

2 MODULACIÓN EN AMPLITUD

2.1 Antecedentes

Desde su origen, el hombre ha tenido la necesidad de comunicarse para transmitir sus ideas y emociones. En un principio, se comunicó a través de la voz, ademanes y símbolos gráficos. Los antecedentes de la comunicación a larga distancia son las señales de humo, sonidos de tambores, señales luminosas, etc. pero actualmente una de las formas más eficaces es la comunicación mediante señales eléctricas; esto se debe a que se pueden transmitir las señales eléctricas a mayor distancia y velocidad [6].

Un sistema de comunicaciones electrónico transfiere información de un punto a otro usando circuitos electrónicos para la transmisión, recepción y procesamiento de la información. La información de la fuente puede ser analógica (continua) como la voz humana o digital (discreta) como números binarios. El diagrama a bloques de un sistema de comunicaciones electrónico se muestra a continuación [7]:

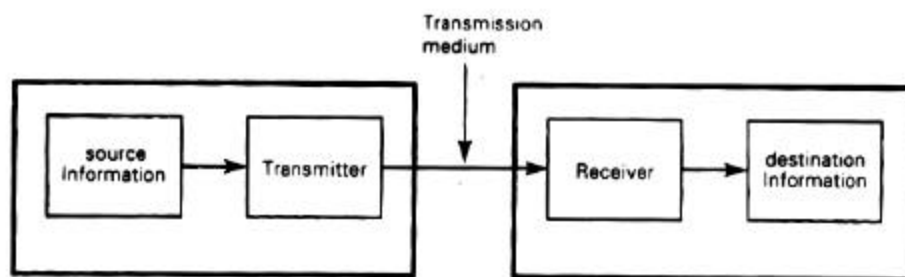


Figura 2-1 Diagrama a bloques simplificado de un sistema de comunicaciones electrónico

El transmisor contiene todos los dispositivos electrónicos o circuitos que se requieren para convertir la información de la fuente a una señal que pueda ser transmitida

en un determinado medio de transmisión. En el transmisor se lleva a cabo la modulación de la señal. La modulación es el proceso por el cual se modifica un parámetro o una propiedad de cualquier señal (llamada portadora), esta variación es proporcional a la información fuente. A la portadora se le pueden modificar su amplitud (AM), frecuencia (FM) o fase (PM).

El medio de transmisión transporta las señales moduladas del transmisor al receptor. El receptor contiene los dispositivos electrónicos o circuitos que captan la señal del medio de transmisión, la demodula para recuperar su forma original y finalmente la manda al destino.

Para que la comunicación sea eficiente, ésta se debe llevar a cabo con un mínimo de errores y lo más rápido posible.

Las señales se transmiten de un punto a otro por un canal (medio de transmisión) que puede ser una línea de transmisión o simplemente el espacio libre. En general, cada una de las señales transmitidas tienen un ancho de banda finito y pequeño comparado con el ancho de banda del canal, por lo que si sólo se transmite una señal en el canal, éste no es aprovechado adecuadamente debido a que funciona muy por debajo de su capacidad; sin embargo, si se transmite más de una señal a la vez, se causará interferencia entre las señales y no podrán ser recuperadas individualmente por el receptor. Lo anterior significa que no es posible mediante un método directo transmitir simultáneamente más de dos señales sino que se emplean técnicas de multicanalización por división de frecuencia o tiempo para transmitir varias señales simultáneamente en el mismo canal.

2.2 Multicanalización por división de frecuencia y tiempo

Para aprovechar el canal de transmisión, es posible transmitir varias señales simultáneamente siempre y cuando se les pueda separar en el extremo receptor. Cada señal queda especificada en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia, para que en el receptor se recuperen individualmente las señales ya sea en el dominio del tiempo o frecuencia.

La multicanalización por división de frecuencia implica trasladar las señales en frecuencia lo que origina que las señales se mezclen en el dominio del tiempo, pero sus espectros quedan separados de manera que ocupan diferentes bandas de frecuencia. Para recuperar las señales en el receptor se deben emplear los filtros adecuados. Cabe destacar que se recuperan los espectros de las señales individuales, por lo que este método de separación se lleva a cabo en el dominio de la frecuencia [6]. El proceso que se lleva a cabo para trasladar los espectros de las señales se le conoce como modulación y ésta se explica en la sección 2.3. En la Figura 2-2 se muestra el efecto de la modulación en el espectro de frecuencias [6].

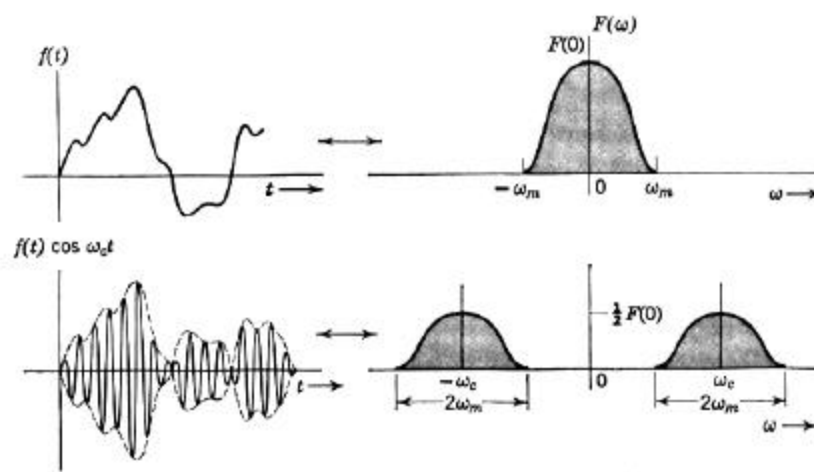


Figura 2-2 Espectro de frecuencias de la señal de información y de la señal modulada en amplitud

En la multicanalización por división de tiempo se intercalan las muestras de las diferentes señales en el tiempo y éstas se separan en el receptor usando un detector síncrono adecuado. En este caso, las señales son recuperadas en el dominio del tiempo, los espectros de frecuencia de todas las señales muestreadas están mezclados ocupando el mismo rango de frecuencia (pero las señales comparten los diferentes intervalos de tiempo) [6].

2.3 Modulación en amplitud con portadora suprimida (AM-PS)

Los dos tipos básicos de un sistema de comunicaciones electrónico son analógicos y digitales. En un sistema analógico tanto la información como la portadora son analógicas; sin embargo, las comunicaciones digitales cubren un amplio rango de técnicas incluyendo la transmisión digital y la radio digital. En la transmisión digital la información puede ser digital o analógica y la portadora es digital. En la radio digital se transmiten las portadoras analógicas moduladas digitalmente y la información siempre es digital [7].

En un sistema de comunicaciones analógico la modulación puede ser en amplitud o angular dependiendo de la propiedad que se cambie de la portadora para llevar la información. En la siguiente ecuación se muestran los diferentes tipos de modulación cuando se varía la amplitud, frecuencia o fase:

$$v(t) = V \sin(2\pi \cdot f \cdot t + \theta) \quad \begin{matrix} \text{AM} & \text{FM} & \text{PM} \\ | & | & | \end{matrix} \quad (2.1)$$

La modulación en amplitud se logra multiplicando una señal sinusoidal (portadora) por la señal de información como se muestra en la Figura 2-3 [6].

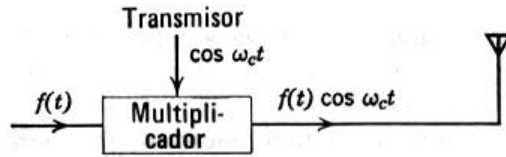


Figura 2-3 Modulación en amplitud

En la Figura 2-4 (a) se presenta la portadora, la señal de información se muestra en la Figura 2-3 (b) y la señal modulada se presenta en la Figura 2-4 (c) [8].

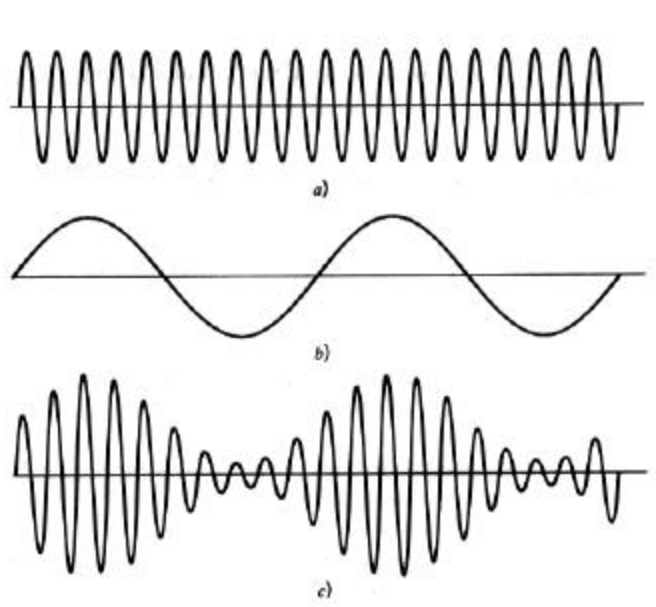


Figura 2-4 Señal modulada en amplitud
(a) portadora, (b) señal moduladora y (c) señal modulada en amplitud

La frecuencia de la portadora corresponde a la traslación en frecuencia requerida. Por el teorema de la modulación se observa que el espectro de la señal modulada es el mismo que el de la información, pero trasladado en $\pm \omega_c$ radianes por segundo como se observa a continuación:

$$f(t) \leftrightarrow F(\omega)$$

$$f(t) \cos \omega_c t \leftrightarrow \frac{1}{2}[F(\omega + \omega_c) + F(\omega - \omega_c)] \quad (2.2)$$

A este tipo de modulación se le conoce como modulación en amplitud con portadora suprimida (AM-PS), debido a que la señal modulada $f(t)\cos\omega_c t$ no contiene señal portadora adicional. En la figura 2-1 se muestra el espectro de la señal de información y de la modulada.

2.4 Demodulación en amplitud

Para llevar a cabo la demodulación en amplitud se multiplica la señal modulada por $\cos\omega_c t$ (que es la portadora con la misma frecuencia ω_c) lo que resulta en $f(t)\cos^2\omega_c t$, lo cual se muestra en la Figura 2-5 [6].

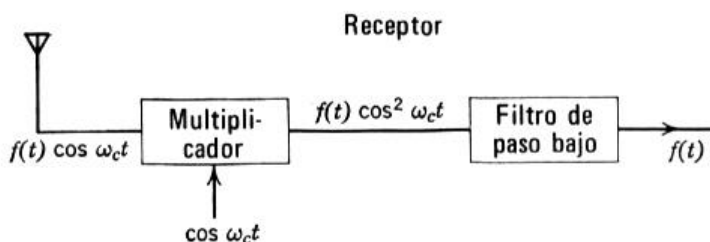


Figura 2-5 Demodulación en amplitud

El espectro que resulta de la demodulación es obtenido aplicando la Transformada de Fourier a la señal demodulada como se observa a continuación:

$$\begin{aligned}
 f(t) &\leftrightarrow F(\omega) \\
 f(t) \cos^2 \omega_c t &\leftrightarrow \frac{1}{2}F(\omega) + \frac{1}{4}[F(\omega + 2\omega_c) + F(\omega - 2\omega_c)]
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

En la Figura 2-6 se presenta el espectro de la señal remodulada [6].

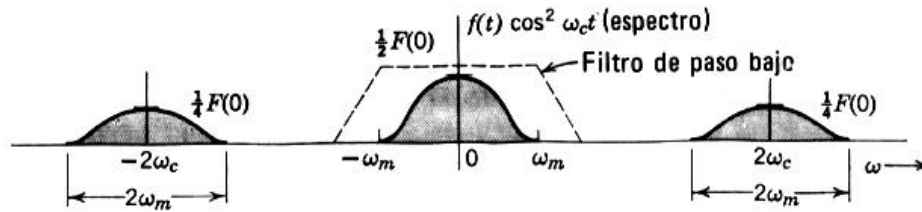


Figura 2-6 Espectro de frecuencias de la demodulada en amplitud

Como se observa, el espectro vuelve a su posición original mediante otra traslación de $\pm\omega_c$ y se generan dos réplicas las cuales se filtran para tener únicamente la señal de información original [7].

2.5 Importancia y limitaciones de la modulación en amplitud (AM-PS)

Una de las razones por las cuales se modula es para aprovechar el canal de transmisión. Como se mencionó en la sección 2.1, el canal o medio de transmisión tiene un ancho de banda muy grande mientras que la información generalmente tiene un ancho de banda finito y pequeño, por lo que al transmitir sólo una señal el canal no es aprovechado adecuadamente; pero si se envía más de una señal se causaría interferencia y sería muy problemático recuperarlas en el receptor. Por lo tanto, se modula para transmitir varias señales en el mismo canal.

La modulación cumple con otro propósito en los sistemas que transmiten señales por radiación en el espacio. En la teoría de las ondas electromagnéticas se demuestra que sólo se puede radiar una señal en forma efectiva si la antena radiadora es de aproximadamente $1/10\lambda$ (longitud de onda correspondiente a las frecuencias de las señales radiadas) [6]. Por ejemplo, si se quisiera transmitir la voz humana cuya frecuencia máxima

es de aproximadamente 10 kHz, que corresponde a una λ mínima de 30,000 m se necesitaría una antena de varios kilómetros de longitud, lo cual no es práctico. Por consiguiente, la modulación traslada el espectro de frecuencias a un rango de frecuencia superior haciendo posible la transmisión (radiación) de señales efectiva [6].

La modulación en amplitud con portadora suprimida sufre de dos limitaciones fundamentales [8]:

1. La modulación en amplitud desperdicia potencia ya que se transmite la onda portadora.
2. La modulación en amplitud desperdicia ancho de banda debido a que se transmiten las bandas laterales superior e inferior y para recuperar la información sólo sería necesaria una banda lateral. Por lo tanto, se desperdicia ancho de banda puesto que se requiere un ancho de banda de transmisión igual al doble de la información.

Para superar las limitaciones expuestas, se hacen algunas modificaciones como suprimir la portadora (modulación en amplitud con portadora suprimida), alguna de las bandas laterales (banda lateral única) o se transmite sólo una parte de la banda lateral (banda lateral residual) dependiendo de la aplicación.