

Práctica 8. Modulación QPSK

Metodología

El alumno dispone de una sesión (2 horas) de laboratorio para realizar esta práctica, por lo que es imprescindible acudir al laboratorio habiéndola preparado previamente. La realización es individual. Se deberá crear un fichero .m para cada uno de los apartados de la práctica y hacer uso de los comandos `disp('texto')`, `disp('var')`, `pause`, `title`, `xlabel`, `ylabel`, `legend`, `clf`, `clc`,... para documentar los resultados presentados en pantalla. Los distintos ficheros se guardarán en la carpeta **X:/practica8**. El profesor evaluará, durante la sesión, los conocimientos y destrezas adquiridos por el alumno y podrá revisar los ficheros de Matlab de la carpeta **X:/practica8**. En el examen final se incluirán preguntas sobre el contenido de esta práctica.

Objetivos

El objetivo de esta práctica es implementar un transmisor y un receptor de comunicaciones digitales paso banda (QPSK, en concreto) comprendiendo el funcionamiento y las características de cada uno de sus componentes. Se prestará especial atención a la densidad espectral de potencia y al ancho de banda de la señal transmitida; a las constelaciones y diagramas I-Q transmitidos y recibidos; y al efecto del ruido sobre todos ellos.

Transmisor QPSK

En la Figura 1 se muestra un esquema de la implementación de un transmisor de modulaciones lineales genérico. Como se puede observar, la sección banda base del transmisor se implementa digitalmente y requiere de dos convertidores D/A, uno para cada una de las señales I y Q, trabajando a una frecuencia de muestreo adecuada al ancho de banda de dichas señales banda base (en los sistemas comerciales, es habitual que L tome valores en torno a 3 ó 4). El modulador IQ se implementa con circuitos analógicos, pues la frecuencia portadora, f_c , es, habitualmente, muy elevada.

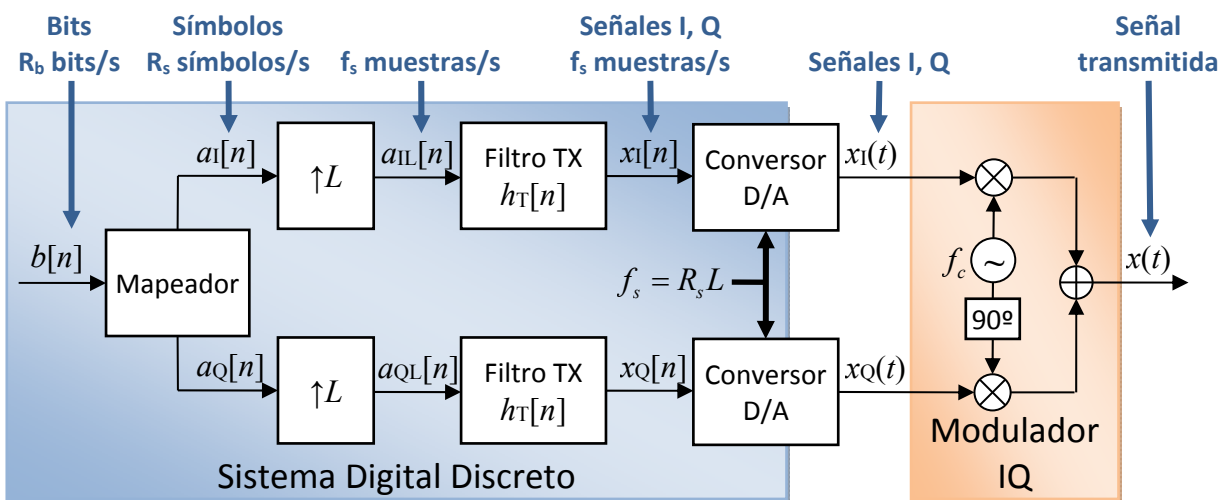


Figura 1. Transmisor convencional de modulaciones lineales.

Es necesario resaltar que el convertidor D/A (y, en su caso, el convertidor A/D) dispone a su salida del correspondiente filtro reconstructor (en su caso, antialiasing). De igual forma, el modulador IQ

(y el demodulador IQ) posee a la salida de los mezcladores los filtros apropiados. Todos estos filtros, al igual que las etapas de amplificación, no se han representado en el esquema anterior (y en el resto de figuras) por simplicidad.

En sistemas que utilizan frecuencias portadoras no muy altas, como por ejemplo los que vamos a implementar en esta práctica, es posible construir digitalmente el modulador IQ y utilizar un único conversor D/A trabajando a una frecuencia de muestreo (muy) superior a la del transmisor “convencional”, pues debe cumplir el teorema de muestreo para la señal transmitida, es decir,

$$f_s = LR_s \geq 2f_{\max} = 2(f_c + W/2),$$

donde W representa el ancho de banda de la señal transmitida paso banda. El resultado es el esquema mostrado en la figura 2, en el cual el factor de interpolación, L muestras/símbolo, suele resultar elevado.

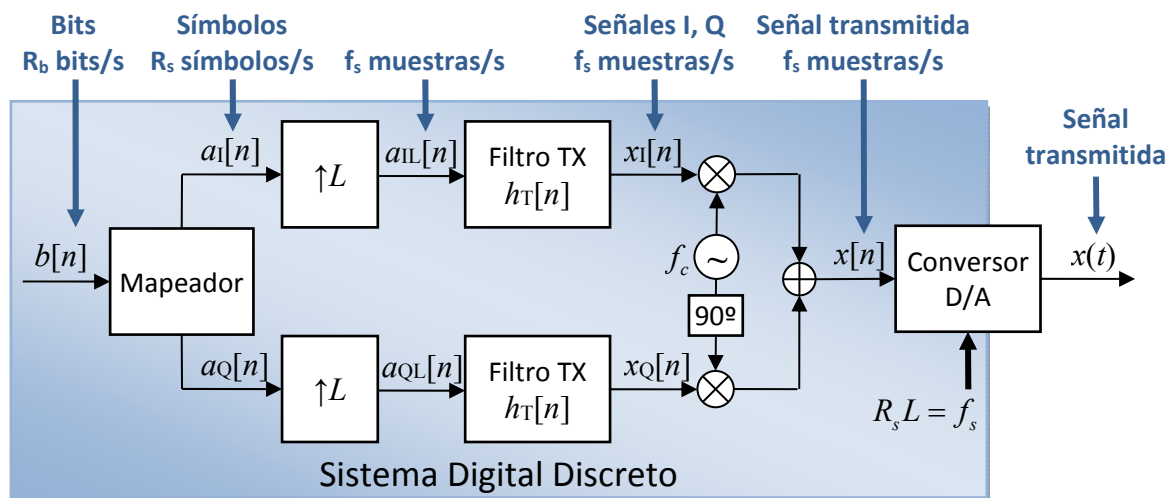


Figura 2. Transmisor de modulaciones lineales implementado digitalmente en su totalidad.

En el caso concreto de la modulación QPSK, la única consideración a tener en cuenta es utilizar el mapeador apropiado que agrupe los bits a transmitir por parejas y les asigne uno de los cuatro símbolos que forman la constelación QPSK (+1+j, -1+j, -1-j, +1-j). A modo de ejemplo, una forma de implementar en Matlab dicho mapeador QPSK es hacer $a_I = 2*b(1:2:end)-1$ y $a_Q = 2*b(2:2:end)-1$.

a) Transmisor QPSK.

Utilizando una frecuencia de muestreo $f_s = 44100$ muestras/s, un factor de sobremuestreo $L = 50$ muestras/símbolo y una frecuencia portadora $f_c = 4410$ Hz genere $N_b = 40$ bits de una señal, x , QPSK siguiendo el esquema de la figura 2. Emplee filtros en raíz cuadrada de coseno alzado con roll-off 0.5 como los de las prácticas anteriores (use como filtro transmisor $h_T = \text{rcosine}(1, L, \text{'sqrt'}, 0.5, 6)$ y recuerde que este filtro tiene un retardo de $6L$ muestras).

Dibuje y observe en un único **figure** la señal I, x_I , la señal Q, x_Q , y la señal transmitida, x .

```
figure(1)
t=(0:length(xI)-1)/fs;
subplot(311);plot(t,xI);grid;title('señal I transmitida');xlabel('t (s)'); ylabel('amplitud (V)')
subplot(312);plot(t,xQ);grid;title('señal Q transmitida');xlabel('t (s)'); ylabel('amplitud (V)')
subplot(313);plot(t,x);grid;title('señal transmitida');xlabel('t (s)'); ylabel('amplitud (V)')
```

Compruebe, observando la densidad espectral de potencia, que el ancho de banda de la señal transmitida se corresponde con el valor teórico. Para observar mejor la DEP y los diagramas IQ es útil generar un número de bits elevado, por ejemplo, $N_b = 1000$ bits.

```
figure(2);dep(x,1024,fs);title('señal transmitida')
```

En otra figura, represente la constelación transmitida y el diagrama IQ transmitido.

```
figure(3);subplot(121);plot(al,aQ,'o');axis square;grid;title('Constelación TX')
subplot(122);plot(xl,xQ,'b');axis square;grid;title('Diagrama I-Q TX')
```

Observe en el osciloscopio la señal I (ejecutando `envia([xl; 1 zeros(1,length(xl)-1)],10000)`), la señal Q (`envia([xQ; 1 zeros(1,length(xQ)-1)],10000)`) y la señal modulada (`envia([x; 1 zeros(1,length(x)-1)],10000)`). Observe también el diagrama I-Q en el osciloscopio sin más que ejecutar `envia([xl;xQ],10000)` y configurar el osciloscopio en modo XY. Recuerde configurar la tarjeta de sonido con `frec_muestreo(fs)`.

Receptor QPSK

Un receptor de modulaciones lineales se construye tal y como se representa en la Figura 3. De forma equivalente a lo visto en el transmisor, la sección banda base del receptor se implementa digitalmente y requiere de dos conversores A/D, uno para cada una de las señales I y Q, trabajando con un factor de sobremuestreo, L , bajo. El demodulador I/Q está compuesto por dispositivos analógicos.

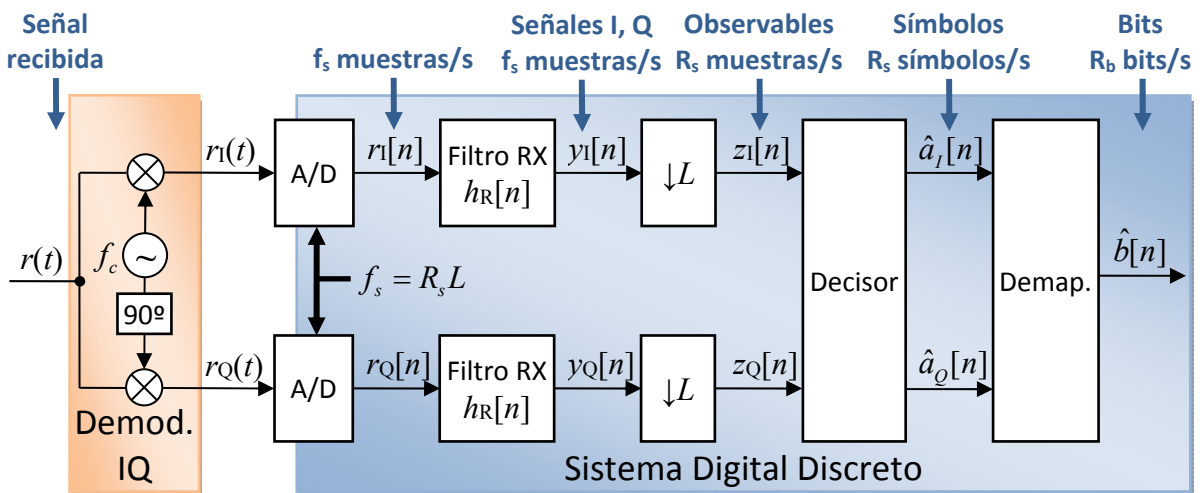


Figura 3. Receptor convencional de modulaciones lineales.

En nuestro laboratorio, y en algunos sistemas comerciales que trabajan con una frecuencia portadora no demasiado elevada, también es posible implementar digitalmente el sistema completo, tal y como se muestra en la figura 4. De nuevo, el factor de sobremuestreo, L , resultará elevado.

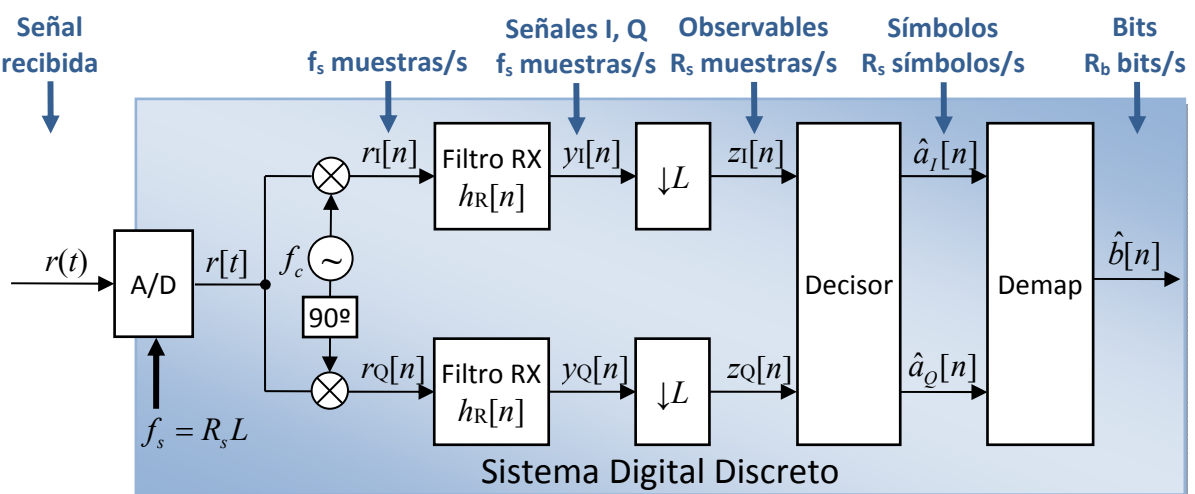


Figura 4. Receptor de modulaciones lineales implementado digitalmente en su totalidad.

b) Receptor QPSK.

Para la señal QPSK del ejercicio a) con $N_b=40$, implemente en Matlab el receptor adecuado siguiendo el esquema de la figura 4. Dibuje en una figura la señal recibida, $r[n]$, y su DEP, así como las señales I y Q ($y_I[n]$ e $y_Q[n]$). Represente en otra figura el diagrama IQ y la constelación recibida. También puede resultar de interés representar el diagrama de ojo en recepción (de la señal I o de la señal Q)

En primera instancia no considere ruido y compruebe que los bits detectados se corresponden con los transmitidos. Recuerde que, dado el filtro transmisor (y receptor) utilizado, el retardo total es 12L muestras. Pruebe posteriormente a añadir 10mW de AWGN a la señal recibida y observe su efecto en las distintas señales y diagramas del receptor y en la tasa de error de bit (en este ejemplo se necesitan potencias de ruido del orden de medio Vatio para encontrar a menudo algún bit erróneo en los cuarenta bits transmitidos).

Ejercicio adicional

Para este ejercicio se precisan dos alumnos. El primero de ellos implementará el transmisor del ejercicio a) (con $N_b=40$ bits) y enviará la señal QPSK a la tarjeta de sonido repetida un número suficientemente elevado de veces (por ejemplo *envía(x,10000)*). El segundo alumno deberá adquirir la señal (por ejemplo, *r=recibe(1,2*longitud_de_señal_x)*) y procesarla con el receptor del apartado b) comprobando que se reciben los bits sin error. No olvide conectar el cable TX del alumno 1 con el RX del alumno 2.

Para evitar tener que repetir el proceso *envía/recibe*, el alumno receptor puede almacenar en el disco duro la señal que recibe en la primera ocasión en un fichero .mat y trabajar con ella a posteriori, incluso tras realizar un *clear* o reiniciar Matlab:

```
r=recibe(1,5000);           % El Alumno#2 captura, por ejemplo, 5000 muestras de la señal
save senal_recibida.mat r   % Guarda en el fichero senal_recibida.mat la variable r
% Ahora puede continuar con el programa, ejecutar clear, reiniciar Matlab....
load senal_recibida        % Para recuperar la variable del fichero
```

El alumno transmisor también puede almacenar la señal y los bits transmitidos ejecutando el comando *save senal_transmitida.mat x b*.

Para procesar adecuadamente la señal recibida deberá llevar a cabo “manualmente” los distintos sincronismos:

- Sincronismo de trama: Identificar en qué momento llega la trama y qué longitud tiene. En este caso, a la vista de la señal r , tomar un subconjunto de sus muestras que contengan completamente la trama.
- Sincronismo de símbolo: Determinar en qué preciso instante (muestra) se debe tomar el observable para decidir el primer símbolo. Como siempre, los siguientes símbolos se tomarán cada L muestras. Puede ser útil observar las señales I y Q y el diagrama de ojo.
- Sincronismo de portadora y de fase: A la vista del diagrama IQ y de la constelación recibida seguramente aprecie un error de fase y quizás también un error frecuencial. Si así fuera, intente modificar ligeramente la fase (y la frecuencia) de la portadora del receptor para poder visualizar un diagrama IQ estable y con la orientación correcta.

Compruebe con el compañero que los bits recibidos se corresponden con los transmitidos. Muéstreselo al profesor.