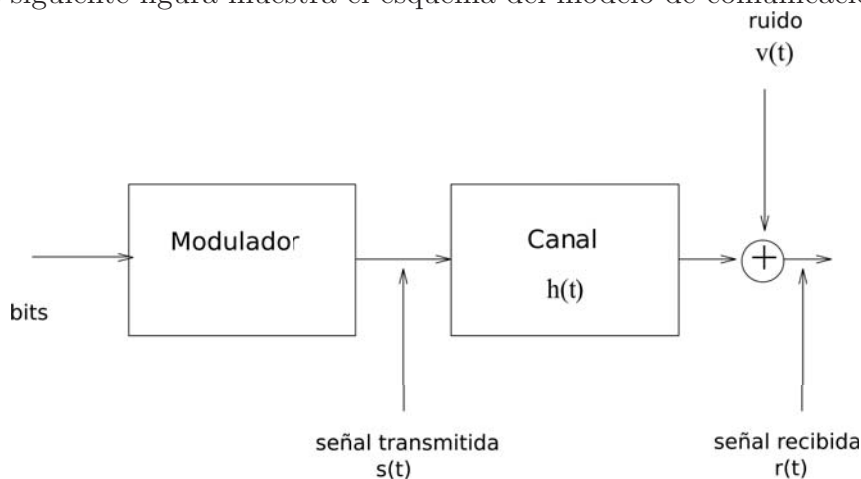


# Gestión de Infraestructuras

## Módulo I - Práctica 1

### Simulación de un sistema de transmisión Digital

La práctica consistirá en la simulación de un sistema de comunicación muy sencillo que realiza la transmisión de bits empleando pulsos con amplitud positiva o negativa. Además, se simulará el efecto del ruido y de limitación de ancho de banda de los canales. La siguiente figura muestra el esquema del modelo de comunicación.



En las sesiones de prácticas se realizará el desarrollo de una de las partes de este sistema, por lo que es necesario terminar cada parte antes de la siguiente sesión de prácticas. Como punto de partida, se utilizará el código `practicatransmision.m` que está listo para ser ejecutado en Octave o Matlab.

La evaluación se realizará en una sesión de prácticas.

## Modulación

En esta práctica se emplearán pulsos de duración  $N$ , pero muchos sistemas reales utilizan pulsos de mayor duración. La forma de estos pulsos puede ser muy variada: pulso rectangular, pulso sinc, pulso de Manchester, pulso coseno alzado, etc. La energía de pulsos de duración  $N$  se calcula con la siguiente expresión

$$E_p = \sum_{n=0}^{N-1} p(n)^2 \quad (1)$$

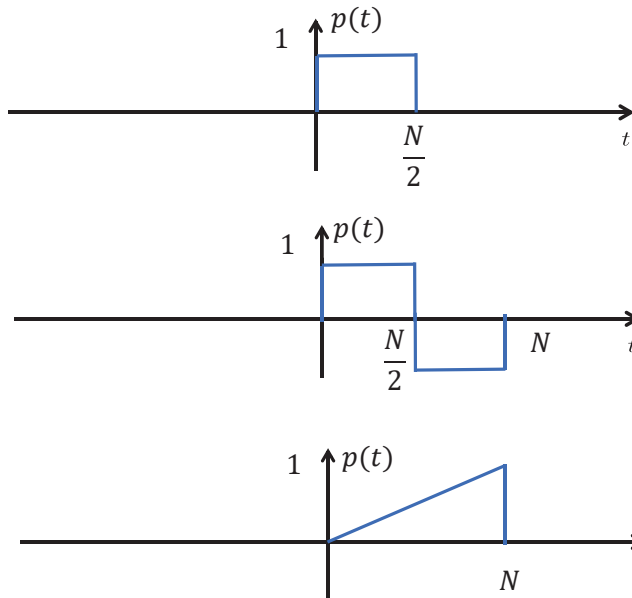
Dada una secuencia de bits a transmitir, el proceso de modulación asigna un pulso positivo a 0 y un pulso negativo a 1. Esto quiere decir que cada bit se transmite durante  $N$  segundos (duración del pulso) y, por ello, la energía de bit coincide con la energía del pulso. La señal de salida del modulador se puede escribir como sigue

$$s(t) = \sum_{k=0}^{L-1} A_k p(t - kN) \quad (2)$$

donde  $N$  es la duración del pulso y  $A_k$  es una amplitud  $\pm 1$ .

En esta sesión de prácticas, debe realizar los siguiente:

1. Entienda el código que se ha proporcionado y ejecútelo. Observe que el código genera un pulso rectangular con duración  $N$  (comienza en 0 y termina en  $N - 1$ ) y amplitud 1.
2. Añada los pulsos que se muestran en la siguiente figura.



3. Añada las líneas de código para calcular la energía del pulso.
4. Añada el código que permite modular una secuencia de  $L$  bits: la señal a transmitir se creará asignando un pulso con amplitud positiva a 0 y un pulso con amplitud negativa a 1.

**Consejo:** Para obtener la señal correspondiente a los  $L$  bits, puede utilizar un bucle y emplear la concatenación de vectores: si tenemos dos vectores  $a$  y  $b$ , la concatenación se realiza como  $[a \ b]$ .

5. Represente el pulso y la señal modulada.
6. Ejecute el código para los todos los pulsos. En cada ejecución, compare el valor de  $E_p$  con el visto en la clase de teoría e interprete las gráficas.

Este código será utilizado en la próxima sesión de prácticas.

## Transmisión por canales con ruido

Consideraremos que la señal modulada se transmite a través de un canal con ruido, de forma que la señal recibida tiene la siguiente expresión

$$r(t) = s(t) + v(t) \quad (3)$$

donde  $v(t)$  es la componente de ruido que introduce el canal. En particular, se suele asumir la existencia de ruido aditivo con distribución gaussiana de media nula y potencia  $N_0/2$ .

En un sistema 2-PAM, la energía de bit  $E_b$  coincide con la energía del pulso  $E_p$ . La relación entre la energía de bit y la del ruido  $E_b/N_0$  es un parámetro que determina la calidad de la transmisión.

En esta sesión de prácticas, debe actualizar el código como sigue:

1. Incluya el siguiente parámetro en su código.

```
EbNo=100 ; % EbNo en dB
```

2. Añada las siguientes líneas para generar el ruido.

```
%Cambio a unidades naturales y calculo de No
EbNo=10^(EbNo/10);
No=Eb/EbNo;
ruido=sqrt(No/2)*randn(1,N*L);
```

3. Añada la línea de código para sumar el ruido a la señal modulada (señal generada en la PARTE 1 de la práctica).

```
s_rec=s_mod+ruido;
```

4. Represente la señal con ruido en la misma figura que la señal modulada. Utilice para eso el comando *hold on*.
5. Represente el diagrama de ojo utilizando el código *diagrama\_ojo.m* que se le ha proporcionado.
6. Ejecute el código para el pulso rectangular y  $E_bN_0 = 10$  dB,  $E_bN_0 = 20$  dB y  $E_bN_0 = 100$  dB. Compare los resultados con los que aparecen en las diapositivas de la clase de teoría. Observe el efecto que tiene cambiar el parámetro  $E_bN_0$  en la representación de la señal recibida y en el diagrama de ojo.
7. Ejecute con los otros pulsos.

Este código será utilizado en la próxima sesión de prácticas.

## Transmisión por canales de banda limitada y ruido

Consideraremos que la señal modulada se transmite a través de un canal que tiene limitación en banda y que introduce ruido, de forma que la señal recibida tiene la siguiente expresión

$$r(t) = s(t) * h(t) + v(t) \quad (4)$$

donde  $*$  es la operación de convolución,  $h(t)$  es la respuesta al impulso del canal y  $v(t)$  es la componente de ruido que introduce el canal.

Este modelo introduce dos factores que distorsionan la señal de modulada:

- El canal se comporta como un filtro paso bajo que elimina las frecuencias superiores a un valor  $W$ . Consideraremos que  $h(t)$  es la respuesta al impulso de un filtro paso bajo ideal

$$h(t) = \frac{\text{sen}(Wt)}{\pi t} \quad (5)$$

donde  $W$  es el ancho de banda del filtro.

- El ruido se suma a la salida del canal. Asumiremos que tiene distribución gaussiana de media nula y potencia  $N_0/2$ .

En esta sesión de prácticas, debe actualizar el código como sigue:

1. Incluya el siguiente parámetro en su código.

```
W=pi/2;    % Ancho de banda del canal
```

2. Añada las siguientes líneas para generar el canal de banda limitada

```
NL2=fix(N*L/2);  
n2=-NL2:NL2-1;  
h=sin(W*n2)./(pi*n2);  
pos=find(n2==0);  
h(pos)=W/pi;
```

```
if (pi/N)>W  
    h=h*pi/W/N;  
end;
```

Las líneas  $pos = \text{find}(n2 == 0); h(pos) = W/\pi$ ; son necesarias para asignar el valor en la posición correspondiente a  $n2$  igual a 0 ya que en ese caso tenemos que  $h = \sin(W * n2) / (\pi * n2)$ ; es 0/0 (indeterminación).

3. En el código de la semana pasada, comente esta línea

```
s_rec=s_mod+ruido;
```

y añada las siguientes líneas

```

s_rec=conv(s_mod,h);
s_rec=s_rec(NL2+1:length(s_rec)-NL2+1);

ruido=sqrt(No/2)*rand(1,N*L);
s_rec=s_rec+ruido;

```

La línea  $s\_rec = s\_rec(NL2+1 : length(s\_rec) - NL2+1)$ ; es necesaria para eliminar valores al comienzo y al final de la convolución. Así conseguimos que la longitud de  $s\_rec$  sea igual a la de  $s\_mod$ .

4. Añada el siguiente código para calcular y representar la transformada de Fourier del pulso y del canal:

```

[H,Wrad]=dtfft(h,(2*L*N)+50);
[P,Wrad]=dtfft(pulso,(2*L*N)+50);

figure;
plot(Wrad,abs(P)/max(abs(P)));
grid;
hold on;
plot(Wrad,abs(H)/max(abs(H)),'r');
title('Respuesta en frecuencia del canal H(W) y T.F. del pulso P(W)');

```

Las frecuencias están expresadas en  $rad/s$ .

Se ha utilizado  $abs(H)$  para representar el valor absoluto de la transformada de Fourier (es decir, el módulo o magnitud). Además, se ha dividido por  $max(abs(H))$  para que la gráfica tenga 1 como valor máximo.

5. Para las siguientes gráficas, debería funcionar el código de la semana pasada:
  - Representación del pulso.
  - Representación de la señal recibida en la misma figura que la señal modulada.

```

figure;
plot(0:N*L-1,s_mod);
hold on;
plot(0:N*L-1,s_rec,'r');
axis([0 N*L-1 -2 2]);
title('Senal modulada y recibida')

```

- Representación del diagrama de ojo.

Para comprobar el correcto funcionamiento, a continuación se muestran varios ejemplos de ejecución.

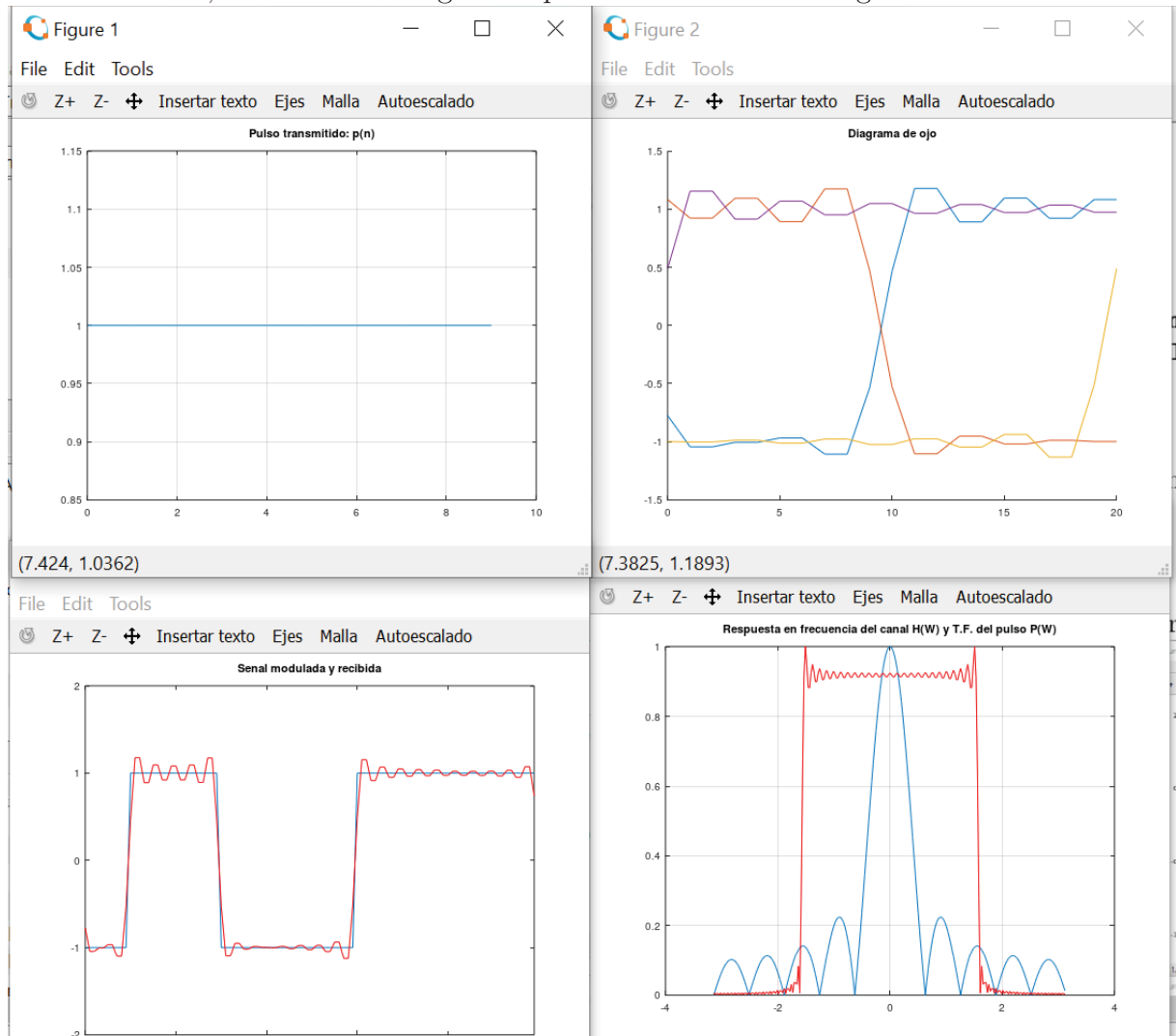
## Simulación 1

```
N=10; % Periodo de simbolo
L=10; % Numero de bits a transmitir
tipopulso=1; %1: pulso rectangular
EbNo=100 ; % EbNo en dB
W=pi/2; % Ancho de banda del canal
```

En esta simulación, el pulso rectangular debe estar definido como sigue:

```
n=0:N-1;
pulso=ones(1,N);
```

A continuación, se muestran las gráficas que debe obtener el código.



En la gráficas se puede observar lo siguiente:

- La amplitud de la señal modulada es 1.
- La transformada de Fourier del canal es un filtro paso bajo y corta en  $\pi/2$  (coincide con el parámetro de entrada del código).

- La transformada de Fourier del pulso es una señal sinc (de duración infinita), pero el lóbulo principal está dentro del canal. Esto quiere decir que introduce poca distorsión.
- El ruido es casi nulo porque el valor del parámetro EbN0 es muy alto.

Además, su código debería calcular la energía de pulso  $Ep = 10$



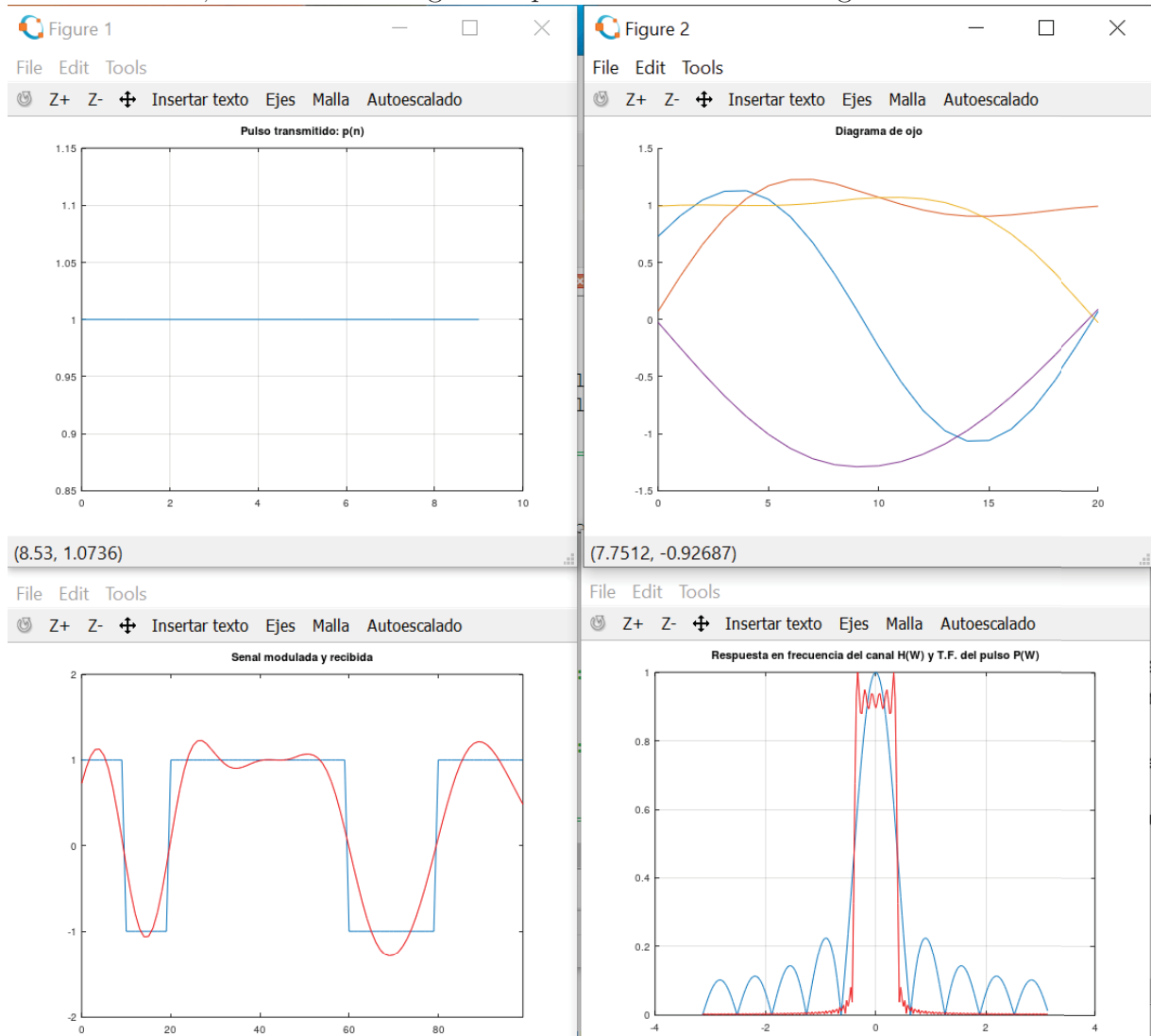
## Simulación 2

```

N=10; % Periodo de simbolo
L=10; % Numero de bits a transmitir
tipopulso=1; %1: pulso rectangular
EbNo=100 ; % EbNo en dB
W=pi/8; % Ancho de banda del canal

```

A continuación, se muestran las gráficas que debe obtener el código.

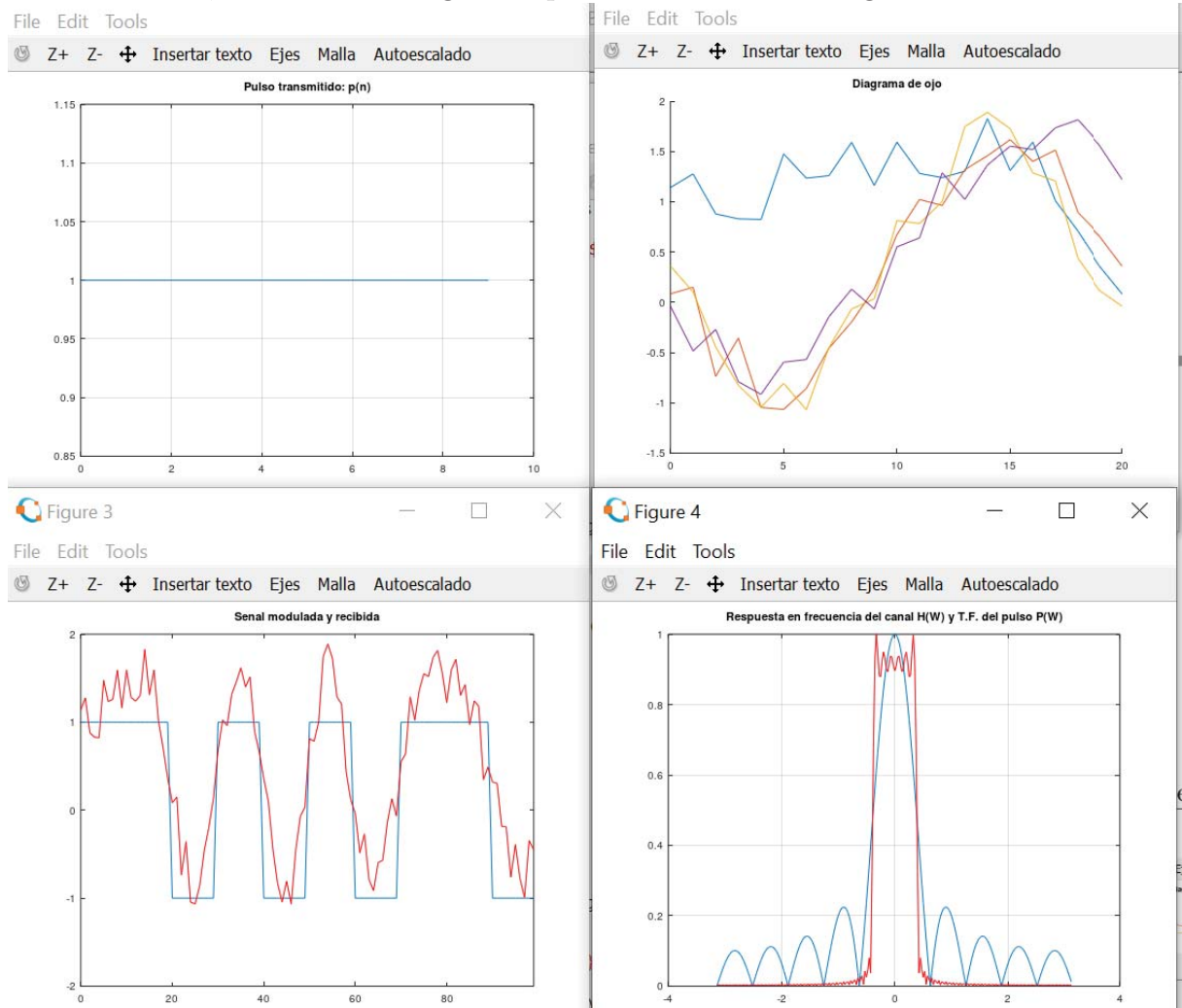


Con respecto a la simulación 1, observamos que el canal tiene un ancho de banda menor, por lo que introduce más distorsión.

### Simulación 3

```
N=10; % Periodo de simbolo
L=10; % Numero de bits a transmitir
tipopulso=1; %1: pulso rectangular
EbNo=10 ; % EbNo en dB
W=pi/8; % Ancho de banda del canal
```

A continuación, se muestran las gráficas que debe obtener el código.



Con respecto a la simulación 2, observamos que el efecto del ruido es mayor porque la  $E_b/N_0$  es mas alta.

## Simulación 4

```

N=10; % Periodo de simbolo
L=10; % Numero de bits a transmitir
tipopulso=1; %2: N/2 valores iguales a 1, N/2 valores iguales a 0
EbNo=10 ; % EbNo en dB
W=pi/8; % Ancho de banda del canal

```

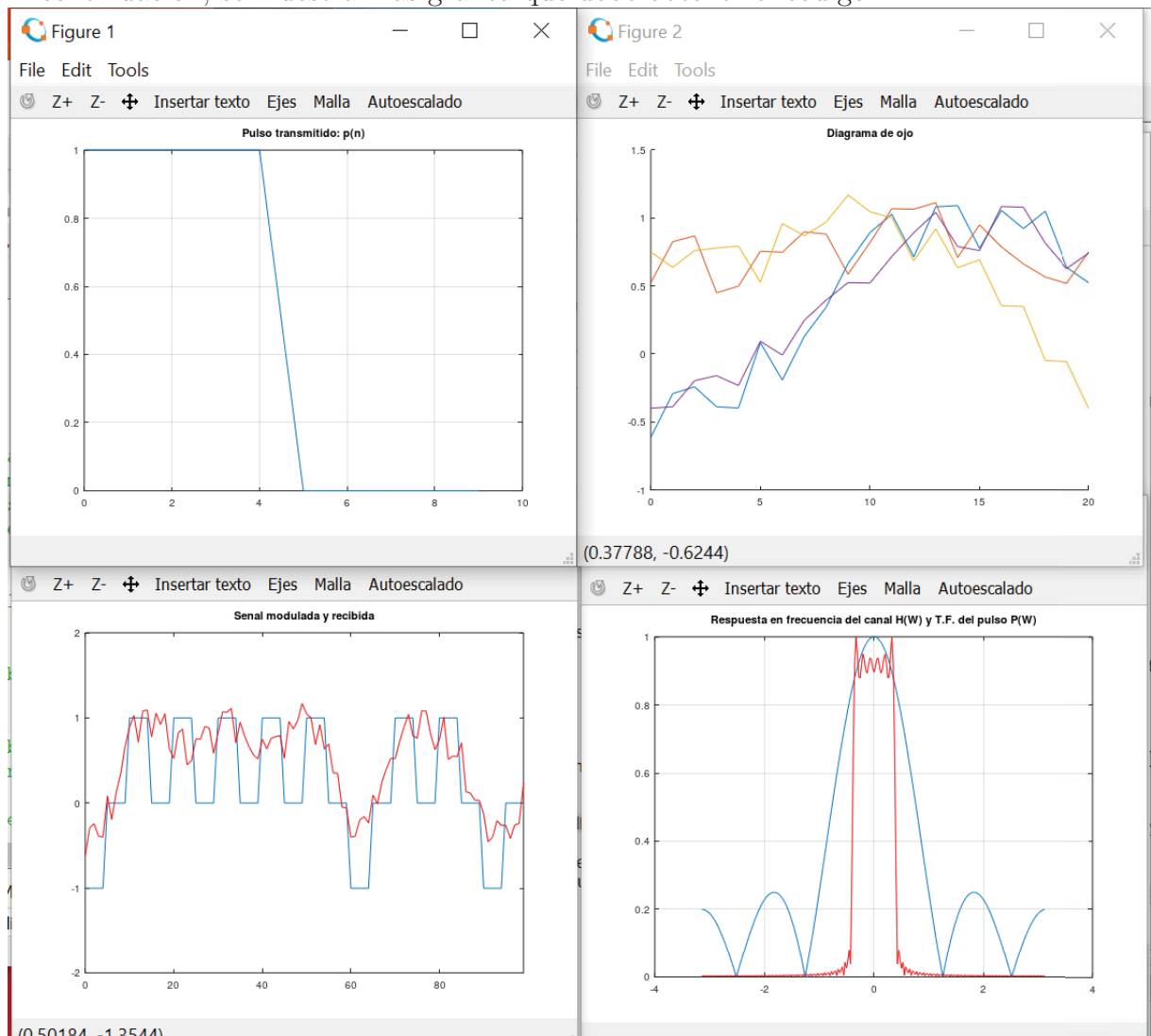
En esta simulación, el pulso debe estar definido como sigue:

```

n=0:N-1;
pulso(1:N/2)=ones;
pulso(N/2+1:N)=zeros;

```

A continuación, se muestran las gráficas que debe obtener el código.



As observa que al cambiar el pulso, se modifica la señal transmitida. Además, podemos ver que la forma de la transformada de Fourier del pulso es también una sinc, pero el lóbulo principal el “mas ancho” que en la simulación anterior porque la duración del pulso es menor ( $N/2$ ).

La amplitud de la señal sigue siendo 1, pero la energía del pulso es  $E_p = 5$ .

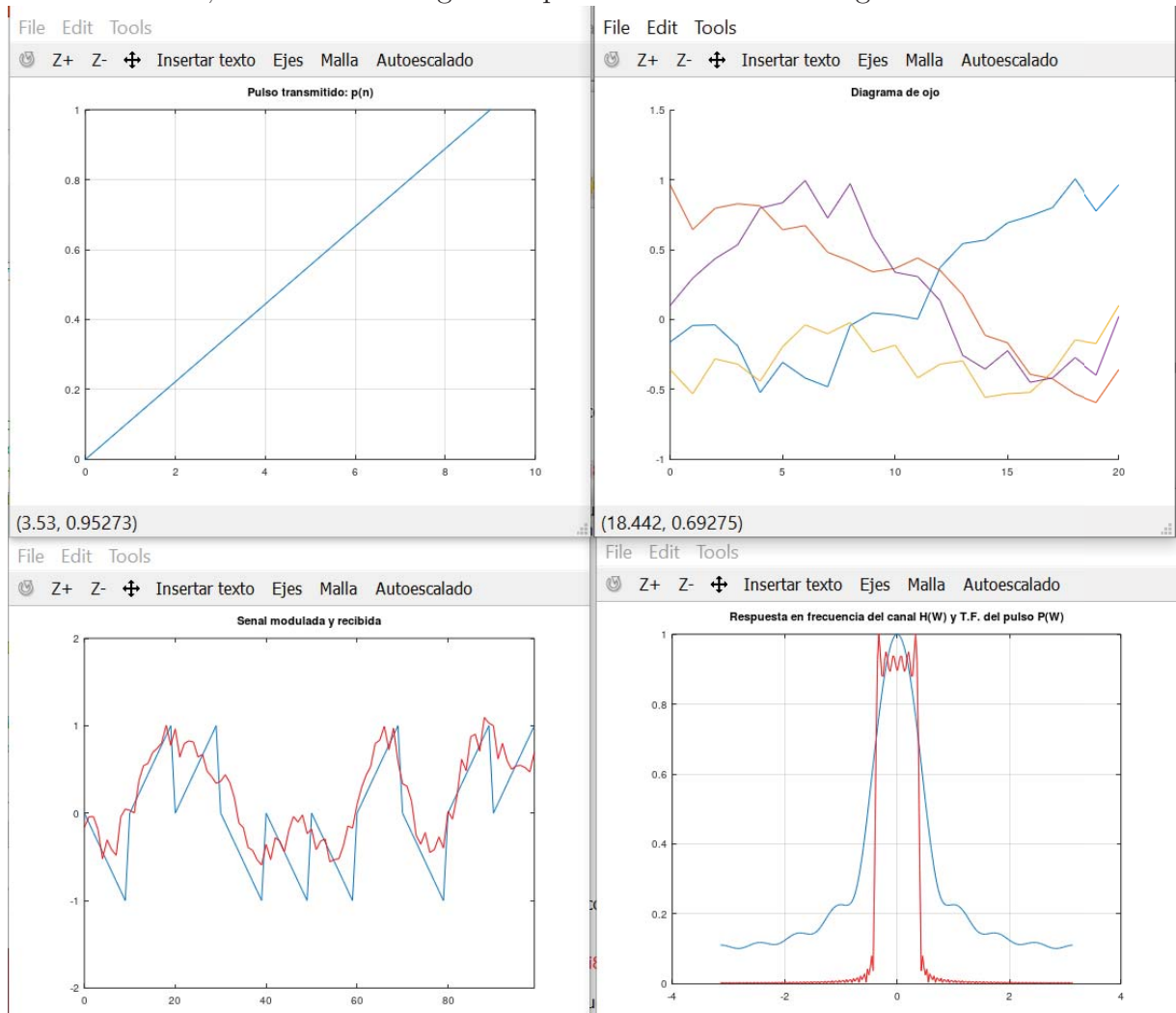
## Simulación 5

```
N=10; % Periodo de simbolo
L=10; % Numero de bits a transmitir
tipopulso=4; %4: pulso triangular
EbNo=10; % EbNo en dB
W=pi/8; % Ancho de banda del canal
```

En esta simulación, el pulso debe estar definido como sigue:

```
n=0:N-1;
pulso=n/(N-1);
```

A continuación, se muestran las gráficas que debe obtener el código.



Se observa que el cambio del pulso, modifica la señal transmitida. Observamos también que la forma de la transformada de Fourier del pulso es muy diferente a la de un pulso rectangular.

La amplitud de la señal modulada es 1.