Convivencia Ortogonal en Sistemas de Modulación Digital

Pedro E. Danizio

Ing. En electrónica

Especialista en Docencia Universitaria

Ing. Especialista en Telecomunicaciones

Master en Ciencias de la Ingeniería

Sean dos señales $f_1(t)$ y $f_2(t)$ analizadas en la concepción de vectores en espacios k dimensionales, se puede definir en forma ¨canónica¨ (esto es adaptando la definición para cada caso), como producto escalar de estos vectores en un intervalo de tiempo, (ta,tb) a:

$$< f_1(t), f_2(t) >= \int_{ta}^{tb} f_1(t) f_2(t) dt$$

Si el producto escalar de dos vectores con magnitudes diferentes de cero, es nulo, son perpendiculares.
Si este producto escalar es nulo y no lo son permanentemente las señales en el intervalo de tiempo, se dice que las señales son ortogonales; linealmente independientes.
Además si las señales son periódicas y poseen un perído común T, puede adoptarse como intervalo de tiempo un período. Las señales son ortogonales si se cumple que:

$$< f_1(t), f_2(t) >= \int_{0}^{T} f_1(t) f_2(t) dt = 0$$

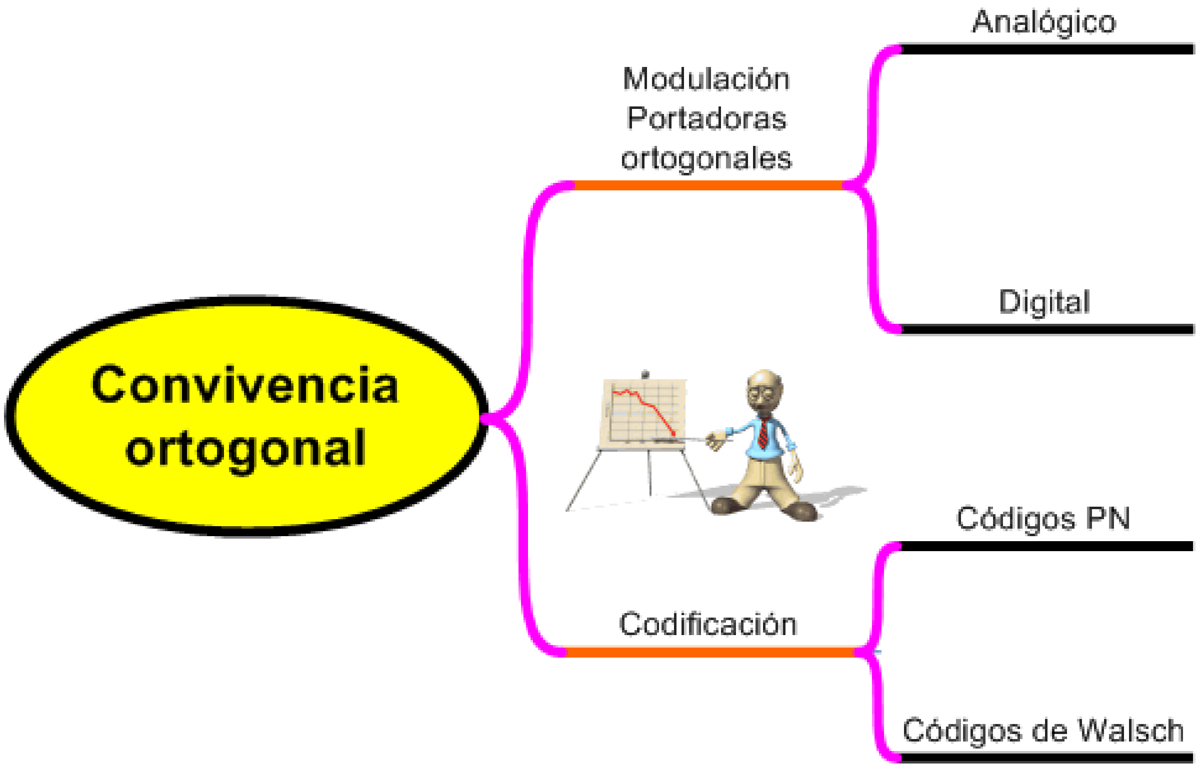
Expresando el coeficiente de correlación cruzada para señales de potencia

$$\overline{R_{12}}(\tau) = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f_1(t) \cdot f_2(t-\tau) dt =$$

Extensión a señales periódicas senoidales

$$\overline{R_{12}}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T Cos\omega_c t . Sen\omega_c t = 0$$

Clasificación



Códigos de Walsch

La matriz semilla puede ser cero o uno

$$W_0=[0] \qquad W_0=[1]$$

Matriz de segundo órden

$$W_2 = \begin{vmatrix} W_0 & \\ & \end{vmatrix}$$

Matriz de segundo órden

$$W_2 = \begin{vmatrix} W_0 & W_0 \\ & \end{vmatrix}$$

Matriz de segundo órden

$$w_2 = \begin{vmatrix} W_0 & W_0 \\ W_0 & \end{vmatrix}$$

Matriz de segundo órden

$$W_2 = \begin{vmatrix} \mathbf{W_0} & \mathbf{W_0} \\ \mathbf{W_0} & \overline{\mathbf{W_0}} \end{vmatrix}$$

$$W_2 = \begin{vmatrix} \mathbf{1} & \\ & \end{vmatrix}$$

$$W_2 = \begin{vmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{1} \\ & \end{vmatrix}$$

$$W_2 = \begin{vmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{1} \\ \mathbf{1} & \end{vmatrix}$$

$$W_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}$$

W_4

$$W_4 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}$$

W_4

$$W_4 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

W_4

$$W_4 = \left| \begin{array}{cccc} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & & \\ 1 & 0 & & \end{array} \right|$$

W_4

$$W_4 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Matriz de octavo órden

$$\begin{vmatrix}
1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\
1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\
1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\
1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0
\end{vmatrix}$$

Coeficiente de correlación

$$\beta d = \frac{\sum c - \sum nc}{N}$$

1	0	0	1	1	0	0	1
0	0	1	1	0	0	1	1
N	S	N	S	N	S	N	S

Coeficiente de correlación

$$\beta d = \frac{4-4}{8} = 0$$

1	0	0	1	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0	0	1
S	S	S	S	S	S	S	S

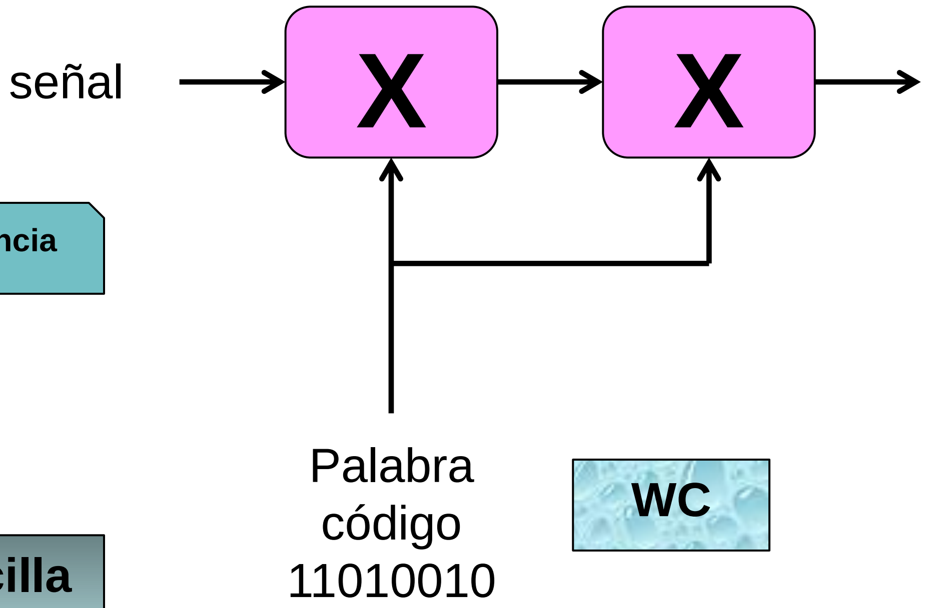
Coeficiente de correlación

$$\beta d = \frac{8-0}{8} = 1$$

Expansión del espectro

temporal

BB en frecuencia



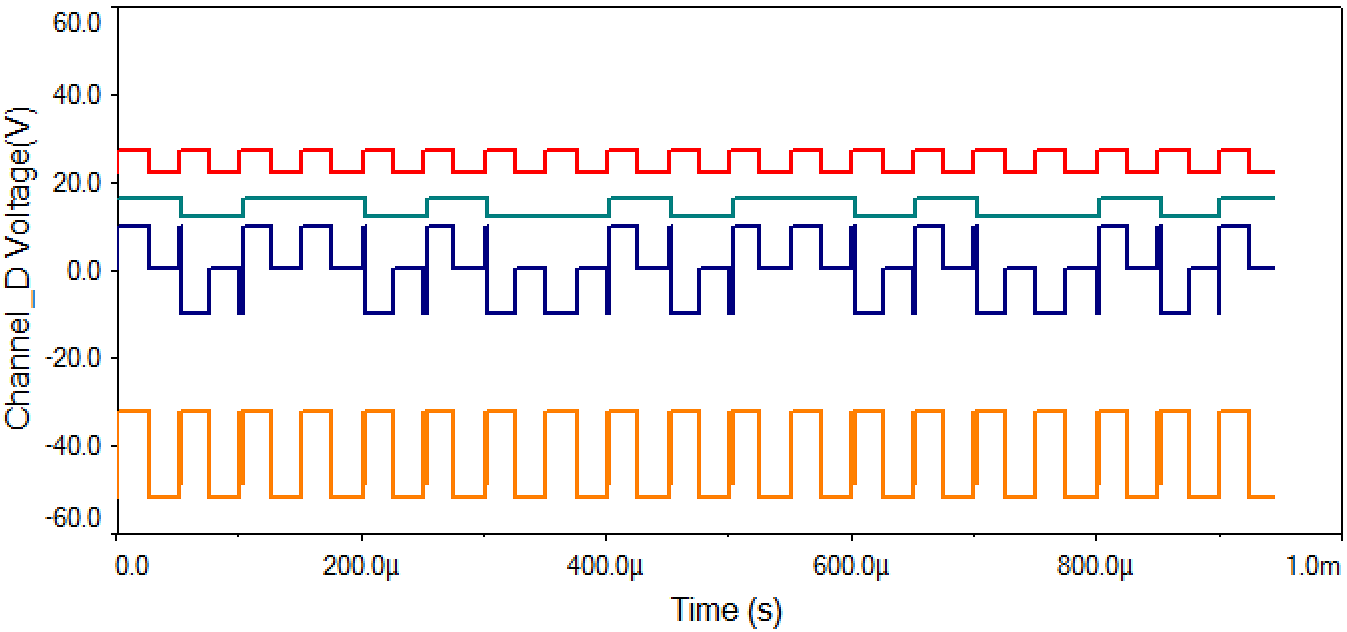
WC

Analítica sencilla de la expansión

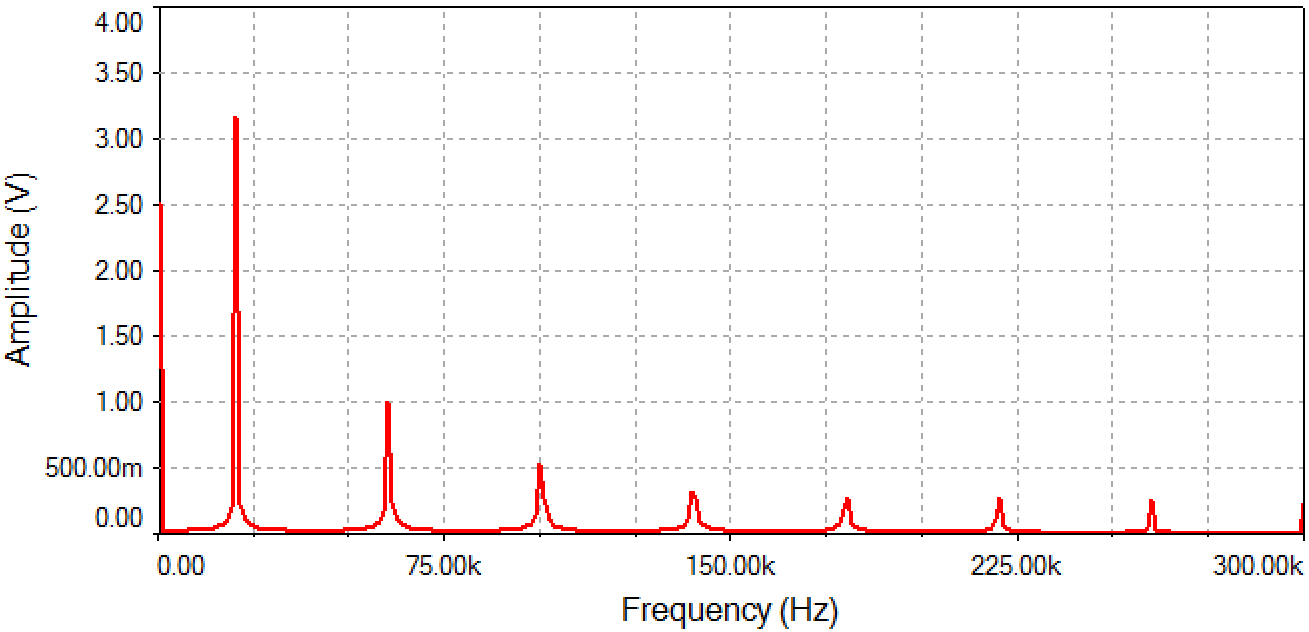
?

MoDem SSDS

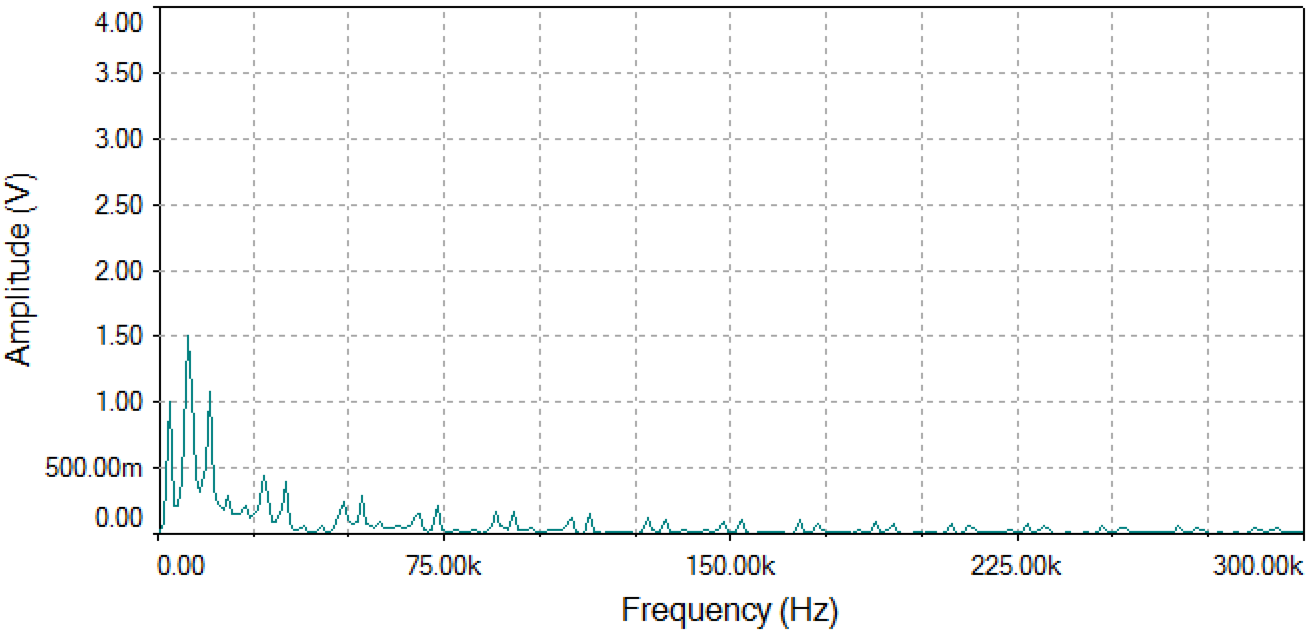
Estructura temporal



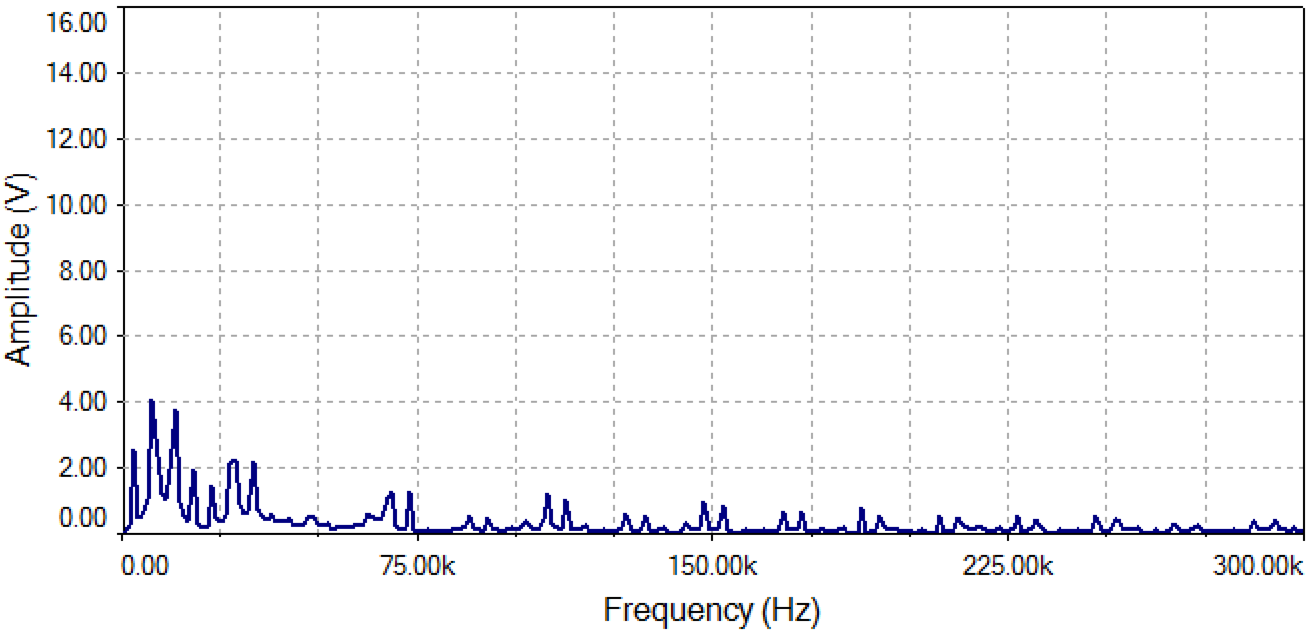
Banda base 40 Kits/seg
dutty cicle 50 %



Palabra código 11010010

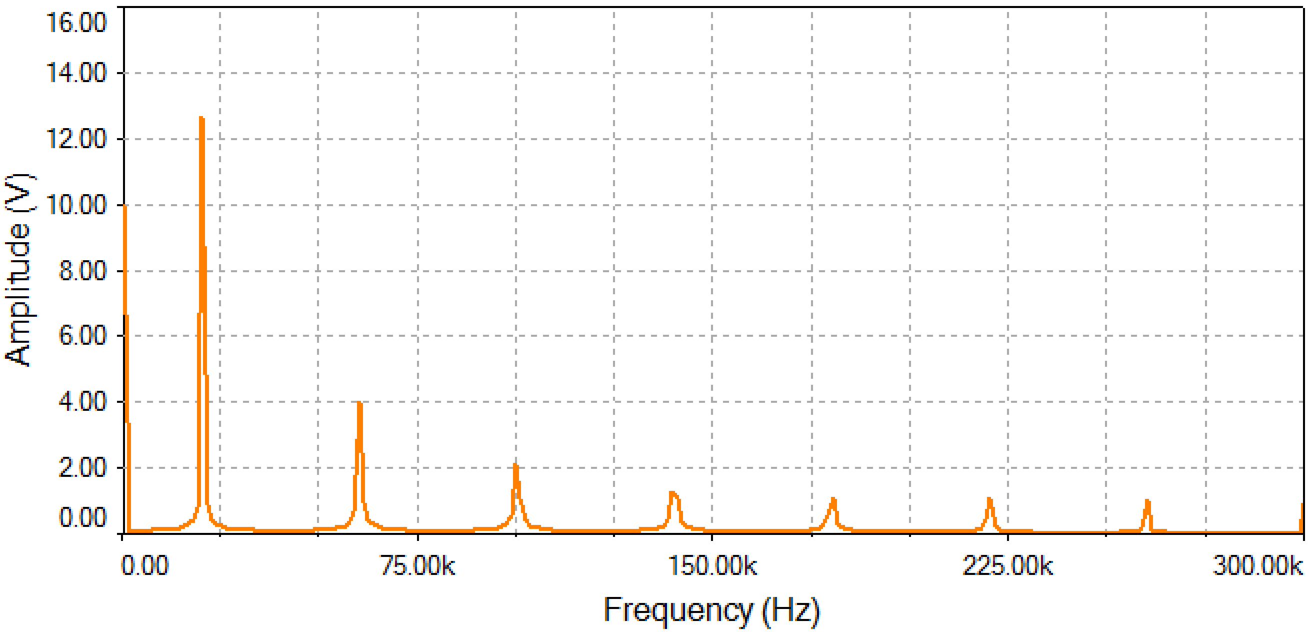


SSDS

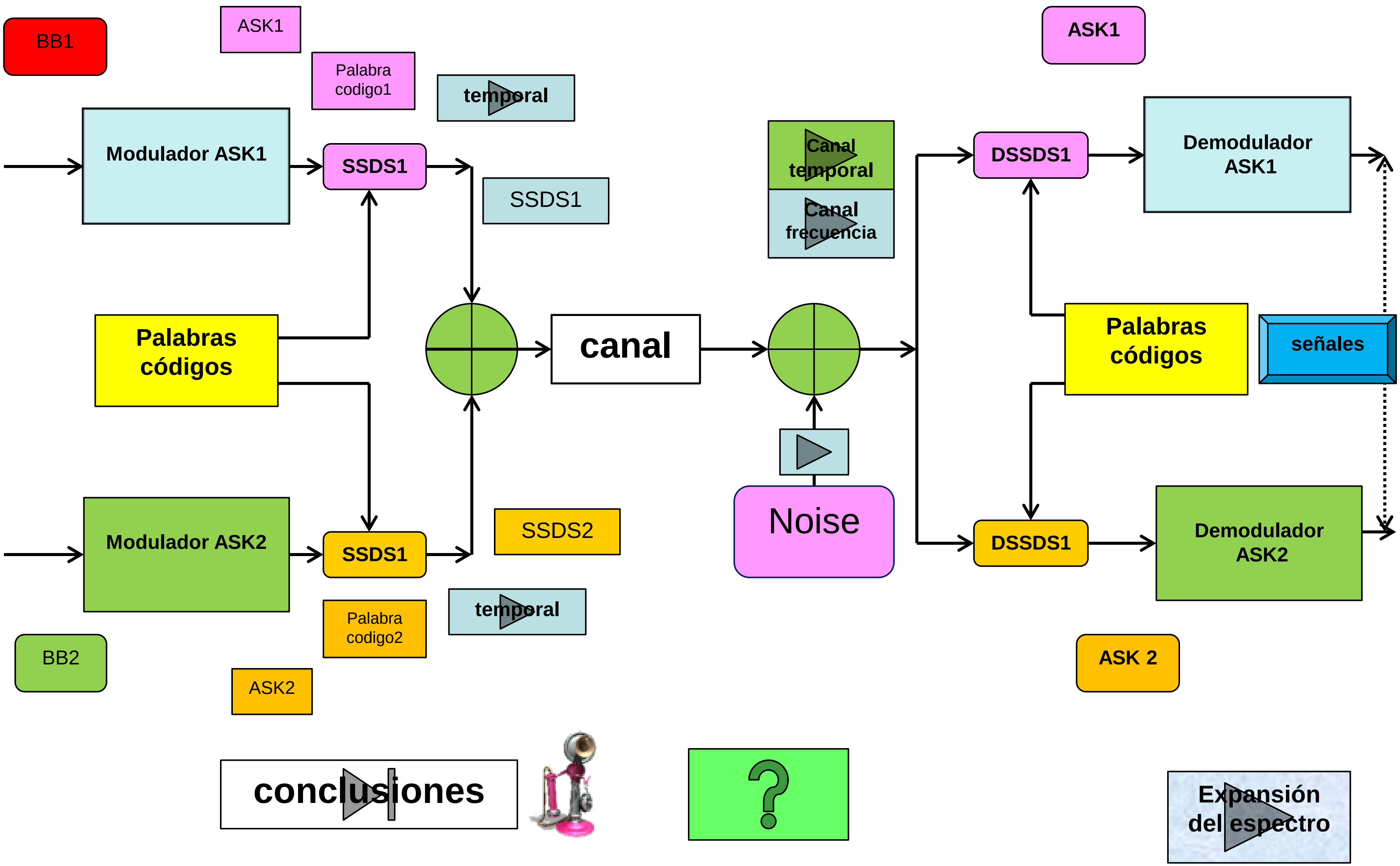


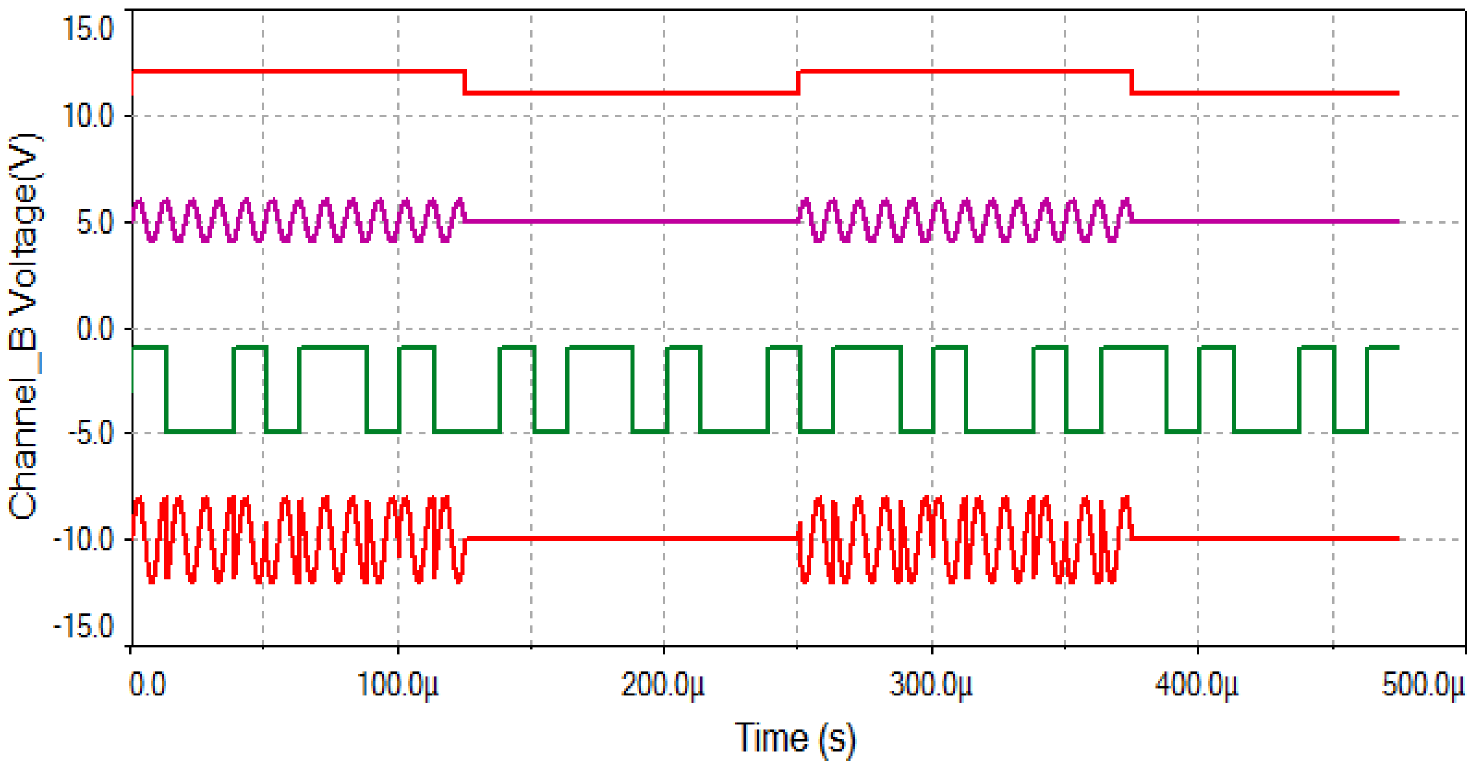
16.00
14.00
12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
Amplitude (V)
0.00
75.00k
150.00k
225.00k
300.00k
Frequency (Hz)

Banda base recuperada

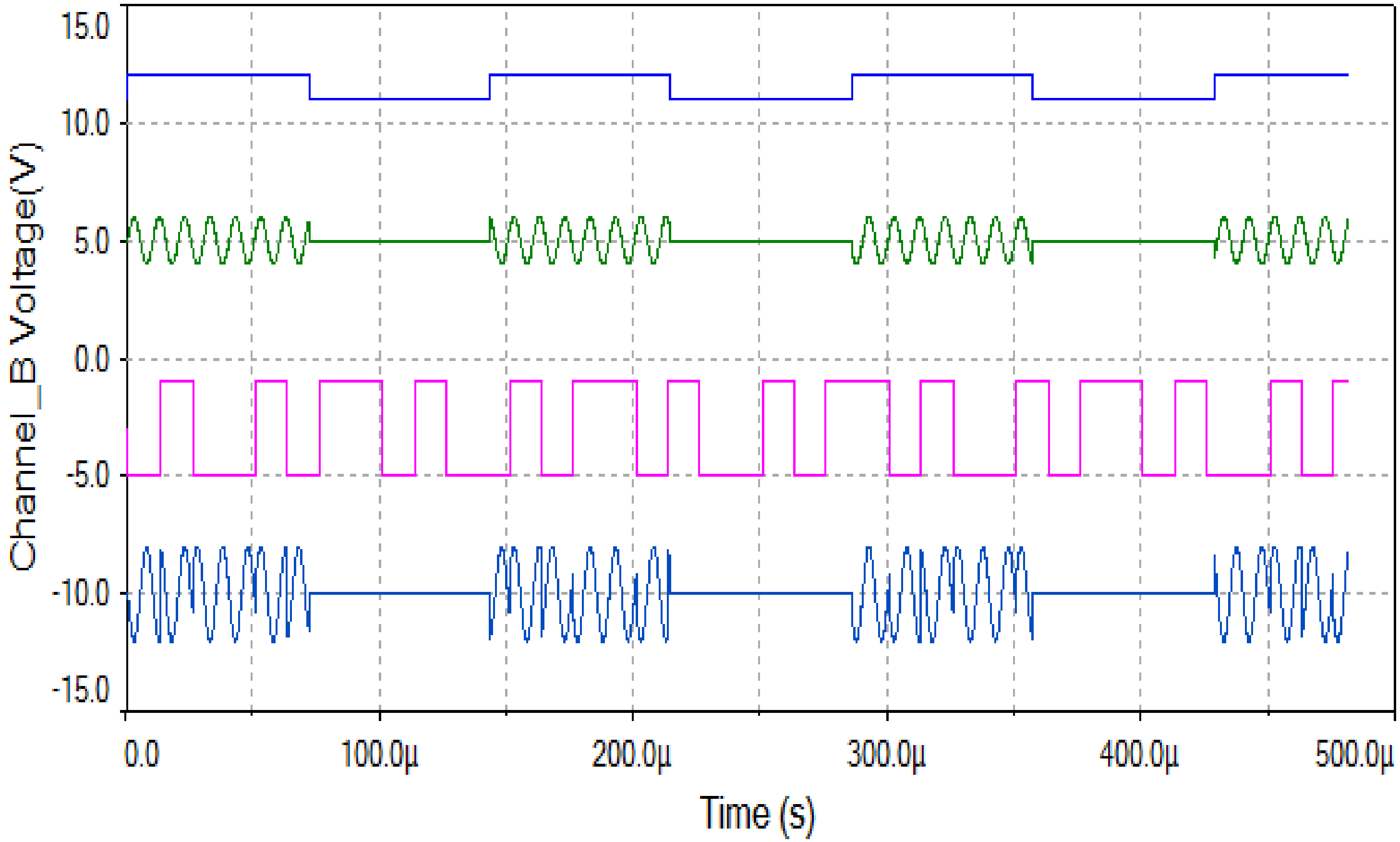


MoDem SSDS de dos canales ASK



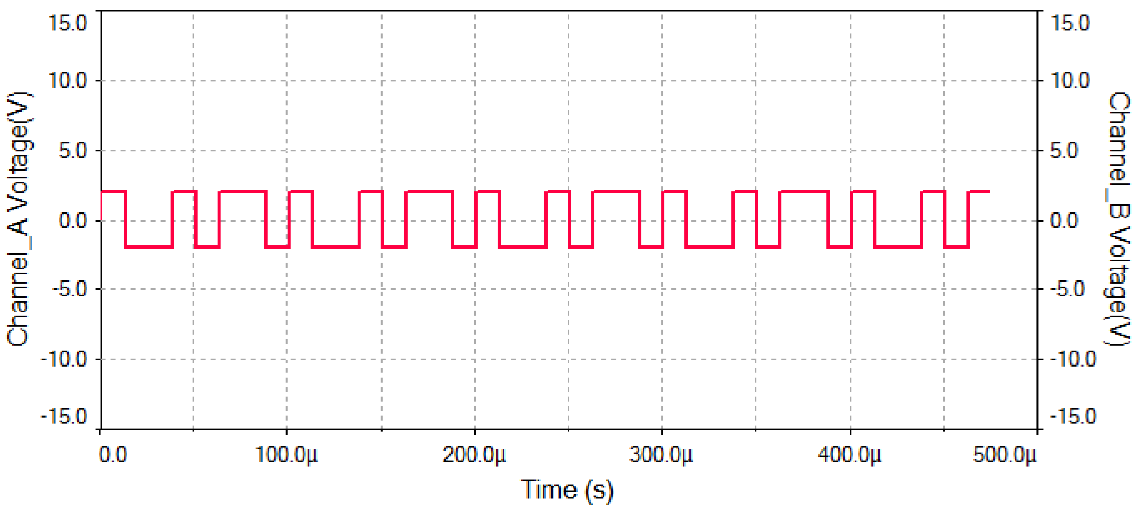


15.0
10.0
5.0
0.0
-5.0
-10.0
-15.0
Channel_B Voltage(V)
0.0
100.0µ
200.0µ
300.0µ
400.0µ
500.0µ
Time (s)



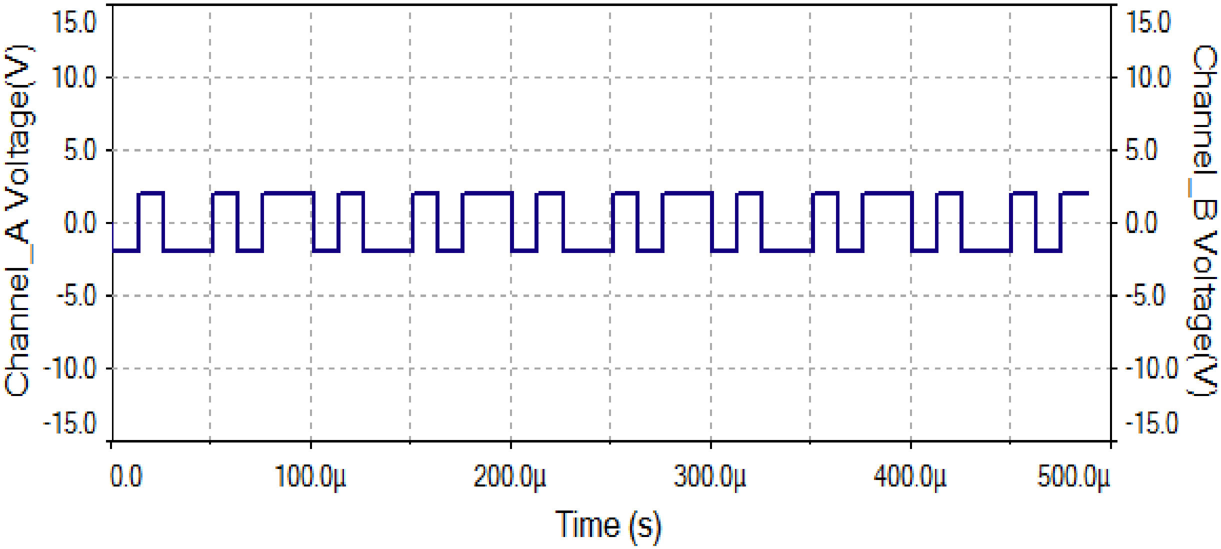
15.0
10.0
5.0
0.0
-5.0
-10.0
-15.0
Channel_B Voltage(V)
0.0
100.0µ
200.0µ
300.0µ
400.0µ
500.0µ
Time (s)

Palabra código 1 (bipolar)-10100101



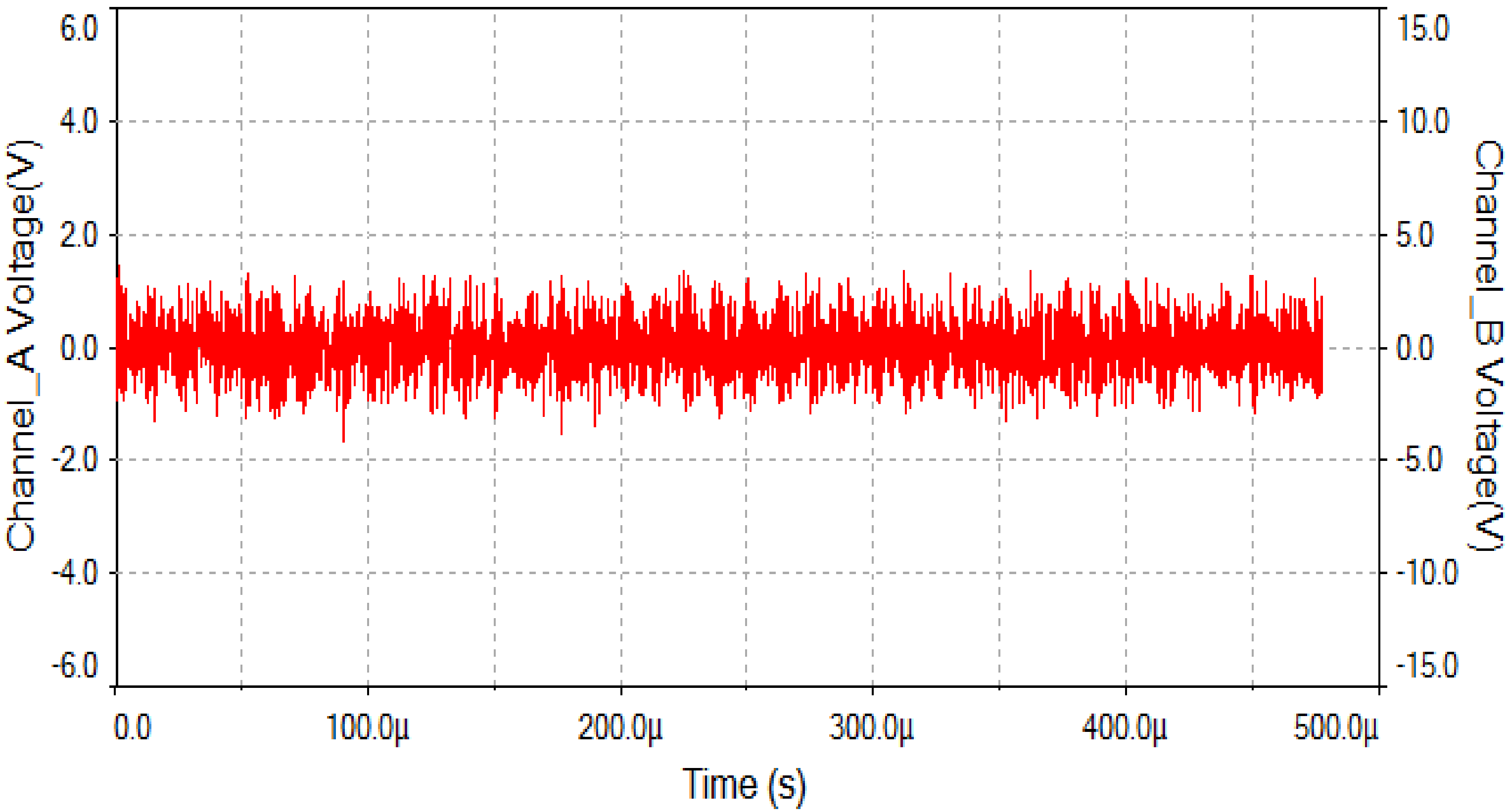
1 1 1 1 1 1 1 1
1 0 1 0 1 0 1 0
1 1 0 0 1 1 0 0
1 0 0 1 1 0 0 1
1 1 1 1 0 0 0 0
1 0 1 0 0 1 0 1
1 1 0 0 0 0 1 1
1 0 0 1 0 1 1 0

Palabra código 2-10010110 (bipolar)

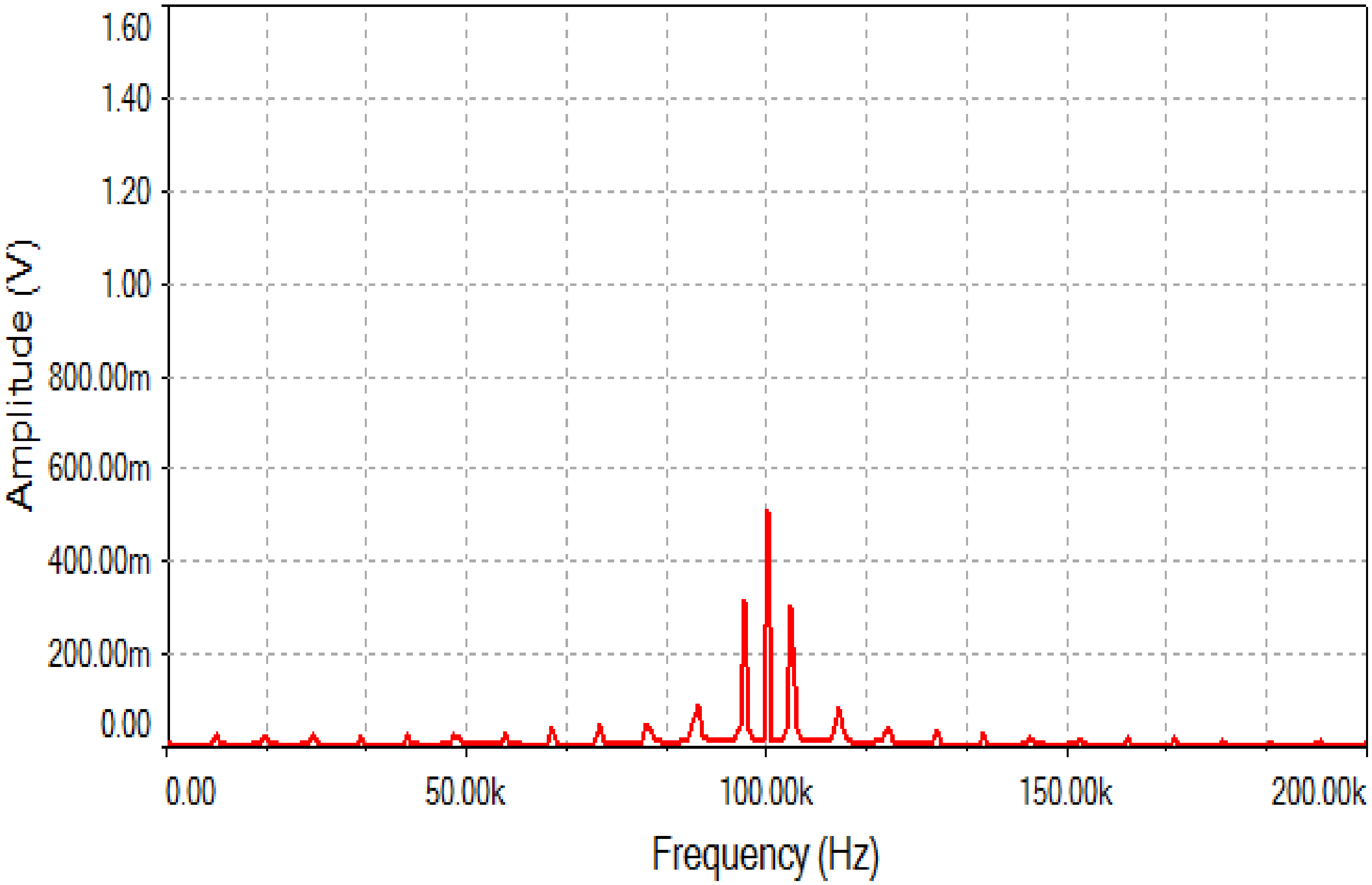


1 1 1 1 1 1 1 1
1 0 1 0 1 0 1 0
1 1 0 0 1 1 0 0
1 0 0 1 1 0 0 1
1 1 1 1 0 0 0 0
1 0 1 0 0 1 0 1
1 1 0 0 0 0 1 1
1 0 0 1 0 1 1 0

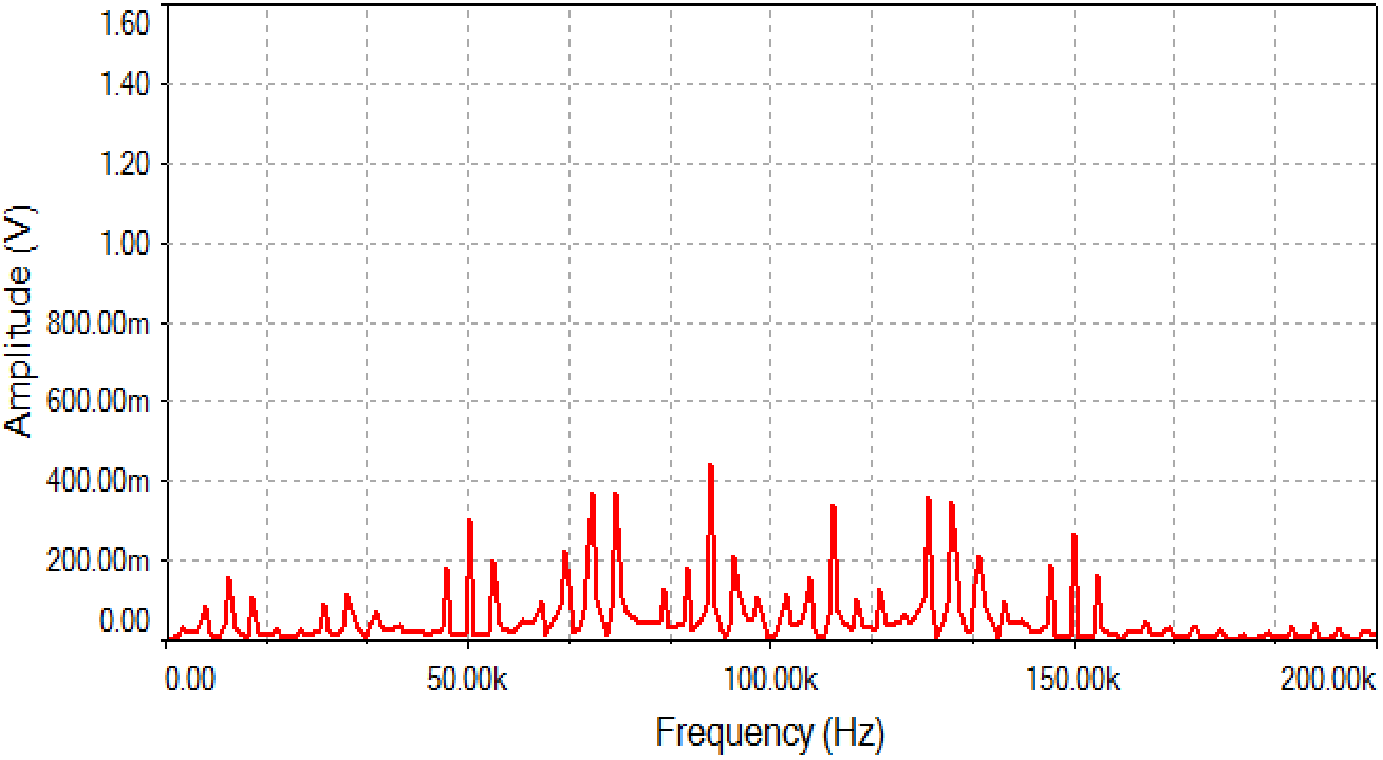
Ruido del canal



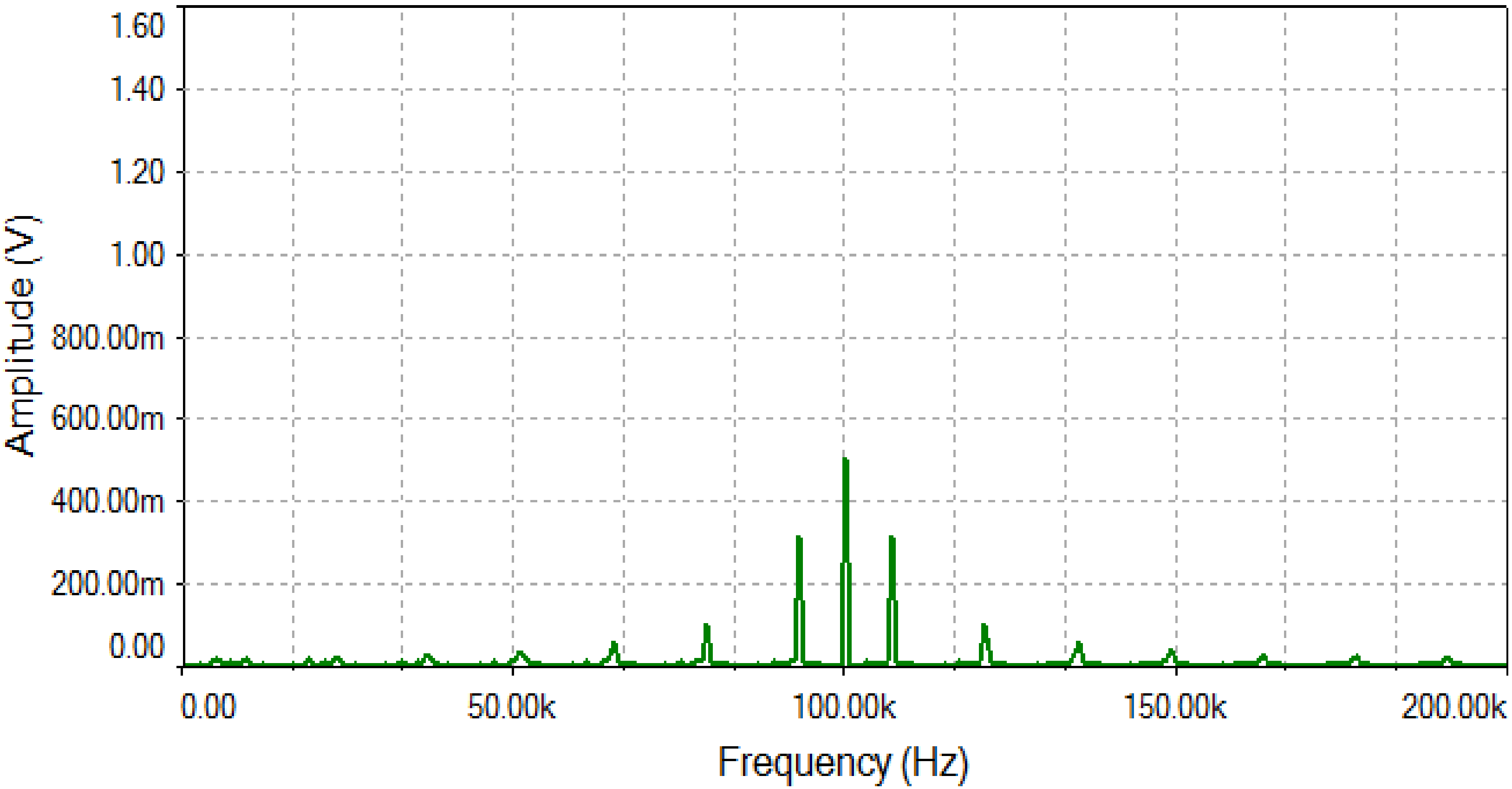
Modulación ASK1 (8 Kbits/seg-100 KHz)



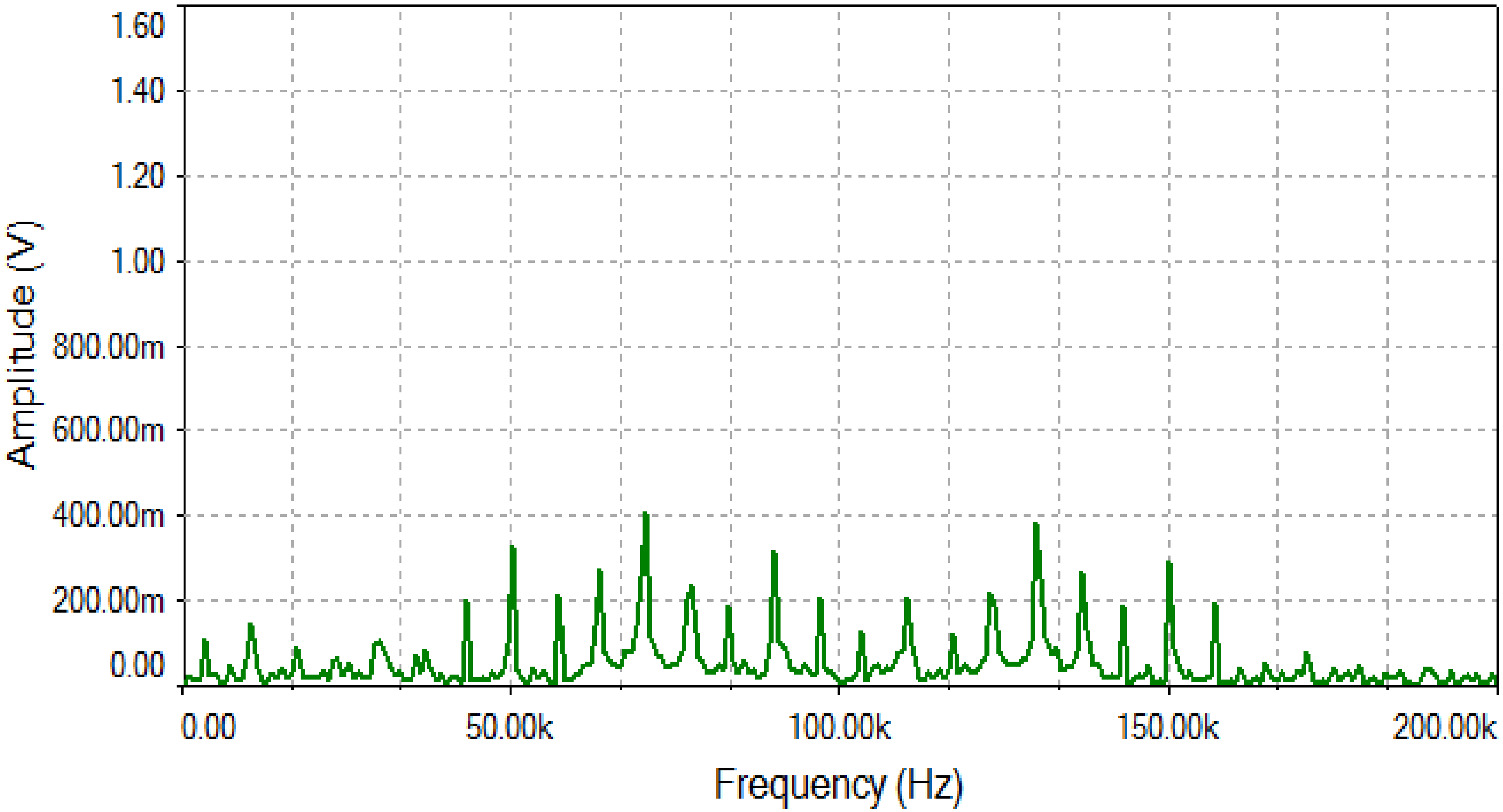
ASK1 expandida

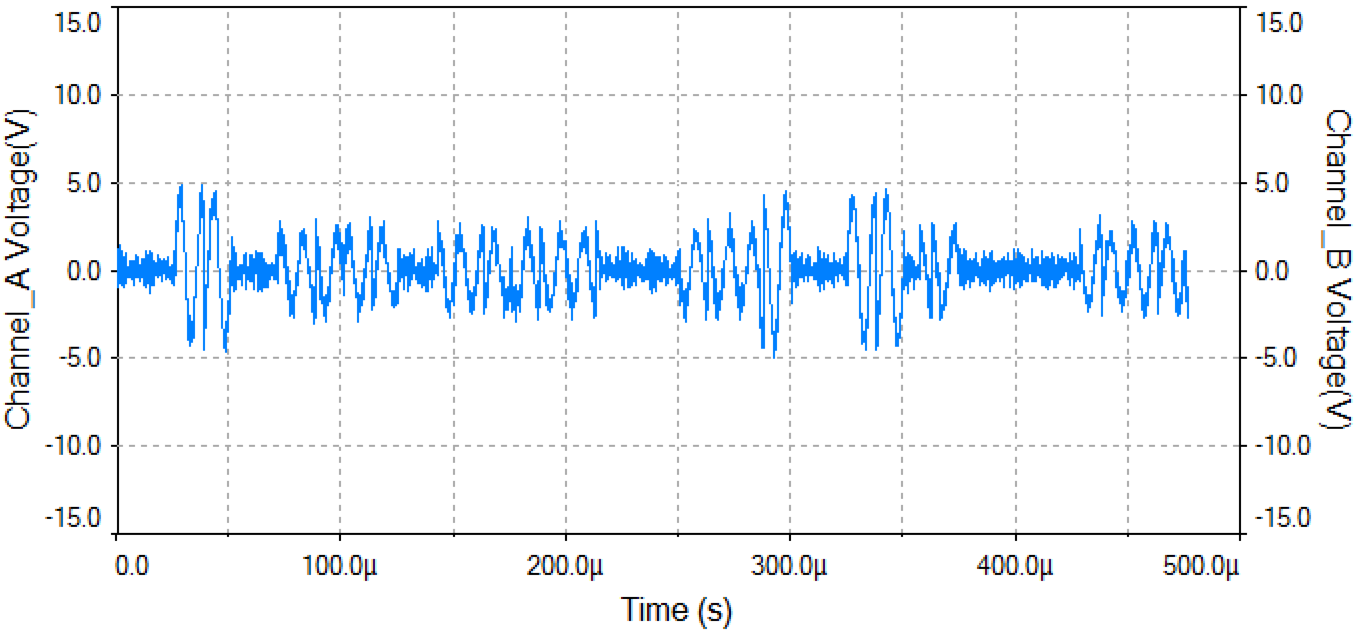


Modulación ASK2 (14 Kbits/seg-100 KHz)

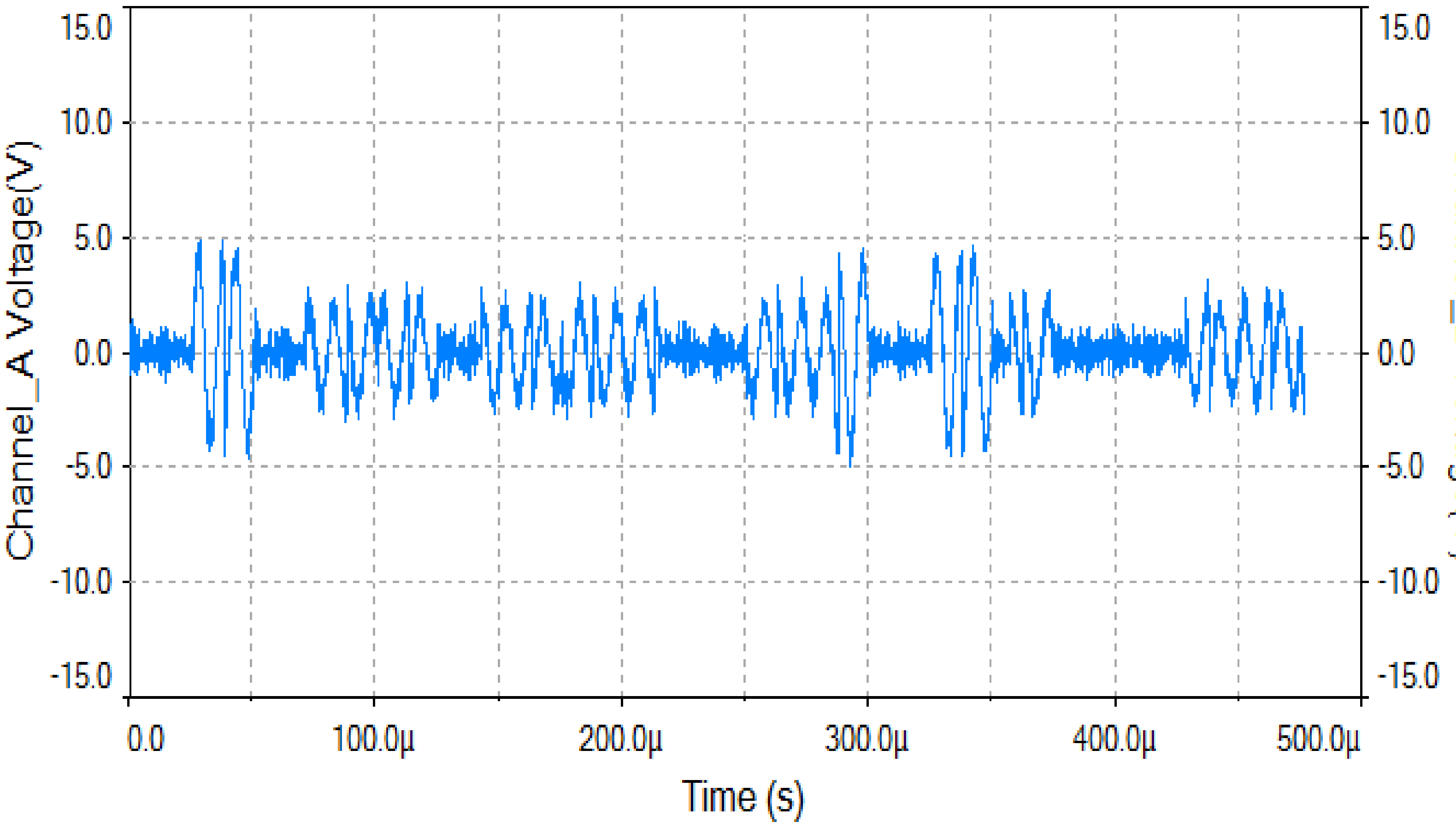


ASK2 expandida

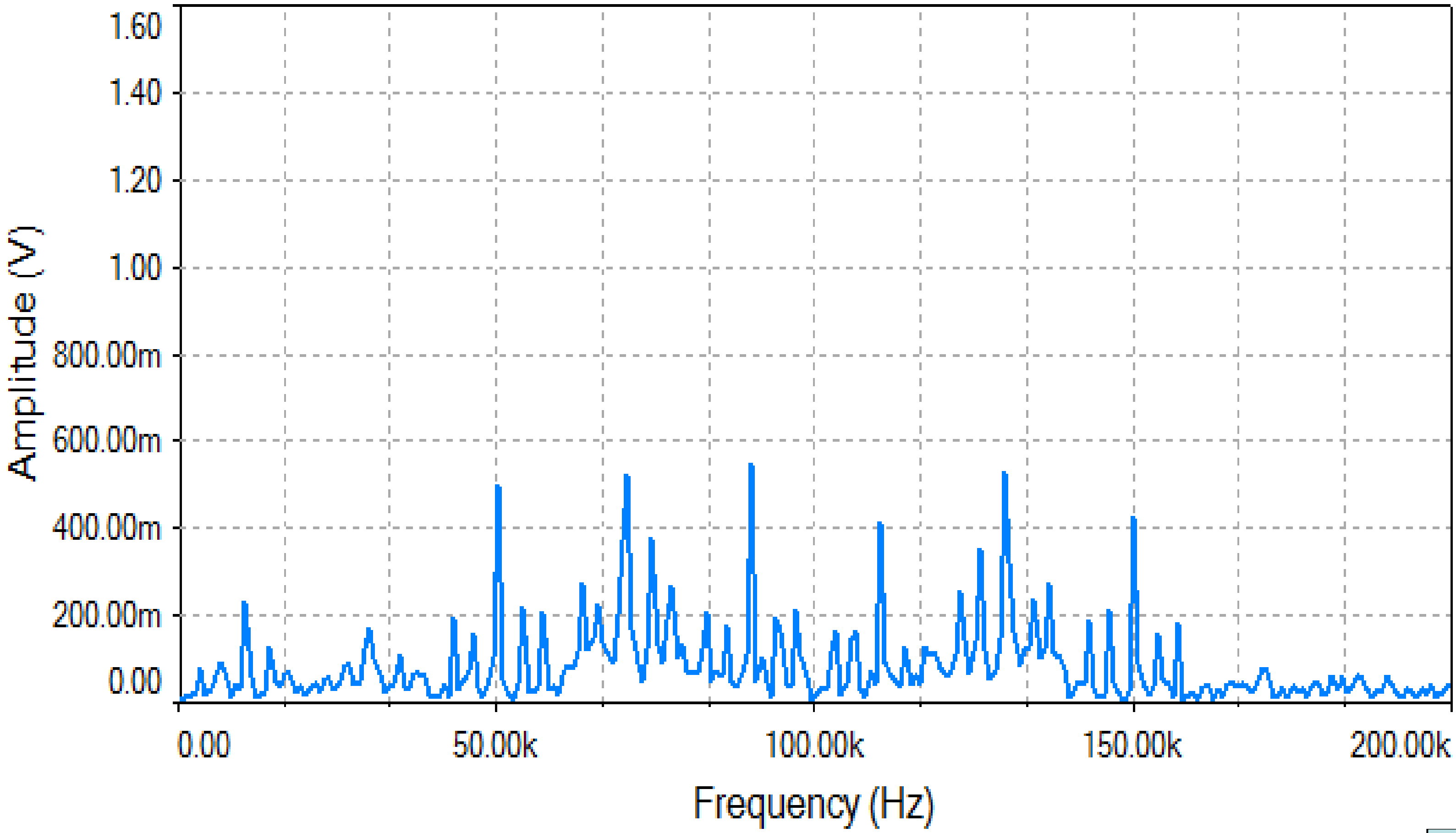



15.0
10.0
5.0
0.0
-5.0
-10.0
-15.0
Channel_A Voltage(V)
Channel_B Voltage(V)
0.0
100.0µ
200.0µ
300.0µ
400.0µ
500.0µ
Time (s)

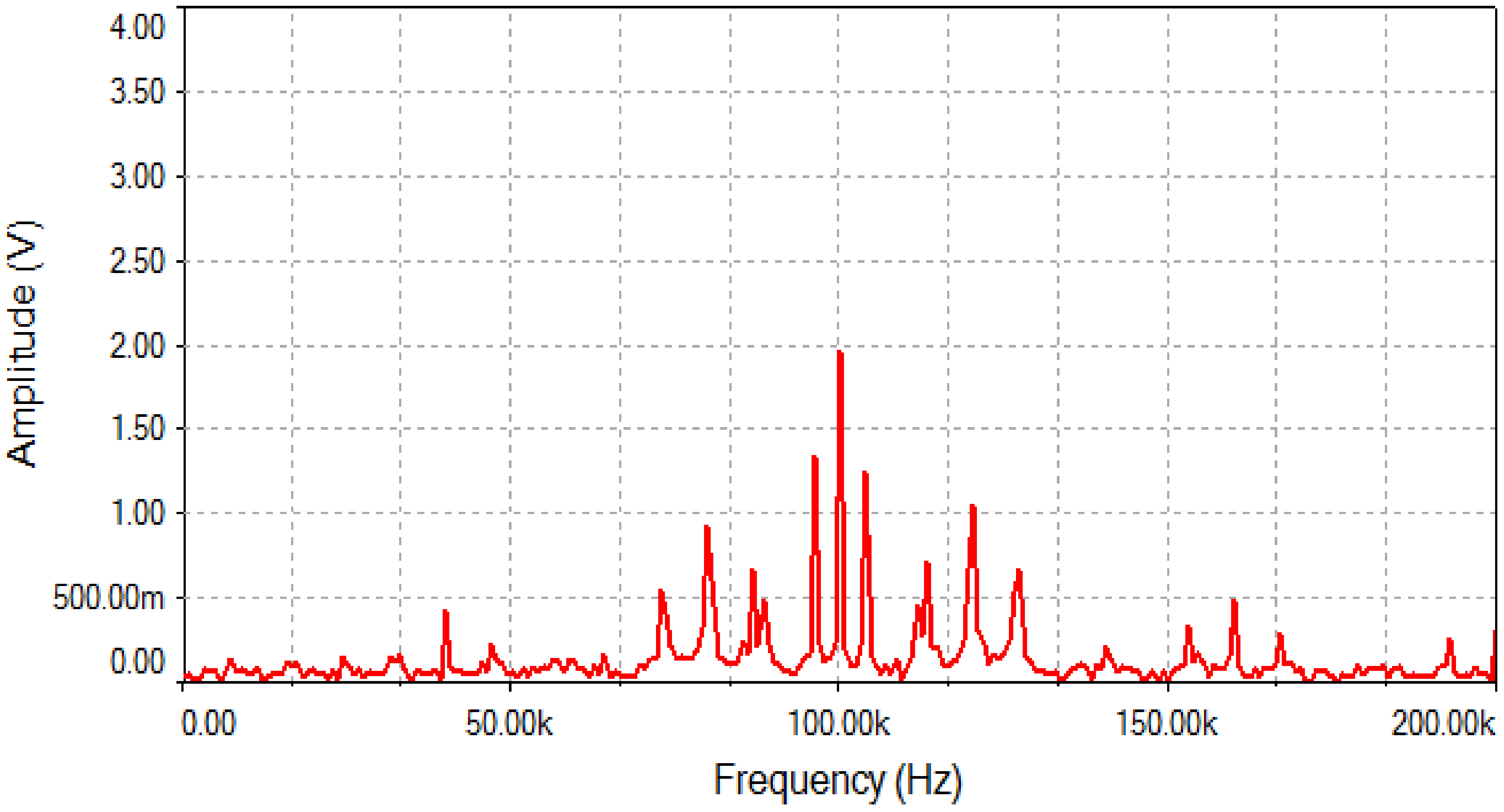
Señal resultante en el canal de comunicación (temporal)



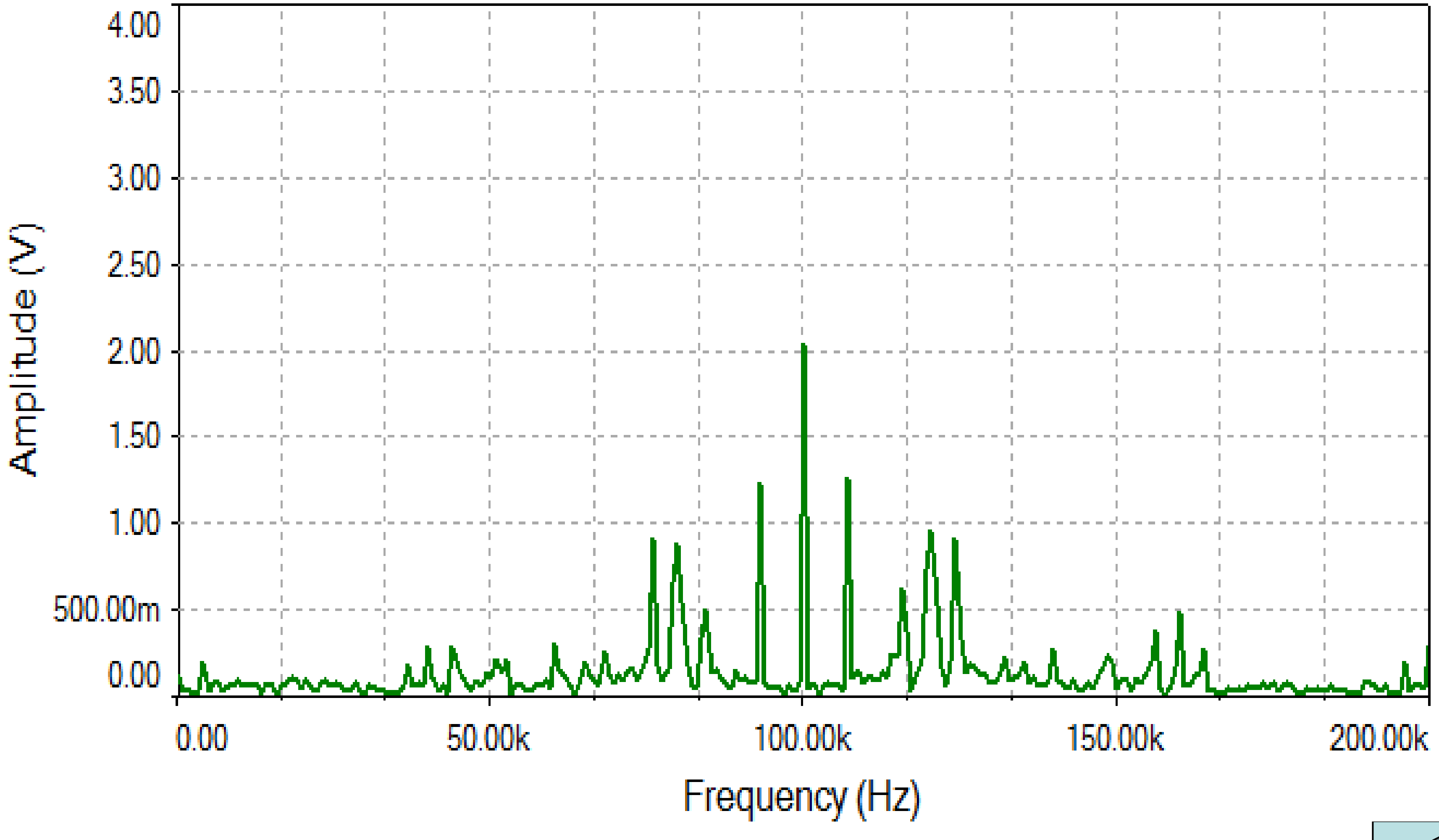
Señal resultante en el canal de comunicación (frecuencia)



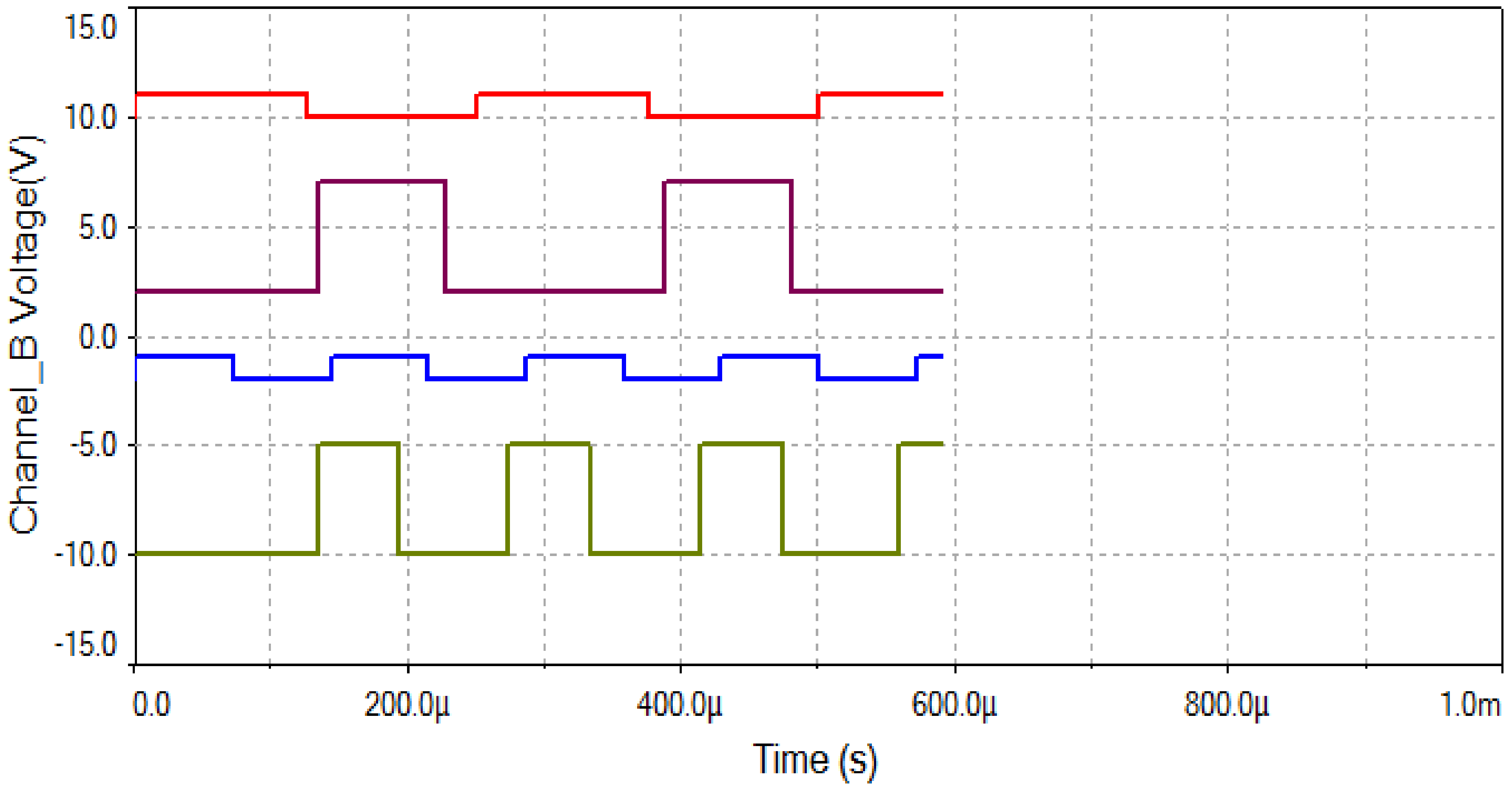
Despanción ASK1



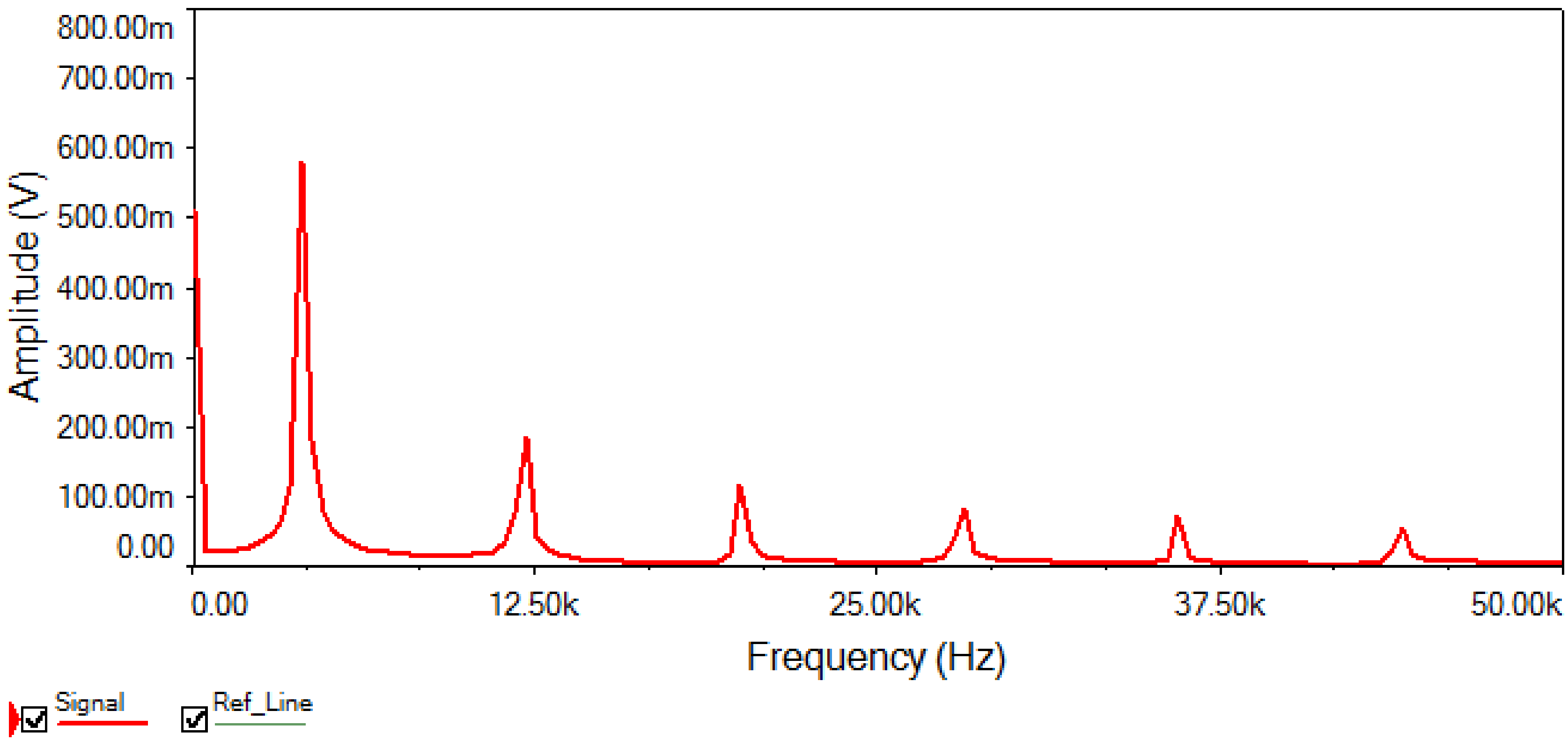
Despanción ASK2



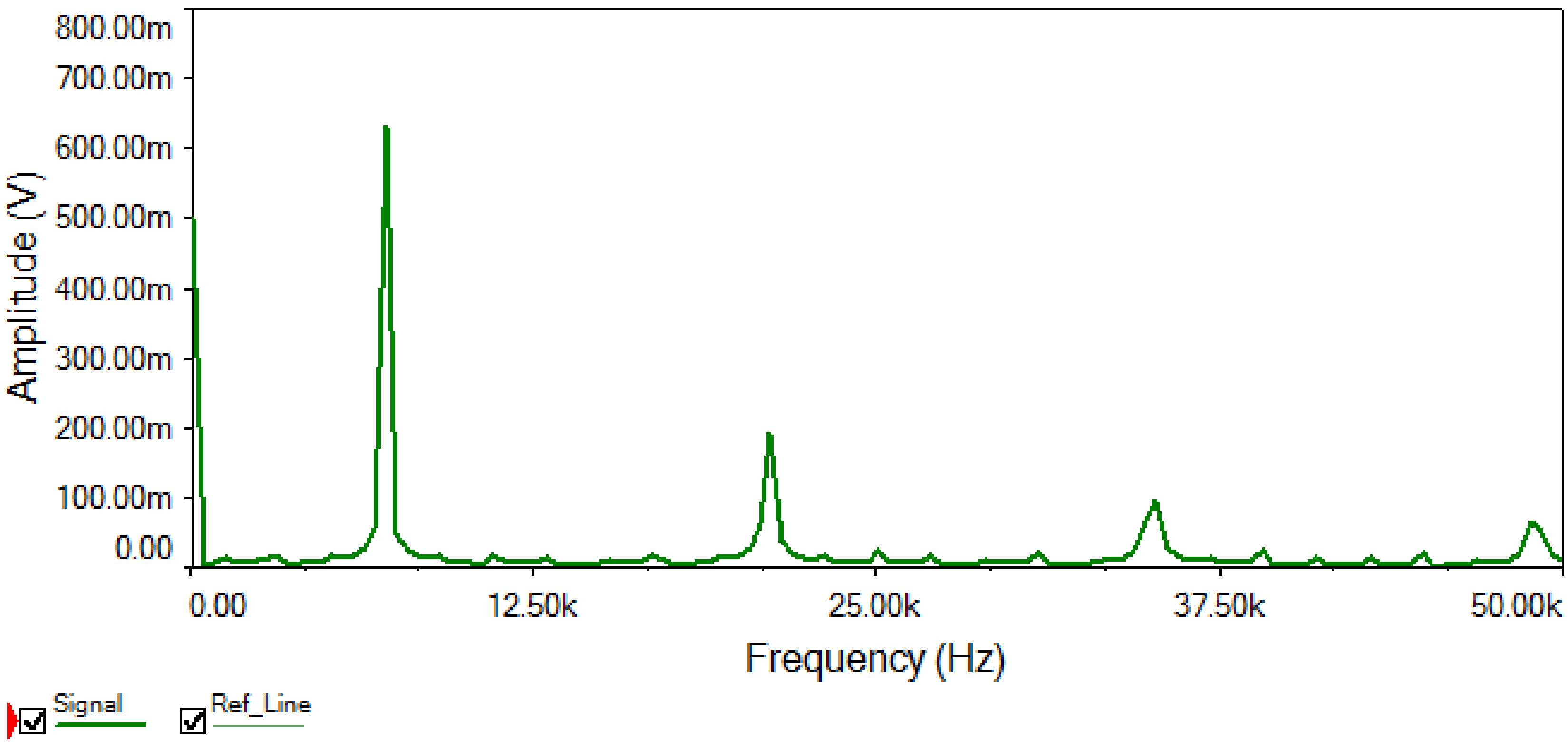
Señales recuperadas



Banda Base 1 (8Kbits/seg))

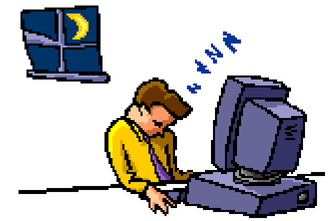


Banda Base 2(14Kbits/seg)



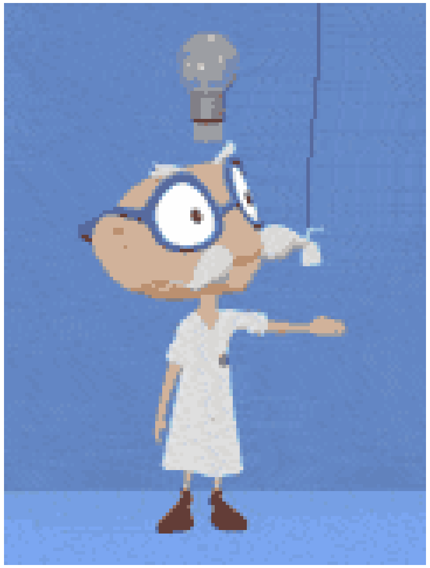
1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	1	1	0	0
1	0	0	1	1	0	0	1
1	1	1	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1	0	1
1	1	0	0	0	0	1	1
1	0	0	1	0	1	1	0

Conclusiones



- Las palabras códigos permiten la convivencia de señales.
- Se expande el espectro, con límite en el ancho de banda del canal.
- El ruido y las interferencias del canal se minimizan.

¿Preguntas?

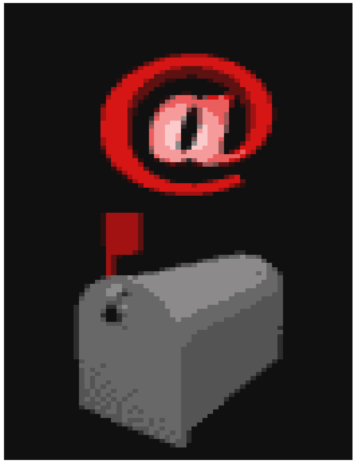


Expansión del espectro

MoDem SSDS

Muchas gracias

pdanizio@gmail.com



Analítica sencilla de la expansión