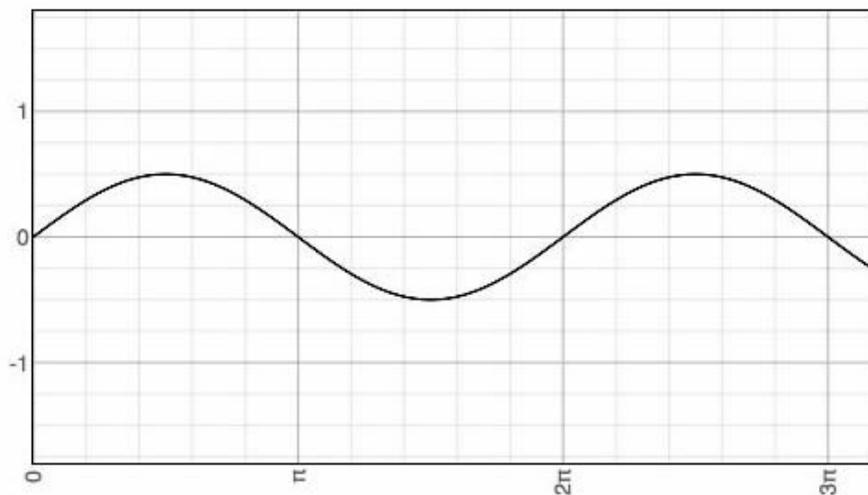


EL3003 LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

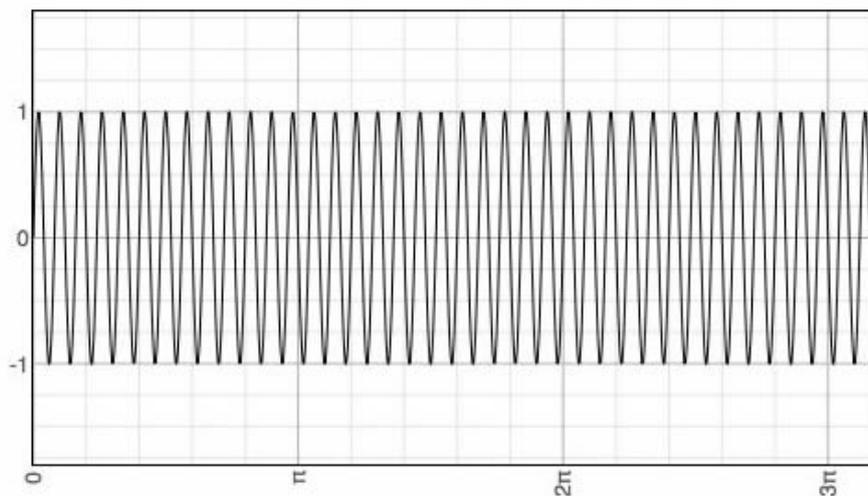
MODULACIÓN DE AMPLITUD (AM)

Este es un caso de modulación donde tanto las señales de transmisión como las señales de datos son analógicas.

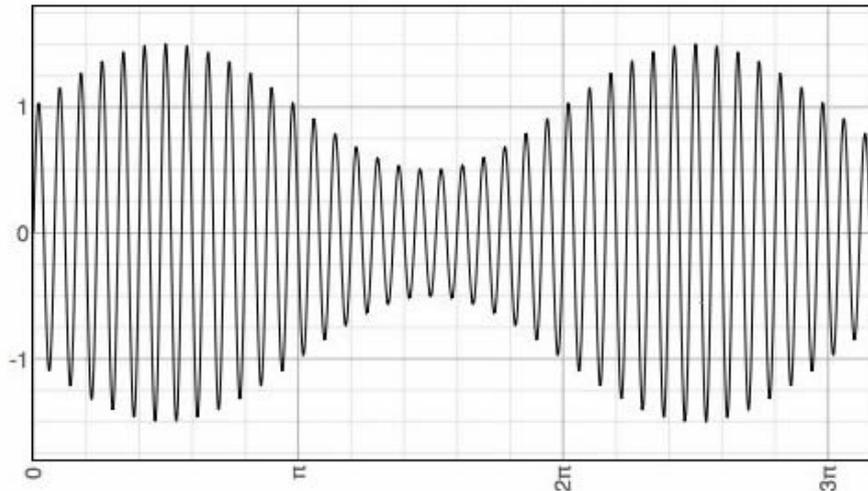
Un modulador AM es un dispositivo con dos señales de entrada, una señal portadora de amplitud y frecuencia constante, y la señal de información o moduladora. El parámetro de la señal portadora que es modificado por la señal moduladora es la amplitud.



Señal Moduladora (Datos)



Señal Portadora



Señal Modulada

Consideremos que la expresión matemática de la señal portadora está dada por

$$(1) v_p(t) = V_p \text{ sen}(2\pi f_p t)$$

Donde V_p es el valor pico de la señal portadora y f_p es la frecuencia de la señal portadora.

De manera similar podemos expresar matemáticamente a la señal moduladora

$$(2) v_m(t) = V_m \text{ sen}(2\pi f_m t)$$

Siendo V_m el valor pico de la señal moduladora y f_m su frecuencia.

La señal modulada tendrá una amplitud que será igual al valor pico de la señal portadora más el valor instantáneo de la señal moduladora.

$$(3) v(t) = (V_p + v_m(t)) \text{ sen}(2\pi f_p t)$$

$$v(t) = (V_p + V_m \text{ sen}(2\pi f_m t)) \text{ sen}(2\pi f_p t)$$

luego sacando V_p como factor común

$$(4) v(t) = V_p \left(1 + \frac{V_m}{V_p} \text{ sen}(2\pi f_m t) \right) \text{ sen}(2\pi f_p t)$$

Se denomina índice de modulación

$$m = \frac{V_m}{V_p}$$

reemplazando m en (4)

$$v(t) = V_p (1 + m \text{ sen}(2\pi f_m t)) \text{ sen}(2\pi f_p t)$$

Operando

$$v(t) = (V_p + V_p m \sin(2\pi f_m t)) \sin(2\pi f_p t)$$

$$v(t) = V_p \sin(2\pi f_p t) + V_p m \sin(2\pi f_m t) \sin(2\pi f_p t) \quad (5)$$

recordando la relación trigonométrica

$$\sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$$

aplicamos esta entidad a la ecuación (5)

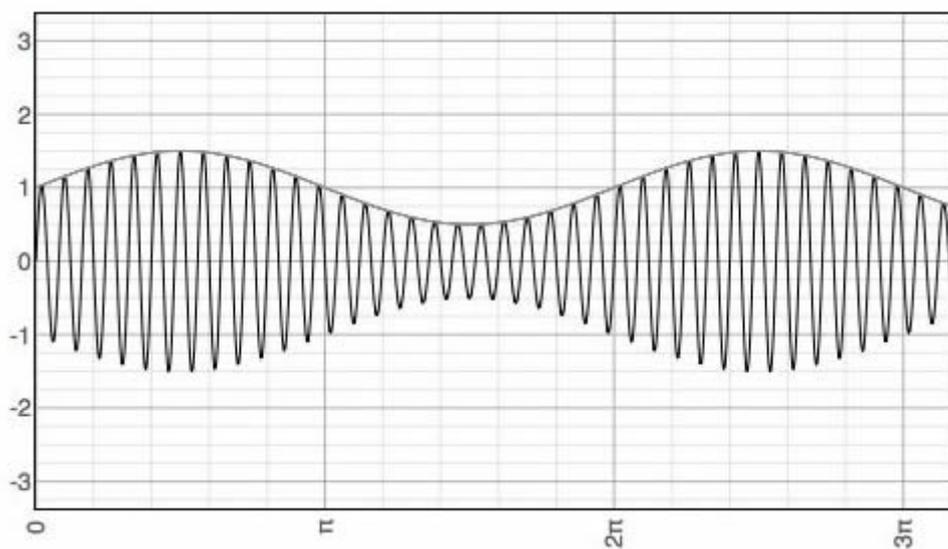
$$(6) \quad v(t) = V_p \sin(2\pi f_p t) + \frac{mV_p}{2} \cos[2\pi(f_p - f_m)t] - \frac{mV_p}{2} \cos[2\pi(f_p + f_m)t]$$

La expresión (6) corresponde a la señal modulada en amplitud.

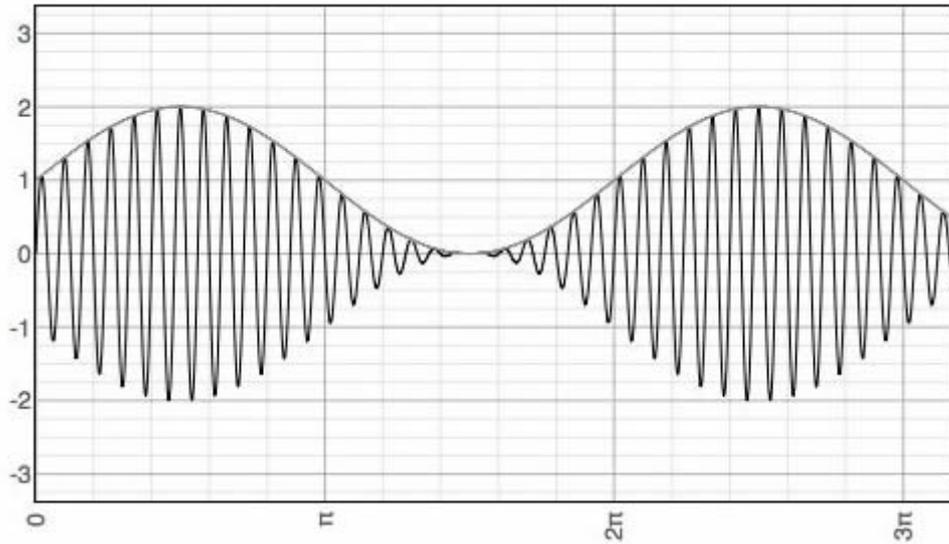
Si al índice de modulación se lo expresa en porcentaje se obtiene el porcentaje de modulación

$$m = \frac{V_m}{V_p} \quad M\% = \frac{V_m}{V_p} \cdot 100$$

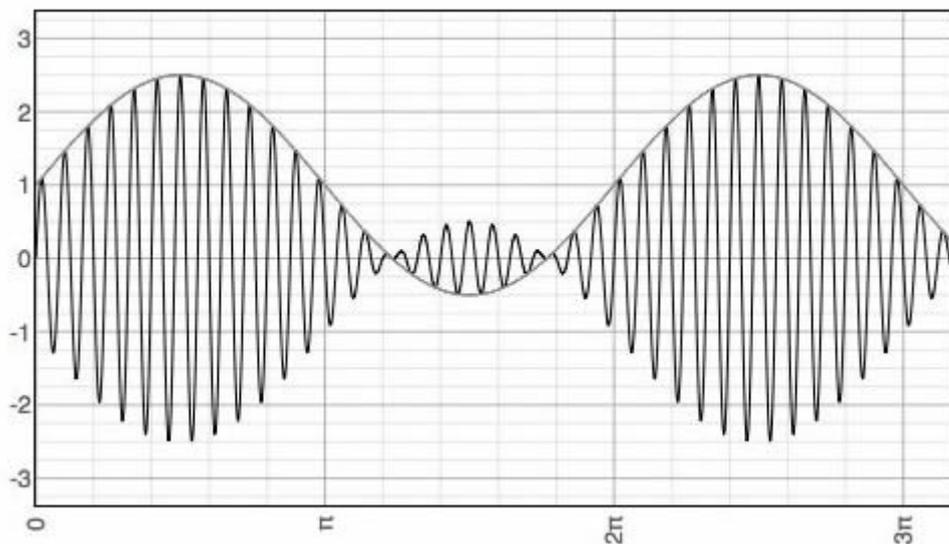
M puede variar de 0% a 100% sin que exista distorsión, si se permite que el porcentaje de modulación se incremente más allá del 100% se producirá distorsión por sobre-modulación, lo cuál da lugar a la presencia de señales de frecuencias no deseadas.



M < 100%

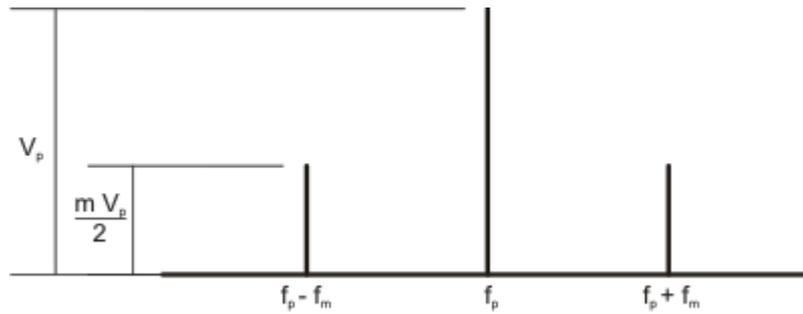


$M = 100\%$



$M > 100\%$

En la ecuación (6), que describe a una señal modulada en amplitud, se observa que tiene tres términos. El primero de ellos corresponde a una señal cuya frecuencia es la de la portadora, mientras que el segundo corresponde a una señal cuya frecuencia es diferencia entre portadora y moduladora y el tercero a una frecuencia suma de las frecuencias de la portadora y moduladora. Todo este conjunto da lugar a un espectro de frecuencias de las siguientes características.



Donde

$f_p - f_m$: frecuencia lateral inferior

$f_p + f_m$: frecuencia lateral superior

Debido a que en general una señal analógica moduladora no es senoidal pura, sino que tiene una forma cualquiera, a la misma la podemos desarrollar en serie de Fourier y ello da lugar a que dicha señal esté compuesta por la suma de señales de diferentes frecuencias. De acuerdo a ello, al modular no tendremos dos frecuencias laterales, sino que tendremos dos conjuntos a los que se denomina banda lateral inferior y banda lateral superior.

Como la información está contenida en la señal moduladora, se observa que en la transmisión dicha información se encontrará contenida en las bandas laterales, ello hace que sea necesario determinado ancho de banda para la transmisión de la información.

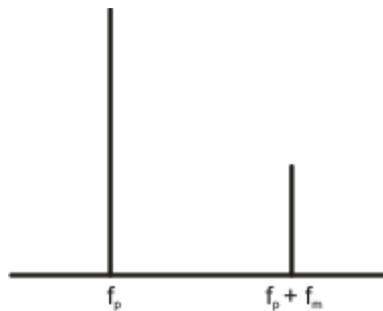
Veamos un ejemplo:

Si consideramos que la información requiere de 10KHz de ancho de banda, se necesitaran 10KHz para cada banda lateral, lo que hace que la transmisión en amplitud modulada de dicha señal requiera un ancho de banda de 20KHz.

Banda lateral única (SSB)

Como la información se repite en cada banda lateral, se han desarrollado equipos denominados de Banda Lateral Única (BLU) o Single Side Band (SSB), en los cuales se requiere la mitad del ancho de banda del necesario para la transmisión en amplitud modulada. En el ejemplo anterior una transmisión en banda lateral única requiere solo

10KHz de ancho de banda. Si consideramos la banda lateral superior, el espectro de frecuencias tiene la siguiente forma.



Dependiendo de la banda lateral que se transmita, superior o la inferior, se puede tener

Upper Side Band (USB): En este caso lo que se transmite es la banda lateral superior y son suprimidas la banda lateral inferior y la señal portadora.

Lower Side Band (LSB): En este caso lo que se transmite es la banda lateral inferior y son suprimidas la banda lateral superior y la señal portadora.

Ventajas y desventajas de la SSB

La superioridad tecnológica de la Banda Lateral Única sobre la Amplitud Modulada reside en esa necesidad de gastar sólo un cuarto de la energía para transmitir la misma información. En contrapartida, los circuitos de transmisores y receptores son más complejos y más caros.

Otra ventaja de esta modulación sobre la AM estriba en que la potencia de emisión se concentra en un ancho de banda más estrecho (normalmente 2,4 kilohercios); por lo tanto, es muy sobria en el uso de las frecuencias, permitiendo más conversaciones simultáneas en una banda dada.

La modalidad de mayor uso es la USB (banda lateral superior, del inglés Upper Side Band). Por razones históricas, en el servicio de radioaficionados para frecuencias por debajo de 10.7 MHz se transmite sólo la banda inferior (LSB), y por encima, sólo la banda superior (USB). La LSB también se utiliza en algunas comunicaciones marinas.

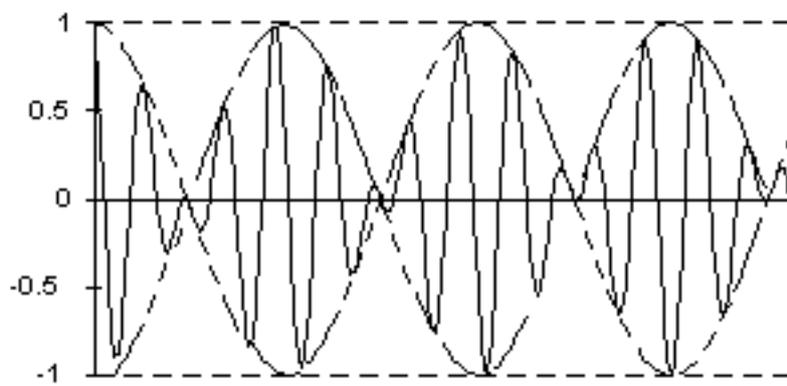
Doble Banda Lateral (DSB)

Se puede definir como AM con la portadora suprimida con el objeto de ahorrar potencia. Este tipo de modulación se usa en comunicación punto a punto donde hay un

solo receptor ya que este sería más complejo que en AM. También se utiliza para colocar los canales derecho e izquierdo (R y L) en FM estéreo, con el propósito de tener buena reproducción en la zona de baja frecuencia; por esta misma razón, algunos sistemas de telemetría usan el esquema DSB.

Sea $x(t)$ un mensaje que cumple las condiciones indicadas en la introducción; sea $x_c(t) = A_c \cos \omega_c t$ la portadora. La señal DSB se expresará como $x_{DSB}(t) = A_c x(t) \cos \omega_c t$.

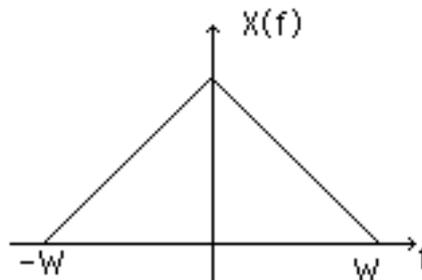
La figura muestra la señal DSB(t) para un mensaje $x(t)$ sinusoidal. Como se ve la envolvente no sigue la forma del mensaje.



Modulación DSB

Espectro de una señal DSB

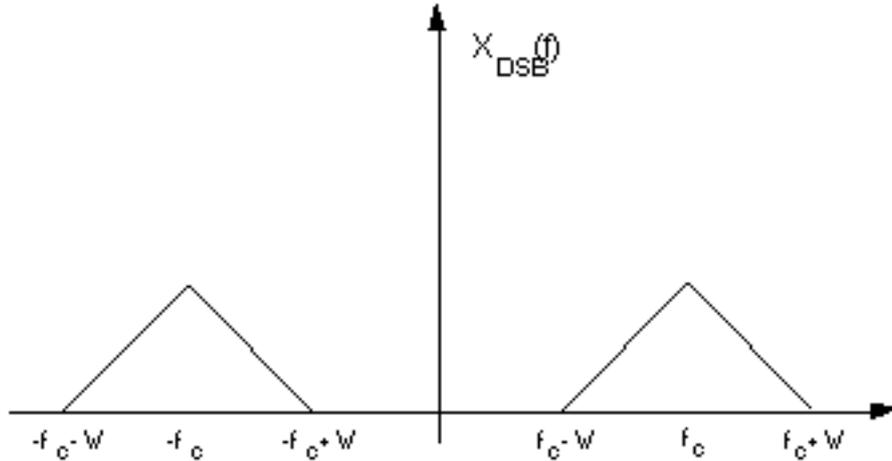
Supongamos un mensaje $x(t)$ cuyo espectro ocupa una banda W tal y como se ilustra:



Al transformar la señal DSB , se tendrá:

$$X_{DSB}(f) = (A_c / 2) X (f-f_c) + (A_c / 2) X (f+f_c)$$

Gráficamente:



Se observa que solo aparece el espectro del mensaje trasladado en frecuencia (no aparece la portadora) por lo que el ancho de banda es , como en AM, igual a $2W$.

Potencia de la señal modulada

Como la potencia es proporcional a la tensión, el espectro de potencias tiene una forma similar al espectro de tensiones visto anteriormente.

$$m = \frac{V_m}{V_p}$$

Como la amplitud máxima de cada banda lateral está dada por $\frac{m \cdot V_p}{2}$ y teniendo en cuenta que la potencia es proporcional al cuadrado de la tensión, resulta que la potencia de la señal modulada será:

$$P \equiv (V_p)^2 + \left(\frac{m \cdot V_p}{2} \right)^2 + \left(\frac{m \cdot V_p}{2} \right)^2$$

$$P \equiv V_p^2 + \frac{m^2 \cdot V_p^2}{4} + \frac{m^2 \cdot V_p^2}{4}$$

Para tener la igualdad en la última expresión debemos considerar las potencias en lugar de las tensiones.

$$P = P_p + \frac{m^2}{4} \cdot P_p + \frac{m^2}{4} \cdot P_p$$

$$P = P_p + \frac{m^2}{2} \cdot P_p$$

$$P = P_p \cdot \left(1 + \frac{m^2}{2}\right)$$

Si se modula al 100% resulta $m=1$ y por lo tanto la potencia de la señal modulada será igual a $3/2$ de la potencia de la portadora.

$$P = P_p \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right)$$

$$P = \frac{3}{2} P_p \therefore P_p = \frac{2}{3} P$$

Observamos en la última ecuación que la portadora consume $2/3$ de la potencia total de la señal modulada y solo queda $1/3$ para las bandas laterales.

Para obtener mayor rendimiento se han desarrollado sistemas que transmiten con portadora suprimida, de modo que toda la potencia de la señal modulada corresponde a las bandas laterales.

El espectro de frecuencias para modulación de amplitud con portadora suprimida tiene las siguientes características.

