

**Practica 2** “Modulación de una señal de audio en amplitud modulada”

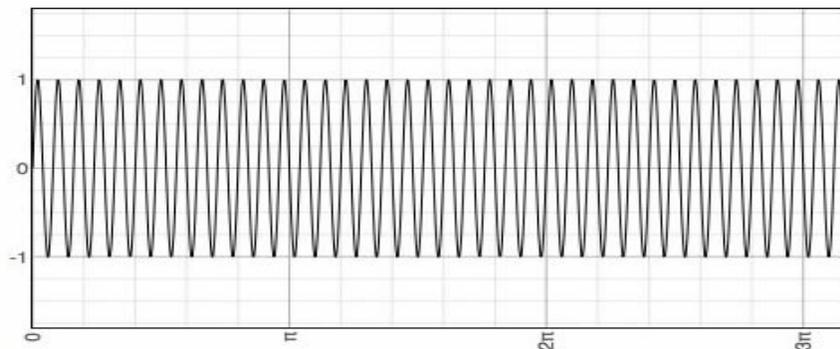
**Objetivo:** Implementar un modulador discreto de Amplitud Modulada (AM), utilizando un multiplicador analógico de circuito integrado y/o un transistor para implementar un modulador de AM.

**Introducción:** Modulación de amplitud (también conocido como AM) es el proceso de cambiar la amplitud de una portadora de frecuencia relativamente alta de acuerdo con la amplitud de la señal modulante o información.

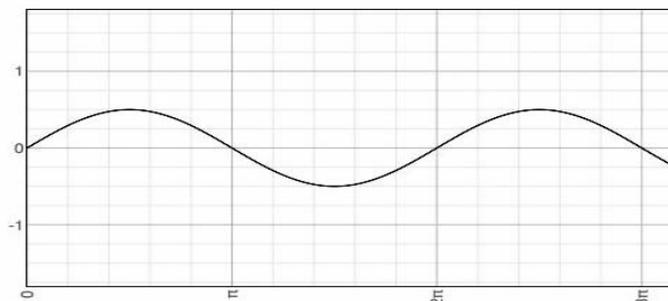
La frecuencia de la portadora, debe de ser lo suficientemente alta para radiarse de manera eficiente por una antena y propagarse por el espacio libre. A este tipo de señales se les llaman comúnmente como “señales de radiofrecuencias” o simplemente RF. Con la modulación de amplitud, la información se imprime sobre la portadora en forma de cambios de amplitud. La modulación de amplitud es una forma de modulación relativamente barata y de baja calidad de transmisión, que se utiliza en la radiodifusión de señales de audio y vídeo. La banda de radiodifusión comercial AM en México abarca de 530 KHz. a 1600 kHz.

Un modulador de AM es un aparato no lineal con dos señales de entrada:

- a) una señal portadora de amplitud constante y de frecuencia única y constante
- b) la señal de información



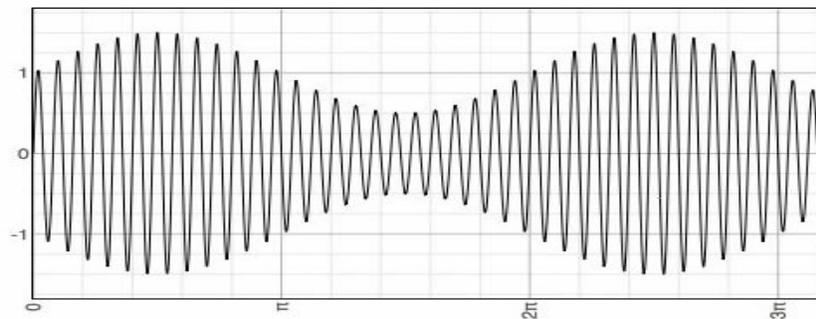
La información “actúa sobre” o “modula” la portadora y puede ser una forma de onda de frecuencia simple o compleja compuesta de muchas frecuencias que fueron originadas de una o más fuentes. Debido a que la información actúa sobre la portadora, se le llama señal modulante.



Es posible generar varias formas o variaciones de modulación de amplitud. La portadora de AM de doble banda lateral (AM DSBFC Double Side Band Frequency Carrier) es probablemente la forma más utilizada en la modulación de amplitud. Es conocida también como AM convencional.

La figura siguiente muestra en el dominio de tiempo como se produce una onda AM a partir de una señal moduladora de frecuencia simple. La onda modulada de salida contiene todas las frecuencias que componen la señal AM y se utilizan para llevar la información a través del sistema. Por lo tanto, a la forma de la onda modulada se le llama la envolvente. Sin señal moduladora, la onda de salida simplemente es la señal portadora amplificada.

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



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

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

$$v(t) = V_p \text{sen}(2\pi f_p t) + V_p m \text{sen}(2\pi f_m t) \text{sen}(2\pi f_p t) \quad (5)$$

recordando la relación trigonométrica

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

aplicamos esta entidad a la ecuación (5) para obtener

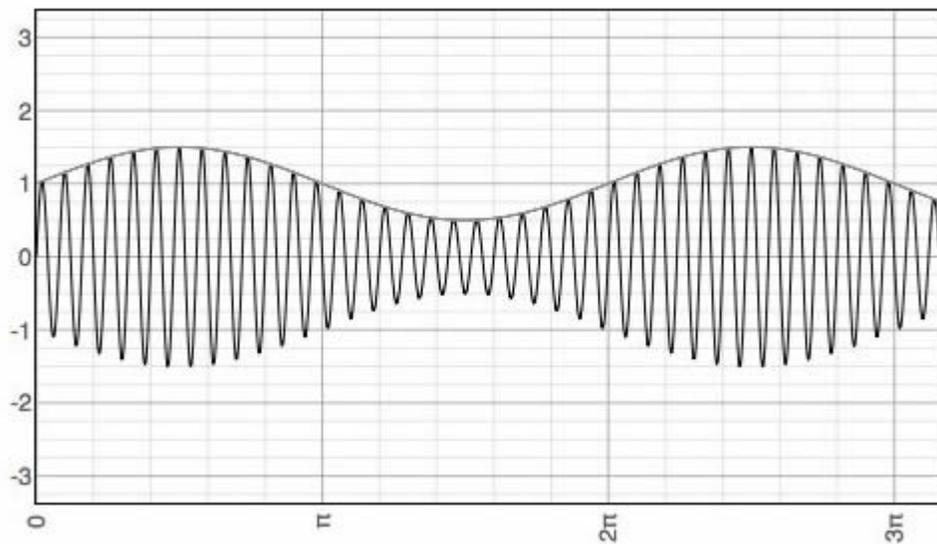
$$v(t) = V_p \text{sen}(2\pi f_p t) + \frac{mV_p}{2} \cos[2\pi(f_p - f_m)t] - \frac{mV_p}{2} \cos[2\pi(f_p + f_m)t] \quad (6)$$

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

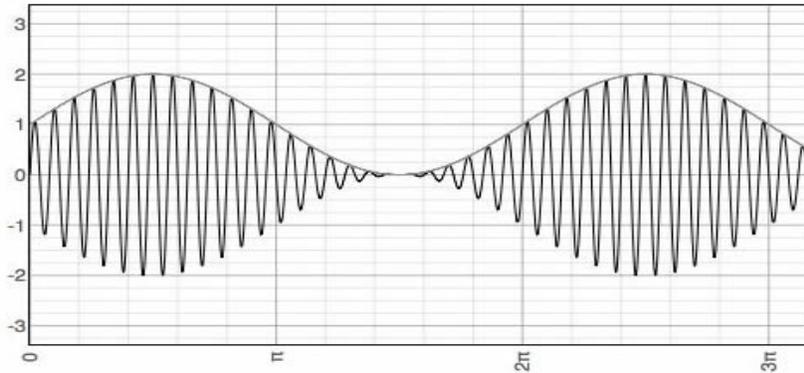
Si al índice de modulación se lo expresa en porcentaje se obtiene el porcentaje de modulación

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

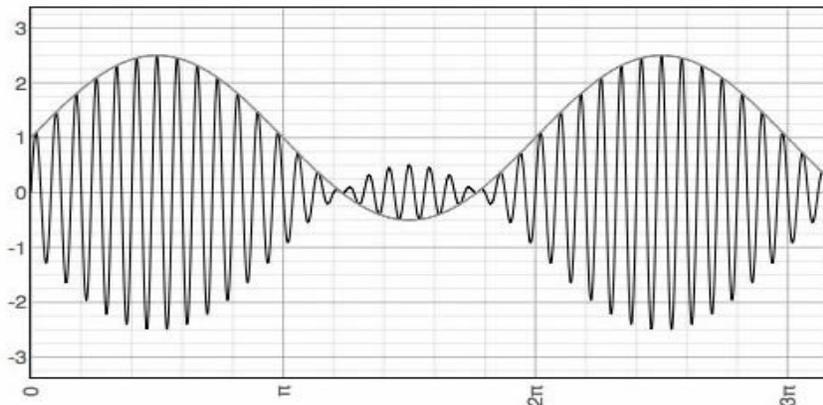
M puede variar de 0% a 100% sin que exista distorsión, si se permite que el porcentaje de modulación se incremente más allá del 100% se producirá distorsión por sobre-modulación, lo cuál da lugar a la presencia de señales de frecuencias no deseadas.



$M < 100\%$

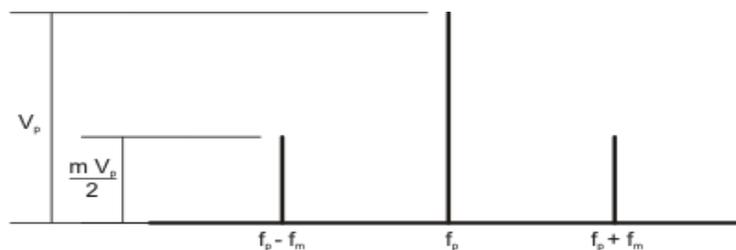


$M = 100\%$



$M > 100\%$

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 sinusoidal 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

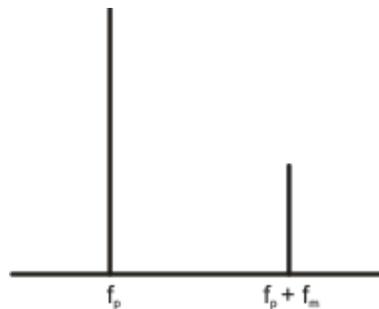
información se encontrará contenida en las bandas laterales, ello hace que sea necesario determinado ancho de banda para la transmisión de la información.

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

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.

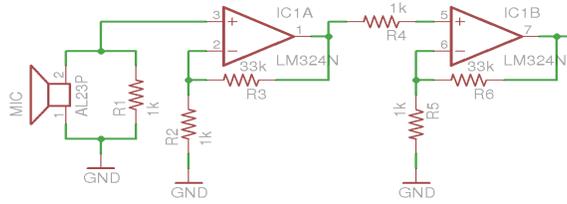
### Desarrollo:

En la práctica se implementará un par de modulador de AM con las siguientes características:

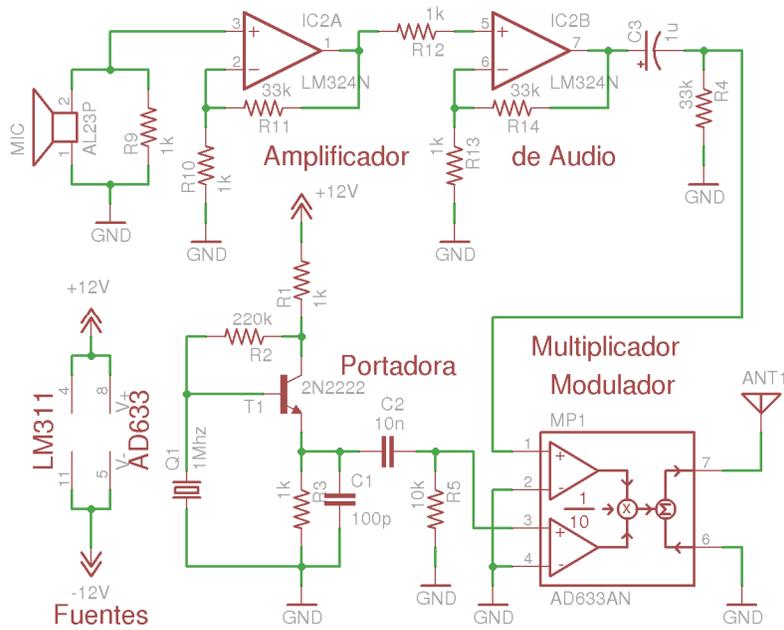
- Para generar la señal portadora de 1 Mhz. se utilizará el oscilador basado en cristal implementado en la clase anterior. Dos de los equipos realizarán este oscilador
- Los restantes 2 equipos obtendrán la señal portadora del generador de señales a una frecuencia de 680 Khz. y 890 Khz. Ambos con un voltaje de 5 volts p-p senoidal.
- La señal o información a transmitir proviene de un micrófono, debido a que esta señal tiene una amplitud muy baja, se implementará un amplificador de audiofrecuencia, con una ganancia de 1000 aproximadamente.
- Para modular la señal, se utiliza un multiplicador analógico de 4 cuadrantes

Los siguientes diagramas muestran las conexiones de cada uno de los esquemas.

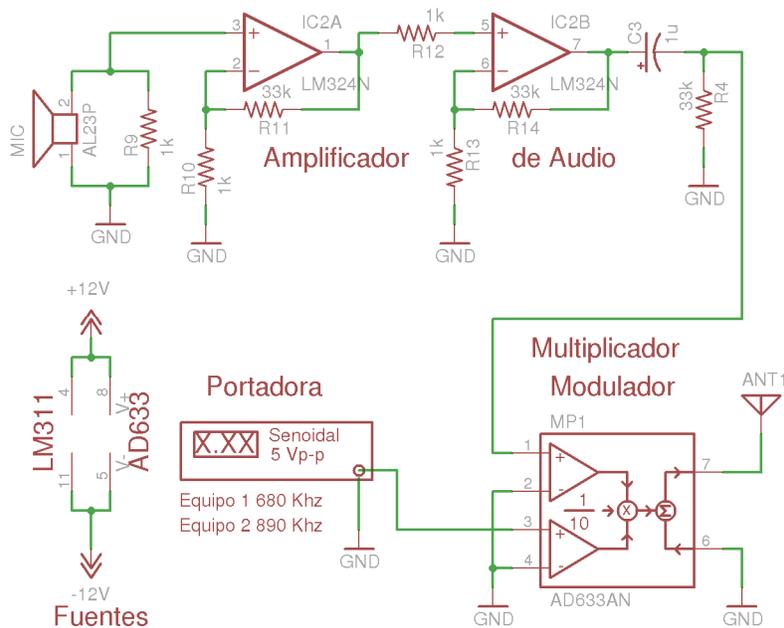
Este diagrama muestra el circuito de amplificación.



El siguiente diagrama muestra el circuito de amplificación con el oscilador a cristal y el multiplicador que realiza la función de modulación.



El siguiente diagrama muestra las conexiones necesarias para remplazar el oscilador a cristal con el generador de señales.



Al implementar cada uno de estos circuitos, se debe de tener consideración el funcionamiento de cada una de las etapas.

1. Para probar el circuito amplificador del micrófono, se requiere de un osciloscopio para poder ver la señal proveniente de cada uno de los 3 puntos de interés. El micrófono, el primer paso de amplificación y la salida del circuito (después del capacitor). A la salida debe de existir una señal con valores pico de 5 volts o mas.
2. El generador a cristal se conecta a una fuente de 12 volts, esto proporciona una señal de salida de mayor amplitud, con valores característicos de 5 Vp-p a una frecuencia de 1 Mhz. Para poder ver esta señal se requiere de un osciloscopio. La señal debe de probarse en el pin 3 del multiplicador analógico o después del capacitor de 10nf
3. Al terminar de probar estas señales, la salida del multiplicador (pin 7 del AD633) mostrará una señal modulada en amplitud de acuerdo a la portadora y la señal modulante. Si se esta utilizando la señal del micrófono como modulante, solo existirá la señal de salida cuando exista una señal en el micrófono.
4. Se utiliza un radio receptor comercial de AM para corroborar la transmisión de la señal.
5. Para poder sintonizar la señal en un radio AM, es necesario estar transmitiendo de manera continua, se sugiere remplazar temporalmente al micrófono por un generador de señales con las siguientes características: 2 Vp-p. A una frecuencia de 1 KHz senoidal. Esto permite escuchar continuamente un tono de 1KHz en el receptor. Esto solo para poder encontrar fácilmente la estación.

#### Mediciones y resultados

Realizar los siguientes :

Frecuencia de la señal portadora así como dibujar su forma de onda

En los equipos que utilizan la señal de los generadores de señal como señal portadora, cambiar la forma de onda a triangular y cuadrada y observar las diferencias.

En el equipo con la portadora de mas baja frecuencia, observar si se tienen alguna estación armónica. Al utilizar una señal triangular o cuadrada.

Dibujar la señal de salida al aplicar una señal triangular y senoidal de 2khz

Evaluación:

Esta práctica se evaluará con su correcta operación y funcionamiento.

Plus....

Al termino de la practica se mostrará el espectro de frecuencia de una señal modulada y su bandas laterales.