

TELEMÁTICA

COMUNICACIÓN EN SISTEMAS DIGITALES

UNIDAD 1. EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES

CLAVE:
21143632

UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA DE MÉXICO





Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

Índice

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones.....	2
Presentación.....	2
Competencia específica.....	3
Logros.....	3
1. Evolución de las comunicaciones.....	4
1.1 Historia de las comunicaciones.....	6
1.1.1 Comunicaciones analógicas.....	9
1.1.2 Comunicaciones digitales.....	10
1.2 Sistemas electrónicos de comunicación.....	19
1.2.1 Conceptos básicos de señales.....	19
1.2.2 Modulación.....	24
1.2.3 Filtrado.....	38
1.2.4 Amplificadores y circuitos de transmisión y recepción.....	40
1.3 Normas y tendencias en las telecomunicaciones.....	44
1.3.1 Organismos regulatorios en las telecomunicaciones.....	47
1.3.2 Tendencias de las telecomunicaciones.....	49
Cierre de la unidad.....	54
Para saber más.....	55
Fuentes de consulta.....	55



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

Presentación

¡Bienvenido(a) a este primer acercamiento en la unidad didáctica de Comunicación en sistemas digitales! Las comunicaciones digitales se enfocan al estudio de las bases teóricas y elementos prácticos de la transmisión de señales digitales.

Mediante ejercicios y dinámicas de aprendizaje conocerás las características fundamentales de un sistema de comunicación digital y sus ventajas sobre un analógico.

Las bases teóricas tienen su fundamento en el estudio de la modulación de señales y mediante la representación basada en series de Fourier y su respectiva transformada, pues a partir de éstas y las de Laplace, se puede estudiar el comportamiento en frecuencia y el ancho de banda que ocupa la señal, para ello requerirás herramientas matemáticas básicas en el manejo de principios impartidos en unidades didácticas como Comunicación de datos y Ecuaciones diferenciales.

Dentro de los aspectos prácticos estudiarás los sistemas electrónicos de transmisión y recepción de señales, por lo tanto, es importante el conocimiento de circuitos tanto digitales como analógicos, el medio de comunicación puede ser por cable y fibra óptica (considerados alámbricos) o bien por radiofrecuencia (inalámbrico) y por lo tanto en el presente curso también estudiarás sus propiedades.

Para realizar ejercicios de aplicación y con la finalidad de resolver problemas reales de comunicación de señales realizarás propuestas de modelos y simulaciones prácticas de los procesos de transmisión de la señal, lo cual te permitirá desarrollar competencias en el campo de las telecomunicaciones.

Se propone el uso del software Matlab para representar las simulaciones propuestas a lo largo de la unidad, las herramientas teóricas y simulaciones aquí proporcionadas te ofrecerán la capacidad de estudiar los aspectos técnicos de los sistemas de comunicación, sin embargo es importante conocer los requerimientos dictados por las normas y organizaciones regulatorias en telecomunicaciones, por esta razón también reconocerás la relación entre los organismos regulatorios de las telecomunicaciones en México.

En esta primera unidad se explicará la historia de las comunicaciones, desde las analógicas y sobre todo identificando las ventajas de las digitales. Mediante tu participación en el foro de discusión podrás compartir con otros(as) las ventajas de la tecnología digital sobre la analógica.

Las actividades de aprendizaje pretenden reforzar esta diferencia, finalmente para el estudio de los sistemas electrónicos estudiarás la modulación de señales tanto analógica como digital, que da el sustento a los sistemas de transmisión y finalmente estudiarás algunos ejemplos de circuitos propios de los sistemas de comunicación.



Comunicación en sistemas digitales

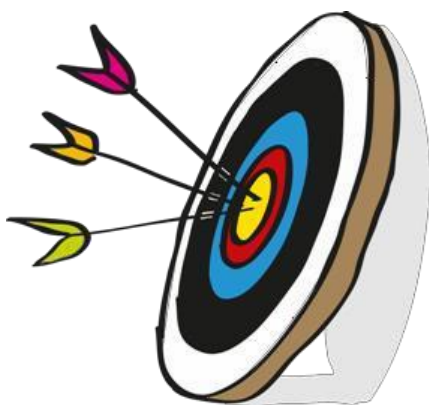
Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

Competencia específica



Identifica los modelos de los sistemas de comunicación para relacionar sus principios y normatividades mediante el estudio de fundamentos tecnológicos de la transmisión de señales considerando sus bases legales.

Logros



Al final de la unidad:

- Reconocer las ventajas de la comunicación digital sobre la analógica.
- Identificar los elementos que integran un sistema de comunicación y sus propiedades específicas.
- Reconocer las funciones y alcances de los organismos reguladores en comunicaciones.
- Modelar en programas de cómputo un sistema de comunicación para simular un ejemplo de transmisión de información.

Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



1. Evolución de las comunicaciones

La evolución de las comunicaciones en años recientes ha permitido lograr capacidades y velocidades de comunicación cada vez mayores, las primeras necesidades de comunicación eran para transmitir mensajes impresos para lo cual el correo de papel, y cartas impresas fue por mucho tiempo la principal forma de comunicarse, hasta que posteriormente el telégrafo permitió transmitir un mensaje de una forma inmediata y a gran distancia.

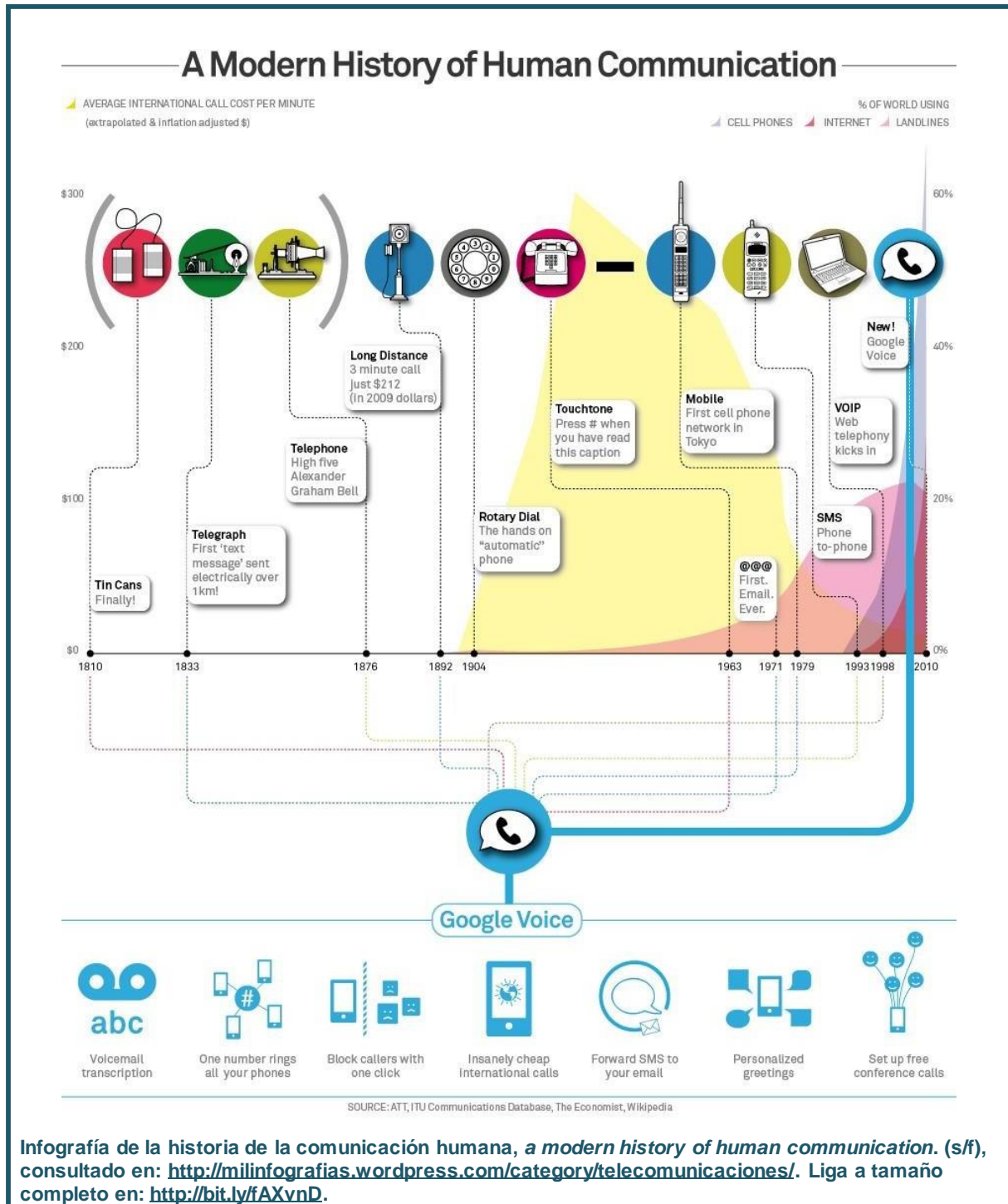
La telefonía permitió la comunicación verbal a largas distancias, hoy en día las necesidades de comunicación son mucho mayores; los individuos requerimos constantemente de la transmisión de voz, imágenes, música, datos, videos, documentos, así como frecuentes consultas de información; además las personas buscan que la transmisión de la información sea inmediata, así como la respuesta del receptor.

El desarrollo de la electrónica y la alta integración de componentes discretos dentro de circuitos integrados inteligentes con avanzados programas de procesamiento junto con los avances en redes de comunicación, cada vez más eficientes y de mayor capacidad, han permitido desarrollar los medios de comunicación que en la actualidad empleamos en empresas, hogares y de forma personal.

En las siguientes páginas estudiarás la forma en que ha evolucionado la tecnología que hace posible las comunicaciones hasta llegar a las telecomunicaciones en nuestros tiempos.

Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones





Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

La infografía anterior da una apreciación gráfica de la evolución de las comunicaciones, especialmente mediante la voz hasta llegar a las redes digitales, observa y analízala, y pon especial atención al surgimiento de las tecnologías digitales y su evolución hasta nuestros días.

1.1 Historia de las comunicaciones

Con este tema comienzas el estudio de los sistemas de comunicación digital en donde reconocerás el impacto que su evolución ha tenido en las comunicaciones desde el surgimiento del telégrafo hasta nuestros días.

Una de las primeras formas de comunicación fue el telégrafo que requirió del uso de las líneas conductoras (de cobre) para el envío de mensajes de un lugar a otro, debido a que se enviaban pulsos eléctricos por la línea. Posteriormente, con el uso del teléfono crecieron las redes y la cantidad de usuarios hasta lograr que en las grandes ciudades la gran mayoría de hogares y empresas tuvieran acceso a dicho medio, gracias a complejos sistemas de conmutación y líneas de muy alta capacidad conectadas entre ciudades, de esta manera se alcanzó una conectividad mundial bastante eficiente.



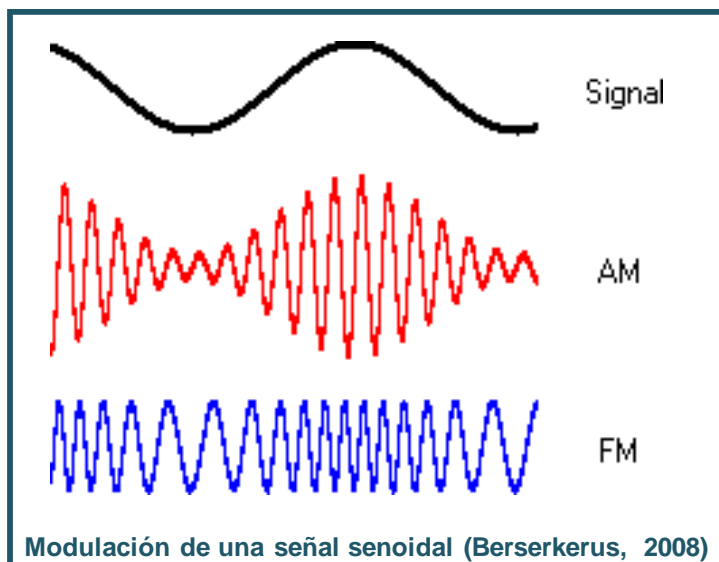
Las comunicaciones por radio frecuencia permitieron la comunicación entre puntos muy lejanos entre sí. La difusión de información y transmisión de diferentes programas de interés por este medio dio origen a la radio y la televisión. El procedimiento para enviar el mensaje y la información ha sido mediante la transmisión de una señal denominada portadora, generalmente de alta frecuencia que al cambiar alguno de sus parámetros (amplitud, frecuencia o fase) proporciona información de la señal que se desea transmitir, denominada moduladora. Este proceso se llama modulación. Esta es una de las razones para estudiar las señales y sus parámetros principales.



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

La siguiente figura muestra cómo se puede variar la amplitud (AM) o bien la frecuencia (FM) cuando cambia la señal moduladora. Más adelante estudiarás otras formas de modulación para señales digitales.



Los sistemas de AM y de FM aún son empleados para transmisiones de radio y televisión, del mismo modo en otras aplicaciones tales como banda civil, medición remota (telemetría), conexiones punto a punto, comunicaciones por microondas y satelitales. El uso de la portadora o carrier (señal de alta frecuencia empleada en la modulación) implica que se debe transmitir a una frecuencia determinada y por lo tanto dicha frecuencia no puede ser empleada por otro usuario, de otra forma se ocasionaría una interferencia afectando entre sí a ambos usuarios. Esto también genera la necesidad de regular a las empresas que proveen los servicios de comunicación y el uso de las frecuencias, desde las más bajas kHz hasta las más altas frecuencias en el orden de los GHz. También surgió la idea de realizar comunicaciones de voz de forma inalámbrica y móvil, es decir, conectar a personas con personas mediante la telefonía celular.

Aplicación del Reglamento de Radiocomunicaciones de acuerdo a la oficina de Radiocomunicaciones utilizando las siguientes unidades	
kHz	Para frecuencias de hasta 28 000 kHz inclusive
MHz	Para frecuencias superiores a 28 000 kHz y hasta 10 500 MHz inclusive
GHz	Para frecuencias superiores a 10 500 MHz

Basada en el cuadro nacional de atribución de frecuencias. Cnaf2012



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

Las técnicas en la codificación y modulación digital permiten a diversos usuarios compartir las frecuencias e incrementar la capacidad de transmisión lo que ha permitido evolucionar este sistema hasta tener mayor crecimiento existente que la telefonía fija.

Con el surgimiento de computadoras y sistemas digitales también surgió una forma de enviar información digital basada en unos y ceros.

Las líneas telefónicas y de radio no son adecuadas para este tipo de señal en donde una señal digital cuadrada se forma por componentes de muy altas frecuencias y los medios de comunicación generalmente poseen un espacio de frecuencia limitado. Otras formas de modulación se crearon para solucionar esta limitante tales como la **Modulación digital** en fase, en cuadratura, en amplitud etc., destinadas exclusivamente a la transmisión digital.

Sentadas las bases, entonces las computadoras se comunicaron por medio de las redes telefónicas existentes, pero la velocidad de transmisión de los datos y la capacidad eran limitadas. Posteriormente surgió la fibra óptica, que es un medio de comunicación de muy alta capacidad y menor interferencia al ruido y que rápidamente sustituyó a las líneas de cobre. Actualmente dentro de este medio se integran voz, datos y video (TV) dentro de la misma línea de comunicación.

En la tercera unidad estudiarás a detalle el uso de las frecuencias y sus distintas aplicaciones, sin embargo, a continuación, verás un bosquejo general del uso de frecuencias.

Observa en la siguiente figura que de acuerdo al rango de frecuencia se tienen diferentes aplicaciones.

En el rango de frecuencias de 104 -106 Hz se realiza la transmisión AM, mientras que para frecuencias en rangos de 106 – 108 Hz se emplea modulación en FM y para frecuencias superiores existen aplicaciones distintas a las telecomunicaciones.




Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



Las posibilidades de comunicación que hoy en día vemos son enormes y para explicar cómo es su funcionamiento también es importante reflexionar sobre su evolución.



Consulta el video *Historia de la comunicación*:
<http://www.youtube.com/watch?v=Tx3DWzqtaQU>

A continuación, estudiarás con mayor detalle las comunicaciones analógicas y digitales con la finalidad de comprender más ampliamente sus diferencias y ventajas.

1.1.1 Comunicaciones analógicas

En sus inicios las comunicaciones se desarrollaron por cable y gracias al telégrafo fue posible enviar los primeros mensajes a grandes distancias. Asimismo, surgió el teléfono que, de igual forma, por medio de un cable permitió transmitir la señal de voz en su frecuencia original, llamada **banda base**, limitado en el rango de frecuencias de hasta 4kHz y para la música podía alcanzar hasta

15 kHz.

Más tarde, con el inicio de las primeras transmisiones de señales de radio se realizaron las primeras comunicaciones mediante la modulación, con el cual se transforman las señales de voz a una señal de la frecuencia mucho mayor, llamada portadora y que es apta para enviarse por radio. Inicialmente se empleó modulación en amplitud o AM y posteriormente la modulación en frecuencia o FM, teniendo esta mayor inmunidad al ruido ambiental y por lo tanto resultó ser de mayor calidad.

Durante muchos años a través de estos dos sistemas se transmitió la radio AM y FM, del mismo modo la TV, así



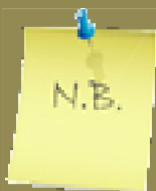
Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

como las transmisiones de radioaficionados, bandas civiles y otras numerosas aplicaciones.

Para poder incrementar el número de usuarios, especialmente en la telefonía tradicional se emplea un proceso de multicanalización también conocida como multiplexación, es decir, dividir el canal o el medio entre los usuarios, por ejemplo, la separación en frecuencia y separación en tiempo. Por lo anterior es importante aclarar que es común encontrar que algunos autores denominan a dicho proceso mutiplexación, en esta unidad didáctica, se empleará el término multicanalización cuando se haga referencia a tal proceso.

Con base a lo anterior y en el caso de las transmisiones por radio, dicha situación en las transmisiones dio origen a las estaciones de radio y televisión, así como su separación en diferentes frecuencias, generando las distintas estaciones. Una vez asignada dicha frecuencia no podría ser empleada por otro usuario. Aún, hasta nuestros días, se siguen empleando las mismas frecuencias.



Con la intención de profundizar un poco más en cómo se asignan las frecuencias. Se presenta el siguiente enlace el cual habla sobre las frecuencias en la radio

https://www.enacom.gob.ar/generalidades-sobre-las-asignaciones-de-frecuencia_p548

<https://www.emediamonitor.net/es/frecuencias-radio-canales-difusion/>

1.1.2 Comunicaciones digitales

A partir de la necesidad de conectar a las computadoras entre sí, nace otro proceso de modulación mediante el cual se debe modificar una señal portadora capaz de viajar por el canal telefónico, limitado a un ancho de banda de 4 kHz, basada en la señal digital, (representada por unos y ceros o voltaje alto y bajo). A continuación, verás la representación de una señal digital en el programa de Matlab.

El programa lo puedes consultar y descargar en una versión de prueba en el sitio:

www.mathworks.com

Encontrarás manuales, foros de dudas y ejemplos para descargar.

Se sugiere el uso de este programa para realizar la representación de las señales de esta unidad didáctica, inclusive este programa cuenta con una reciente caja de herramientas o toolbox destinada a la simulación de



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

sistemas de comunicación, denominada comunicación system toolbox. Esta última es una herramienta que contiene las funciones y bloques de simulación para el estudio de sistemas de comunicación tanto analógicos como digitales, lo cual representa una opción adecuada para observar el comportamiento de los sistemas de comunicación que estudiarás en esta unidad.

Es importante mencionar que varios de los ejemplos que se presentan en la presente unidad están basados en esta herramienta.

Para el estudio de la transmisión de una señal digital es importante entender la naturaleza de la señal digital y para eso comenzarás a analizar una señal rectangular, para lo cual estudiarás su representación basada en las series de Fourier, que nos indica que una señal periódica se puede expresar por medio de una suma infinita de señales senoidales, en el siguiente ejercicio se muestra el caso de una señal rectangular.

Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



Ejemplo 1

Con base en el programa MATLAB representar la siguiente serie de Fourier, que corresponde a una señal periódica cuadrada de amplitud $\pm 1V$ y frecuencia $w=2\pi$.

$$f(t) = a_0 + \sum_{k=1}^n \left(\frac{4}{k} \sin(wk t) + \dots \right)$$

Solución:

Para generar la senoidal se requiere primeramente definir el vector de tiempo en el intervalo de análisis, digamos desde 0 hasta 2π ("pi", así se lo deberás escribir en MATLAB), para ello en este software se genera la variable t mediante la instrucción: $t=0:0.01:10$, en donde se indica el valor inicial de t , el valor final que es 10 y los incrementos, de 0.01, el resto de las variables se le asigna su valor, a_n, w y n . La suma de senoidales se puede realizar dentro de un ciclo *for-end*, dentro del cual se evalúa la variable denominada *sum*, que contiene la suma de la serie de Fourier. Al fin del ciclo se grafica la señal resultante mediante la instrucción *plot(t, x)*, que requiere dos argumentos, la variable del eje horizontal y la señal a graficar. Las instrucciones *grid* y *title* permiten desplegar una retícula sobre la imagen y colocarle un título a la misma.

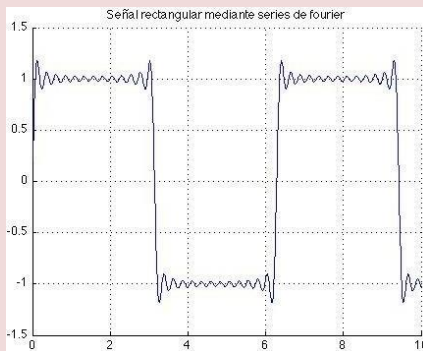
```
a0=0; %Coeficiente de a0
w=1;
n=3; %Número de armónicos
t=0:.01:10;
sum=0;
hold on
for k=1:2:25
    %k=1;
    sum=sum+(4/pi)*sin(w*k*t)/k; %Series de Fourier
```

Comunicación en sistemas digitales

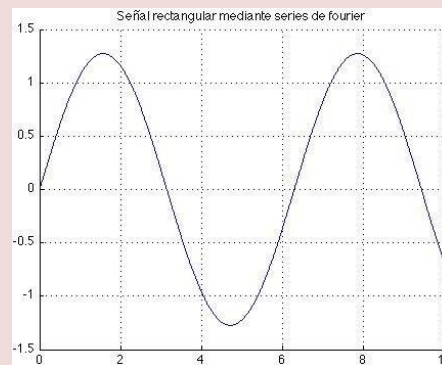
Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



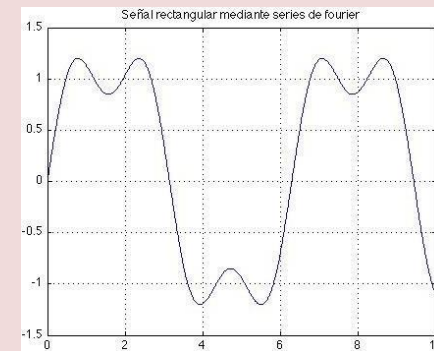
```
end  
plot(t,sum)  
grid  
title('Señal rectangular mediante series de fourier');
```



Serie de Fourier para 25 coeficientes



Frecuencia principal



Serie de Fourier para 3 coeficientes

Señales en las series de Fourier. Una señal digital se compone de un número infinito de componentes senoidales (series de Fourier).

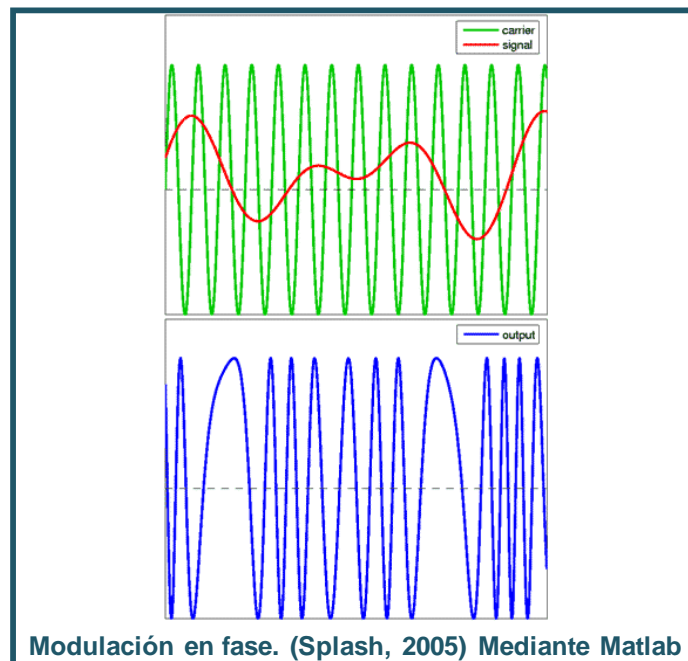


Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

Como observas en la figura, un tren de pulsos digitales se puede representar por una suma infinita de señales de frecuencias múltiplos de la frecuencia principal; también se muestra la frecuencia fundamental, y la suma de 25 frecuencias secundarias. Por lo tanto, se puede concluir que un medio de transmisión, por ejemplo, el canal telefónico, que está limitado a un ancho de banda, se eliminaría gran parte de las componentes de alta frecuencia, y por lo tanto la señal digital quedaría distorsionada perdiendo información, lo cual lleva a la necesidad de una modulación de señales digitales.

Inicialmente se realiza la modulación en amplitud y frecuencia, sin embargo, dado que las portadoras, no deben rebasar los 4 kHz, esto limita la velocidad de transmisión de los datos, parámetro que es medido en bits transmitidos por segundo o bps, alcanzando tasas máximas de 2400 bps para este tipo de modulación. Mediante la Modulación en fase es posible incrementar dicha velocidad debido a que una señal senoidal dentro de la frecuencia de 4 kHz puede cambiar su fase un gran número de veces y así se puede codificar mayor cantidad de bits de información en un solo cambio de fase. Con cambios de fase y amplitud se incrementó enormemente la velocidad de comunicación hasta llegar al orden de millones de bps (bits por segundo) o bien Mbps (Megabits por segundo).



Para representar la **Modulación en fase**, el diagrama representado en la parte superior ejemplifica la señal moduladora superpuesta sobre la onda portadora (color verde). El diagrama inferior muestra la señal



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

resultante. Dicha modulación es un caso especial de la FM.

Con el uso de equipos electrónicos digitales, computadoras y sistemas de procesamiento digital además de la simple transmisión de señales es posible realizar sofisticados procesamientos de la información como es la compresión de los datos, codificación, encriptación, ruteo etc. Esto hace de los sistemas digitales eficientes y con la posibilidad de realizar múltiples operaciones adicionales.



Es importante que **analices** a detalle los contenidos de este subtema, pues aquí debes tener claro las ventajas y desventajas que ofrecen las comunicaciones digitales sobre las analógicas. Por ejemplo, en la actualidad se puede enviar imágenes y video gracias a técnicas en la compresión de imágenes; también es posible integrar múltiples servicios dentro del mismo canal, o bien, es posible la consulta de fuentes de información en línea mediante internet.

1.2 Sistemas electrónicos de comunicación

Ahora reconocerás las bases electrónicas y teóricas para la transmisión de señales, para este tema podrás encontrar libros completos, pero en nuestro caso conviene centrarnos en solo unos aspectos que permitan atender principios fundamentales relacionados a las telecomunicaciones.

Hasta ahora has estudiado la importancia de las comunicaciones digitales y la evolución que ha tenido hasta la actualidad. Es momento de asimilar y analizar aspectos teórico-técnicos de los sistemas electrónicos que hacen posible el funcionamiento de medios de transmisión. Para comenzar es importante que identifiques con claridad cuáles son las principales señales que se emplean para la transmisión de información en sistemas de comunicación, debido a lo anterior el estudio de las funciones senoidales es de suma importancia. Del mismo modo es trascendental que conozcas la forma de representarlas, sus principales parámetros y los instrumentos adecuados para visualizarlas y analizarlas. De manera adicional, pero sin profundizar tanto, estudiarás los efectos del ruido, sus propiedades y la forma de visualizar el ruido, así como las principales fuentes de ruido, no solo en el campo de las telecomunicaciones, sino también en otras aplicaciones.

En seguida estudiarás las principales formas de modulación tanto analógica como digital; la modulación es una forma de transformar la señal original en otra señal adecuada al medio de comunicación usado y que además lleva consigo la misma información que se desea transmitir. Este es uno de los temas centrales de



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

esta unidad ya que te permitirá conocer la forma en que se logra la comunicación digital.

Posteriormente, con el estudio de circuitos electrónicos dedicados a las principales tareas de comunicación podrás identificar los circuitos y sistemas que son empleados en las diversas redes de comunicación. Algunos de los más importantes son: oscilador, filtro, modulador, amplificador, entre otros. En esta unidad didáctica el principal enfoque consiste en que relaciones los fundamentos, ventajas, y dado que no es posible realizar prácticas de laboratorio con circuitos físicos, se busca que, mediante las lecturas, ejercicios y especialmente los videos tengas el mayor conocimiento de los sistemas electrónicos que llevan a cabo las tareas de comunicación digital.

1.2.1 Conceptos básicos de señales

Retomando la definición de señal vista en Comunicación de datos de acuerdo a Soliman y Srinath, (1999), establecieron que:

“Las señales son magnitudes físicas o variables detectables, mediante las que se pueden transmitir mensajes o información “.

En este curso el objetivo principal es reconocer y ubicar los sistemas de comunicación que en esencia hacen uso de las señales, como lo has visto planteado en la anterior definición.

Ahora bien, para el estudio de los conceptos y de acuerdo a los fines que se pretende que alcances, se ha querido referenciar a los conceptos de dichos parámetros, por lo tanto, es importante aclarar que debes concebir como parámetro a una parte de la señal o algo que permite describirla y a su vez forma parte esencial de los atributos de una señal.

La base de las comunicaciones es la transmisión de señales por tal motivo, ahora vas a estudiar a detalle cuáles son dichos parámetros que representan una señal. Partiendo del estudio de los parámetros de una función seno, observa el siguiente video:

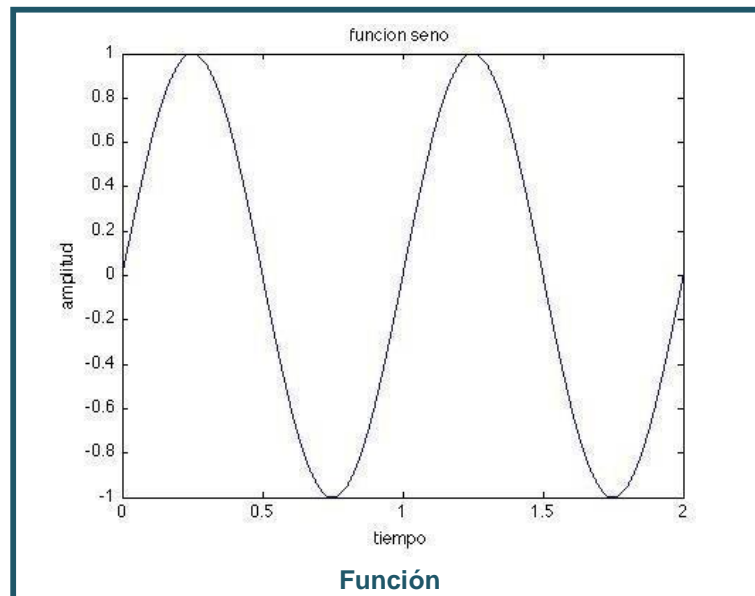
Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



Básicamente consiste en el estudio de los parámetros en función seno: <http://www.youtube.com/watch?v=wsZSad7mLLE>.

Los principales parámetros que caracterizan una onda senoidal, y que viste en el video se muestran en la siguiente figura se grafica la Función seno, y con base a (Boylestad, 2004, pp. 523-525), se describen inmediatamente después.



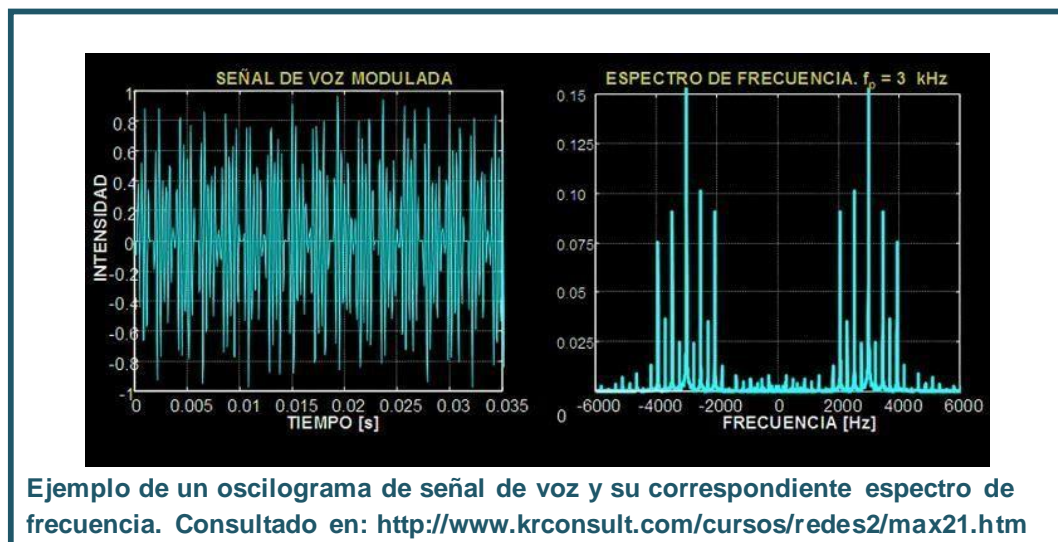
- La **amplitud**, puede medirse como el valor entre un máximo positivo y uno negativo llamado voltaje pico a pico V_{pp} o bien como el valor medio cuadrático de energía de la señal o Voltaje RMS V_{RMS} .
- El **periodo** se define como el tiempo T que le toma a la señal entre un máximo y otro valor máximo.
- La **frecuencia** f se define como la cantidad de ciclos por segundo, es decir, el número de veces por segundo que cambia la señal por lo tanto $f=1/T$.
- La **fase** se define como el retardo de tiempo que le toma a la señal antes de iniciar su ciclo completo.

Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



Otra señal importante en las comunicaciones (telefonía y celular) es la voz, que no es muy diferente de la señal senoidal; de hecho, el espectro de la señal de voz se forma de la suma de varias señales senoidales. En la siguiente ilustración podrás observar un ejemplo de una señal de voz, del mismo modo observa la imagen denominada espectro que es una figura que muestra el contenido de frecuencias de la voz.



Dispositivos de medición

Para la representación de señales hablaremos de los dispositivos de medición o instrumentación electrónica, empleados especialmente para observar las principales propiedades de las señales a analizar: (En la sección Para saber más encontrarás más información).

- Multímetro
- Generador de funciones
- Osciloscopio
- Analizador de espectros
- Analizador de redes

Para esta unidad didáctica nos centraremos básicamente en dos de ellos. Uno de es el osciloscopio que has conocido en algunos de tus cursos anteriores. El osciloscopio es un instrumento que permite graficar una



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

señal en función del tiempo, es decir, representa la forma en que cambia la función en el tiempo.

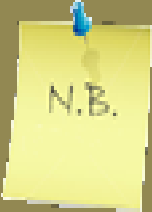
La figura anterior, muestra de intensidad en el dominio del tiempo (Señal de voz modulada) es una imagen obtenida de un osciloscopio.



Señal senoidal vista en un osciloscopio

En la figura puedes observar un osciloscopio en donde se muestran algunos de los principales botones:

- a) Entrada de señal de canal 1
- b) Entrada de señal de canal 2
- c) Ajuste del tiempo
- d) Ajuste de amplitud

 En el siguiente vínculo podrás **descargar** un osciloscopio en línea:

<https://www.virtual-oscilloscope.com/>

https://play.google.com/store/apps/details?id=org.sbaudio.oscope&hl=es_MX

Por otro lado, el analizador de espectro o de frecuencias es un instrumento que permite ver el contenido de frecuencias de una señal. Este es un equipo más sofisticado y que generalmente es empleado en



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

laboratorios por empresas que operan con señales de radiofrecuencia. Este instrumento genera una figura como la presentada en el diagrama de frecuencia de la voz.

Más adelante en el video Tutorial de las bases de modulación FM en analizador de espectro, verás en funcionamiento este instrumento. A continuación, se presenta una imagen del analizador de espectro.



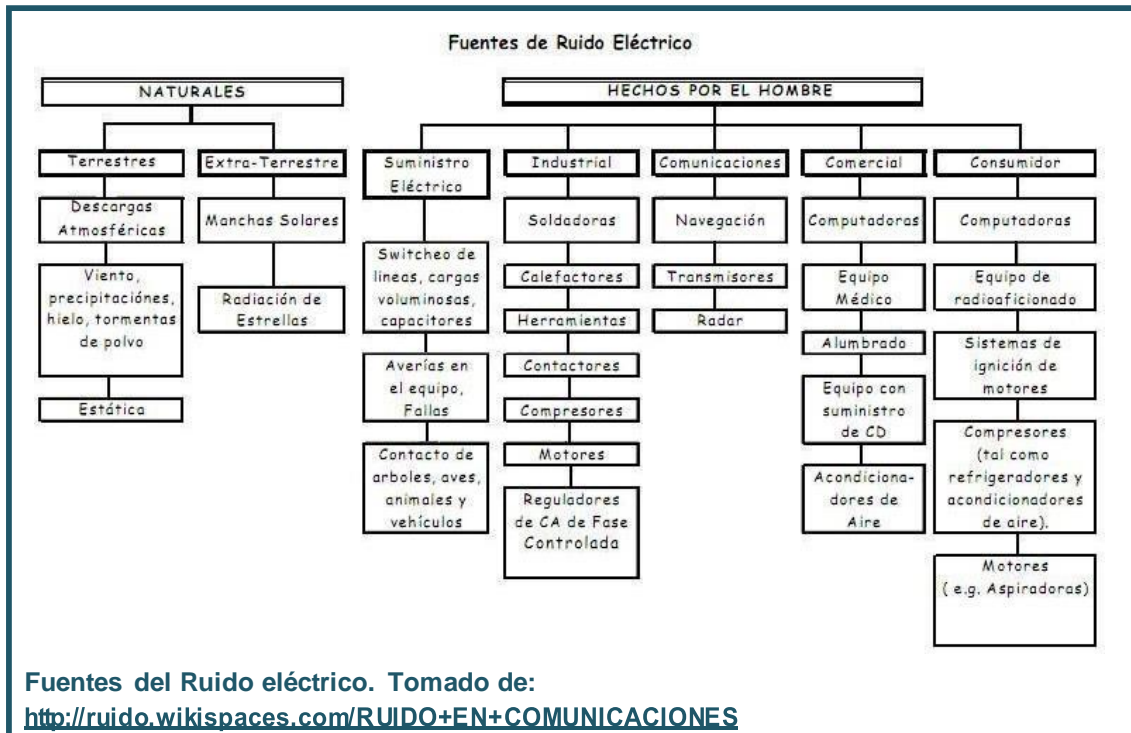
Analizador de

El ruido

En seguida se presentan un cuadro en donde puedes observar las principales fuentes de ruido, catalogadas por ruido natural y ruido creado por el hombre. Pon atención a la clasificación el ruido aplicable a las telecomunicaciones.

Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



El ruido es una señal que no se desea tener en la comunicación, sin embargo, es importante estudiarlo, debido a que está presente todo el tiempo. El ruido es una señal cuya magnitud cambia aleatoriamente, es decir, puede tomar cualquier valor y por ello puede estudiarse de forma probabilística. Existe un ruido que se denomina blanco por su similitud con la luz, debido a que la luz blanca contiene todos los colores en su espectro, el ruido blanco contiene todas las frecuencias del espectro de radiofrecuencia. La ocurrencia del ruido generalmente obedece a la distribución de probabilidad normal o gaussiana, por ello se denomina ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN), presente en todo medio de comunicación, así por ejemplo la señal sinusoidal al viajar por el medio se verá afectada por el ruido. La unidad de medida para el ruido que emplearás en el presente curso es la llamada Relación Señal a Ruido (SNR por sus siglas en inglés o Signal to Noise Ratio) que se define como la relación entre la amplitud de la señal comparada con la amplitud del ruido que medida en unidades de decibeles se expresa mediante la siguiente ecuación en donde S es la potencia de la señal y R es la potencia del ruido:

$$SNR = 10 \log \left(\frac{S}{R} \right)$$



Comunicación en sistemas digitales

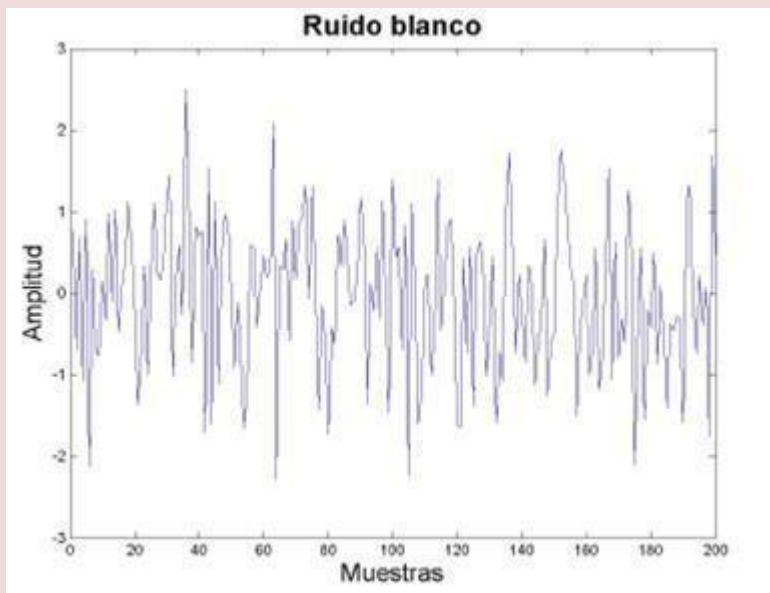
Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

Ejemplo 2

Mediante el uso de *Matlab* puedes generar y graficar una señal de ruido basado en la función *randn*.

Solución: la función *randn(m,n)* requiere dos parámetros de entrada, dicha función genera una matriz de $m \cdot n$ elementos cuyas entradas son variables aleatorias de ruido blanco gaussiano:

```
ru=randn(200,1)
plot(ru)
```



Ruido blanco

1.2.2 Modulación

Se ha mencionado que para poder adecuar la señal a transmitir por el canal de comunicación se debe modificar a una nueva señal de otra frecuencia, proceso denominado modulación, ahora se explican brevemente diferentes tipos de modulación.



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

Modulación AM

En la modulación AM se modifica la amplitud de la portadora con la señal que se desea transmitir en su frecuencia original llamada en banda base. El proceso básico de modulación AM es multiplicar la señal en banda base por la portadora. El estudio en frecuencia de esta operación muestra que el espectro se compone de dos bandas de frecuencia denominado: modulación por Doble Banda Lateral o DBL. Esto significa que el espectro ocupa el doble de espacio de la frecuencia de la señal en banda base. Eliminando una de las bandas se genera la modulación de una banda lateral única o BLU. Por ejemplo, las estaciones de radio de AM analógicas ocupan un espacio de 10 KHz, 5 KHz por cada banda.

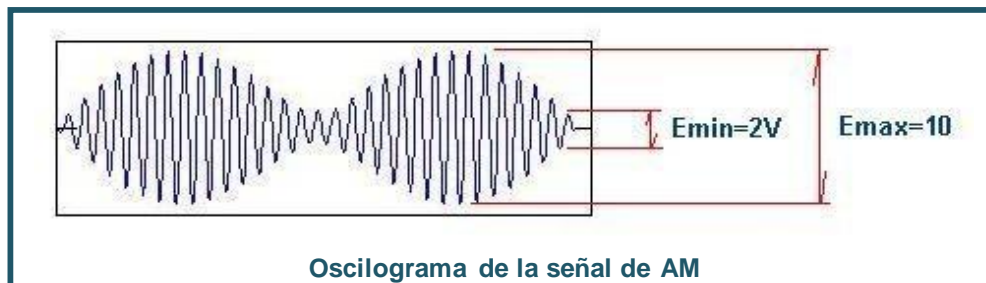
La función de la señal AM es la siguiente:

$$E(t) = A_m \cos(\omega_c t)$$

En donde:

$f_m(t)$ es la información a transmitir o señal moduladora y la función coseno representa la portadora de frecuencia ω_c .

Se observa que la modulación AM es solamente la multiplicación de ambas señales. En la siguiente figura se muestra la señal de AM



Un parámetro fundamental en la transmisión AM es el índice de modulación m que se obtiene mediante la siguiente fórmula

$$m = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}}$$



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

Ejemplo 3

A partir de la información de la figura anterior donde se presenta el oscilograma de la función AM se puede determinar el índice de modulación de la siguiente forma:

$$m = \frac{10-2}{10+2} = 0.66 \text{ y expresado en \%} = 66.6\%$$

El índice de modulación es un parámetro que determina la potencia de la señal de AM y por lo tanto nos ayuda a conocer la eficiencia del sistema de transmisión de AM. Posee un valor entre cero y uno, generalmente se expresa en %, es deseable que su valor sea cercano a 1. La potencia de la señal de AM se puede determinar con la siguiente expresión, basada en el índice de modulación:

$$P_{AM} = P_c + \frac{m^2}{4} P_c + \frac{m^2}{4} P_c$$

En **donde** P_{AM} es la potencia total de la señal de AM, P_c es la potencia de la portadora y m es el índice de modulación. El segundo y tercer término de la ecuación representan la potencia de cada banda lateral. Con la finalidad de reforzar este tema se recomienda resolver los ejercicios 1 y 2 del cuaderno de ejercicios para que entiendas más claramente los parámetros de la modulación de AM.

En el lado del receptor debe existir también otro sistema, llamado demodulador, capaz de identificar la señal de AM y recuperar la envolvente o bien la señal moduladora.

La siguiente figura dentro del ejemplo se muestra el caso de transmisión de una señal que se ve afectada por ruido, posteriormente es demodulada y se recupera la información. Se puede concluir que el principal problema de la modulación AM es la interferencia del ruido.

Ejemplo 4

Realiza una simulación completa de un sistema de transmisión y recepción de AM de la señal: $x(t) = \sin(2\pi t) + \sin(4\pi t)$, (senoidal de 1 Hz y de 2 Hz). Emplear una portadora de 50 Hz. Basado en el toolbox *de communication systems* de *Matlab*



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

determinar la señal de AM, añadir ruido blanco de valor SNR=15dB y posteriormente demodular y graficar las respectivas señales.

Solución:

En este ejercicio se requiere primeramente representar la función x compuesta por la suma de dos senoidales, tal y como se hizo en el *Ejemplo1*. En seguida se realiza la modulación en AM y para ello se emplea la función `ammod(x,Fc,Fs,phasedev)`, para esta función se requieren como parámetros: la señal a modular, la frecuencia de portadora, frecuencia de muestreo (parámetro necesario para una simulación digital y que de acuerdo al software se sugiere al menos diez veces mayor que la portadora) y la desviación de fase (usar $\pi/2$). Para añadir ruido blanco se cuenta con la función `awgn`, que suma ruido a la señal a simular y cuyo parámetro principal es la relación entre ruido y señal o SNR=15, finalmente para demodular la señal se emplea la función `amdemod(x,Fc,Fs,phasedev)`, que emplea mismos argumentos que `ammod`. Para la graficación se emplea la función `subplot(4,1,1)` que permite dividir la imagen en 4 gráficas simultaneas y graficar por separado cada una de ellas.

```
Fs = 1000; % Se define el muestreo a emplear,
t = [0:2*Fs+1]/Fs; % definicion de variable de tiempo

x = sin(2*pi*t) + sin(4*pi*t); % señal principal

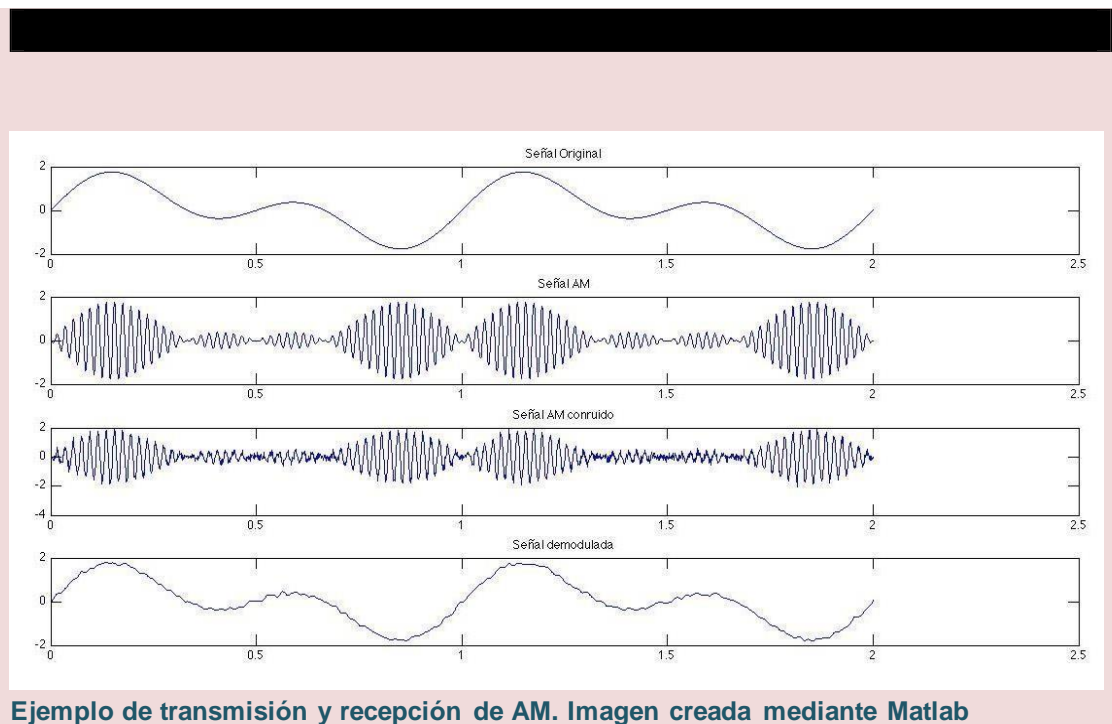
Fc = 50; % frecuencia de la portadora
phasedev = pi/2;

y = ammod(x,Fc,Fs,phasedev); % Modulacion
y2 = awgn(y,15,'measured',103); % Se añade ruido
z = amdemod(y2,Fc,Fs,phasedev); % Demodulacion

% Graficacion de señales
subplot(4,1,1)
plot(t,x)
title('Señal Original')
subplot(4,1,2)
plot(t,y)
title('Señal AM')
subplot(4,1,3)
plot(t,y2)
title('Señal AM con ruido')
subplot(4,1,4)
plot(t,z)
title('Señal demodulada')
```

Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



Ejemplo de transmisión y recepción de AM. Imagen creada mediante Matlab

Modulación en FM

A continuación, analizarás la modulación en frecuencia o FM. En esta modulación se modifica la frecuencia de la señal portadora de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$s(t) = \cos(\omega_c t + \frac{\delta}{f_m} \sin(\omega_m t))$$

Donde:

$$m = \frac{\delta}{f_m} \text{ es ahora el índice de modulación}$$

En este caso particular la señal en banda base es una función coseno de frecuencia ω_m . ω_c es la frecuencia angular de la portadora y m el índice de modulación. En Tomasi, (2008), podrás estudiar más a detalle las ecuaciones de FM.



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

Ejemplo 5

Dada una señal de FM con una desviación $\delta=8\text{kHz}$ y una frecuencia de señal moduladora de 4 kHz **determinar** el índice de modulación.

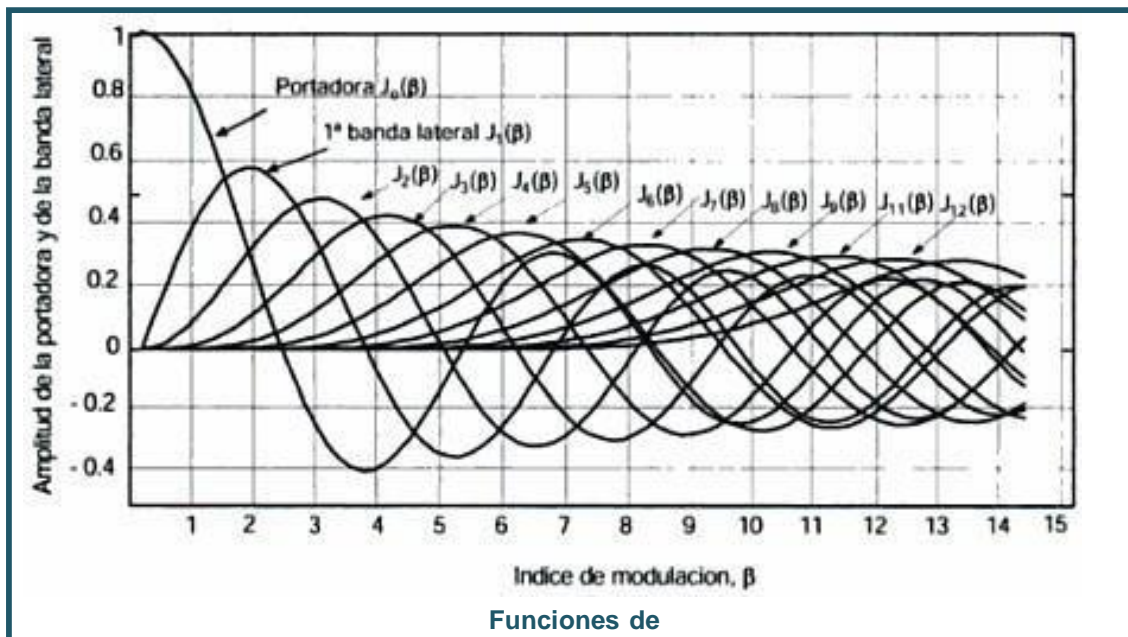
$$m = 8\text{kHz}/4\text{kHz} = 0.5 \text{ que en \% es de } 50\%$$

El principal aspecto a estudiar en la transmisión de FM es el ancho de banda que ocupa la señal en el espectro de radiofrecuencia. El estudio en frecuencia de la señal de FM se vuelve más complicado y lleva a una función que se compone de las llamadas **funciones de Bessel**, estas funciones representan la solución a la **transformada de Fourier** de la señal del tipo $\cos(\sin(x))$, la solución para esta última función no se encuentra en tablas de transformadas directas de Fourier y su solución son dichas funciones de Bessel, es decir, el espectro de frecuencia está dado por la suma de las diferentes **funciones de Bessel**, como podrás observar en la figura: Funciones de Bessel. Dicho análisis indica que una señal de FM posee un número infinito de bandas laterales, aunque las bandas superiores sean cada vez de menor amplitud, este efecto ocasiona que una señal de FM interfiera con las estaciones adyacentes. Sin embargo, en la práctica solamente se consideran las bandas principales dadas por los coeficientes de las **funciones de Bessel** y que ya se encuentran dadas en tablas para el estudio de la modulación FM. Por ejemplo, en la tabla Funciones de Bessel representadas en Santacruz, (2010), se observa en la primera columna el índice de modulación y en las siguientes columnas las bandas laterales más significativas.



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



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	—	—	—	—	—	—
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	0.00	-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	—	—	—
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 de bandas laterales más representativas en FM

Ejemplo 6

A partir del índice de modulación del *Ejemplo 2*, **determina** las bandas laterales más significativas del espectro de la señal de FM considerando una amplitud de la portadora de 10 V.

De acuerdo a la tabla los valores de las bandas laterales para $m=0.5$ son los siguientes:

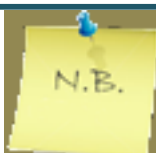


Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

m	J_0	J_1	J_2
0.50	0.94	0.24	0.03

Banda principal $J_0=9.4V$, bandas secundarias: $J_1=2.4V$ y $J_2=0.3V$.



Es importante resaltar que en la modulación en FM generalmente es más importante la **representación** del espectro de la señal que el oscilograma o la señal vista en el tiempo.

Para ello es necesario el uso de un analizador de espectros como el instrumento descrito anteriormente. Más abajo en el video Tutorial de las Bases de Modulación FM en Analizador de Espectro, verás la representación de la señal FM en la frecuencia. Además del espectro de la señal FM, observarás la forma en que se incrementa el número de bandas laterales, debido al gran número de bandas laterales que podrían interferir con otras señales es importante que exista algún tipo de regulación para obtener solamente un ancho de banda limitado y así eliminar las bandas laterales de menor amplitud para no interferir con otros usuarios, cabe señalar que es por ello que es también importante el estudio de los filtros para llevar a cabo dichas tareas.

Ejercicio 1

En este momento, es adecuado que resuelvas los ejercicios propuestos en el *Cuaderno de ejercicios* del 1 al 4, que tratan sobre los distintos sistemas de modulación analógica. El cuaderno lo puedes encontrar en el material de apoyo de la unidad. Cabe destacar que estos ejercicios no serán considerados dentro tu calificación y se presentan como sugerencia complementaria a los contenidos aquí presentados.

Para que identifique mejor el proceso de modulación analógica observa el siguiente video:



Consulta el *Tutorial de las Bases de Modulación FM en Analizador de Espectro*: <http://www.youtube.com/watch?v=wrblopmmemc>.



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

El aspecto importante al que debes llegar sobre el análisis de la modulación FM es que requiere un gran ancho de banda, sin embargo los organismos regulatorios solamente permiten un ancho de banda limitado y por ello es necesario eliminar las bandas laterales de menor amplitud, para así no interferir con otros servicios, por esa razón estudiarás más adelante, cuáles son los organismos regulatorios y sus respectivas funciones para evitar que existan interferencias con las transmisiones existentes.

A continuación, analizarás la modulación para señales digitales o binarias (unos y ceros).

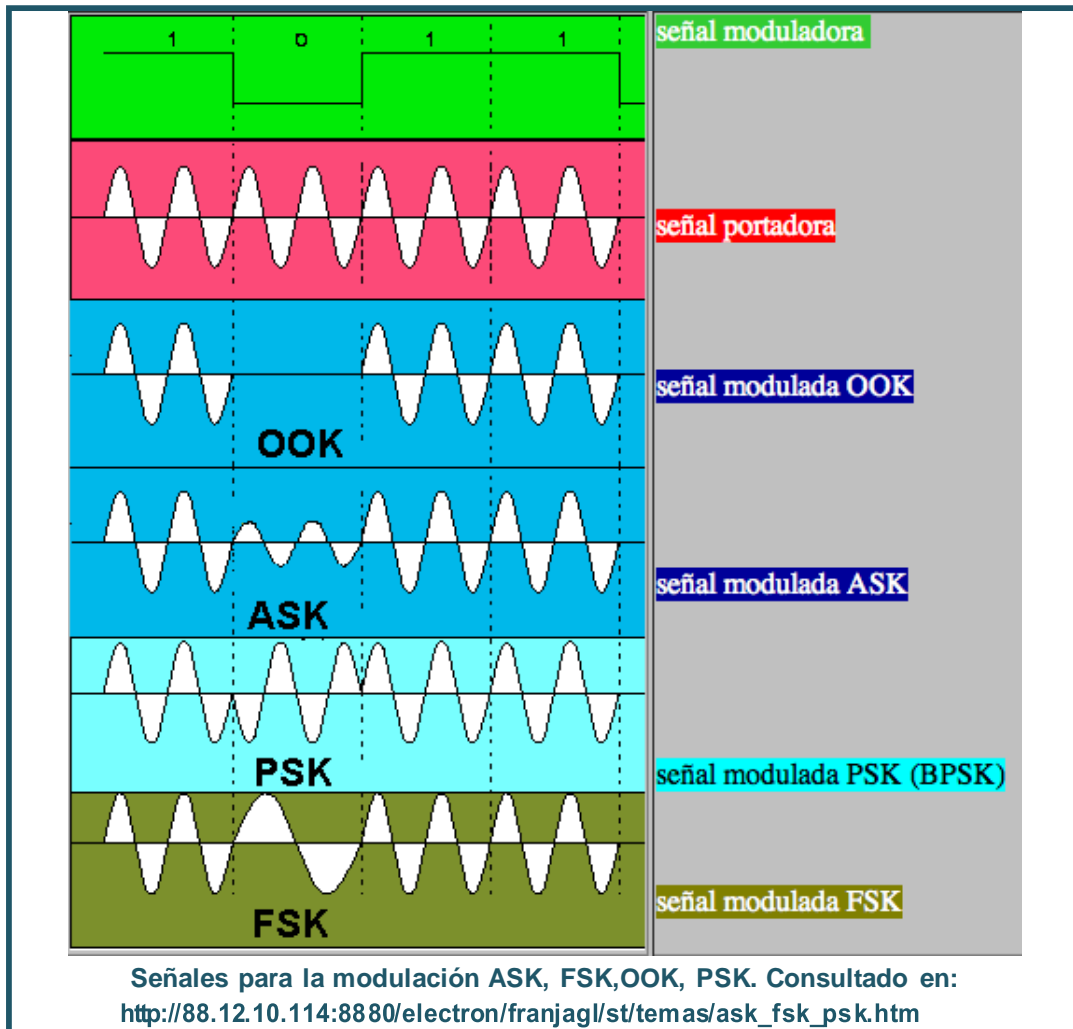
Modulación Digital en amplitud ASK

En esta modulación un uno lógico se codifica con una señal senoidal de cierta amplitud y un cero lógico por la ausencia de señal, este proceso se denomina Amplitud ShiftKeying o ASK.

Modulación Digital en Frecuencia FSK

En la modulación en frecuencia, el uno lógico se codifica con una señal senoidal de una frecuencia f_0 y el *CERO* lógico con una senoidal de frecuencia f_1 , el término FSK por sus siglas en inglés Frequency Shift Keying.

En la figura *Señales para la modulación ASK, FSK, OOK, PSK*, **observa** el comportamiento de los tipos de modulación ASK, FSK.

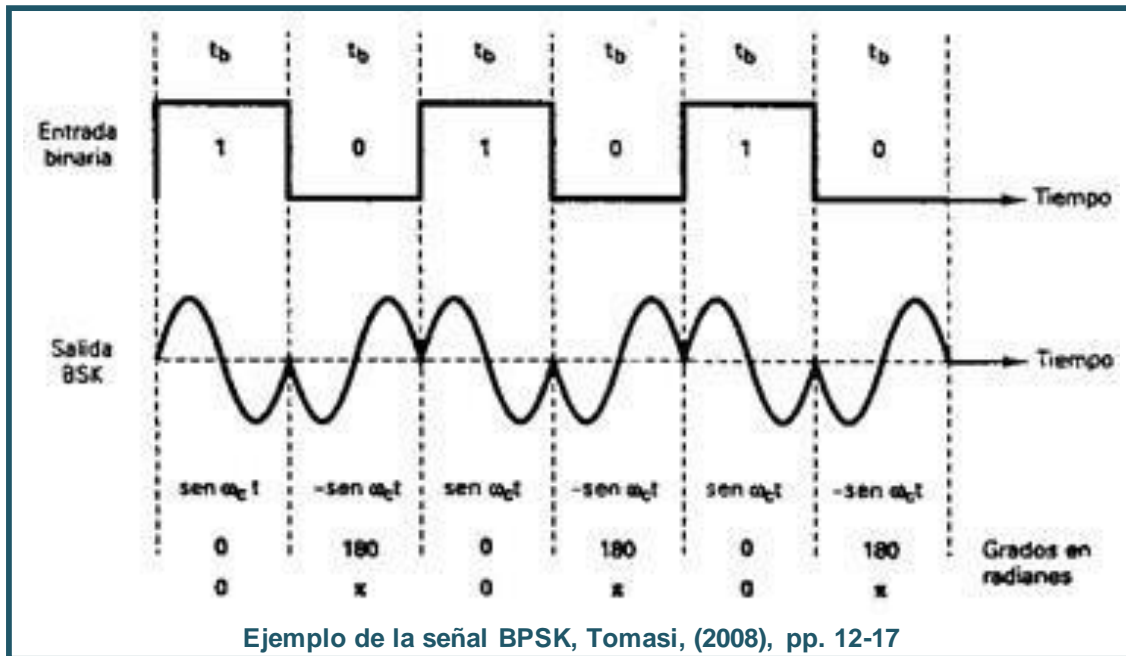


Modulación digital en dos fases BPSK

La modulación en fase binaria denominada BPSK o *Binary Phase Shift Keying*, codifica un símbolo o *uno* con una señal senoidal con fase igual a cero y el segundo símbolo con fase de 180 grados. Puedes observar que un *uno* digital corresponde a una senoidal de cierta fase y al cambiar a *cero* cambia la fase de la senoidal. Debido a que las fases se pueden representar como un ángulo entre cero y 360 grados se puede expresar cada posible cambio de fase como un punto diagrama en los cuatro cuadrantes, por la forma de la figura se denomina diagrama de constelación.

Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



Si se aumenta el número de fases se podrán codificar más símbolos y aumentar la velocidad de transmisión, La velocidad a que se transmite la información se mide en la cantidad de bits enviados por segundo, en unidades de bits/s comúnmente llamada bps.

Modulación Digital en cuatro fases en cuadratura QPSK

La modulación con cuatro fases permite transmitir senoidales con 4 cambios de fase (por ejemplo: 45, 135, 225 y 315 grados). Si se transmiten entonces $M=4$ posibles senoidales se podrán enviar 2 bits por cada cambio de fase, por lo tanto, se aumenta la velocidad de comunicación comparada con la transmisión de solamente dos fases. El término QPSK ya traducido significa modulación por cambios de fase en cuadratura.

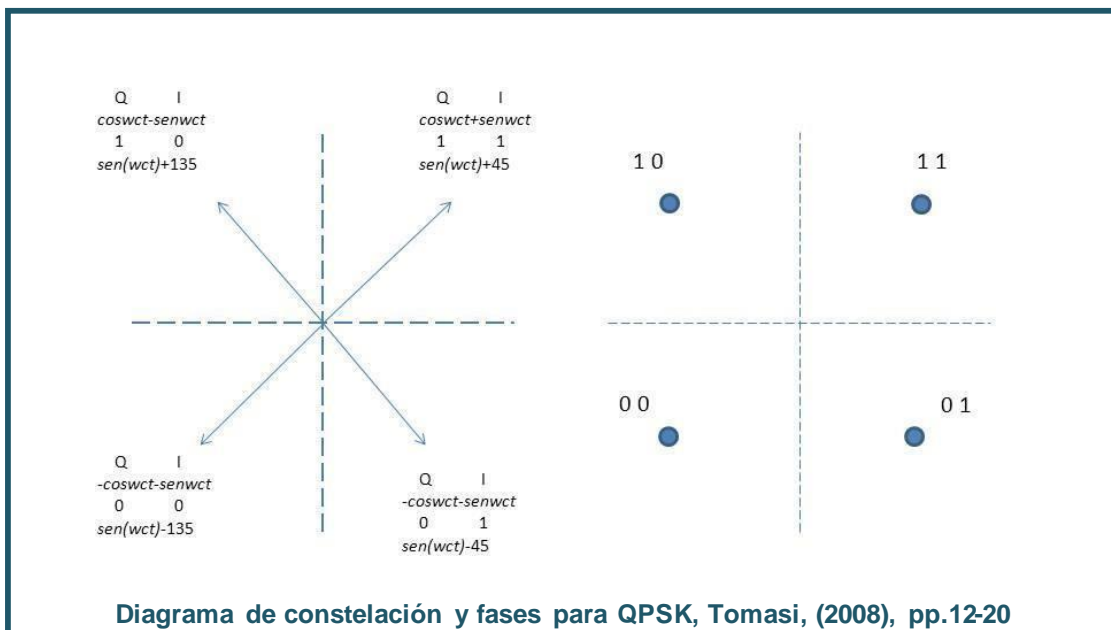
Esta modulación codifica 2 bits por fase y se denomina **binaria**, cuando se codifican 3 bits, como verás más adelante, se tratará de modulación **ternaria**, para cuatro bits **cuaternaria** y generalizando se denomina **M-aria**.

En el siguiente diagrama se observa la constelación para QPSK.

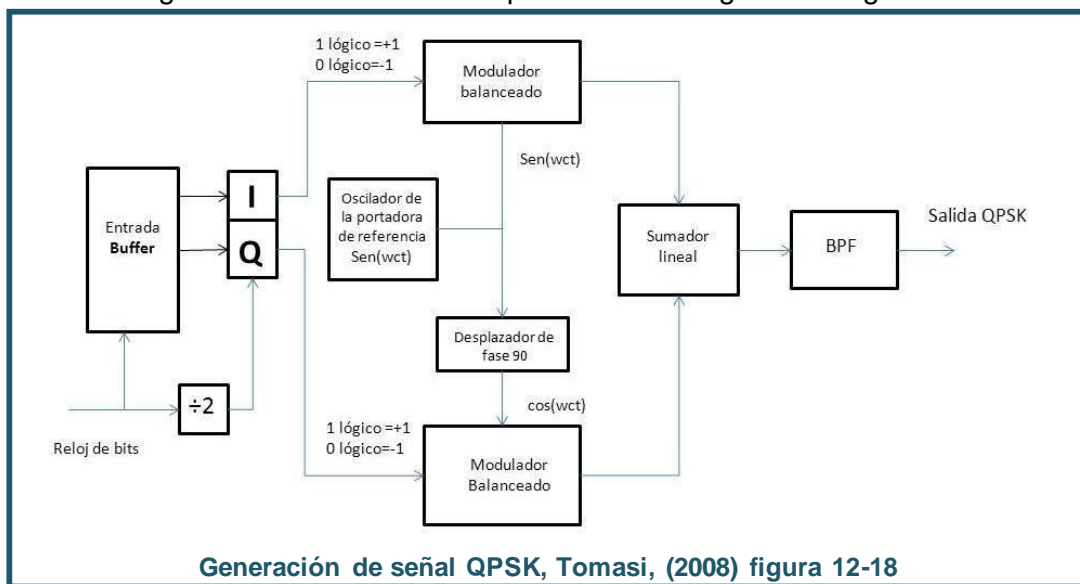


Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



La forma de generar la señal QPSK se presenta en el siguiente diagrama:



El procedimiento para generar la señal se describe a continuación: debido a que este tipo de modulación codifica 2 bits se requieren dos entradas, una para cada bit por lo tanto hay dos registros para los bits de entrada denominados I y Q. De aquí se manejan dos canales también llamados I y Q. La portadora la genera un oscilador y produce la señal $\text{sen}(w_c t)$ que modula al canal I y por otro lado la portadora desplazada 90 grados (lo que equivale a $\cos(w_c t)$) modula al canal Q. La señal QPSK es la suma de ambos canales.



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

Ejemplo 7

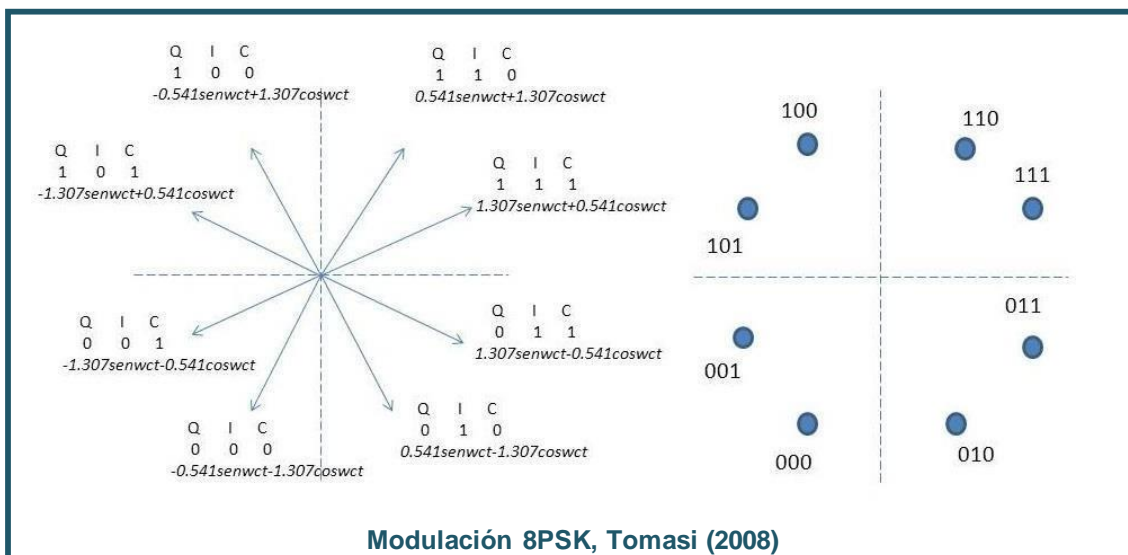
Dados los bits 1,1 obtener la señal QPSK. Analizando el canal se tiene la modulación de $1 \cdot \sin(wct)$ y en el canal Q se tiene la modulación $1 \cdot \cos(wct)$, por lo tanto la señal QPSK para el conjunto de bits 1,1 es:

$\text{Sen}(wct) + \text{cos}(wct)$, que corresponde en el diagrama de constelación al vector de 45 grados.

En este momento podemos concluir que si aumentamos la cantidad de fases podemos incrementar la velocidad de transmisión, por lo tanto, al aumentar a 8 fases se tendrá la modulación 8PSK y a 16PSK. Se podría pensar que es posible aumentar indefinidamente las fases y así incrementar la velocidad de comunicación, sin embargo, para fases muy cercanas entre sí es muy difícil detectar la fase en el circuito del receptor. La solución es modular en fase y amplitud como estudiarás a continuación.

Modulación digital en fase y en cuadratura

Al incrementar el número de fases, a 8 se obtiene 8PSK, que son 8 fases separadas en igual distancia. Observa la imagen *Modulación 8PSK*.



Para un mayor número de fases se emplea 16PSK, pero si se desea aumentar y a su vez identificarlas fases correctamente del lado del receptor es mejor separar en fases y además en amplitud y con ello se pueden



Comunicación en sistemas digitales

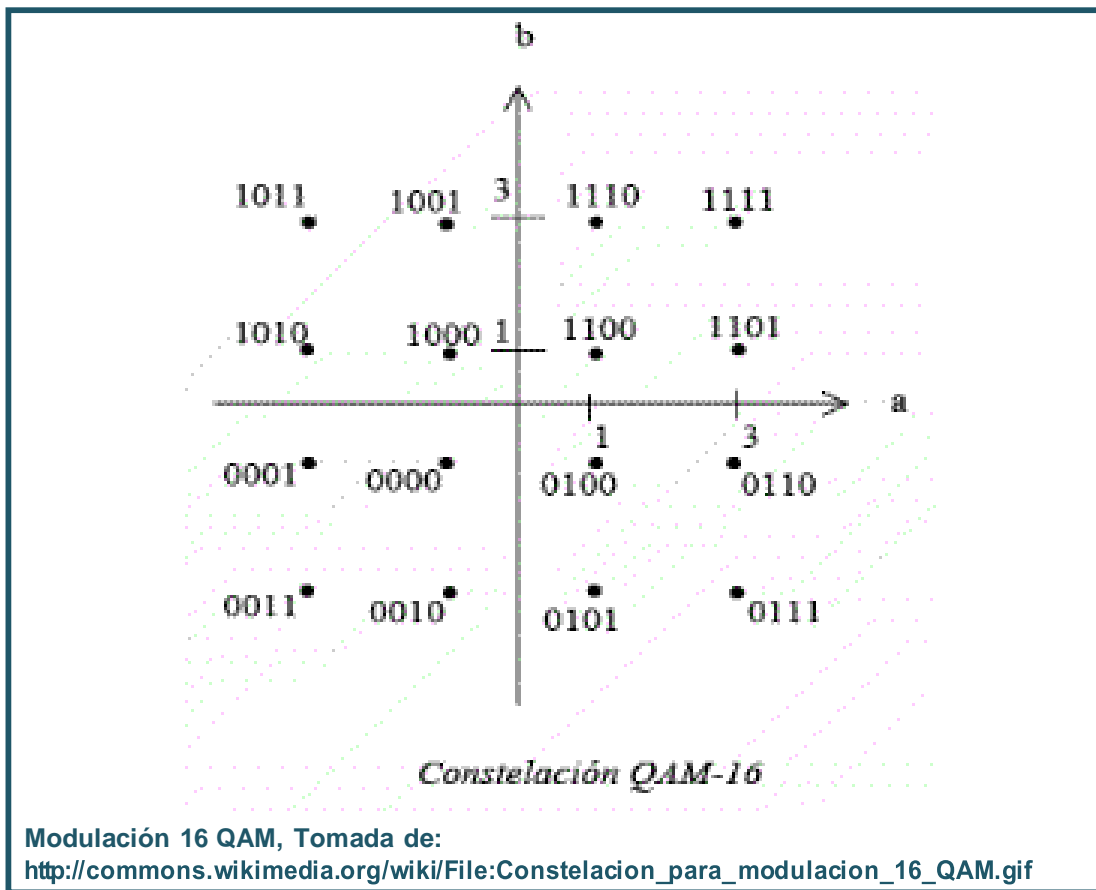
Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

tener más puntos en el diagrama de constelación. Este tipo de modulación se denomina modulación en cuadratura y amplitud. Con esta modulación, al ser mayor las fases se aumentan la cantidad de símbolos que se transmiten por cada punto del diagrama de constelación.

Ejercicio 2

Aquí te sugerimos resolver los ejercicios 5 – 10 del cuaderno de ejercicios sobre los distintos sistemas de modulación digital.

En la siguiente figura podrás observar la *Modulación 16QAM*.



En el siguiente video verás un tutorial sobre las técnicas de modulación digital. Podrás observar en el osciloscopio los diagramas antes mencionados y te servirá para entender mejor la modulación digital.



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



Consulta el video que trata sobre la Modulación digital 4QAM o QPSK. Diagrama vectorial y de constelación en Osciloscopio:
[. http://www.youtube.com/watch?v=nHN7PbWVh1A](http://www.youtube.com/watch?v=nHN7PbWVh1A)



En este punto es importante que **reflexiones** sobre el significado del **diagrama de constelación de la modulación digital**. Además, deberás **identificar** el significado de la codificación de 2 o más símbolos por fase, llamada **modulación M-aria**, así como la ventaja de modular en **fase y amplitud**, con lo cual se logra incrementar la cantidad de bits por símbolo y en consecuencia la velocidad de transmisión.

1.2.3 Filtrado

Ahora estudiarás la importancia de los filtros dentro de los sistemas de comunicación. Un elemento fundamental dentro de los sistemas de comunicación son los filtros, que en esencia son circuitos que tienen como función eliminar señales de cierta frecuencia y aceptar otras frecuencias. Los filtros realizan las siguientes operaciones de acuerdo a la frecuencia que eliminan:

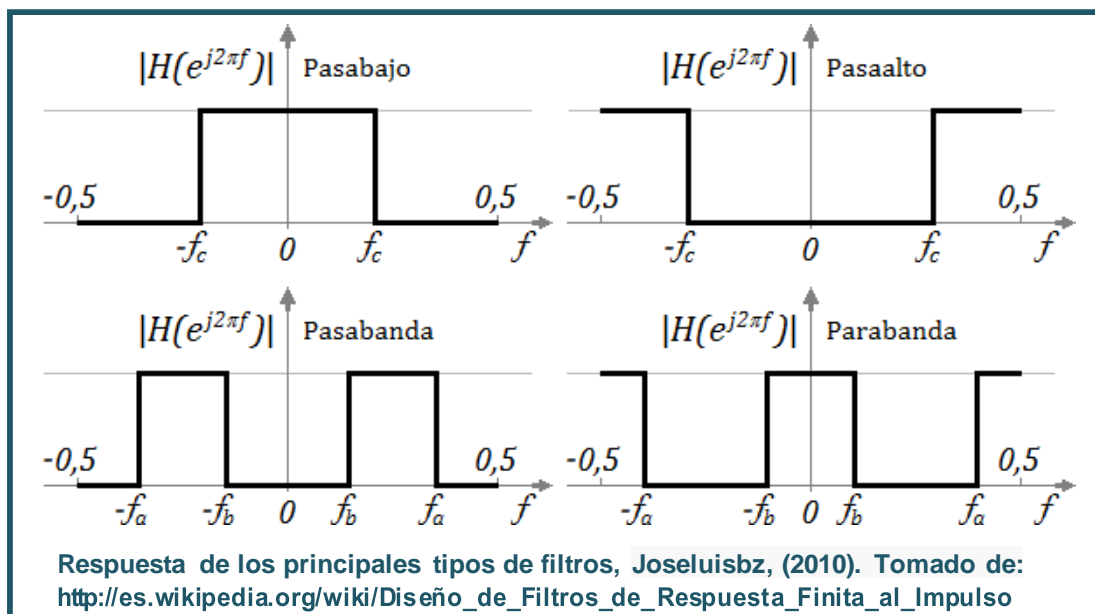
- **Filtro Paso bajas.** Elimina altas frecuencias y acepta bajas
- **Filtro Paso altas.** Elimina bajas frecuencias y acepta las altas
- **Filtro Pasa banda.** Solamente acepta una banda específica de frecuencia
- **Filtro rechaza banda.** Elimina solamente una banda específica de frecuencia

A continuación, podrás observar la clasificación de los filtros de acuerdo la clasificación anterior.



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones




Los filtros son importantes en diferentes etapas dentro del sistema de comunicación, por ejemplo, un filtro paso – banda permite discriminar solamente el ancho de banda necesario de la señal, este es empleado como el sintonizador en un receptor de radio.

Ejercicio 3

Para atender de forma clara las aplicaciones de filtros **resuelve** los ejercicios 11-12 del cuaderno de ejercicios.

A continuación, se presentan cuáles son los circuitos electrónicos que realizan las funciones de filtrado, modulación y las diferentes tareas en un sistema de comunicación.



Los filtros son circuitos clave dentro de los sistemas de comunicación, constantemente existen interferencias y señales no deseadas que pudieran alterar la información. En numerosas aplicaciones vemos los filtros en operación: al recibir la señal del usuario esperado, al sintonizar una estación determinada, por ejemplo, al momento de emplear el teléfono celular en una zona de poca recepción, entre otros casos.



Comunicación en sistemas digitales

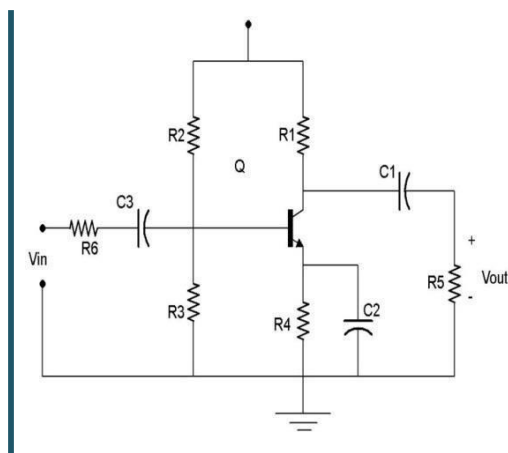
Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

Los filtros pueden ser implementados mediante circuitos eléctricos o electrónicos por ejemplo el sintonizador y también mediante filtros digitales, que son ejecutados en avanzados circuitos de procesamiento digital que también eliminan las señales no deseadas. Estos últimos son algoritmos de procesamiento dentro de los circuitos digitales.

1.2.4 Amplificadores y circuitos de transmisión y recepción

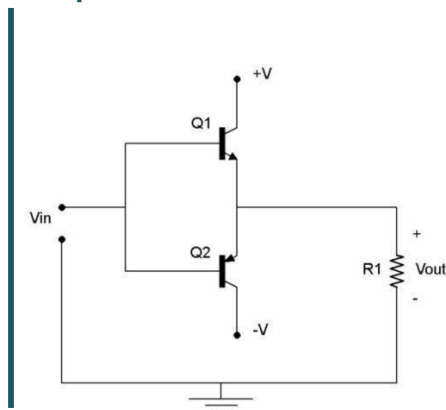
En esta etapa se presentan ejemplos característicos de los principales circuitos de comunicación. Estos son solamente algunos ejemplos representativos de los diversos circuitos que forman parte de los sistemas de transmisión de las señales.

Amplificador con transistor Clase A



Circuito que amplifica una señal V_{in} basado en la polarización de un transistor, sin embargo, no es la mejor opción debido a su baja eficiencia. Gran parte de la energía se emplea en polarizar el transistor y la potencia que entrega es baja comparado con la potencia que consume. La función del amplificador es dar ganancia y potencia a la señal en banda base.

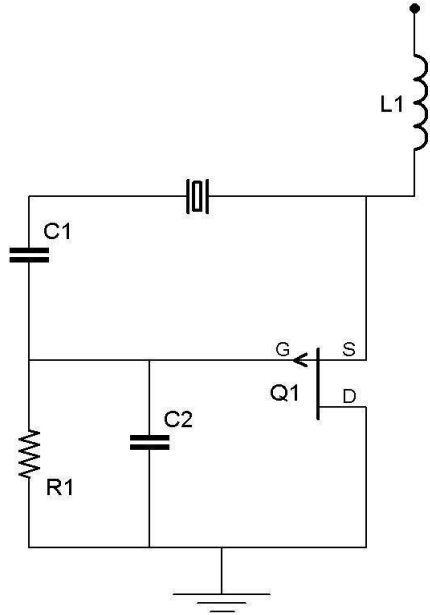
Amplificador Clase B



Este circuito mejora la eficiencia debido a que no requiere de polarización, únicamente cuando existe voltaje de entrada el circuito produce salida en la carga, sin voltaje de entrada no se polariza. Los transistores complementarios proveen la amplificación de corriente hacia la carga en los ciclos positivo y negativo de la onda de entrada. La función del amplificador es dar mayor potencia a la señal a transmitir en radiofrecuencia.

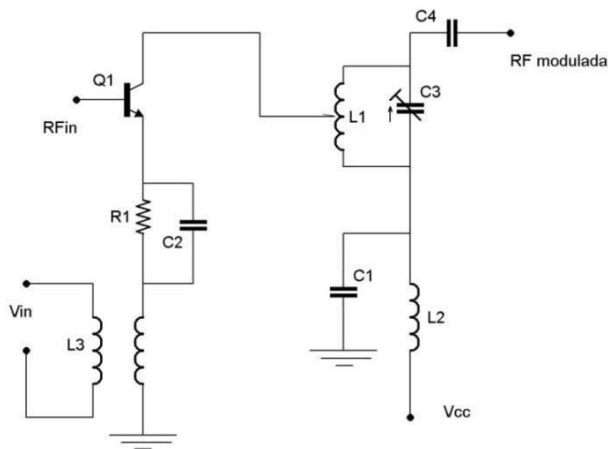


Oscilador



Un circuito oscilador tiene como función generar una onda senoidal de alta frecuencia que corresponde a la señal portadora a transmitir. Generalmente son circuitos con una realimentación positiva, en este caso la señal del colector regresa a la base mediante un cristal de tal forma que lo hace entrar en oscilación. Este tipo de circuito no tiene entrada y la frecuencia de oscilación está determinada por los valores del cristal, el capacitor e inductor.

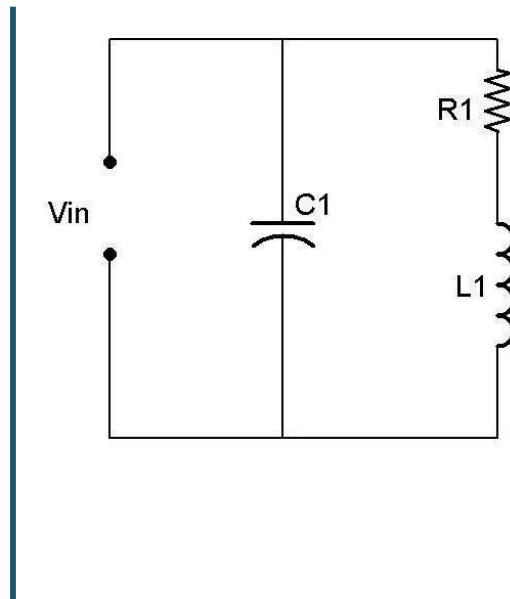
Mezclador o Modulador



El circuito mezclador o modulador tiene como finalidad mezclar o combinar la señal moduladora (*Vin a través de la base del transistor*) y portadora (*RFina través del transformador del emisor del transistor*) para producir una señal modulada en la señal de salida RF (en el colector del transistor). En estos circuitos el transistor debe ser especial para trabajar a altas frecuencias de operación.



Filtro resonante



Los filtros resonantes son fundamentales en los sistemas de comunicación, por un lado, debido al ruido en el ambiente y al uso de diferentes frecuencias para distintos usuarios es necesario recuperar la portadora del canal adecuado que se desea recibir. Generalmente se emplean circuitos resonantes LRC, que tienen la propiedad de presentar una impedancia Z mínima a la frecuencia llamada de resonancia, por esa razón amplifica al máximo dicha frecuencia.

Ejercicio 4

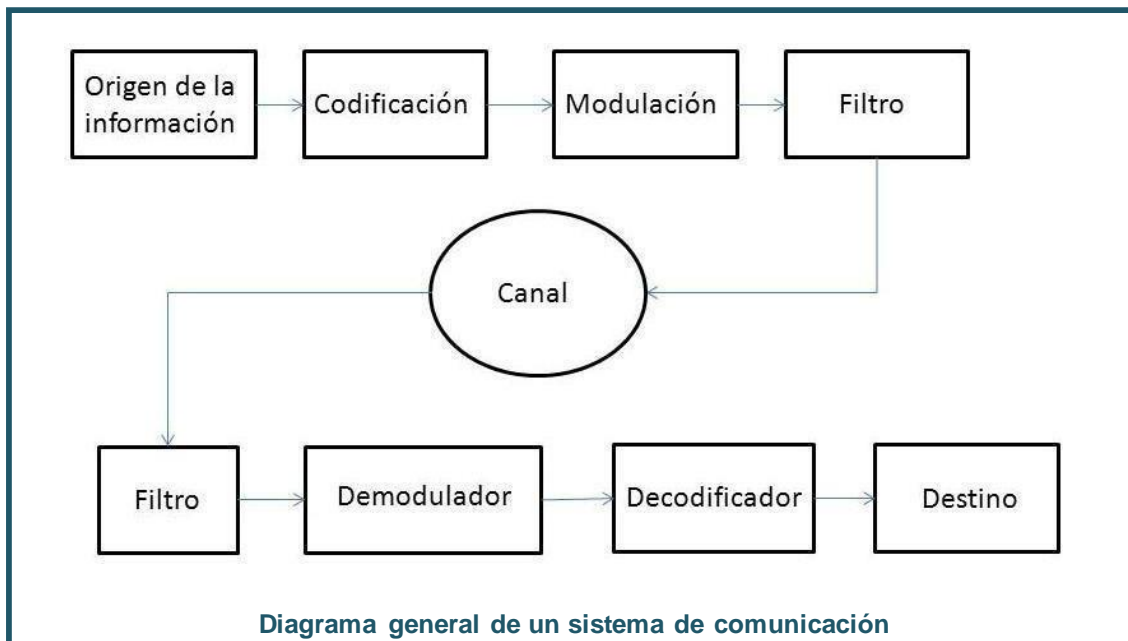
Resuelve los ejercicios 13-15 del cuaderno de ejercicios sobre los circuitos de comunicación.

Una vez estudiados los principales elementos que integran un sistema de comunicación deberás deducir claramente el diagrama general y las funciones de cada bloque, a continuación, podrás observar a manera de conclusión de este tema un diagrama completo de un sistema de comunicación.



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



N.B.

Es importante que **identifiques** las funciones de los principales bloques del diagrama anterior, poniendo especial atención al **modulador**, **demodulador** y **filtros**.

1.3 Normas y tendencias en las telecomunicaciones

Con lo que has estudiado hasta este momento, se te han brindado los elementos técnicos suficientes para reconocer atributos en las telecomunicaciones de forma general; al mismo tiempo que al reflexionar sobre su evolución te permite tener un panorama básico que contempla desde las comunicaciones analógicas hasta las transmisiones digitales. A su vez, es importante que recapitules sobre la importancia de la existencia en alguna forma de regular a los servicios que se ofrecen respecto a los sistemas de comunicación. De forma complementaria a lo expuesto en la unidad didáctica de Legislación informática y sin que sea el fin de este tema, se abordará de forma muy general algunas Leyes vinculadas a las telecomunicaciones.

Sin embargo, es latente un factor de cambio en estos días con iniciativas que van desde las reformas a dichas leyes y reglamentos y el fortalecer el papel de los organismos involucrados. De tal manera que es importante considerar un panorama sobre los organismos y el actuar de las autoridades involucradas.



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

También se presenta de manera concisa los organismos regulatorios en el sector de las telecomunicaciones en nuestro país y las funciones de los organismos principales.

de las Leyes vigentes y que están sujetas de reforma son la Ley Federal de Telecomunicaciones **LFT**, y la Ley Federal de Radio y Televisión **LFRTV**. La regulación incentivará la convergencia tecnológica para que más operadores puedan ofrecer sino todos, entonces más servicios.

Es importante contar con precios competitivos a nivel internacional, esto contempla las áreas de servicio local de telefonía.

Es un hecho que en nuestro país prevalece un rezago tecnológico en materia de telecomunicaciones (CIDAC, 2011).

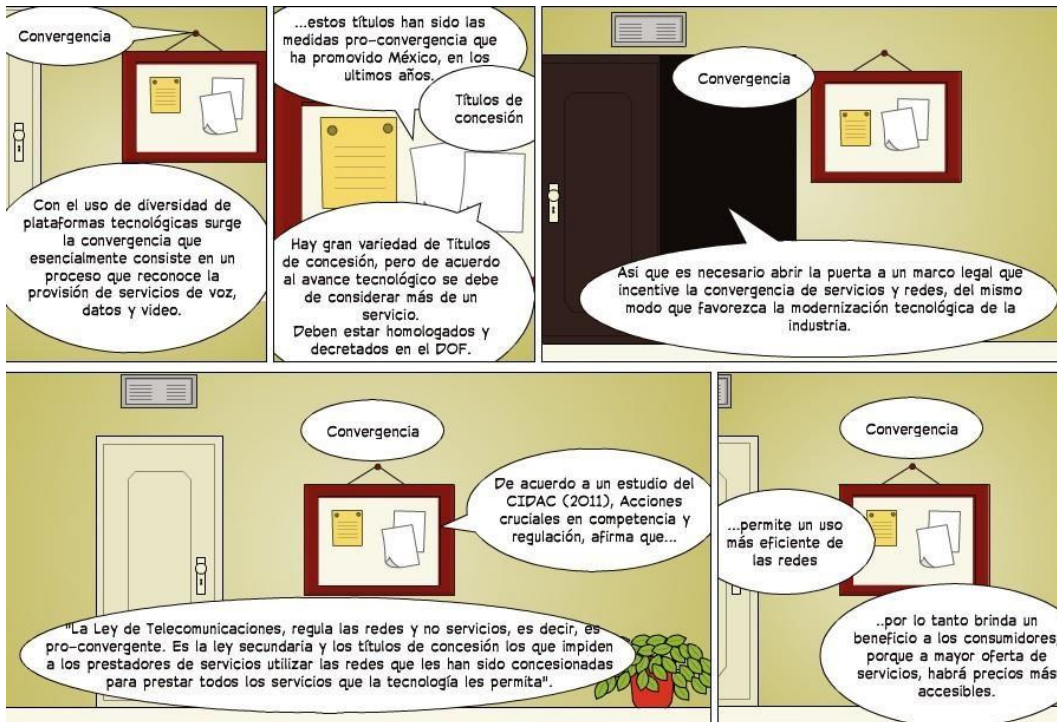
Algunos actores importantes en cuestiones de telecomunicaciones referidos en este tema remiten al espectro radioelectrónico, la convergencia, y el apagón analógico.

Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



Convergencia y títulos de concesión



Comic realizado con Pixton

Sin la intención de profundizar, se mencionan algunas otras leyes y reglamentos vinculados a las telecomunicaciones:

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
- Ley Federal de Telecomunicaciones
- Ley Federal de Radio y Televisión
- Ley Federal de Competencia Económica
- Ley de vías generales de comunicación
- Reglamento de Telecomunicaciones
- Reglamento interior de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes
- Instituto Federal de Telecomunicaciones
- Plan técnico fundamental de calidad del servicio local móvil
- Reglamento del servicio de telefonía pública
- Reglamento del servicio de televisión y audio restringidos



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

1.3.1 Organismos regulatorios en las telecomunicaciones

Con la invención del teléfono y el desarrollo de las redes telefónicas el rumbo de las telecomunicaciones se fue generando en forma de monopolio natural, diferente de cualquier competencia de mercado existente, a semejanza del existente en Estados Unidos de América (EUA), es así que en muchos países se fueron creando monopolios estatales o privados sobre la red y servicios telefónicos. (Luz, s/f).

En el caso del sector de telecomunicaciones se hizo necesaria una institución que hiciera cumplir el marco jurídico. Muchos países del mundo emulando a Estados Unidos comenzaron a crear órganos reguladores. Resultado de esto en México se estableció un órgano desconcentrado y descentralizado, la Comisión Federal de Telecomunicaciones **COFETEL**, como órgano regulador convergente, contaba con facultades en las telecomunicaciones, la radio y televisión abierta.

Actualmente se encuentra El Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT, por sus siglas) es un organismo constitucional autónomo encargado de regular y supervisar las redes y la prestación de servicios de telecomunicaciones y la radiodifusión en México.

Fue creado a partir de la reforma en telecomunicaciones de 2013 el 11 de junio de ese año y formalmente constituido el 10 de septiembre de 2013, con el nombramiento del primer Pleno.

El IFT también es la autoridad en materia de competencia económica de los sectores de radiodifusión y telecomunicaciones, por lo que, en estos sectores, el instituto ejercerá en forma exclusiva las facultades que la ley establezca para la Comisión Federal de Competencia Económica.

EL IFT de acuerdo a su sitio oficial: <http://www.ift.org.mx/> cumple con la siguiente misión:

Misión

Es la misión del Instituto Federal de Telecomunicaciones desarrollar de forma eficiente las telecomunicaciones y la radiodifusión para el beneficio de los usuarios y audiencias del país a través de:

- I. Regular, promover y supervisar el uso, aprovechamiento y explotación del espectro radioeléctrico, la infraestructura, las redes y la prestación de los servicios;
- II. Impulsar condiciones de competencia efectiva en los mercados; y
- III. Promover el acceso a las tecnologías y servicios de telecomunicaciones y radiodifusión.



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

En algunas situaciones específicas en México también intervienen varias instituciones como son: la secretaria de Hacienda y crédito público (**SHCP**), Secretaría de Comunicaciones y Transportes (**SCT**), cada una con objetivos distintos (CIDAC, 2011).

Por mencionar un caso, en nuestro país a diferencia de otros, se ha empleado el otorgamiento de espectro radioelectrónico como una barrera de entrada más que como un instrumento de promoción de la competencia, además de ser un proceso poco ágil. Al mismo tiempo que el uso del espectro se ve limitado por las condiciones incluidas en las concesiones otorgadas.

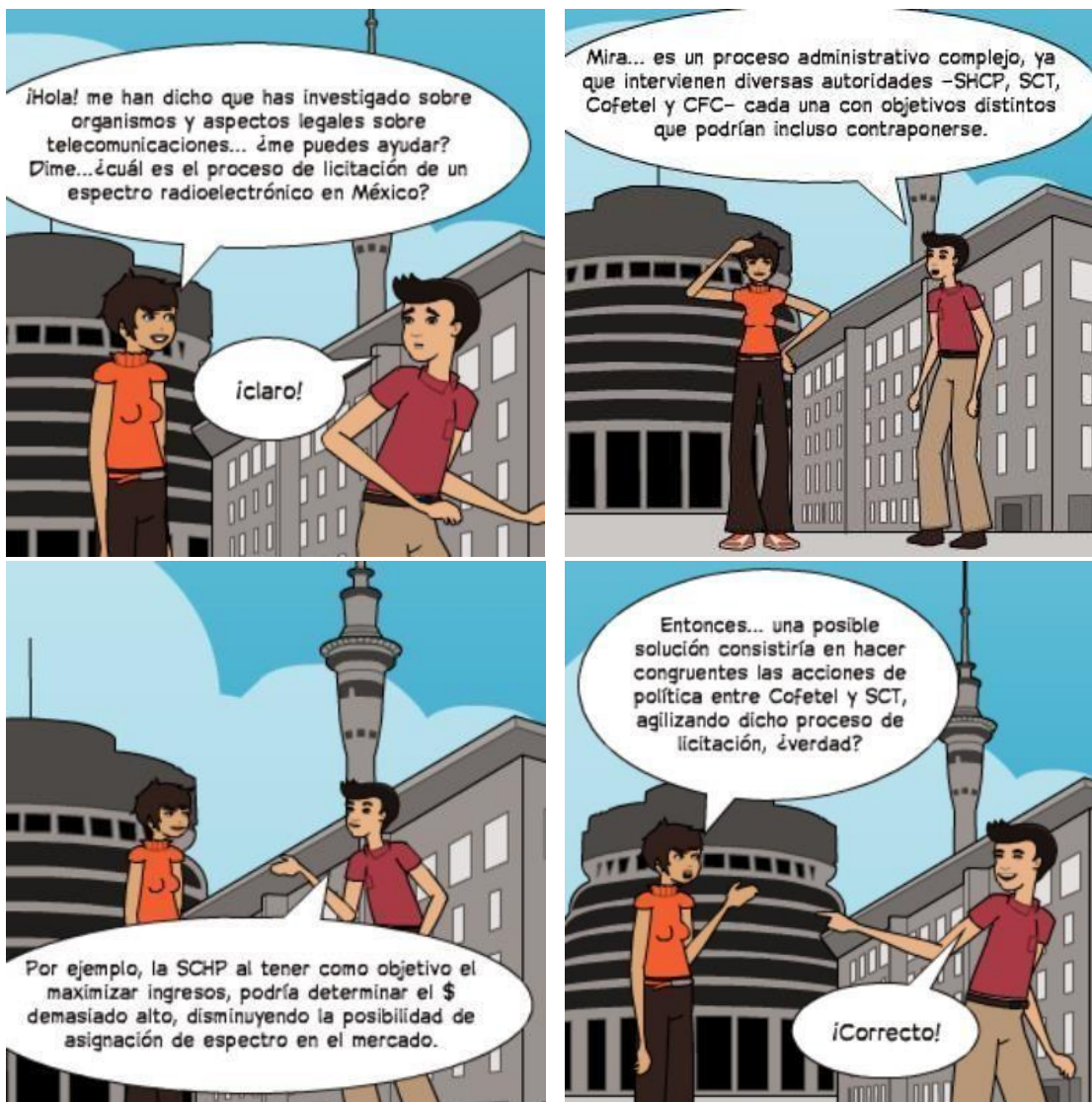
El **IFT** también busca promover el uso eficiente del espectro de radiofrecuencia y es por eso que se deben diseñar y aplicar los sistemas de telecomunicaciones de manera eficiente para lograr este objetivo.

Licitación del espectro radioelectrónico



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones



Comic realizado con Pixton



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

A manera de conclusión es importante mencionar que los sistemas electrónicos de transmisión deben estar apegados a las normas de telecomunicaciones.

Finalmente, un organismo existente también, es el Instituto de Derecho de las Telecomunicaciones (IDET), es una asociación civil mexicana, constituida 9 de julio del año 2002, con fines académicos, de investigación y propositivos, sin afán de lucro o beneficio político, personal o de grupo.

1.3.2 Tendencias de las telecomunicaciones

A manera de conclusión a este último tema de la primera unidad es importante que tengas también una visión certera de las comunicaciones digitales que prevalecen en la actualidad, además de una proyección sobre lo que se espera a futuro. Como es de esperarse esta es un área que debido al desarrollo tecnológico prevalece un cambio constante, y sobre todo con el lanzamiento de nuevas tecnologías, por lo tanto, es necesario adaptarse a los cambios de manera rápida. Un ejemplo es el caso de la transmisión de radio y televisión analógica que durante muchos años operó en muchos países. Actualmente existen planes para eliminar las transmisiones analógicas, el denominado apagón analógico. Esto tiene muchas implicaciones y por ello debemos entender también hacia donde se dirigen las comunicaciones.

De acuerdo a un estudio de CIDAC 2010, menciona que:

“Una primera ventaja de la televisión digital sobre la analógica es que permite ofrecer imagen y sonido de mayor calidad. Además, permite ofrecer un mayor número de canales, debido a que una misma cadena puede ofrecer múltiples programas digitales simultáneamente, aumentando así las opciones del consumidor.

Otra ventaja para el telespectador es que de esta manera se pueden proporcionar videos interactivos y servicios de datos, lo cual no es posible por medio de la televisión analógica.

En cuanto a la digitalización de los contenidos de radio, los beneficios son parecidos, siendo la principal mejor calidad en el audio.”



Para concluir la unidad y que reflexiones sobre el futuro en las telecomunicaciones debes **leer** Noll, (2002). *La ciencia de las telecomunicaciones*, capítulo 11. *Presente y futuro de la comunicación*. pp. 231-237. La lectura la podrás encontrar en Material de apoyo de la unidad.



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

En cierto sentido hablar de las ventajas de la comunicación en sistemas digitales implica evidenciar su influencia en la vida cotidiana, lo que implica tener presente su utilización, así como tampoco habrá que sobredimensionarla con excesos de beneficios.



Comunicación en sistemas digitales

Unidad 1. Evolución de las comunicaciones

Apagón Analógico



Cierre de la unidad

En la presente unidad estudiaste la evolución de las comunicaciones desde las primeras transmisiones analógicas hasta entender las ventajas de las tecnologías digitales. Las lecturas y videos te dan un panorama claro de dicha evolución. El estudio de la teoría de comunicación y la modulación te permite conocer las bases matemáticas para la transmisión de las señales y con el análisis a las transmisiones digitales y los tipos de modulación entenderás la forma en que se ha podido aumentar las tasas de comunicación hasta las velocidades de los millones de bits por segundo. Estudiaste para ello diferentes tipos de modulación en donde la modulación en fase es la principal utilizada en los módems y con la modulación en amplitud y frecuencia se logra incrementar aún más la velocidad. Los ejercicios de la unidad te han brindado información complementaria para el estudio de esta unidad didáctica.

Es ampliamente recomendado que revises el Cuaderno de ejercicios, porque esto reforzará tus conocimientos en las comunicaciones digitales. También los videos relacionados te ayudan a comprender la naturaleza de la modulación en fase y cuadratura.

El punto central de la unidad se ha encaminado en identificar las ventajas de los sistemas de comunicación digital sobre los analógicos, así como la teoría fundamental de los procesos de modulación y las normas relacionadas.

Finalmente, el conocimiento de los órganos regulatorios en telecomunicaciones te permite entender algunas implicaciones importantes en la aplicación de las tecnologías tanto analógicas como digitales. Para ello estudiaste las funciones de organismos como el IFT y la forma en que regulan la asignación y uso de las frecuencias. Las distintas lecturas te permiten entender a fondo este tema.

El material adicional que se presenta en la sección Para saber más te permitirá adentrarte en el tema de la teoría y sistemas de comunicación digital, así como algunas de las implicaciones. Un ejemplo que tiene que ver con el estudio de los órganos regulatorios es la lectura que se propone sobre el próximo apagón analógico, aquí verás también una tendencia importante en las comunicaciones que es la importancia y el crecimiento de las comunicaciones digitales sobre las analógicas.

Para saber más

- Se sugiere que resuelvas problemas y series de ejercicios sobre cálculo de parámetros de AM, FM y modulaciones digitales, en la bibliografía propuesta, en el libro de Tomasi, sistemas de comunicación electrónica encontrarás diferentes ejercicios al final del capítulo 12.
- Para reconocer diferentes organismo y asociaciones a nivel internacional relacionados a las Telecomunicaciones:

<https://www.itu.int/es/about/Pages/default.aspx#:~:text=La%20UIT%20es%20el%20organismo,informaci%C3%B3n%20y%20la%20comunicaci%C3%B3n%20%E2%80%93TIC.&text=La%20UIT%20est%C3%A1%20comprometida%20para,cualesquiera%20que%20sean%20sus%20medios.>

- Por último, un blog que atiende aspectos jurídicos en telecomunicaciones:

<http://telecomysociedad.blogspot.mx/>

Fuentes de consulta

Fuentes básicas

- Boylestad, R. (2004). *Introducción al análisis de circuitos*. 10a Edición. México: Editorial Prentice Hall. ISBN: 970-26-0448-6.
- Noll, M; Pierce, J. (2002). *Señales, la ciencia de las telecomunicaciones*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A. ISBN: 84-291-4387-4.
- Tomasi, W.; (2008). *Sistemas de comunicación electrónica*. 4a. Edición. México: Editorial Prentice Hall. ISBN: 970-26-0316-1

Fuentes complementarias

- Haykin. (1988). *Digital communications*. 2da. edición. Wiley India Pvt. ISBN: 8126508248
- Proakis J., Masoud S., (2007). *Fundamentals of communication systems*. New Jersey, Pearson Education ISBN: 8131705730

Fuentes electrónicas

- Rodríguez, M. (2013). *Tutorial de las Bases de Modulación FM en Analizador de Espectro*. <http://www.youtube.com/watch?v=wrbloupmemc>
- Rodríguez, M. (2013). *Diagramas vectorial y de constelación en Osciloscopio*. <https://www.youtube.com/watch?v=nHN7PbWVh1A>
- Sanchis, E. (Coord.) (2004). *Fundamentos y electrónica de las comunicaciones*. Valencia: Universitat de València. https://books.google.com.ec/books?id=kZKsps2_F4YC&prints=ec=frontcover#v=onepage&q&f=false
- Soliman, S. S., Srinath D. (1999). *Señales y Sistemas Continuos y Discretos*, (2da. Edición) Madrid: Prentice Hall Iberia S.R.L. https://www.academia.edu/19026777/LIBRO_se%C3%B1ales_y_sistemas_Soliman
- Sweetitts. (2011). *Historia de la comunicación*. <http://www.youtube.com/watch?v=Tx3DWzqtaQU&feature=youtu.be>
- Zevallos, A. (2011). *Variación parámetros función seno gráfico interactivo*. <http://www.youtube.com/watch?v=wsZSad7mLLE>