

# EXPERIENCIA DE LABORATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE SEÑALES DE AM Y DOBLE BANDA LATERAL

A. AYALA, S. RODRÍGUEZ, O. GONZÁLEZ, B. R. MENDOZA y M. R. VALIDO  
*Departamento de Física Fundamental y Experimental, Electrónica y Sistemas. Facultad de Física.  
Universidad de La Laguna. Tenerife. España.*

*El presente trabajo muestra una experiencia de laboratorio dirigida a alumnos de ingeniería electrónica, donde éstos pueden comprobar cómo, con un reducido número de componentes electrónicos, es posible llevar a la práctica conceptos teóricos e implementar, en este caso, un modulador AM y otro de DBL.*

## 1. Introducción general. Objetivos

Entre las materias que se imparten en el plan de estudio de la titulación de Ingeniería Electrónica, hay que señalar aquellas que abordan el estudio de las diferentes técnicas de modulación utilizadas en la transmisión de información, y que también son importantes para cualquier futuro ingeniero. No obstante, en el caso de la ingeniería electrónica, es importante que los alumnos puedan realizar experiencias prácticas que le permitan aunar conceptos puramente electrónicos con otros propios del campo de las comunicaciones. De esta manera, éstos pueden aplicar los conocimientos adquiridos en otras materias de contenido electrónico a dicho campo.

En ese sentido, el objetivo del presente trabajo ha sido el diseño e implementación de una experiencia de laboratorio en la que, mediante la utilización de un reducido número de componentes electrónicos, es posible la obtención tanto de una señal modulada en amplitud (AM) como en doble banda lateral (DBL) [1,2]

## 2. Descripción del sistema

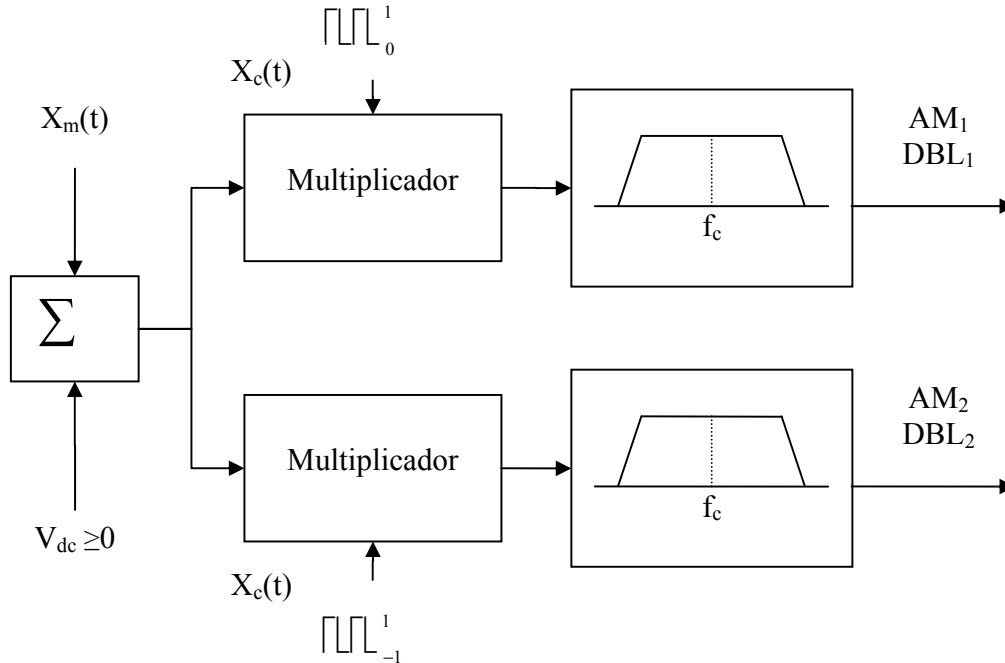
Entre las técnicas de modulación de tipo analógico que estudian los alumnos se encuentran, entre otras, las modulaciones en amplitud (AM) y en doble banda lateral (DBL), siendo múltiples los esquemas electrónicos que permiten la obtención de éstas y otras técnicas como la banda lateral única (BLU) o la banda lateral residual (BLR). La presente experiencia se centra en la implementación de un circuito electrónico que, haciendo uso de “moduladores de conmutación” (MC), posibilita la generación indistinta de AM y DBL.

Los MC basan su principio de funcionamiento en la “multiplicación” de una señal moduladora ( $X_m(t)$ ) por un tren de pulsos cuya amplitud puede fluctuar entre 0 y 1 o entre 1 y -1. En el primero de los casos, estaríamos en presencia de un proceso de muestreo (equivalente a una modulación PAM), mientras que en el segundo el resultado sería una señal que fluctuaría entre el valor instantáneo de la moduladora y su inversa.

En ambos casos, la inclusión de un filtro pasa banda centrado a la frecuencia de la portadora ( $f_c$ , frecuencia fundamental del tren de pulsos) posibilita la obtención de una señal de DBL a su salida. Podremos constatar, además, que si la moduladora posee una componente de continua ( $V_{dc}$ ) a la salida del filtro obtendríamos AM en lugar de DBL.

En la Fig. 1 se muestra el diagrama de bloques del sistema implementado, y donde podemos observar que la moduladora  $X_m(t)$  es llevada a los bloques multiplicadores sumándole previamente una

componente de DC  $\geq 0$ . Restaría trasladar la salida de los bloques multiplicadores a sus correspondientes filtros pasa banda para obtener una señal de AM (si  $V_{dc} > 0$ ) o DBL (si  $V_{dc} = 0$ ), como se ha indicado anteriormente.



**Figura 1.** Diagrama de bloques.

El diagrama anterior representa de forma conjunta las cuatro combinaciones posibles de señal de entrada y multiplicador:

- $X_m(t)$  con multiplicador (1,0)
- $X_m(t)$  con multiplicador (1,-1)
- $X_m(t) + V_{dc}$  con multiplicador (1,0)
- $X_m(t) + V_{dc}$  con multiplicador (1,-1)

Los dos primeros constituyen casos particulares de los segundos, ya que bastaría eliminar  $V_{dc}$  para obtenerlos.

Partiremos, por tanto, de una moduladora (en este caso un tono de amplitud  $E_m$  y frecuencia  $f_m$ ) con una componente de DC  $> 0$  (Ec. 1, obtenida a la salida del sumador) que puede ser multiplicada por un tren de pulsos cuya amplitud fluctúa entre 0 y 1, o entre 1 y -1, con una frecuencia fundamental  $f_c$ . Al tratarse éstas últimas de señales periódicas, pueden ser desarrolladas en serie de Fourier [3] como se muestra en las Ec. 2 y 3, respectivamente.

$$X_m(t) + V_{dc} = E_m \cos \omega_m t + V_{dc} \quad (1)$$

$$S_1(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cdot \cos \omega_c t - \frac{2}{3\pi} \cdot \cos 3\omega_c t + \dots \quad (2)$$

$$S_2(t) = \frac{4}{\pi} \cdot \cos \omega_c t - \frac{4}{3\pi} \cdot \cos 3\omega_c t + \dots \quad (3)$$

A la salida del primer multiplicador obtendríamos:

$$\begin{aligned} S_1(t) \cdot [E_m \cos \omega_m t + V_{dc}] &= \frac{E_m}{2} \cos \omega_m t + \frac{2E_m}{\pi} \cos \omega_m t \cdot \cos \omega_c t \\ &- \frac{2E_m}{3\pi} \cos \omega_m t \cdot \cos 3\omega_c t + \frac{V_{dc}}{2} + \frac{2V_{dc}}{\pi} \cos \omega_c t - \frac{2V_{dc}}{3\pi} \cos 3\omega_c t + \dots = \\ &\frac{2V_{dc}}{\pi} \cos \omega_c t + \frac{E_m}{\pi} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t] + \text{resto} \end{aligned} \quad (4)$$

Mientras que en el segundo:

$$\begin{aligned} S_2(t) \cdot [E_m \cos \omega_m t + V_{dc}] &= \frac{4E_m}{\pi} \cos \omega_m t \cdot \cos \omega_c t - \frac{4E_m}{3\pi} \cos \omega_m t \cdot \cos 3\omega_c t + \\ &\frac{4V_{dc}}{\pi} \cos \omega_c t - \frac{4V_{dc}}{3\pi} \cos 3\omega_c t + \dots = \\ &\frac{4V_{dc}}{\pi} \cos \omega_c t + \frac{2E_m}{3\pi} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t] + \text{resto} \end{aligned} \quad (5)$$

Si dichas señales se introducen en sus respectivos filtros pasa banda, centrados en  $f_c$  y con un ancho de banda de  $2f_m$ , obtendríamos en ambos casos una señal de AM como muestran, respectivamente, las Ec. 6 y 7.

$$AM_1 = \frac{2V_{dc}}{\pi} \cos \omega_c t + \frac{E_m}{\pi} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t] \quad (6)$$

$$AM_2 = \frac{4V_{dc}}{\pi} \cos \omega_c t + \frac{2E_m}{3\pi} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t] \quad (7)$$

Si la componente de DC sumada a la moduladora es anulada haciendo  $V_{dc} = 0$ , las dos ecuaciones anteriores se transforman en:

$$DBL_1 = \frac{E_m}{\pi} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t] \quad (8)$$

$$DBL_2 = \frac{2E_m}{3\pi} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t] \quad (9)$$

que corresponden a sendas señales moduladas en doble banda lateral (DBL) y obtenidas a la salida de los respectivos filtros.

### 3. Desarrollo experimental

La Fig. 2 muestra el esquema eléctrico correspondiente al diagrama de bloques de la Fig. 1. Como se puede observar, se ha hecho uso del amplificador operacional TL081 para implementar los diferentes integrantes del sistema (sumador, multiplicadores y filtros) [4].

La señal moduladora es llevada al circuito sumador en configuración no inversora (U3 de la Fig. 2) donde se le añadirá, como ya se ha indicado, una componente  $V_{dc} \geq 0$ .

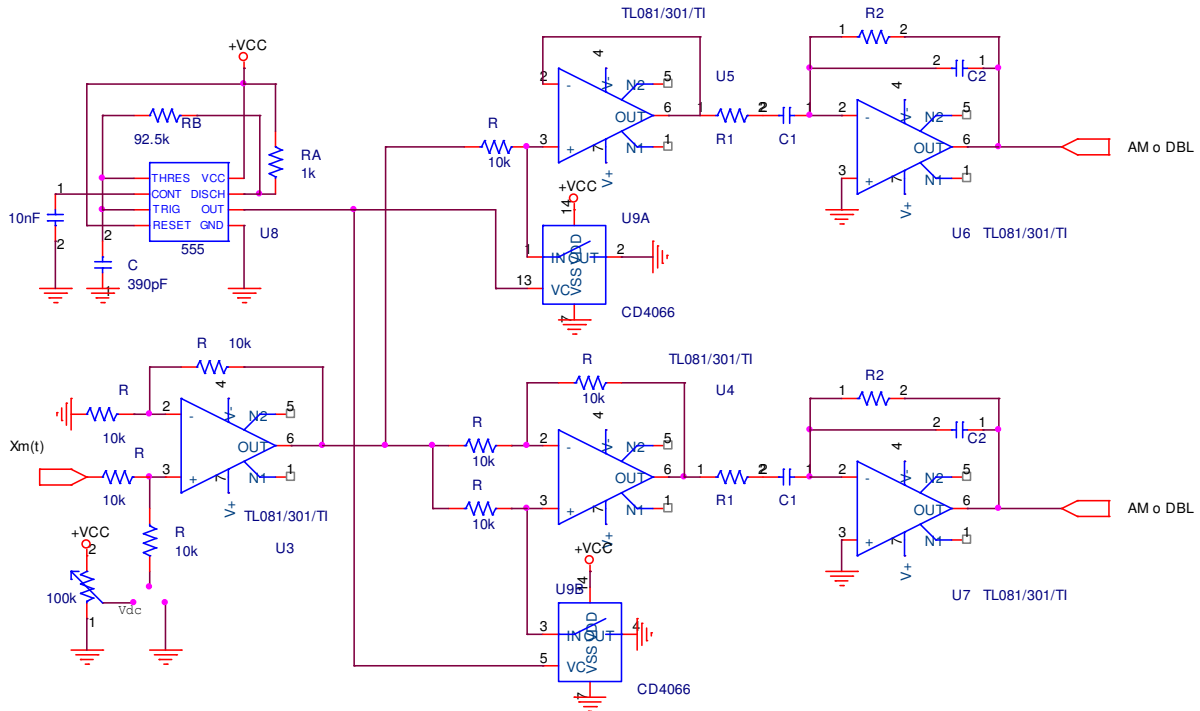


Figura 2. Esquema eléctrico.

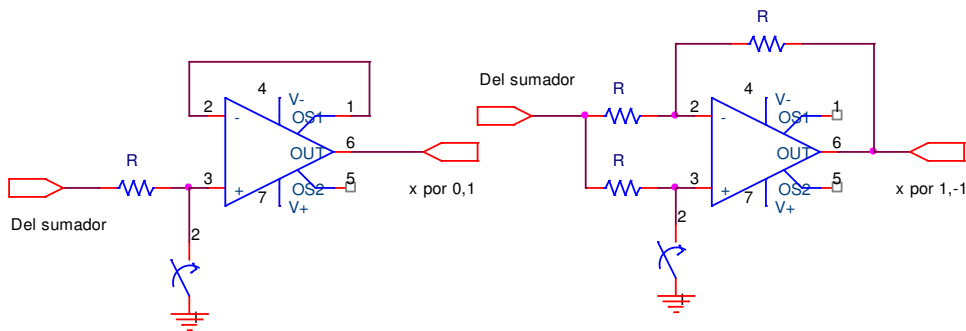


Figura 3. Circuitos multiplicadores.

La señal de salida de éste es introducida, simultáneamente, en los respectivos circuitos donde es multiplicada por los trenes de pulsos que fluctúan entre 0, 1 y 1, -1 (U5 y U4 de la Fig. 2).

Si observamos la Fig. 3, podemos comprobar que el circuito de la izquierda se comporta como un seguidor de tensión cuando el interruptor está abierto (ganancia 1), mientras que su ganancia es nula cuando éste está cerrado.

Para el otro caso, cuando el interruptor está abierto, dicho montaje se comporta como un seguidor de tensión, y como un inversor analógico (ganancia -1) cuando el interruptor está cerrado.

La implementación del “switch” se efectuó haciendo uso de interruptores analógicos integrados en el CD4066 que eran abiertos y cerrados mediante una señal cuadrada procedente de un 555 que operaba como astable a frecuencia fundamental  $f_c$  (Fig. 2).

Finalmente, los filtros pasa banda de segundo orden centrados en  $f_c$ , eliminaran todas aquellas componentes espectrales que no se encuentren en sus bandas pasantes, obteniendo a la salida de ambos AM (si  $V_{dc} > 0$ ) o de DBL (si  $V_{dc} = 0$ ).

#### 4. Resultados experimentales

Una vez implementado, el alumno puede visualizar en un osciloscopio diferentes formas de señal en función del punto del circuito desde donde se realice la misma. Así, y a modo de ejemplo, la Fig. 4 muestra, respectivamente y de izquierda a derecha, una señal  $X_m(t)$  con  $V_{dc} > 0$  muestreada con 1, -1, una señal  $X_m(t)$  con  $V_{dc} = 0$  muestreada con 1, -1, una señal de AM y otra de DBL.

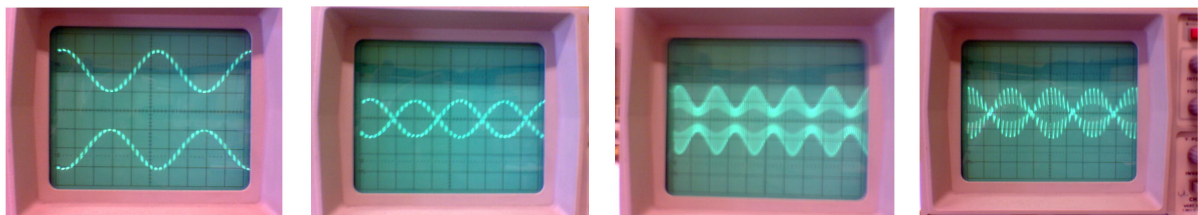


Figura 4. Resultados experimentales.

#### 5. Conclusiones

El sistema implementado constituye una propuesta de carácter didáctico donde los alumnos pueden comprobar como los conocimientos de carácter meramente electrónico que poseen pueden ser aunados para obtener un dispositivo de utilidad práctica.

Si bien la presente experiencia va dirigida a alumnos de Ingeniería Electrónica, ésta puede ser de utilidad para otras ingenierías, sobre todo si tenemos en cuenta que vivimos en la denominada “era de las comunicaciones”.

#### Referencias

- [1] L. W. Couch II, *Sistemas de Comunicaciones Digitales y Analógicos*, México: Edt. Prentice may (1998)
- [2] W. Tomasi, *Sistemas de comunicaciones electrónica*, México: Pearson Educación (1996)
- [3] F.G. Stremler, *Introducción a los sistemas de comunicación*, Delaware, EUA: Addison-Wesley, 1990
- [4] N. R. Malik, *Circuitos Electrónicos*, Madrid, España: Edt. Prentice may (1996)