

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.

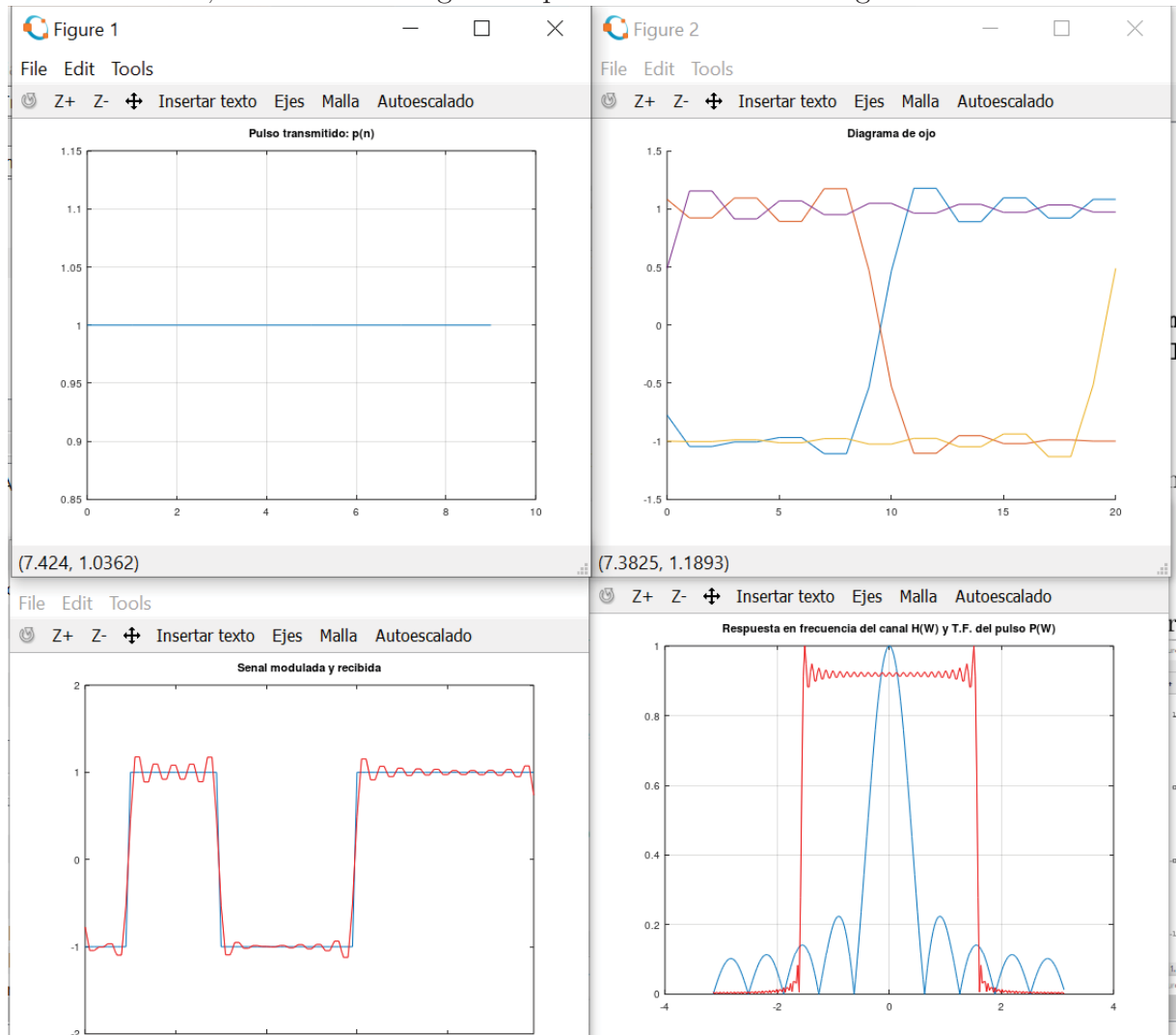
Simulación 1

```
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 $Ep = 10$

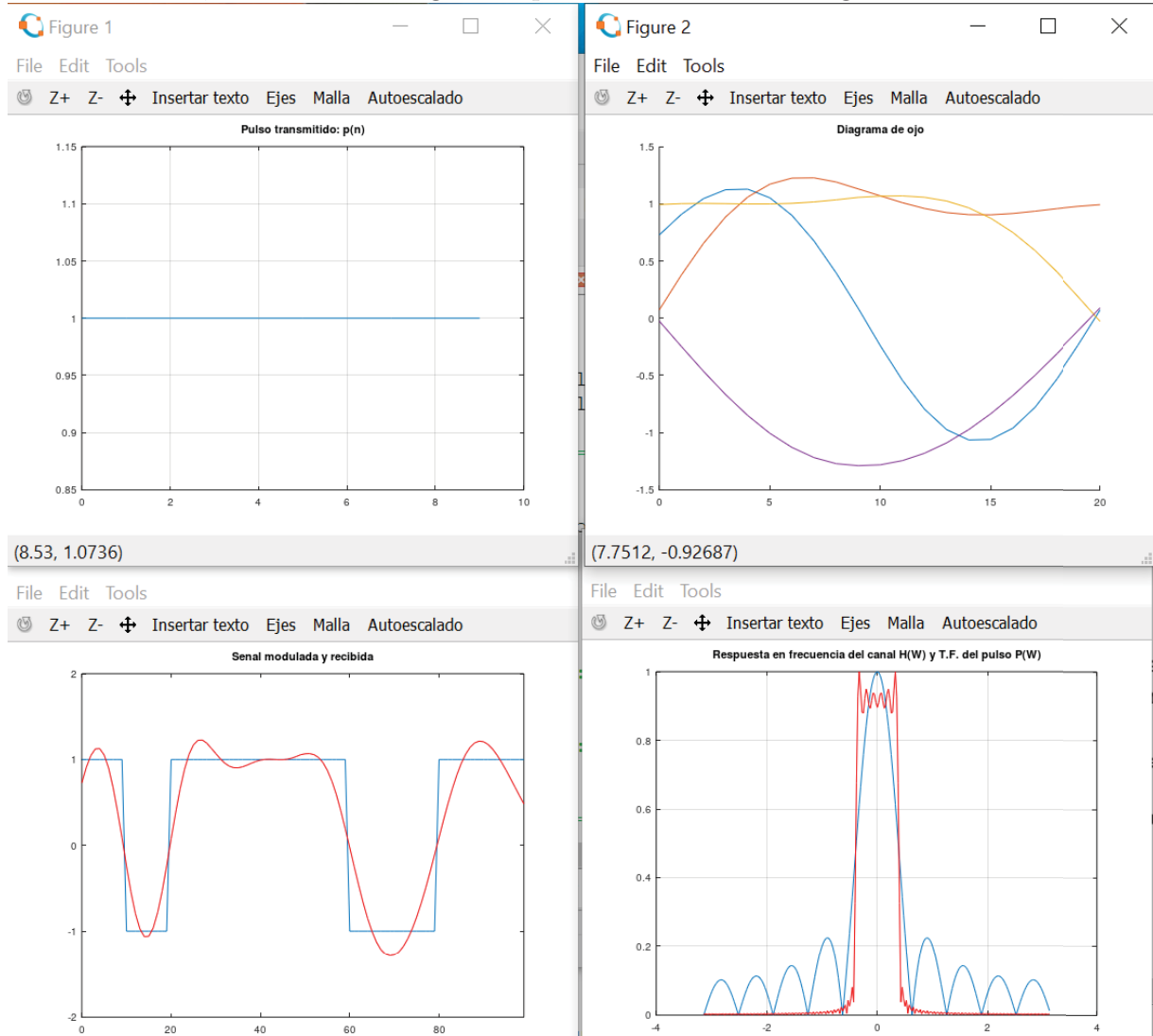
Simulación 2

```

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.

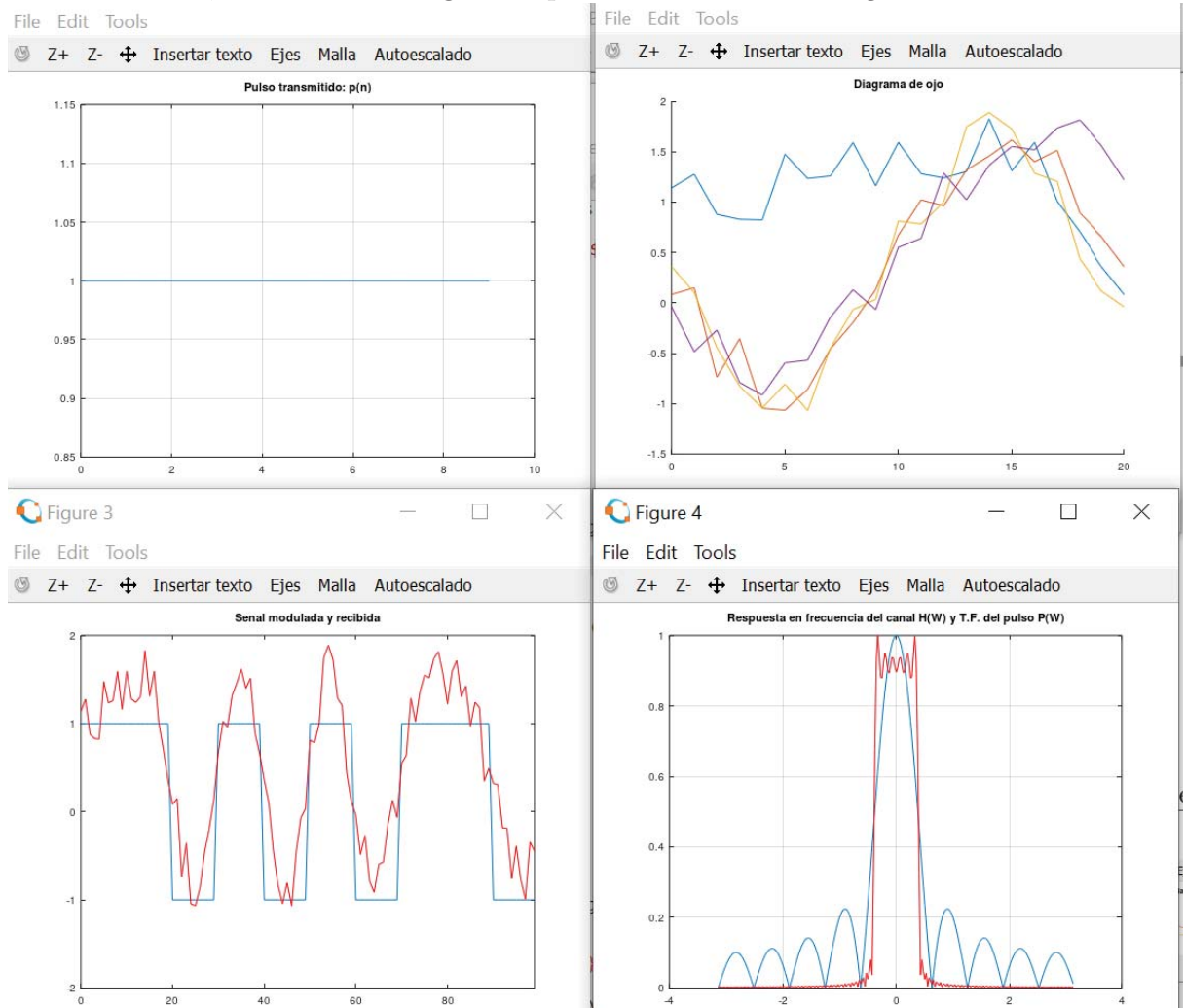


Con respecto a la simulación 1, observamos que el canal tiene un ancho de banda menor, por lo que introduce más distorsión.

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.

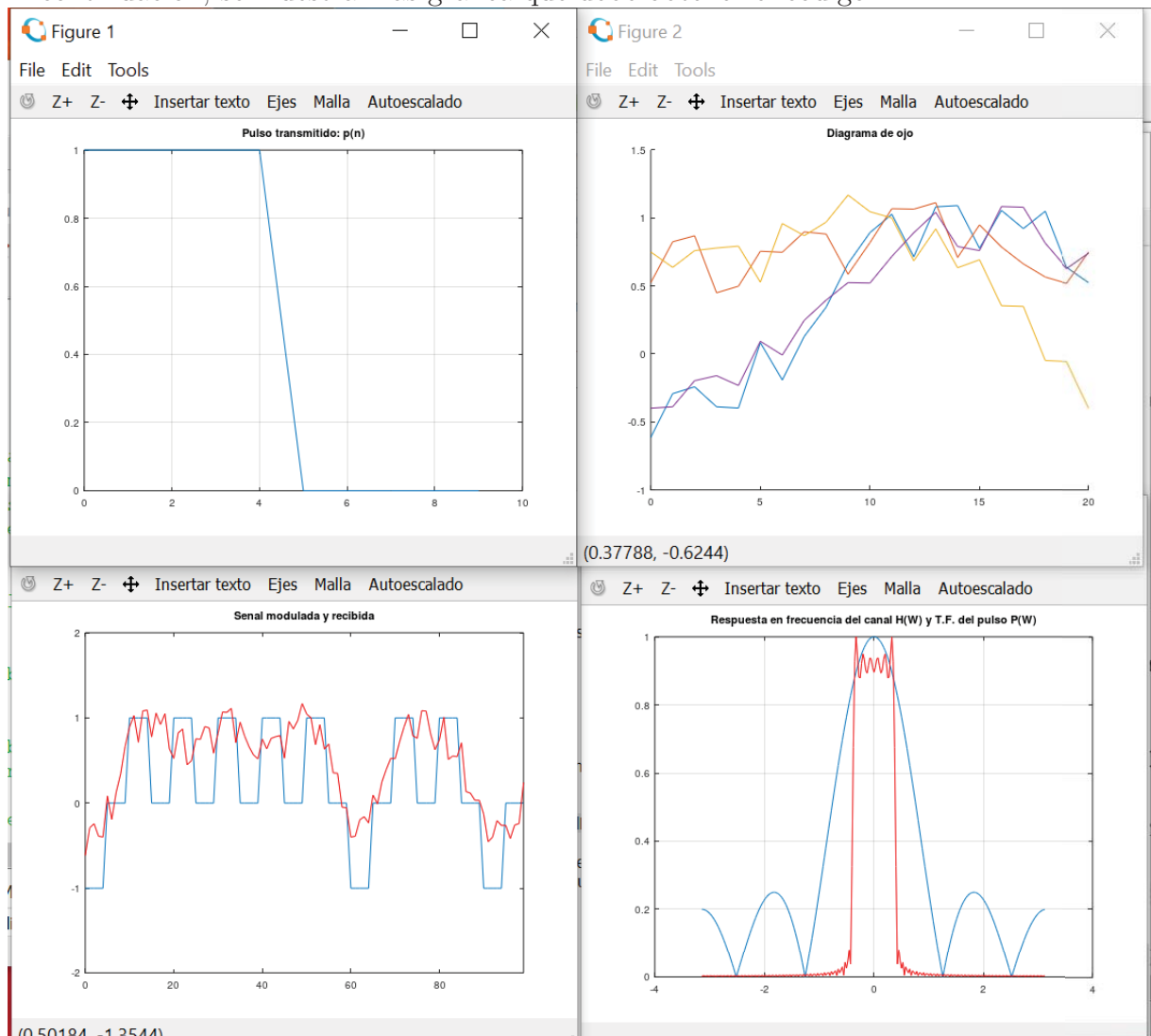
Simulación 4

```
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 $E_p = 5$.

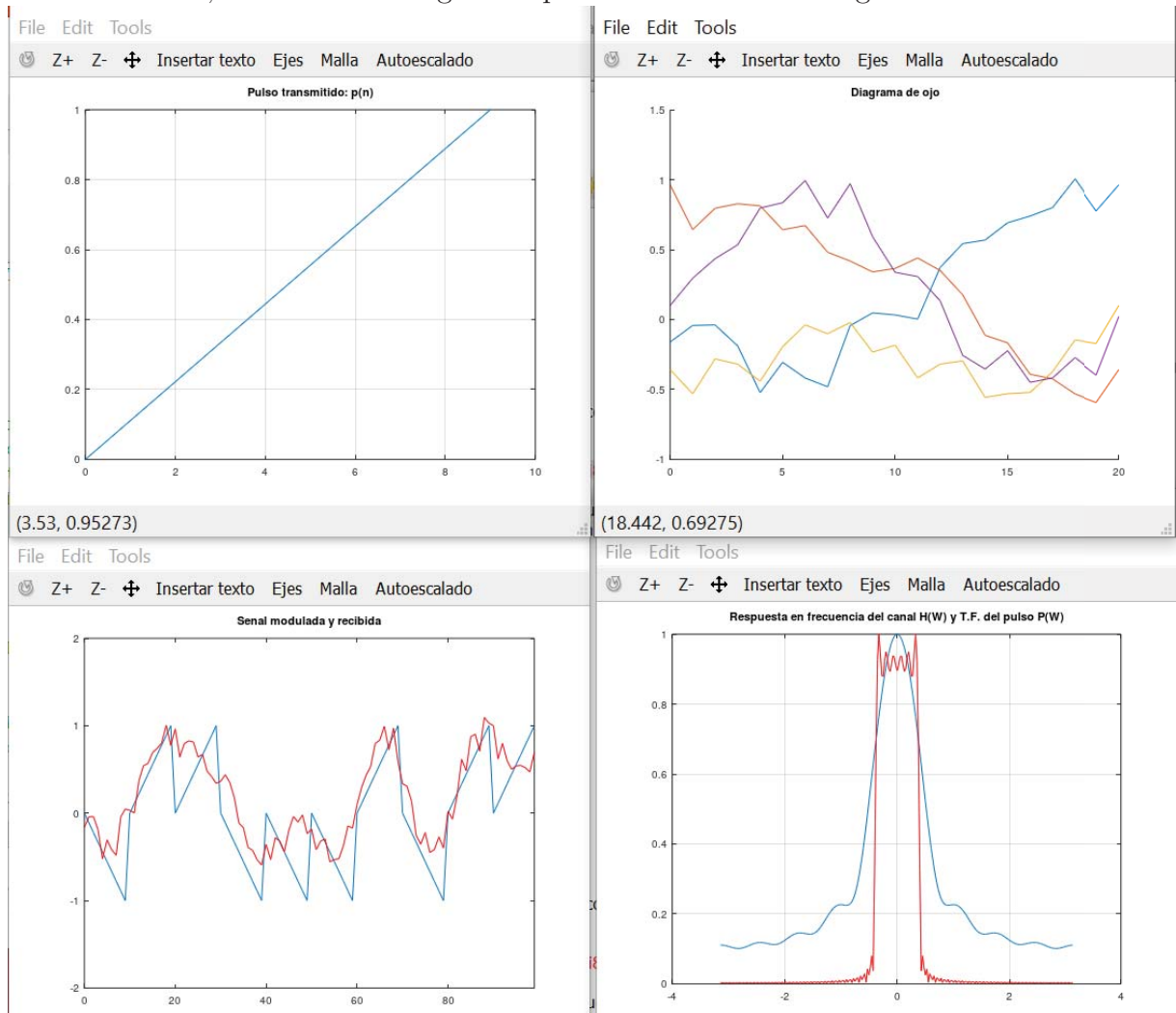
Simulación 5

```
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.