

Modulación de Amplitud y Modulación de Producto en Cuadratura

Resumen: *En el presente trabajo se analiza la convivencia de dos bandas bases diferentes moduladas por producto y en amplitud respectivamente sobre dos portadoras de la misma frecuencia. Estas se mantienen sin correlación por ser las portadoras ortogonales entre sí, debido a la diferencia de fase de 90° entre ambas. El ancho de banda de la señal resultante es el doble de la banda base de mayor ancho que se transmite. Realizando un análisis en un proceso Modem (Modulación-Demodulación), con enfoque no periódico, como aspecto conclusivo significativo, se demuestra que la recuperación por separado de ambas bandas base, se puede lograr con detección coherente sobre cada modulación*

La analítica en tiempo y en frecuencia del sistema, se realiza con bandas bases aleatorias y como soporte se muestra la simulación de todo el proceso con un enfoque periódico utilizando el entorno MSV14.

Palabras Claves: *Ortogonal, AM, modulación de producto, detector de envuelta, detector de producto.*

Abstract: *In the present work the coexistence of two different base bands modulated by product and in amplitude respectively on two carriers of the same frequency are analyzed. These are uncorrelated because the carriers are orthogonal to each other, due to the phase difference of 90° between the two. The bandwidth of the resulting signal is twice that of the broadest bandwidth being transmitted. By analyzing a Modem (Modulation-Demodulation) process, with a non-periodic approach, as a significant conclusive aspect, it is demonstrated that the separate recovery of both base bands can be achieved with coherent detection on each modulation*

The time and frequency analysis of the system is performed with random base bands and as support the simulation of the whole process is shown with a periodic approach using the MSV14 environment.

Keywords: *Orthogonal, AM, modulation product, envelope detector, product detector.*

Pedro E. Danizio¹, Eduardo R. Danizio², Alejandro Danizio¹, Marcelo Cejas², Fabian Sensini²

¹Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba. Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina. Ciudad Universitaria. Casilla de Correo 36 C.P. (X5016ZAA) Córdoba. (0351) 468-4215 / 468-4006 / 468-4317.

²Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María Av. Universidad 450 - X5900 - Villa María - Córdoba. (0353) 453-7500 / 01
Mail: pdanizio@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Dos señales pueden ocupar el mismo espacio de frecuencia sin mezclarse, cuando se mantienen en convivencia ortogonal. Esto se puede lograr por diferentes acciones: a) por palabras códigos ortogonales, entre sí, b) mediante portadoras de igual frecuencia con fases corridas 90° entre ellas, moduladas en la misma técnica, c) mediante portadoras de igual frecuencia con fases corridas 90° entre ellas, moduladas con diferentes técnicas d) también con la misma portadora utilizando diferentes técnicas de modulación (AM y FM).

En este trabajo analizamos la convivencia ortogonal que resulta de modular en AM y modulación de producto con dos bandas bases diferentes a portadoras de igual frecuencia corridas 90° entre sí.

La señal resultante, estará formada por una técnica de AM y una modulación de producto, es decir sin portadora. La convivencia es tal que la señal resultante puede ser detectada sincrónicamente, es decir convolucionando la señal con la portadora en la fase correspondiente. El ancho de banda espectral es el de AM y el de modulación de producto es decir el doble del ancho de banda base.

Luego de la analítica se presentará el proceso Módem en simulación en entorno MS v14. Se modulará en AM con una señal de 10 KHz a una portadora cosenoidal de 100 KHz y se multiplicara esa misma portadora, transformada en senoidal, por una señal de 5 KHz.

La señal resultante será detectada simultáneamente por reinyección de portadora en la fase correspondiente y se obtendrán las señales de 10 y 5 KHz por separado. Validando la convivencia ortogonal de ambas técnicas.

ANALÍTICA DE LA MODULACIÓN

El proceso de Modulación, se muestra en la Fig. 1

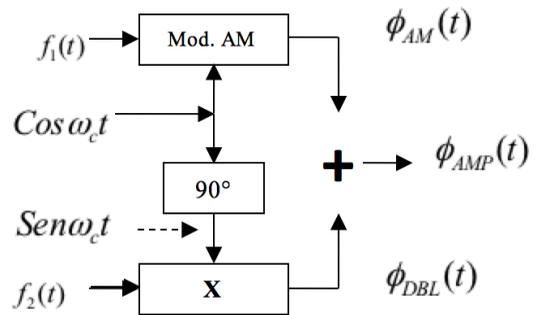


Fig. 1: Diagrama en bloques del Modulador.

donde:

$$f_1(t) = \text{banda base uno con transformada } F_1(\omega)$$

$$f_2(t) = \text{banda base dos con transformada } F_2(\omega)$$

$\text{Cos } \omega_c t = \text{portadora}$

$\text{Sen } \omega_c t = \text{portadora ortogonalizada}$

$\phi_{AM}(t) = \text{función de AM}$

$\phi_{DBL}(t) = \text{función de modulación de producto}$

$\phi_{AMP}(t) = \text{función de salida}$

La (1) muestra la función modulada en amplitud

$$\phi_{AM}(t) = \text{Cos } \omega_c t + f_1(t) \cdot \text{Cos } \omega_c t \tag{1}$$

de donde su transformada se presenta en (2)

$$\Phi_{AM}(\omega) = \pi[\delta(\omega + \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c)] + \frac{1}{2}[F_1(\omega + \omega_c) + F_1(\omega - \omega_c)] \tag{2}$$

La segunda banda base modula por producto a la portadora senoidal y se la ve en la (3) de manera temporal y en frecuencia en la (4)

$$\phi_{DBL}(t) = f_2(t) \cdot \text{Sen } \omega_c t \tag{3}$$

$$\Phi_{DBL}(\omega) = \frac{1}{2}J[F_2(\omega + \omega_c) - F_2(\omega - \omega_c)] \tag{4}$$

La señal de salida resulta de la suma de ambas modulaciones y se la visualiza en (5).

$$\phi_{AMP}(t) = \phi_{AM}(t) + \phi_{DBL}(t) = \cos \omega_c t + f_1(t) \cdot \cos \omega_c t + f_2(t) \cdot \sin \omega_c t \quad (5)$$

La transformada de la función de salida $\phi_{AMP}(t)$, será $\Phi_{AMP}(\omega)$ se muestra en la (6)

$$\Phi_{AMP}(\omega) = \Phi_{AM}(\omega) + \Phi_{DBL}(\omega) \quad (6)$$

Resolviendo (6) obtenemos la composición espectral a la salida (7)

$$\begin{aligned} \Phi_{AMP}(\omega) = & \pi [\delta(\omega + \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c)] + \\ & + \frac{1}{2} [F_1(\omega + \omega_c) + F_1(\omega - \omega_c)] + \\ & + \frac{1}{2} J [F_2(\omega + \omega_c) - F_2(\omega - \omega_c)] \end{aligned} \quad (7)$$

ANÁLITICA DE LA DEMODULACIÓN

La señal resultante tiene dos modulaciones que se mantienen ortogonales, situación que se obtiene a partir de que las portadoras están en esa condición.

Pero hay un hecho muy importante y es que una señal esta en AM y la otra esta en doble banda lateral con portadora suprimida. De tal manera que si se pasa toda la señal por sendos detectores sincrónicos, con la reinyección de la portadora en las fases adecuadas se obtendrán las bandas base iniciales. La Fig. 2, muestra el diagrama de la demodulación.

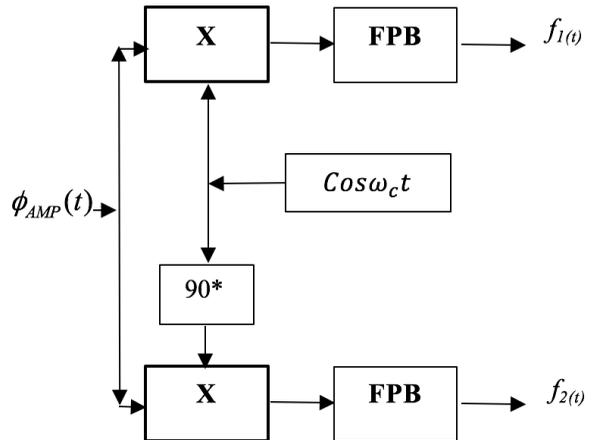


Fig. 2: Diagrama en bloques del demodulador

La primera banda se la obtiene multiplicando la $\phi_{AMP}(t)$, por la portadora en Coseno y convolucionando la salida con un filtro pasa banda, esto es muestra en (8)

$$e_{m2}(t) = 1V \cdot \sin 2\pi \cdot 5 \cdot 10^3 t \quad (8)$$

donde:

$h_b(t)$ =función de transferencia del filtro pasa bajo

La segunda banda base, se la obtiene multiplicando la $\phi_{AMP}(t)$, por la portadora en Seno y luego convolucionando la salida con un filtro pasa bajos, esto se presenta en la (9).

$$f_2(t) = \phi_{AMP}(t) \cdot \sin \omega_c t * h_b(t) \quad (9)$$

DE LA SIMULACIÓN CON ENFOQUE PERIÓDICO, MODULACIÓN

El proceso de modulación se analiza tomado como referencia la Fig. 1. De donde tomando como primera banda base, una señal de 10 KHz y como segunda un tono de 5 KHz, con una portadora de 100 KHz, todas con una amplitud de 1 Voltio. La primera banda base se expresa en (10)

$$e_{m1}(t) = 1V.Cos.2\pi.10^4 t \tag{10}$$

La Fig. 3, muestra la forma temporal y la 4 la composición espectral

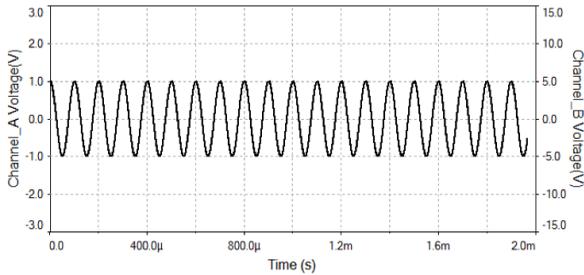


Fig. 3: Banda base de 10 KHz, en el tiempo

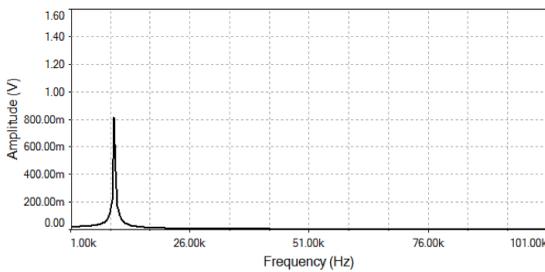


Fig. 4: Banda base de 10 KHz, en frecuencia

La segunda base se ve en la (11), de manera senoidal

$$e_{m2}(t) = 1V.Sen.2\pi.5.10^3 t \tag{11}$$

La Fig. 5, muestra la forma temporal y la Fig. 6 la composición espectral

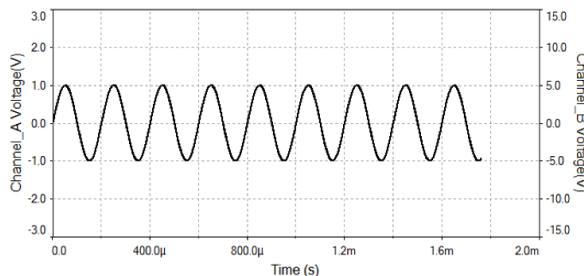


Fig. 5: Banda base de 5 KHz, en el tiempo

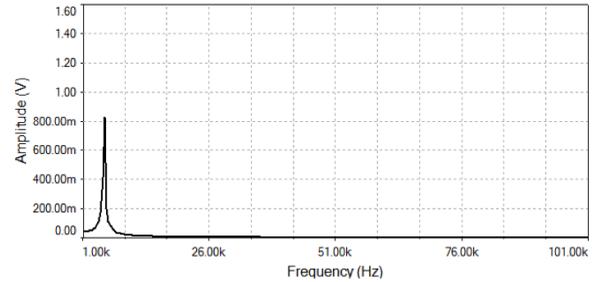


Fig. 6: Banda base de 5 KHz, en frecuencia

La expresión de la portadora en coseno se muestra en (12) y la corrida 90º, es decir en seno se muestra en la (13).

$$e_{c1}(t) = 1V.Cos.2\pi.10^5 t \tag{12}$$

$$e_{c2}(t) = 1V.Sen.2\pi.10^5 t \tag{13}$$

La Fig. 7, muestra la forma temporal de la portadora en coseno y la Fig. 8 la composición espectral. La Fig. 9, es la representación temporal de la portadora en forma senoidal y la Fig. 10 la correspondiente representación en frecuencia.

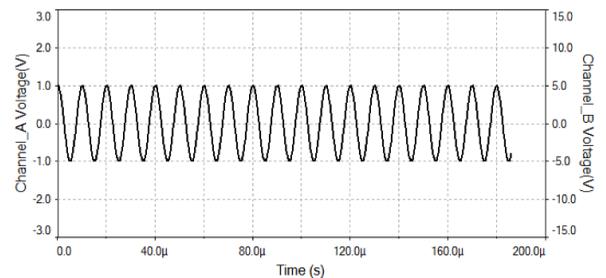


Fig. 7: Portadora temporal cosenoidal de 100 KHz

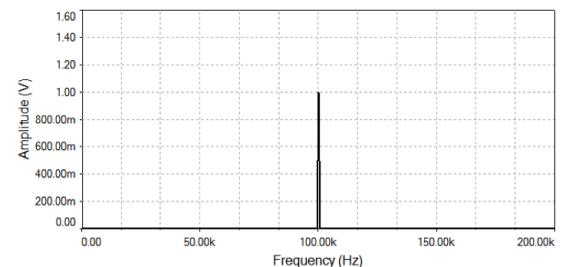


Fig. 8: Espectro de portadora cosenoidal de 100 KHz

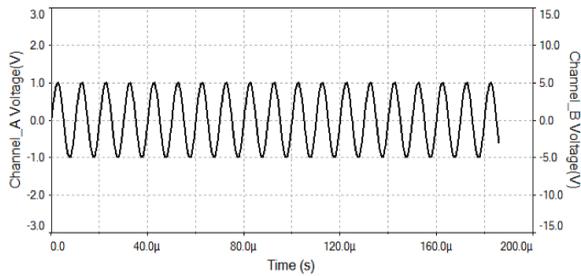


Fig. 9: Portadora temporal senoidal de 100 KHz

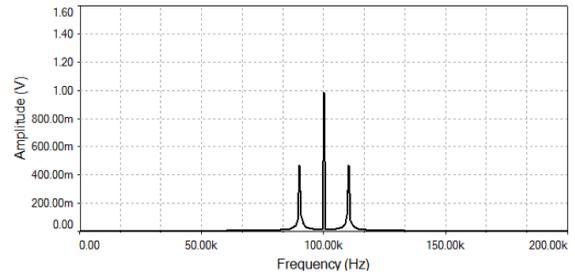


Fig. 12: Representación en frecuencia de $\phi_{AMP}(t)$

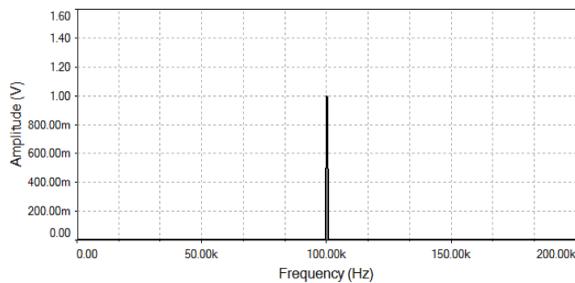


Fig. 10: Espectro de portadora senoidal de 100 KHz

La $\phi_{DBL}(t)$ ortogonalizada a la de AM, se obtiene con el producto de la segunda base de 5 KHz con la portadora senoidal de 100 KHz, obteniendo dos bandas laterales en 105 y 95 KHz, tal como se observa en la (15)

$$\phi_{DBL}(t) = \text{Sen}2.\pi.5.10^3 t.\text{Sen}2.\pi10^5 t = \frac{1}{2} \text{Cos}2.\pi.95.10^3 t - \frac{1}{2} \text{Cos}2.\pi.110.10^3 t \quad (15)$$

La señal modulada en AM, la $\phi_{AMP}(t)$, se muestra en (14), siendo el índice de modulación 100 %, ya que las dos señales portadora y modulante tienen igual valor.

$$\begin{aligned} \phi_{AM}(t) &= (1 + \text{Cos}2.\pi.10^4 t).\text{Cos}2.\pi.10^5 t = \\ &= \text{Cos}2.\pi.10^5 t + \\ &+ \frac{1}{2} \text{Cos}2.\pi.110.10^3 t + \frac{1}{2} \text{Cos}2.\pi.90.10^3 t \quad (14) \end{aligned}$$

Esta señal tiene dos bandas laterales ubicadas en 110 KHz y en 90 KHz y la presencia de la portadora en 100 KHz. La Fig. 11, muestra la representación temporal de la señal en AM y la Fig. 12 la representación en frecuencia.

La Fig. 13, muestra $\phi_{DBL}(t)$, de manera temporal y la Fig. 14 su composición espectral.

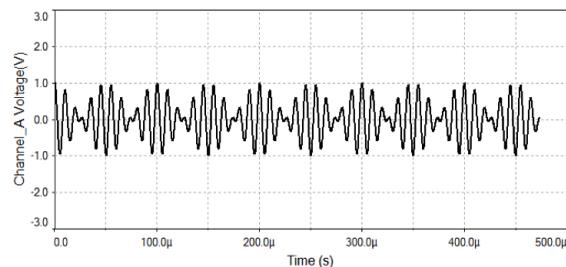


Fig. 11: Representación temporal de $\phi_{AMP}(t)$

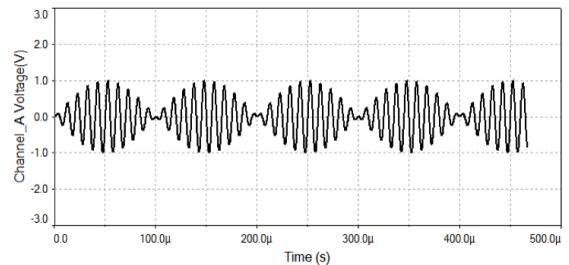


Fig. 13: Representación temporal de $\phi_{DBL}(t)$

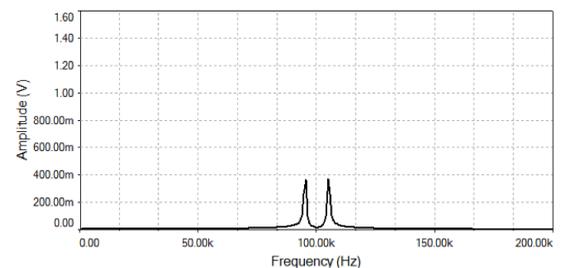


Fig. 14: Representación en frecuencia de $\phi_{DBL}(t)$

La función $\phi_{AMP}(t)$, es la señal de salida donde conviven ortogonalmente las dos bandas bases distintas, con dos modulaciones diferentes donde las portadoras tienen la misma frecuencia y fase diferente las que las ortogonaliza. La (16) expresa la señal de salida.

$$\begin{aligned} \phi_{AMP}(t) &= \phi_{AM}(t) + \phi_{DBI}(t) = \\ &= \cos 2\pi \cdot 10^5 t + \\ &+ \frac{1}{2} \cos 2\pi \cdot 110 \cdot 10^3 t + \frac{1}{2} \cos 2\pi \cdot 90 \cdot 10^3 t + \\ &+ \frac{1}{2} \cos 2\pi \cdot 95 \cdot 10^3 t - \frac{1}{2} \cos 2\pi \cdot 110 \cdot 10^3 t \end{aligned} \quad (16)$$

La Fig. 15 muestra la representación temporal de y la Fig. 16 la representación frecuencia.

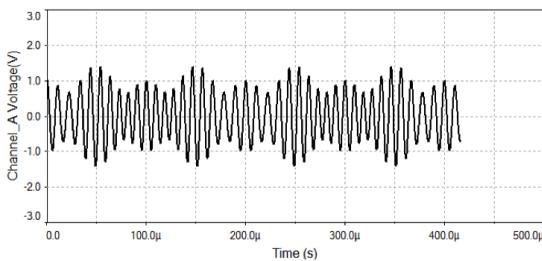


Fig. 15: Representación temporal de $\phi_{AMP}(t)$

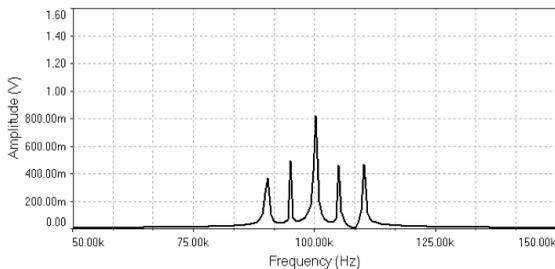


Fig. 16: Representación en frecuencia de $\phi_{AMP}(t)$

DEMODULACIÓN

Tal como muestra la Fig. 2, en el proceso de la demodulación es posible aplicar esta señal a sendos detectores sincrónicos, donde se multiplica la señal por la portadora de 100 KHz con la fase de Coseno y Seno respectivamente. De donde se obtendrán las bandas bases de 10 y 5 KHz respectivamente.

Aplicando la $\phi_{AMP}(t)$, al primer detector sincrónico la composición espectral de salida está formada por la componente continua, banda base de 10 KHz, y la misma $\phi_{AMP}(t)$ en segunda armónica de portadora. La (17), representa la composición espectral a la salida del detector antes del filtro. Sabiendo que la frecuencia de la primera banda base es de 10 KHz.

$$\begin{aligned} \phi_{AMDS}(t) &= \left[\cos 2\pi \cdot 10^5 t + \right. \\ &+ \frac{1}{2} \cos 2\pi \cdot 110 \cdot 10^3 t + \frac{1}{2} \cos 2\pi \cdot 90 \cdot 10^3 t + \\ &+ \left. \frac{1}{2} \cos 2\pi \cdot 95 \cdot 10^3 t - \frac{1}{2} \cos 2\pi \cdot 110 \cdot 10^3 t \right] \cos 2\pi \cdot 10^5 t \end{aligned} \quad (17)$$

Resolviendo se obtiene la (17)

$$\begin{aligned} \phi_{AMPDS}(t) &= \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2\pi \cdot 10^4 t + \frac{1}{2} \cos 2\pi \cdot 2 \cdot 10^5 t + \\ &+ \frac{1}{4} \cos 2\pi \cdot 210 \cdot 10^3 t + \frac{1}{4} \cos 2\pi \cdot 190 \cdot 10^3 t + \\ &+ \frac{1}{4} \cos 2\pi \cdot 195 \cdot 10^3 t - \frac{1}{4} \cos 2\pi \cdot 210 \cdot 10^3 t \end{aligned} \quad (18)$$

La Fig. 17 muestra la representación temporal a la salida del detector y la Fig. 18 el espectro en frecuencia.

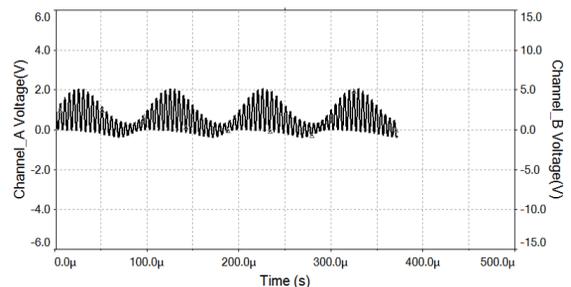


Fig. 17: Representación temporal de $\phi_{AMDS}(t)$

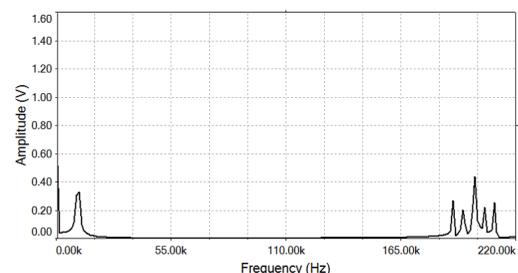


Fig. 18: Espectro de frecuencias de $\phi_{AMPdet env}(t)$

Luego del filtrado se obtendrá la componente continua y la banda base de 10 KHz, siendo el filtrado ideal, tal como se representa en la (19)

$$e_{m1}(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \text{Cos}2\pi \cdot 10^4 t \quad (19)$$

La Fig. 19, muestra la banda base de 10 KHz de manera temporal y la 20 en frecuencia.

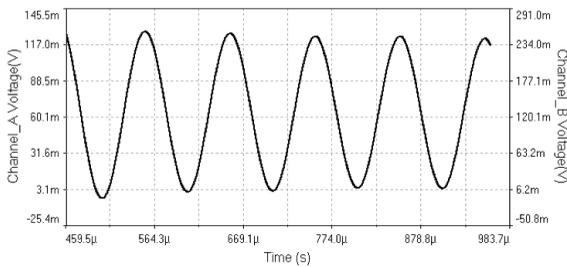


Fig. 19: Representación temporal de $e_{m1}(t)$

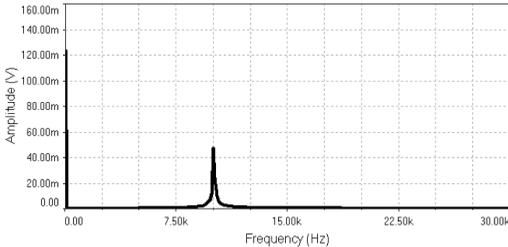


Fig. 20: Espectro de frecuencias de $e_{m1}(t)$

La segunda banda base, que para este ejemplo es de 5KHz, se obtiene con un detector sincrónico, multiplicando a $\phi_{AMP}(t)$ por la portadora en seno. Solamente se tendrá a la salida la banda base de 5 KHz y la misma señal inicial en segunda armónica de la portadora. No recuperando la banda base de la señal de AM ya que su portadora esta en coseno manteniendo la ortogonalidad. La (19), muestra este concepto.

$$\phi_{DBLDS}(t) = \phi_{AMP}(t) \cdot \text{Sen}2\pi \cdot 10^5 t \quad (20)$$

Reemplazando queda (21)

$$\begin{aligned} \phi_{AMDS}(t) = & \left[\text{Cos}2\pi \cdot 10^5 + \right. \\ & + \frac{1}{2} \text{Cos}2\pi \cdot 110 \cdot 10^3 t + \frac{1}{2} \text{Cos}2\pi \cdot 90 \cdot 10^3 t + \\ & \left. + \frac{1}{2} \text{Cos}2\pi \cdot 95 \cdot 10^3 t - \frac{1}{2} \text{Cos}2\pi \cdot 110 \cdot 10^3 t \right] \text{Sen}2\pi \cdot 10^5 t \end{aligned} \quad (21)$$

La (22) resulta de reemplazar los valores en la en la (21)

$$\begin{aligned} \phi_{AMDS}(t) = & \frac{1}{2} \text{Sen}2\pi \cdot 5 \cdot 10^3 t + \frac{1}{2} \text{Sen}2\pi \cdot 200 \cdot 10^3 t + \\ & + \frac{1}{4} \text{Sen}2\pi \cdot 210 \cdot 10^3 t + \frac{1}{4} \text{Sen}2\pi \cdot 190 \cdot 10^3 t + \\ & - \frac{1}{4} \text{Sen}2\pi \cdot 205 \cdot 10^3 t + \frac{1}{4} \text{Sen}2\pi \cdot 195 \cdot 10^3 t \end{aligned} \quad (22)$$

La Fig. 21, muestra la representación temporal de $\phi_{DBLDS}(t)$ y la Fig. 22 el espectro de frecuencias.

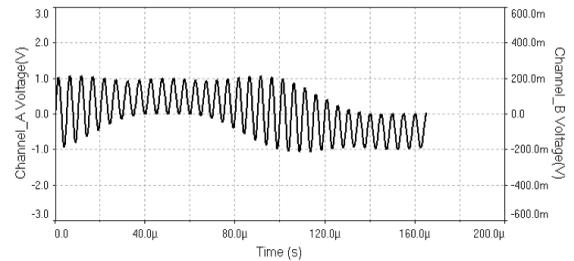


Fig. 21: Representación temporal de $\phi_{DBLDS}(t)$

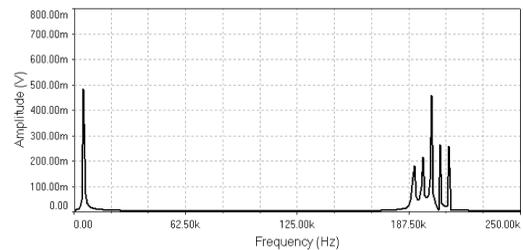


Fig. 22: Espectro de frecuencias de $\phi_{DBLDS}(t)$

La segunda banda base, de 5 KHz, se obtiene después del filtrado ideal, tal como expresa la (23)

$$e_{m2}(t) = \frac{1}{2} \text{Sen}2\pi \cdot 5 \cdot 10^3 t \quad (23)$$

La forma temporal se muestra en la Fig. 23 y en frecuencia en la 24.

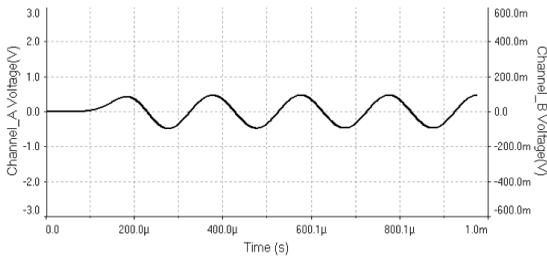


Fig. 23: Representación temporal de $e_{m_2}(t)$

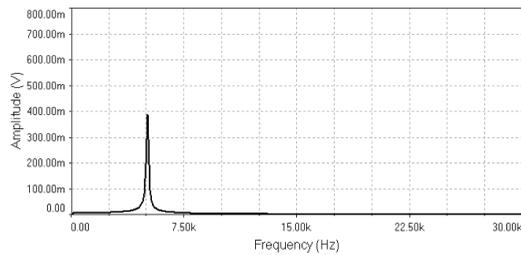


Fig. 24: Espectro de frecuencias de $e_{m_2}(t)$

De esta forma logramos recuperar las dos bandas base por separado, que fueron transmitidas de manera ortogonal.

CONCLUSIONES

El proceso de modulación con dos portadoras en la misma frecuencia y diferente fases, moduladas una en AM y otra por producto, con dos bandas base diferentes, permite la convivencia ortogonal de ambas, ya que se ortogonalizan por la diferencia de fase de las portadoras. De hecho que el ancho de banda que ocupa la señal modulada es el doble de la banda base de mayor ancho que se transmite.

Un aspecto conclusivo muy importante es que la señales de banda base, pueden recuperarse con detección sincrónica sin interferencias, pudiendo extenderse este concepto para transmitir señales adicionales en sistemas que modulen en AM, con detección sincrónica.

REFERENCIAS

Couch II L. "Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos". 5^º Edición. Prentice-Hall. 63-65, 295-302 (1998).

Danizio P. "Teoría de las Comunicaciones". 4^º Edición. Universitat. 48-60, 239-249 (2009).

Danizio P. "Amplitud Modulada de Calidad Extendida AMCE" Tesis (MSc con mención en Telecomunicaciones). FCEF y N de la UNC. 94. (2009)

Danizio P, V. Sauchelli, A. Danizio, E. Danizio. "Convivencia Ortogonal de Señales Analógicas Moduladas". Tecnología y

Ciencia. Año 10 N^º 22. 23-28. ISSN 1666-6917 (2012)

Danizio P, E. Danizio, A. Danizio, V. Sauchelli. "Ancho de Banda acotado en AM, para dos señales diferentes que modulan en AM y FM la misma portadora ". Tecnología y Ciencia. Año 10 N^º 22. 04-14. ISSN 1666-6917 (2012)

Lathi B. P.: "Introducción a la Teoría y Sistemas de Comunicación". 1^º Edición. Limusa. 13-35, 169-179, 209-233 (1989).

Stremler F. G.: "Introducción a los Sistemas de Comunicación". 3^º Edición. Addison-Wesley; 14-23, 219-232, (1997).