

### Problema PTC0002-04

Una línea telefónica tiene un ancho de banda útil efectivo de 2400 Hz. entre 600 y 3000 Hz., el cual se va a utilizar para transmitir datos entre dos computadores. Para conectarlos a la línea se utiliza un módem.

- Se transmite a 1200 bps y se usa un módem en FSK. Elijanse dos frecuencias adecuadas para la transmisión si el índice de modulación  $m$  debe ser tan grande como sea posible. ¿Cuáles son las dos frecuencias? ¿Cuál es la  $m$  resultante?
- Se transmite a 4800 bps. Especifique una técnica apropiada de modulación y seleccione una frecuencia portadora.

### Solución PTC0002-04

Apartado a)

Sea  $B_F$  el ancho de banda de la señal a transmitir. Tomamos el criterio idealizado

$$B_F = V_b/2 = V_b/2 = 600 \text{ Hz.}$$

El ancho de banda de la señal modulada en FSK es:

$$B_G = 2 B_F + 2 \Delta f = V_b + 2 \Delta f$$

El índice de modulación es, por definición,  $m = \Delta f / B_F$

Para que  $m$  sea máximo,  $\Delta f$  ha de ser máximo, lo que se consigue con  $B_G$  máximo. El máximo ancho del canal telefónico es  $B_C = 2400 \text{ Hz}$ . Luego:

$$V_b + 2 \Delta f = 1200 + 2 \Delta f_{\text{máx}} = 2400 \rightarrow \Delta f_{\text{máx}} = 600 \text{ Hz}$$

Entonces:

$$m = 600/600 = 1$$

La línea telefónica tiene un ancho de banda útil de 2400 Hz, centrado en

$$600 + 2400/2 = 1800 \text{ Hz.}$$

Las dos frecuencias para la transmisión son:

$$\begin{aligned} f_1 &= 1800 - \Delta f_{\text{máx}} = 1800 - 600 = 1200 \text{ Hz} \\ f_2 &= 1800 + \Delta f_{\text{máx}} = 1800 + 600 = 2400 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Apartado b)

Si utilizamos FSK vemos que el ancho de banda de la señal modulada será

$$B_G = 2 B_F + 2 \Delta f = V_b + 2 \Delta f = 4800 + 2 \Delta f > 2400 \text{ Hz.}$$

Si utilizamos PSK tenemos que el ancho de banda de la señal modulada será

$$B_G = 2 B_F = V_s = V_b = 4800 > 2400 \text{ Hz.}$$

Vemos por tanto que ninguna de esas dos técnicas básicas son adecuadas. Debemos recurrir pues a una técnica de modulación múltiple MPSK o QAM en la que cada símbolo lleva la información de varios bits ( $n$ ). En ese caso

$$B_G = 2 B_F = V_s = V_b/n = 4800/n$$

Para que se pueda acomodar en un canal de ancho de banda efectivo de 2400 Hz el número de bits  $n$  por símbolo debe ser, como mínimo de 2. La modulación resultante mínima sería la QPSK. No obstante dicha modulación cumple muy ajustadamente con las condiciones idealizadas impuestas, por lo que sería más razonable utilizar para  $n$  un valor de 3 o superior, con modulaciones 8PSK o 8QAM. En cualquier caso, la frecuencia de la portadora debería estar centrada en el canal, esto es  $f_c = 1800 \text{ Hz}$ .