

## V. Modulación.

Por Alejandro Corletti (acorletti@hotmail.com)

Se denomina modulación a la operación mediante la cual ciertas características de una onda, denominada portadora, se modifican en función de otra denominada moduladora, que contiene la información a transmitir. La señal resultante se denominará modulada.

	PARAMETRO VARIABLE DE LA PORTADORA	SEÑAL MODULADORA	
		ANALOGICA	DIGITAL
PORTADORA ANALOGICA (SINUSOIDAL O COSINUSOIDAL)	AMPLITUD	AM	ASK
	FRECUENCIA	FM	FSK
	FASE	PM	PSK
	COMBINACIÓN FASE/AMPLITUD		CUADRATURA
PORTADORA DIGITAL	AMPLITUD	PAM /MIA	Casos particulares
	POSICION	PPM	
	DURACION	PDM/PWM	
PORTADORA DIGITAL MODULACION POR CODIGO		PCM / MIC	
PORTADORA DIGITAL MODULACION POR INCREMENTOS		DELTA y DELTA ADAPTATIVA	

### 1. Por onda continua:

Se caracteriza por que su onda portadora es analógica. Como se detalla a continuación se podrán plantear las dos posibilidades de señal moduladora, tanto analógica como digital.

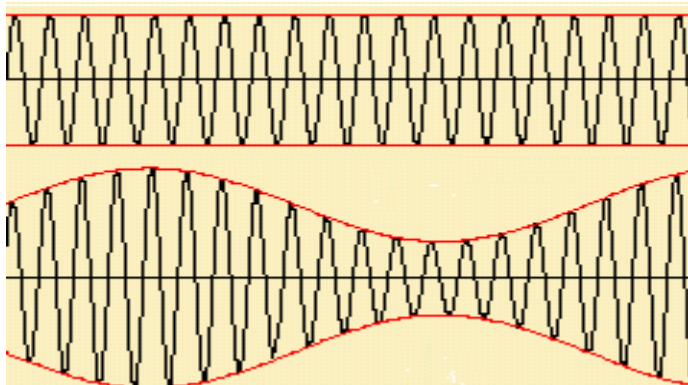
#### 1.1. Moduladora analógica:

En este caso la señal que transporta la información, como se mencionó anteriormente, podrá tener un número infinito de valores en cualquier intervalo de tiempo.

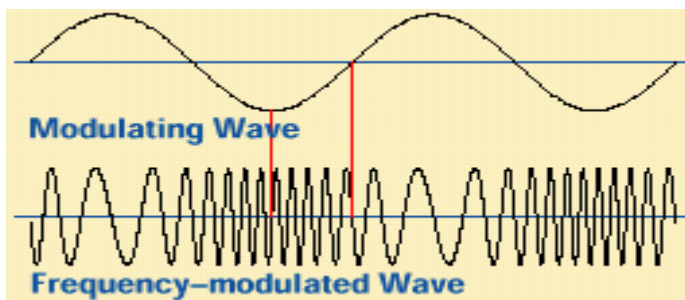
Si se tiene en cuenta la expresión de señal periódica del capítulo II, se puede apreciar que en esta función, existen tres parámetros sobre los cuales se puede operar (Amplitud, Frecuencia y Fase), modificando estos valores es que se implementan los distintos tipos de modulación.

$$f(t) = A * \text{sen} (w*t + \theta)$$

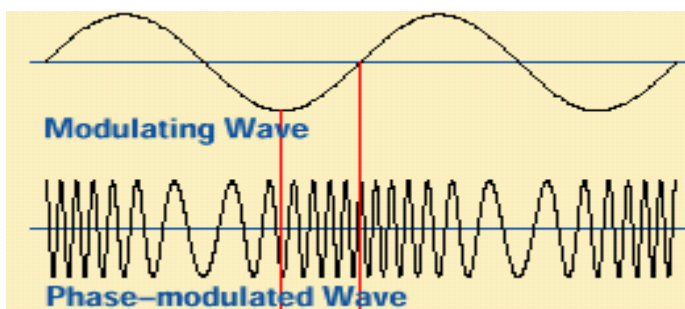
a. Amplitud:



b. Frecuencia:



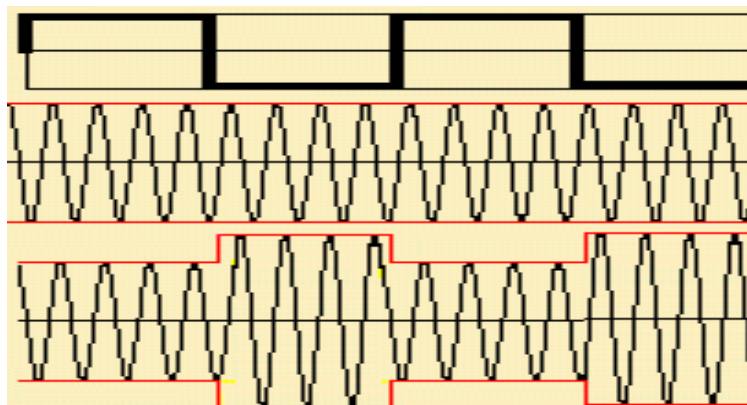
c. Fase:



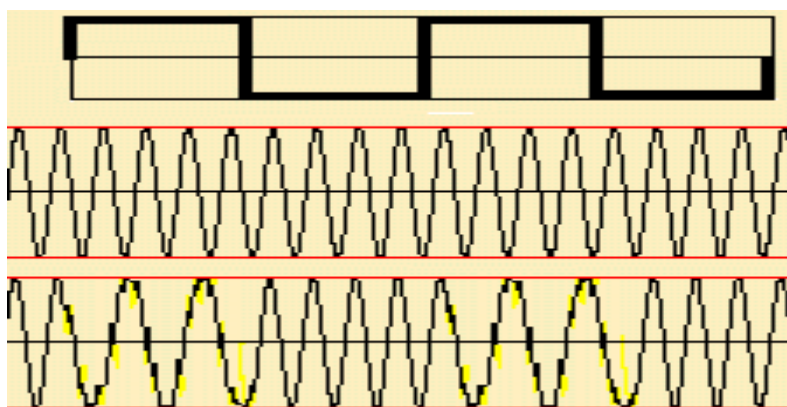
## 1.2. Moduladora digital:

Aquí la onda moduladora solamente puede tomar un número acotado de valores en cualquier intervalo de tiempo, y al igual que en el caso anterior podrá afectar los mismos tres parámetros de la señal portadora.

a. Amplitud (ASK: Amplitud Shift Key):

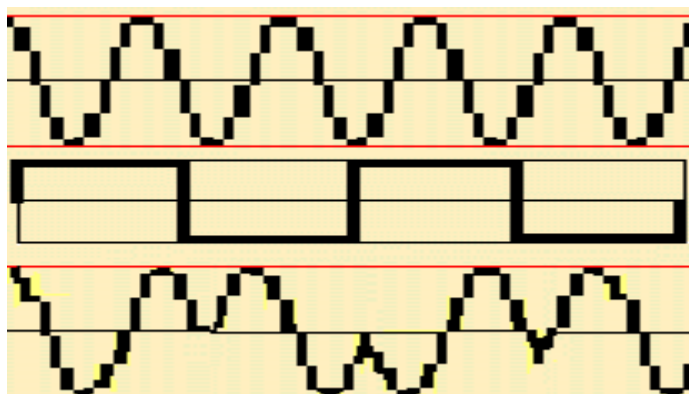


b. Frecuencia (FSK: Frecuency Shift Key)::



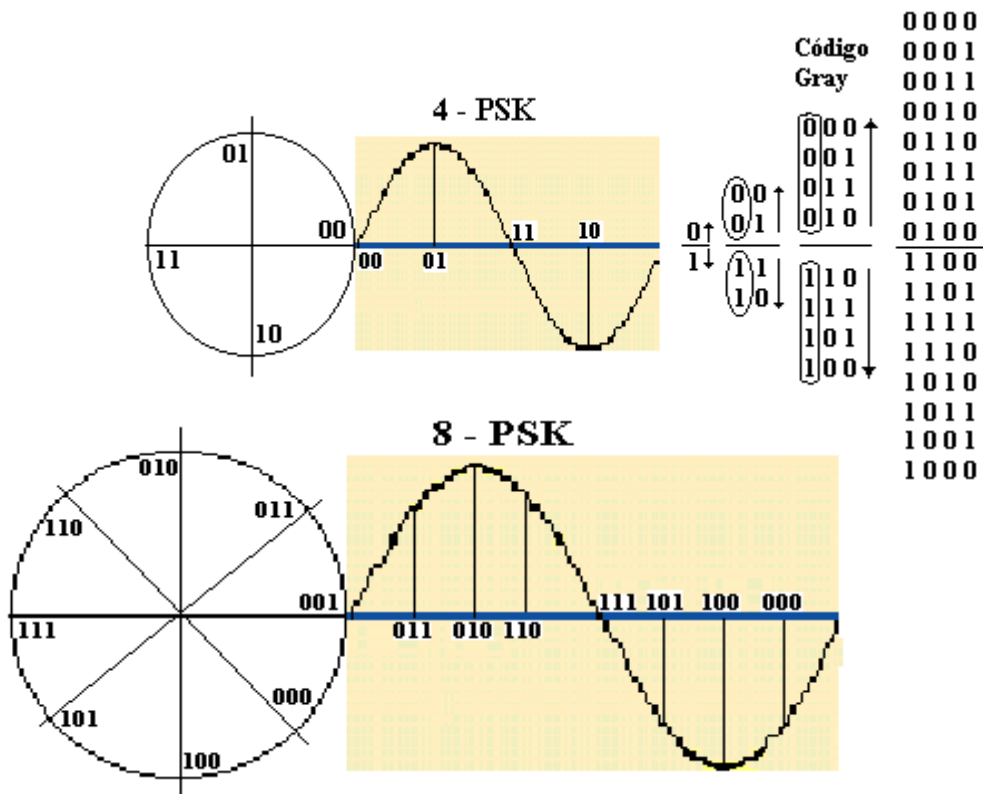
Un ejemplo característico de esta técnica es el empleo de módem, los cuáles están regulados por las normas de la familia V de ITU (International Telecommunication Union) las normas V.21 y V.22 especifican una modulación en frecuencia con dos portadoras 1080 y 1780 Hz las que emplean desvíos de  $\pm 100$  Hz para representar respectivamente ceros y unos, es decir:  $980$  y  $1180$  Hz –  $1680$  y  $1880$  Hz.

c. Fase (PSK: Phase Shift Key):



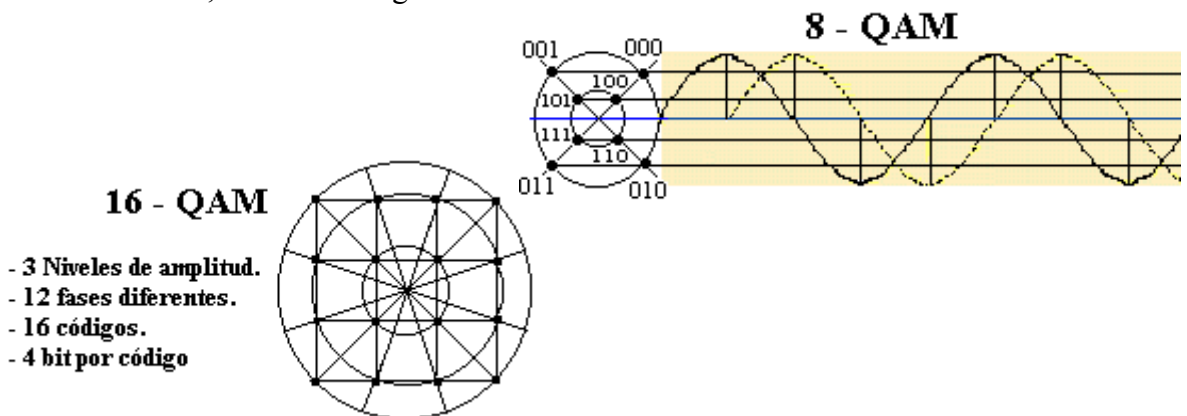
Una enorme ventaja que ofrece esta técnica es que en el caso de poder distinguir más de una fase de la señal, entonces se podrá ir multiplicando la velocidad de transmisión acorde a la capacidad de poder diferenciar mayor o menor cantidad de fases, 4-PSK, 8 PSK, 16 PSK, etc.

Al implementar estas multiplicaciones, resulta de sumo interés el uso de un sistema de asignación de códigos a cada fase contigua que permita diferenciar fehacientemente el valor binario de ese punto respecto a sus fases vecinas. Esta asignación la propone el código Gray, que como se grafica a continuación, permite armar asignaciones contiguas (y en forma circular) en las cuales sólo se modificará un bit respecto al código anterior y posterior, logrando de esta forma saber con certeza de qué fase se trata.



d. QAM (Quadrature Amplitude Modulation):

Este método se basa en modular en amplitud distintas señales desfasadas en cuadratura, es decir a 90 grados.

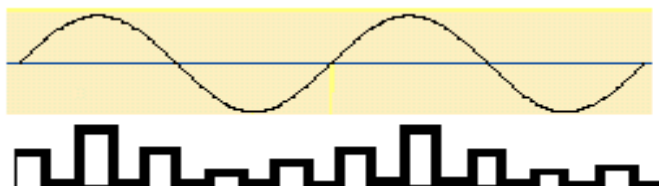


## 2. Por pulsos:

### 2.1. Moduladora analógica:

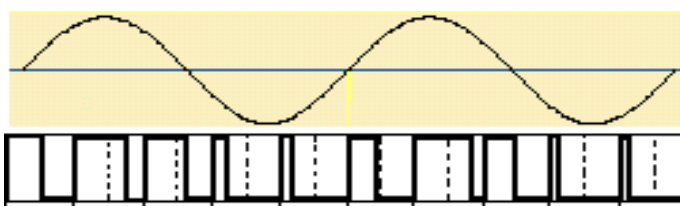
#### a. Modulación por amplitud de los pulsos (PAM):

Se modifica la amplitud de la señal digital resultante. Se mantiene constante su duración y su posición



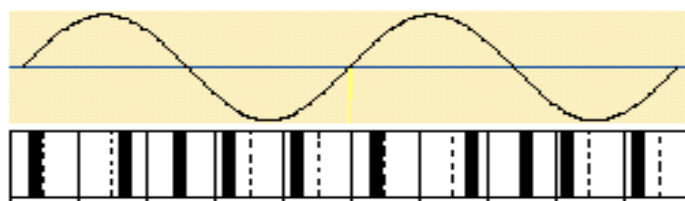
#### b. Modulación por duración de los pulsos (PDM):

Se modifica el tiempo empleado para la creación de cada pulso de la señal digital resultante. Se mantiene constante su amplitud y su posición.



#### c. Modulación por posición de los pulsos (PPM):

Se modifica el lugar que ocupará un pulso dentro del intervalo significativo. Se mantiene constante su amplitud y su duración



### 2.2. Moduladora digital:

Este es un caso particular, que acorde a la bibliografía, se considerará como moduladora digital o no. Esta doble interpretación se debe al proceso de digitalización que sufre la moduladora al ingresar al canal de comunicaciones. Es así que si se desea considerar el proceso de digitalización dentro o fuera del sistema, se podrá interpretar como Portadora digital – Moduladora digital o como Portadora digital – Técnica especial.

En el cuadro al comienzo de este capítulo, se hace referencia a casos particulares en el apartado, y a continuación se los menciona como Portadora digital y dos técnicas particulares:

PCM y Delta (Incluye Delta adaptativa). La intención de este texto, no es entrar en discusión sobre cómo clasificarlas, sino tratar de explicar su funcionamiento.

Para presentar estas técnicas, primero se desarrollará el proceso de digitalización de una señal analógica.

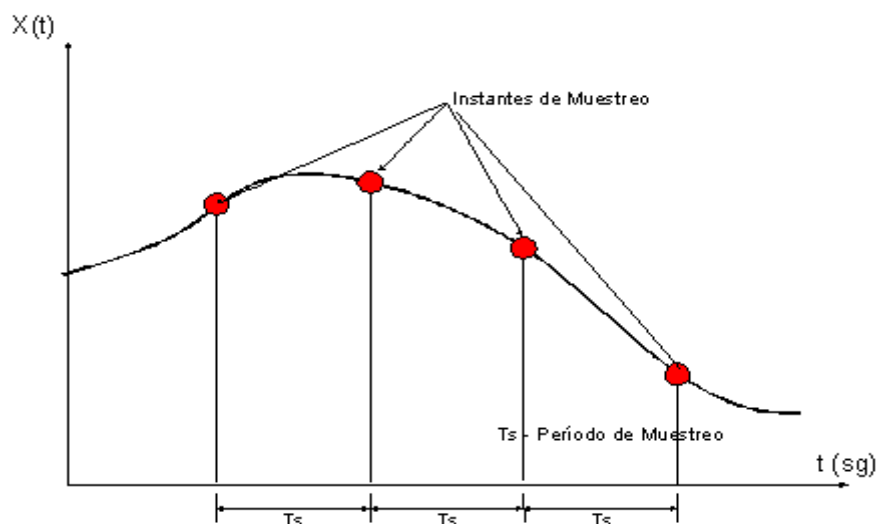
### DIGITALIZACION DE SEÑALES ANALOGICAS:

El proceso de digitalización de una señal analógica implica siempre tres pasos:

- Muestreo.
- Cuantificación.
- Codificación.

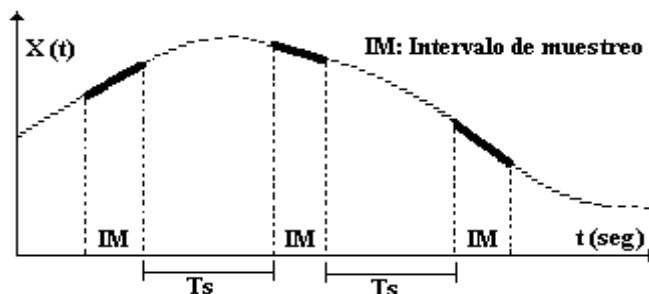
#### a. Muestreo:

Esta actividad consta de tomar el valor de una señal a intervalos de tiempo regulares. El intervalo de tiempo entre cada 2 instantes de muestreo consecutivos es igual a “ $T_s$ ” segundos y se le denomina PERIODO DE MUESTREO ( $T_s$ ).

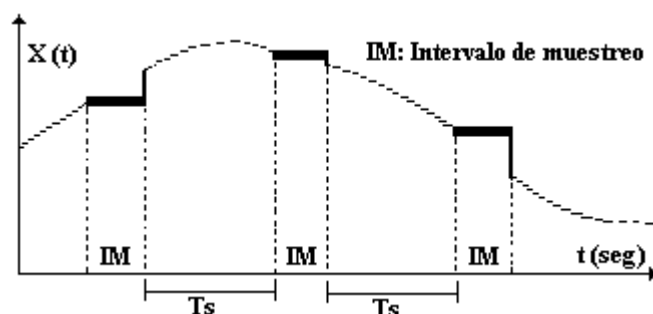


En su análisis se lo puede clasificar en tres tipos:

- Ideal: El instante de muestreo ( $T$ ), tiende a cero, es decir se trata de una sucesión de muestras infinitas.
- Natural: El tren de pulsos posee un período  $T$  de cualquier valor distinto de cero. LA función muestreada tendrá un número infinito de valores en el período de muestreo.



- Con retención: (Sample and Hold) Es el que se emplea en la práctica, y consiste en tomar la muestra y retener el valor un cierto tiempo hasta que comience el próximo período de muestreo.



Toda señal analógica se puede recuperar o reconstruir íntegramente a partir de sus muestras tomadas a intervalos regulares de tiempo  $T_S$  segundos, siempre que se cumpla la condición:

$$(1/T_S = F_S) \geq 2 * W_{ESP}$$

( $W_{ESP}$  es la máxima frecuencia Espectral,  $T_S$  es el periodo de muestreo y  $F_S$  es la frecuencia de muestreo).

b. Cuantificación:

Proceso que consiste en transformar los niveles de amplitud continuos de la señal de entrada previamente muestreada, en un conjunto de niveles discretos previamente establecidos.

En esta etapa es la única donde sí se pierde información, y mayor será su pérdida cuanto menor sean los niveles determinados, esta pérdida se llama *error o ruido de cuantificación*.

c. Codificación:

Proceso que consiste en convertir los pulsos cuantificados en un grupo equivalente de pulsos binarios de amplitud constante. En la práctica para la transmisión de voz digitalizada se emplean sistemas de ocho bit por muestra, lo que equivale a trabajar con 256 niveles cuánticos.

Es por esta razón que al digitalizar un canal telefónico de voz cuyo ancho de banda es 4.000 Hz, tomando muestras al doble de este ancho de banda, implica 8.000 muestras/segundo, las que al cuantificar en 256 niveles y codificar con 8 bit dan como resultado  $8.000 \text{ m/s} * 8 \text{ bit} = 64.000 \text{ bit /seg}$ , que es el ancho de banda de un canal telefónico digitalizado.

Se debe tener en cuenta que en la actualidad gracias al aprovechamiento de la *monotonía* y *lentitud* de modulación que posee la voz humana, se implementan algoritmos de compresión de voz que están operando a 4.000 bit/seg, es decir se está comprimiendo 16 veces el canal sin perder calidad de servicio.

### 2.2.1. Modulación por pulsos codificada (PCM):

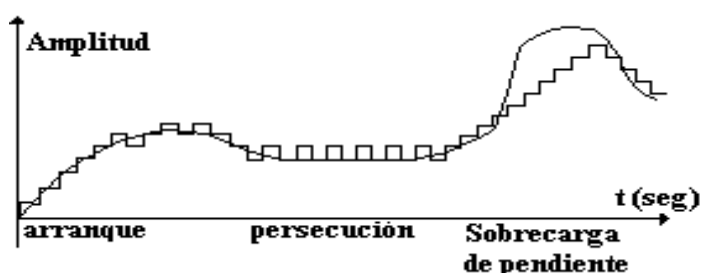
Este método consiste en la transmisión de información analógica en forma de señales digitales, mediante un proceso continuo de muestreo, cuantificación y codificación. Estos sistemas están directamente relacionados con la técnica de multiplexación por división de tiempo (MDT) que se tratará posteriormente. El más conocido de estos sistemas es el llamado PCM -30 que es el quien origen al concepto de 30 canales de datos, uno de señalización y otro de sincronismo, correspondiente a la primer jerarquía digital plesiócrona (es decir “casi” sincrónica), llamada trama E1 y es la empleada en Europa y Sud América.

### 2.2.2. Modulación Delta:

La modulación Delta consiste en la generación de una onda escalonada constante en sus incrementos, que vaya siguiendo las variaciones de la señal.

Cuando la señal de entrada permanece constante, se produce el fenómeno llamado persecución, por medio del cual el escalón va alternando su polaridad, generando con esto un ruido llamado ruido granular o de cuantificación.

Otro inconveniente sucede al crecer bruscamente la señal de entrada, dando como resultado que la altura constante del escalón no alcanza a seguirla desfasándose los escalones con la señal original. Este error se llama sobrecarga de pendiente.



### 2.2.3. Modulación Delta adaptativa:

En el caso de la modulación Delta, se presenta como en muchos otros fenómenos físicos el principio de ganar en un parámetro y con esto generar pérdida en el otro, pues si se aumentara el tamaño del escalón se produciría mayor ruido de cuantificación durante la persecución, y por el contrario si se redujera, se desfasaría aún más en la sobrecarga de pendiente.

Para dar solución a este efecto opuesto es que aparece la modulación Delta adaptativa, la cual modifica (o adapta) el tamaño del escalón acorde a la señal de entrada para optimizar estos dos errores.

