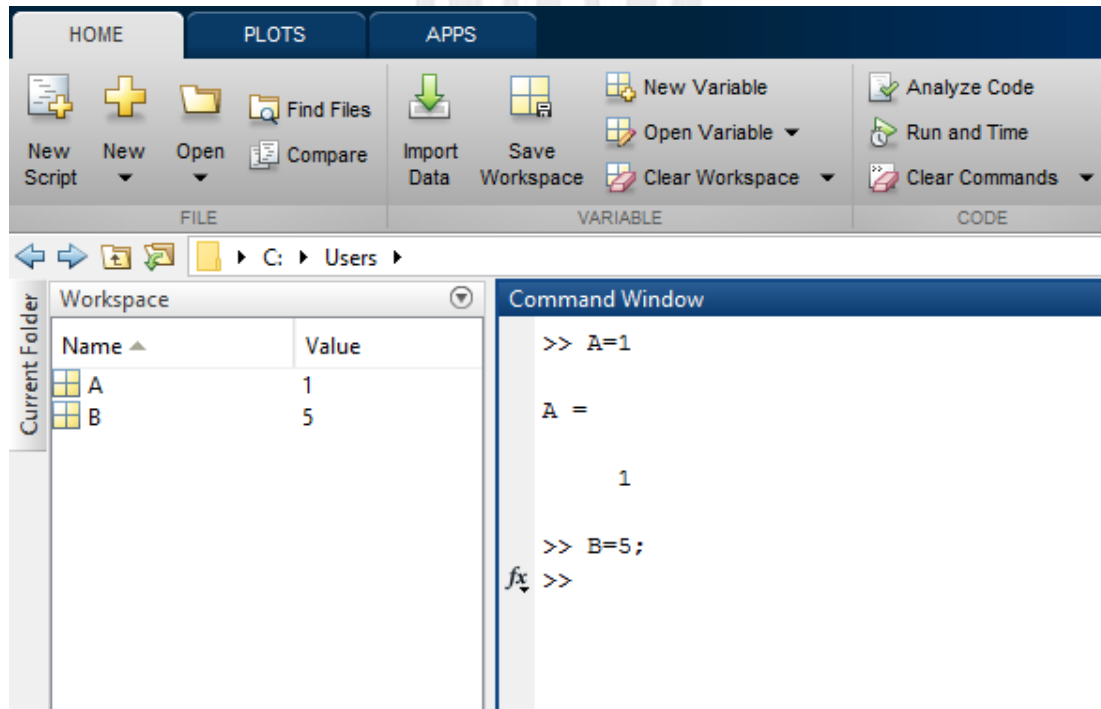


Figura 15.1 Ejemplo usando el símbolo ";" y sin usarlo.

○ INSTRUCCIONES FOR, WHILE, IF

Las declaraciones de control *for*, *while* e *if* operan como en la mayoría de los lenguajes de cómputo y permiten incorporar condicionales y ciclos secuenciales dentro de la programación en MATLAB.

FOR:

Mediante la instrucción:

```
for
:
end
```

Es posible realizar ciclos de instrucciones N veces.

Ejemplo 1.2

Mediante el uso de la instrucción *for* se desea generar un vector de datos que contenga las potencias de números enteros desde 1 hasta 10.

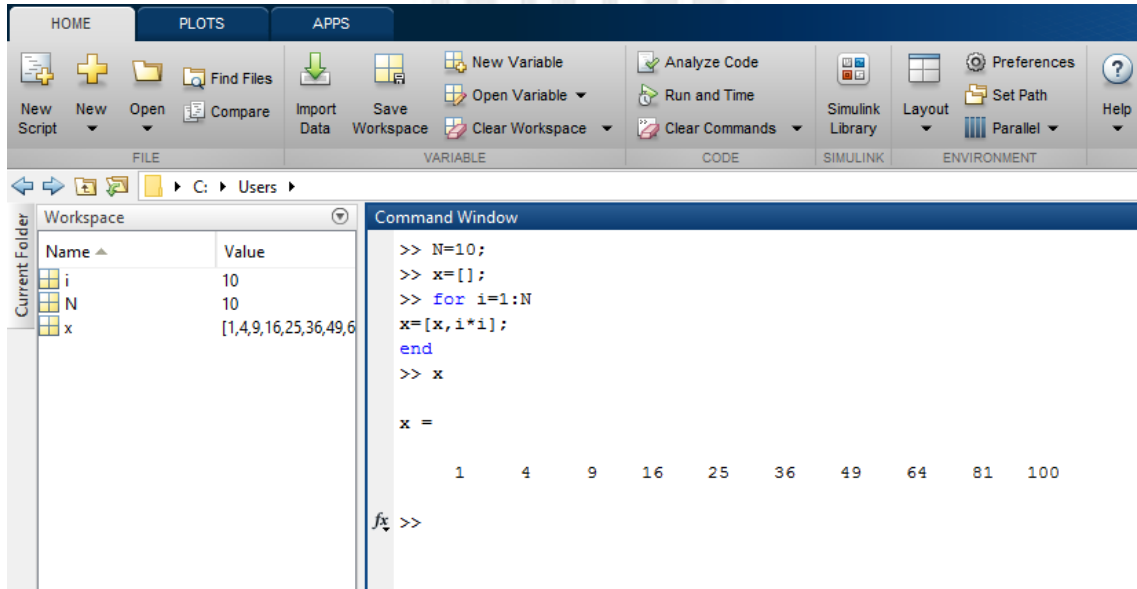


Figura 15.2 Ejemplo usando el comando "for".

Ejemplo 1.3

Para generar el mismo vector del ejemplo 1.2 en orden inverso se pueden plantear las siguientes instrucciones:

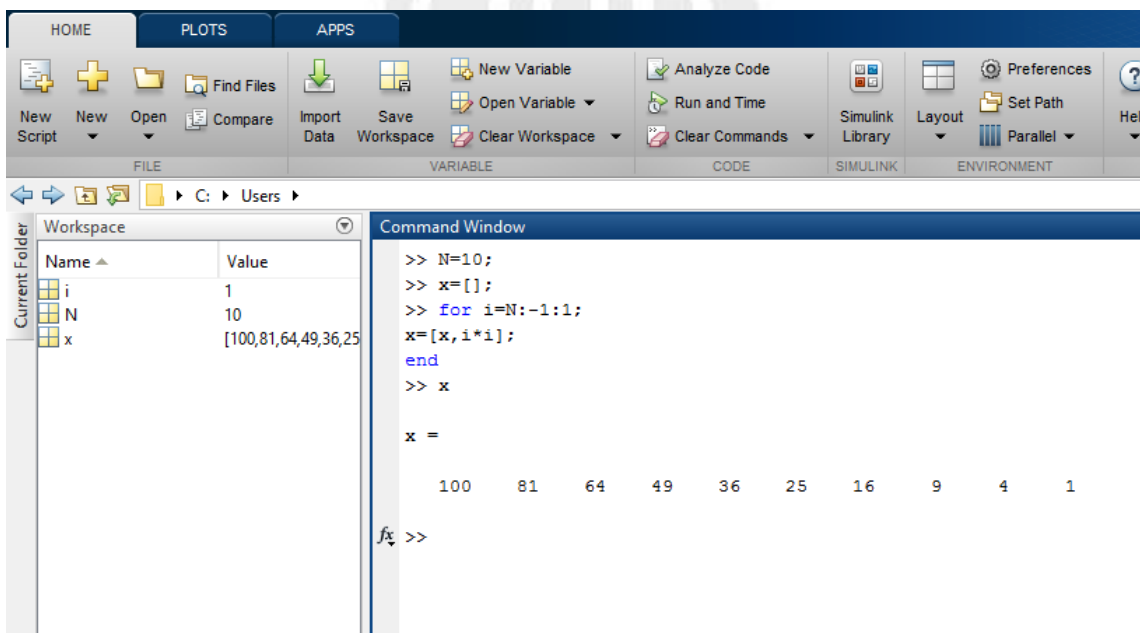


Figura 15.3 Ejemplo usando el comando "for" y con el resultado invertido.

WHILE:

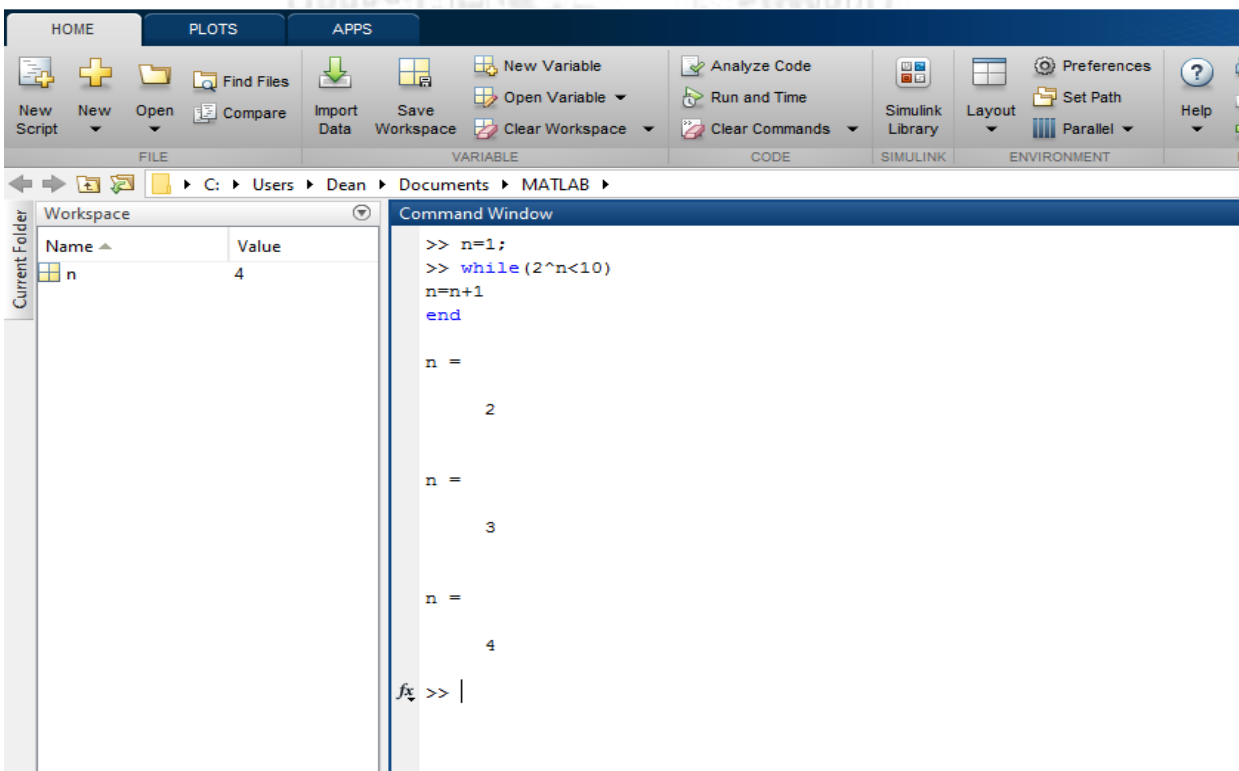
Esta directiva repite un ciclo de instrucciones hasta cumplirse una cierta condición. La forma general de un ciclo utilizando *while* es la siguiente:

```
while (relación o comparacion)
    comandos
end
```

Las declaraciones se ejecutaran mientras la comparación sea verdadera.

Ejemplo 1.4

Obtener el menor número entero positivo n , tal que $2^n < a$ para $a = 10$. Para este caso se tienen las siguientes instrucciones:



```
>> n=1;
>> while (2^n<10)
n=n+1
end

n =

     2

n =

     3

n =

     4

fx >> |
```

Name	Value
n	4

Figura 15.4 Ejemplo usando el comando "while".

Este resultado calcula la potencia a la que se deberá elevar el número 2 y que da por resultado el máximo número n antes de sobrepasar el número a .

IF:

La forma general de la declaración *if* es la siguiente:

```
if comparación
comandos y declaraciones
end
```

Las declaraciones y comandos de la línea central se ejecutan únicamente si la comparación es verdadera.

○ **RELACIONES DE COMPARACIÓN:**

En la tabla 15.1 se muestra una lista de operadores de relación en MATLAB. En una declaración de asignación se utiliza el operador "=", mientras que el operador "==" se utiliza para comparación. Las operaciones de relación generan por sí solas un resultado, 1 ó 0, dependiendo de si son verdaderas o falsas; por ejemplo, $3 < 5$, $3 > 5$ producen 1 y 0, respectivamente.

En su uso dentro de matrices el resultado es una matriz con unos y ceros, de acuerdo con la relación entre los correspondientes elementos. Por otro lado, las operaciones lógicas se realizan mediante los siguientes operadores: *and*, *or*, *not*.

<i>Operador</i>	<i>Nombre del operador</i>
<	<i>Menor que</i>
>	<i>Mayor que</i>
<=	<i>Menor o igual que</i>
>=	<i>Mayor o igual que</i>
==	<i>Igual</i>
~=	<i>Desigual</i>

Tabla 15.1 Operaciones de relación.

○ **OPERACIONES BÁSICAS:**

GENERACION DE VECTORES Y MATRICES:

Todas las variables dentro del programa se consideran matrices, inclusive una multiplicación simple de dos escalares es considerada una multiplicación matricial de 1×1 .

MATLAB trabaja y realiza operaciones numéricas esenciales con un solo tipo de objeto: matrices con elementos complejos. En algunas situaciones matriciales de 1x1 se interpretan como escalares y matrices de un solo renglón o columna como vectores.

Ejemplo 1.5

Realice la multiplicación de los vectores de datos:

$$x = [-0.3 \ -0.8 \ 0.1 \ 0.2 \ -0.9];$$

$$y = [0.1 \ -0.9 \ -0.4 \ 0.7 \ -0.2];$$

Encuentre el resultado de la multiplicación término a término de la serie de datos.

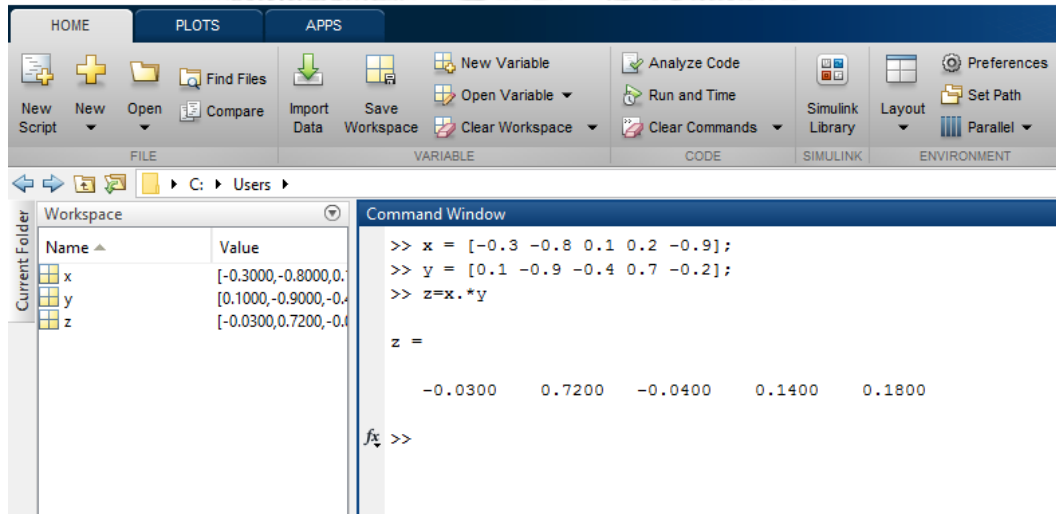


Figura 15.5 Ejemplo de una multiplicación matricial.

En el resultado anterior se observa que la multiplicación se realizó en una sola instrucción, además hay que destacar que la multiplicación punto a punto de dos vectores se indica mediante el punto "." antes del símbolo de la multiplicación "*".

En general las matrices son introducidas mediante las siguientes formas:

- Por teclado listando todos los elementos.
- Mediante funciones que generan matrices.
- Utilizando un editor de texto.
- Cargando un archivo de datos.

A continuación se genera la matriz A:

$$A = [2 \ 5 \ 4; 3 \ 4 \ 6; 9 \ 1 \ 2];$$

O bien:

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 5 & 4 \\ 3 & 4 & 6 \\ 9 & 1 & 2 \end{bmatrix};$$

Por otro lado, los siguientes son dos ejemplos de matrices complejas:

$$A = [1 \ 3; 6 \ 4] + i*[5 \ 7; 3 \ 6];$$

$$A = [1+5i; 3+7i; 6+3i; 4+6i];$$

Si se utiliza i o j como variables, será necesario generar una nueva unidad imaginaria, por ejemplo $ii = \text{sqrt}(-1)$.

Para generar matrices de gran tamaño es recomendable hacerlo mediante un editor ASCII, ya que de esta forma se puede corregir los errores fácilmente. El comando `Load name.ext` asigna a la variable `name` el contenido del archivo `name.ext`.

En la tabla 15.2 se presentan algunas funciones útiles para la construcción de matrices. Por ejemplo, `zeros(m, n)` genera una matriz de tamaño m por n de ceros, y `zero(n)` una de tamaño n por n . Si A es una matriz, `zeros(size(A))` produce una matriz de ceros del mismo tamaño de A .

Función	Tipo de matriz
Eye	Genera la matriz identidad
Zeros	Genera matriz de ceros
Ones	Genera matriz de unos
Diag	Crea o extrae la diagonal de una matriz
Triu	Parte triangular superior de una matriz
Tril	Parte triangular inferior de una matriz
Rand	Genera una matriz con datos aleatorios
Hilb	Matriz Hilbert
Magic	Genera un cubo mágico
Toeplitz	Véase help toeplitz

Tabla 25.2 Funciones para construir matrices.

OPERACIONES ESCALARES, VECTORIALES Y MATRICIALES:

MATLAB permite la ejecución de las principales operaciones aritméticas básicas, mismas que se realizan en matrices. Una operación de escalares es tomada como una matriz de 1x1. En la tabla 15.3 se listan las principales operaciones aritméticas.

Función	Tipo de matriz
+	Suma
-	Resta
*	Multiplicación
^	Potencia
\	División por izquierda
/	División por derecha

Tabla 35.3 Operaciones aritméticas básicas.

En caso de que el tamaño de las matrices sea incompatible con la operación por realizar, se obtendrá un mensaje de error. Todas las operaciones se aplican a escalares o matrices de 1x1, y a matrices. La operación de división de matrices se interpreta de la siguiente manera:

$$x=Ab \text{ es la solución de } A*x=b$$

$$x=A/b \text{ es la solución de } x*A=b$$

Las operaciones de suma y sustracción se realizan sobre matrices de iguales dimensiones y sumando o restando término a término precediendo la operación con un punto. Existen ciertas funciones que operan en escalares y al aplicarlas en matrices es similar a efectuar la operación sobre cada elemento de la matriz; en la tabla 15.4 se presentan las funciones sobre escalares más comunes.

Función	Tipo de matriz
Abs	Valor absoluto de un numero complejo
Angle	Fase del número complejo
Sqrt	Raíz cuadrada
Real	Parte real de un numero complejo
Imag	Parte imaginaria de un numero complejo
Conj	Conjugado de un numero complejo
Round	Redondeo de un numero
Fix	Truncamiento
Sign	Signo de un numero
Rem	Residuo de división

Exp	Función exponencial
Log	Logaritmo natural
Log10	Logaritmo base 10

Tabla 45.4 Operaciones elementales con escalares.

Las principales funciones trigonométricas se presentan en la tabla 15.5, estas serán de gran utilidad para el estudio de las señales requeridas en telecomunicaciones, especialmente las señales seno y coseno.

Función	Tipo de matriz
Sin	Función seno
Asin	Arco seno
Cos	Función coseno
Tan	Función tangente
Atan	Arco tangente
Atan2	Arco tangente en los 4 cuadrantes
Sinh	Seno hiperbólico
Cosh	Coseno hiperbólico
Tanh	Tangente hiperbólica
Asinh	Seno hiperbólico inverso
Acosh	Coseno hiperbólico inverso
Atanh	Tangente hiperbólica inversa

Tabla 55.5 Funciones trigonométricas.

FUNCIONES VECTORIALES:

Las funciones vectoriales operan esencialmente sobre un vector (columna o renglón) y al aplicarlas sobre una matriz $m \times n$ ($m > 2$), generan un vector renglón cuyos elementos son el resultado de aplicar la función a cada columna. Para efectuar la operación renglón por renglón se debe utilizar la operación transpuesta. En la tabla 15.6 se presentan algunas de las funciones vectoriales más importantes, sin embargo estas funciones no son exclusivas de vectores, por ejemplo, para calcular el máximo elemento de una matriz se utiliza $\max(\max(A))$.

Funcion	Tipo de matriz
Min	Valor mínimo
Max	Valor máximo
Sort	Ordena de manera ascendente
Sum	Suma de los elementos
Prod	Producto de los elementos
Median	Mediana
Mean	Media
Std	Desviación estándar
Any	Verdadero si cualquier elemento es no cero
All	Verdadero si todos los elementos son no cero

Tabla 65.6 Funciones vectoriales.

○ **GRAFICACIÓN CON MATLAB**

MATLAB permite realizar tanto curvas planas como superficie en tres dimensiones. Las principales funciones para graficar se presentan en la tabla 15.7.

Función	Tipo de matriz
Plot	Grafica lineal x-y
Loglog	Grafica x-y con ejes logarítmicos
Semilogx	Grafica x-y con eje x logarítmico
Semilogy	Grafica x-y con eje y logarítmico
Polar	Grafica en coordenadas polares
Mesh	Grafica en 3 dimensiones
Contour	Curvas de superficie
Bar	Grafica de barras
Title	Título de la grafica
Xlabel	Unidades de la ordenada
Ylabel	Unidades de la abscisa
Text	Incluye texto dentro de la imagen
Gtext	Pone texto con mouse
Grid	Cuadrícula la imagen
Axis	Modifica la escala de los ejes
Hold	Congela la gráfica en la pantalla
Clg	Borra la gráfica anterior
Subplot	Divide en varias subgráficas
Ginput	Datos desde el teclado o mouse

Tabla 75.7 Operaciones elementales de graficación.

CURVAS PLANAS:

El comando plot genera graficas lineales x-y. Los vectores X y Y deben de ser del mismo tamaño. El comando plot (X,Y) grafica X vs Y donde X corresponde a las ordenadas y Y a las abscisas.

Ejemplo 1.6

Generar y graficar la función seno en el intervalo de $-\pi$ hasta π .

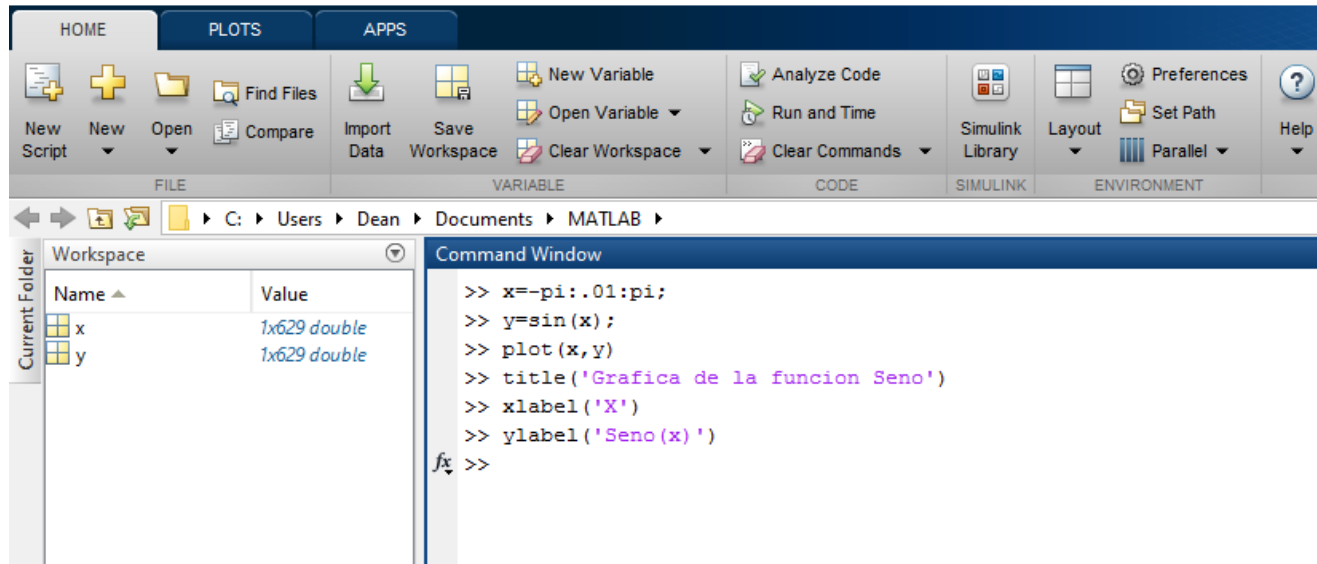


Figura 15.6 Ejemplo para graficar la función seno.

En la figura 15.7 se muestra la gráfica correspondiente al ejemplo 1.6.

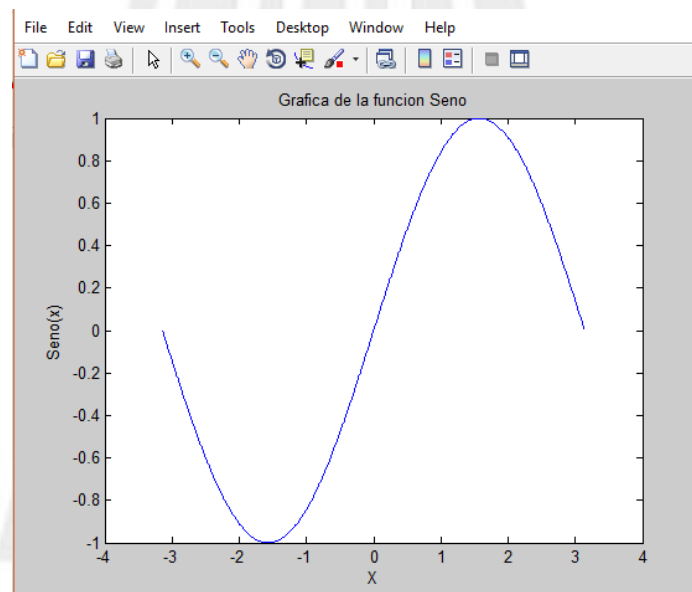


Figura 15.7 Grafica de la función seno.

También es posible graficar varias señales en una sola, por ejemplo:

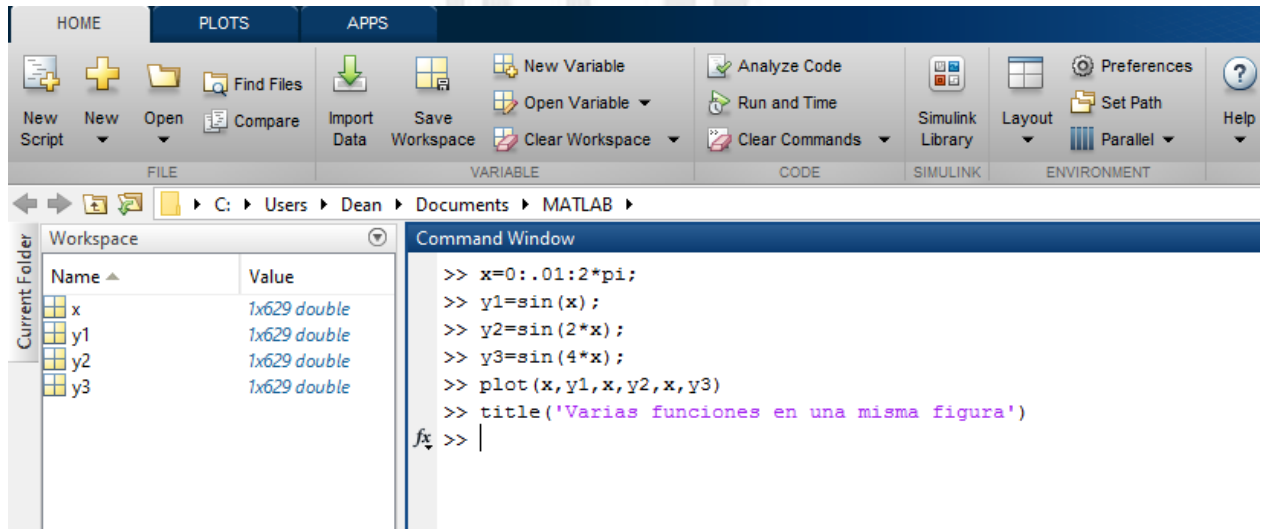


Figura 15.8 Ejemplo para graficar varias señales en una sola gráfica.

La figura 15.9 muestra varias funciones en una misma gráfica.

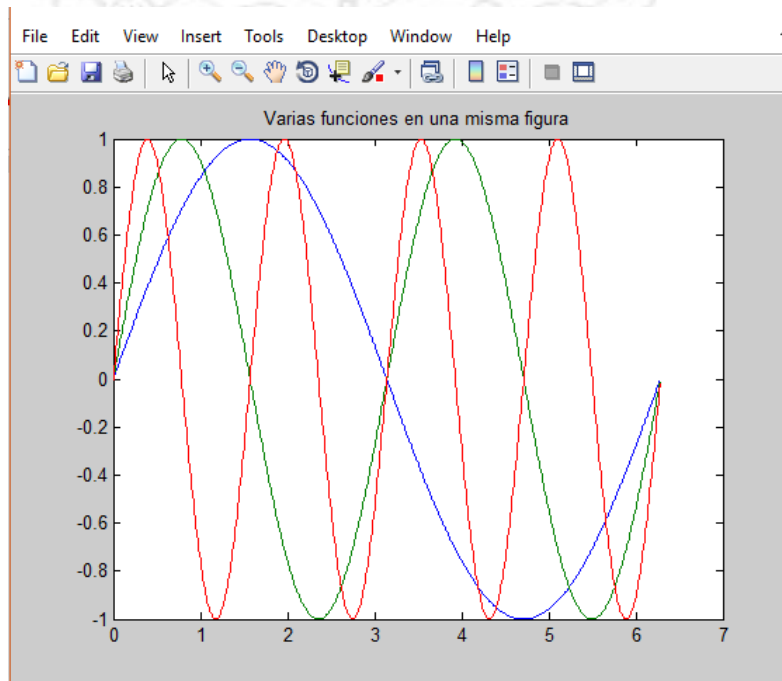


Figura 15.9 Gráfica de varias funciones en la misma figura

Otra forma de hacerlo es mediante el comando `hold on` que congela la imagen y las subsecuentes graficas se encimaran a la gráfica inicial de la figura. El comando `hold off` descongela la gráfica, como se muestra a continuación:

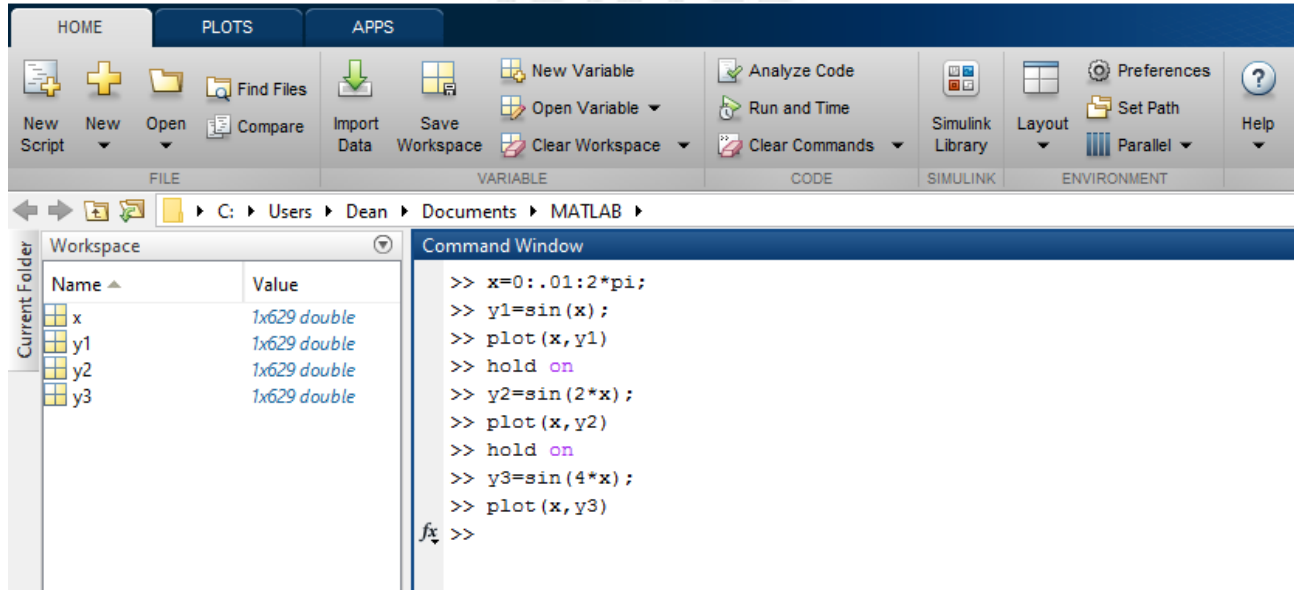


Figura 15.10 Ejemplo para graficar varias señales usando el comando `hold on`.

Referencia: Ortega Ruiz, Mauricio (2015). MATLAB: Aplicado a telecomunicaciones. México: Alfaomega.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



I N G E N I E R Í A E L É C T R I C A E L E C T R Ó N I C A
C O M U N I C A C I O N E S D I G I T A L E S
C O N C L U S I Ó N

Cuando inicié este proyecto siempre tuve en mente que los estudiantes y profesores tienen perspectivas diferentes, ya que unos se encargan de aprender y los otros de enseñar. Durante la realización y corrección de las prácticas tuve la oportunidad de acercarme más abiertamente a los profesores, ellos me ayudaron a darme cuenta de mis carencias ya que no domino la materia y aún tengo mucho por aprender. Por otro lado pedí la opinión de algunos de mis compañeros para dejar más claras las prácticas y así fueran más fáciles de comprender y experimentar. Al estar en una postura intermedia entre profesores y alumnos, me encontré en una posición más objetiva, en la que pude complementar ambas perspectivas. Esta experiencia hizo que notara que las prácticas de laboratorio son una forma de aprendizaje cooperativo que potencia el trabajo grupal.

Por otro lado, gracias a esta experiencia he mejorado mi nivel de análisis en manuales de equipos electrónicos y la comprensión de los temas incluidos en las prácticas.

En conclusión, durante la corrección, actualización y mejora de este Manual se cumplieron los objetivos. Esta propuesta de Manual es eficaz, reduce tiempos, tiene una estructura más entendible y por lo tanto, facilita el aprendizaje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ARAGÓN"



INGENIERÍA ELÉCTRICA ELECTRÓNICA
COMUNICACIONES DIGITALES
BIBLIOGRAFÍA

- **LIBROS**

Tomasi, Wayne. (2003). Sistemas de comunicaciones electrónicas (Cuarta Edición). México: Pearson Educación.

Couch II, Leon W. (1998). Sistemas de comunicaciones digitales y analógicos (Quinta Edición). México: Prentice Hall.

Lathi, B. P. (1991). Sistemas de comunicación. México: McGraw-Hill.

Ortega Ruiz, Mauricio (2015). MATLAB: Aplicado a telecomunicaciones. México: Alfaomega.

- **MANUALES**

Elettronica Veneta. Modulación PCM. Módulo T20B/EV. Motta di Livenza.

Elettronica Veneta. Modulación delta lineal y adaptiva. Módulo T20C/EV. Motta di Livenza.

Elettronica Veneta. Multiplex PAM de 4 canales. Módulo T20D-E/EV. Motta di Livenza.

Elettronica Veneta. Multiplex PAM de 4 canales con codificación de línea AMI/HDB3/CMI. Módulo T20F-E/EV. Motta di Livenza.

Elettronica Veneta. Modulaciones digitales. Módulo MCM31/EV. Motta di Livenza.