

Laboratorio 2: Interferencia Intersímbolo (ISI)

I. INTRODUCCIÓN

El presente informe de laboratorio de la asignatura Comunicación Digitales se desarrolla una señal que tiende a tener una causalidad en el tiempo sobre otras señales, dicho de otra manera los extremos se solapan lo que hace que haya una interferencia con las señales futuras, a esto se le llama interferencia intersímbolo(ISI). El laboratorio tiene como objetivo el análisis, desarrollo y simulación de una señal que tiende a tener una interferencia causal, pero también se verán los beneficios de esta, la señal con distintos valores de roll-off y muestreos para lo cual se abarca tanto el entendimiento matemático tras la lógica como en el técnico del software. A su vez también se tienen valores de entrada que se consideraran como un archivo a transmitir(bits) es necesario contar con un método que asegure la integridad de la información que fluirá por el canal.

La representación de los datos binarios a modo de pulsos puede tomar infinitas formas, sin embargo, no todas resultan útiles y algunas podrían terminar por corromper la señal enviada, un tren de pulsos cuadrados es una opción tentativa para utilizar en la transmisión, sin embargo, la experiencia revela que este procedimiento no es fiable pues el espectro de esta señal muestra un ancho de banda infinito. Por otro lado, si no se logra filtrar como corresponde un pulso o si la figura de este es demasiado incómoda de trabajar ocurrirá un solapamiento entre cada pulso muestreado en el receptor, esto último puede llegar a hacer la señal recibida irreconocible. El fenómeno anterior se conoce como interferencia entre símbolos y en este informe se estudiará una solución teórica a ella derivada de la transmisión de información en forma de pulsos especiales, se mostrará también cómo se generan estos pulsos, el modelo matemático que los rige y como llevarlos desde el modelado a la práctica, se finalizará con una evaluación del pulso empleado a través de un diagrama de ojo.

II. METODOLOGÍA

Para la simulación de este laboratorio se utilizó **Matlab** para representar todas las señales utilizadas en este informe así como también, la manipulación, cálculo y gráficos que se mostrarán más adelante. El proceso de análisis surge de los resultados entregados por esta herramienta.

A. Pulso de Nyquist

Un pulso de Nyquist es un modelo de pulso teórico e inviable en la realidad cuya finalidad es la de restringir el ancho de banda en el receptor tras recibir la información transmitida, la inviabilidad de este recurso se debe a la falta de causalidad en su origen, pues el modelo matemático sugiere la necesidad de que se esté generando desde una cantidad infinita

de tiempo previa a él. Se define el coseno alzado de Nysquit que es el pulso utilizado en este informe como: [2].

$$h_e(t) = 2f_0 \left(\frac{\sin(2\pi f_0 t)}{2\pi f_0 t} \right) \left(\frac{\cos(2\pi f_\Delta t)}{1 - \cos(2\pi f_\Delta t)} \right) \quad (1)$$

Se considera:

- f_0 : Ancho de banda para la cuál el pulso decae un número determinado de DB
- α : Roll-off o decaimiento del pulso, se realizan pruebas con un valor de 0.1, 0.25, 0.5, 0.75 y finalmente con 0.22.
- $f_\Delta : B - f_0$

El proceso se considera análogo para todos los demás factores de roll-off previamente descritos.

B. Espectro de pulsos

El espectro o respuesta en frecuencia del coseno alzado de Nysquit se formula a través de la realización de la transformada rápida de Fourier (FFT) como se muestra en la siguiente ecuación [1].

$$H_e(f) = \begin{cases} \prod(\frac{f}{2f_0}) + Y(f), & |f| < 2f_0 \\ 0, & f \text{ en cualquier otro caso.} \end{cases} \quad (2)$$

C. Armado de la señal transmitida

En primer lugar para tener la secuencia de la señal transmitida se necesita generar el tren de impulsos y los bits que lo forman, entonces para construir de los bits de forma aleatoria se utiliza la función de matlab **randi**, la cantidad de símbolos generados será a 10^5 , posterior a ello se hace uso de la función **upsample** para armar un tren de impulsos en conjunto con los símbolos, donde el intervalo entre un pulso y otro o dígame, el periodo entre 2 valores para los que se cumpla $\delta(t) \neq 0$ corresponderá al argumento de ésta función. El periodo entre pulsaciones se define en el código como $muestras = T/T_s$ en un principio, posteriormente se manipula para observar su influencia en el campo de estudio. Finalmente este tren de impulsos se procede a convolucionar con el coseno alzado de Nysquit para hacer la secuencia de cosenos alzados que interpretan cada bit de información.

D. Diagrama de ojo

Por último, ya se tiene la señal transmitida, se proceden a captar imágenes a través de una superposición de bits, en este caso se utilizó una superposición de 2 bits. Teniendo 10^5 símbolos, finalmente se tendrán $\frac{10^5}{2}$ imágenes superpuestas en el diagrama de ojo.

III. RESULTADOS

A. Actividad previa:

En esta sección se ocuparon las siguientes variables con valores específicos.

- $f_m = 1000Hz$
- $f_0 = 10$
- $T = \frac{1}{f_0}$
- $T_s = \frac{1}{f_m}$
- $t = (-f_0 : \frac{1}{f_m} : f_0)$
- $muestras = \frac{T}{T_s}$

La construcción del pulso de Nysquit se define como se muestra en la figura 1, en este ejemplo se puede ver una construcción con un roll-off de 0.

```
%Señal Sen
x = 2*f_0*pi*t;
seno = sin(x);
sac = seno./x;
idx = isnan(sac);
sac(idx) = 1;
%Creacion de coseno
r=0;
f_d = f_0*r;
x = 2*f_d*pi*t;
cosen = cos(x);
Den = (1-(4*f_d*t).^2);
cost = cosen./Den;
h = 2*f_0*sac.*cost;%Coseno alzado
```

Fig. 1. Creación de coseno alzado.

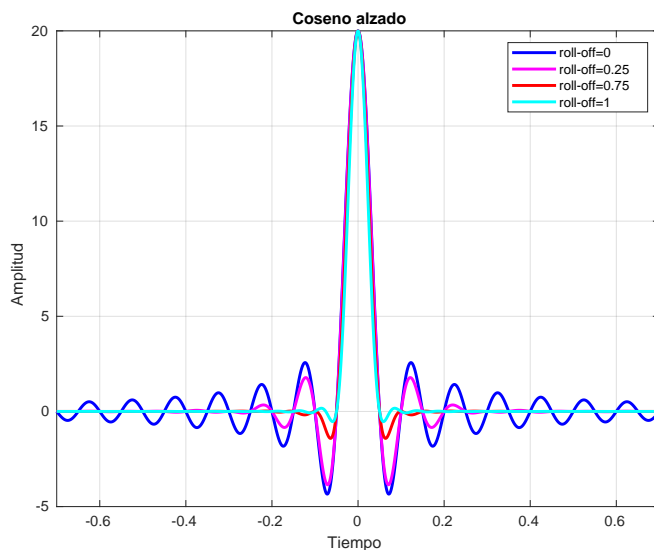


Fig. 2. Coseno Alzado.

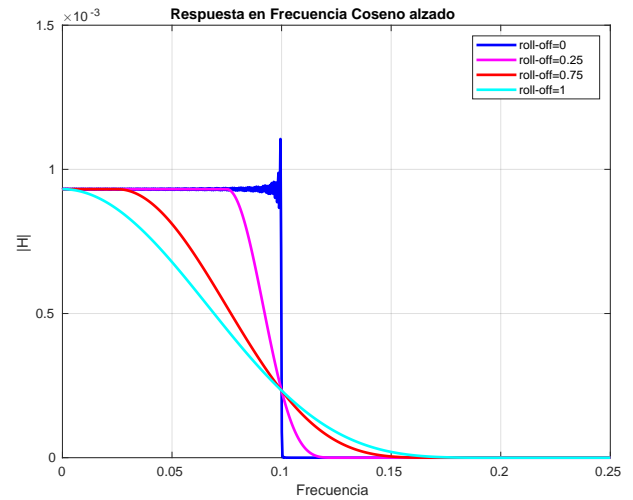


Fig. 3. Respuesta en frecuencia del coseno alzado.

Para la figura 2 y 3, se ocuparon distintos niveles de roll-off, los cuales están especificados con sus respectivos colores en la imagen.

B. Armado del diagrama de ojo:

En primer lugar se debe armar el coseno alzado de Nysquit el cual será utilizado en conjunto a una secuencia de impulsos, la construcción de esta señal tiene un roll-off de 0.22 como se muestra en la figura 4, y se ve como se muestra en 5

```
%Creacion de coseno alzado para esta parte con r=0.22
fx=f_0/2;%6db de f_0
x = 2*fx*pi*t;
seno = sin(x);
sac = seno./x;
idx = isnan(sac);
sac(idx) = 1;
%Cos
r = 0.22;
f_d = fx*r;
x = 2*f_d*pi*t;
cosen = cos(x);
Den = (1-(4*f_d*t).^2);
cost = cosen./Den;
h4 = 2*fx*sac.*cost;%Coseno alzado r=0.22
```

Fig. 4. Construcción de Coseno alzado.

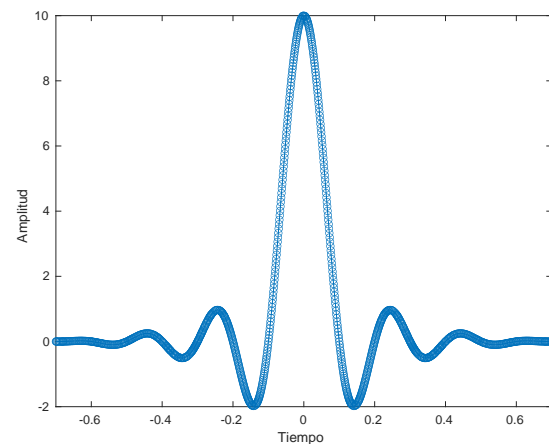


Fig. 5. Coseno alzado con roll-off=0.22.

La generación de la secuencia de bits aleatorios se hace como se muestra en la figura 6.

```
sym=10^5;%simbolos
%Creacion de numeros aleatorios
aleatbinaria = randi([0,1], [1,sym]);
%Pasar los valores de 0 a -1
for i=1:length(aleatbinaria)
    if aleatbinaria(i) == 0
        aleatbinaria(i) = -1;
    end
end
```

Fig. 6. Generación de bits aleatorios.

Después se le aplico un upsample con el corrimiento de un periodo de muestra, como se muestra en la figura 7, quedando finalmente como 8.

```
%Impulsos
Impulsos=upsample(aleatbinaria,muestras);
```

Fig. 7. Upsample.

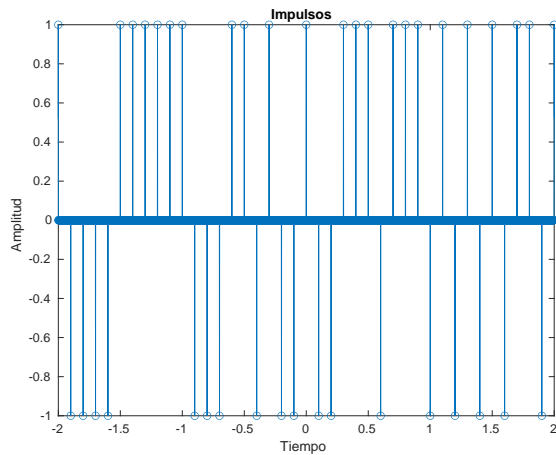


Fig. 8. Bits como impulsos.

Por último, haciendo una convolución de los impulsos en el tiempo con el coseno alzado de roll-off=0.22 figura 9.

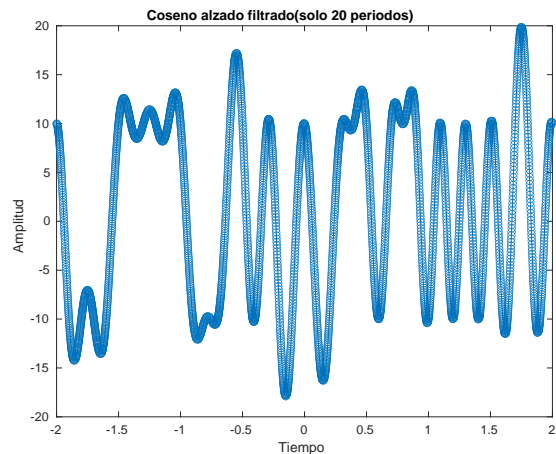


Fig. 9. Secuencia de cosenos alzado por impulsos.

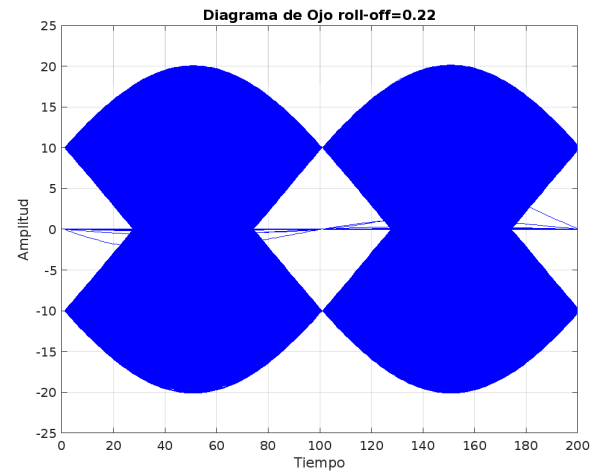


Fig. 10. Diagrama de ojo.

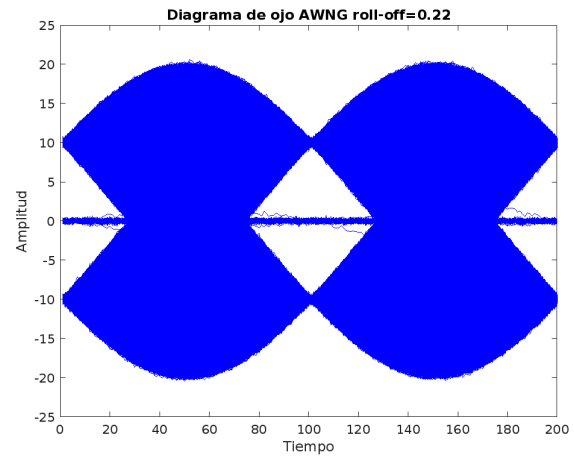


Fig. 11. Diagrama de ojo AWGN.

C. ¿Que pasa si se disminuye la frecuencia?

En este apartado se verán los resultados de la disminución de la frecuencia de muestreo y la frecuencia de aparición de cada impulso. Cabe destacar que en esta sección se ocuparon como referencia 10^3 símbolos.

1) *Disminución de frecuencia de muestreo*:: Para ello se ocuparon los datos de la figura 12.

```
%Datos a utilizar
f_0 = 10; %Frecuencia Señal
fm = 50; %Frecuencia de muestreo
t=(-f_0/1:1/fm:f_0);
T=1/f_0;
Ts=1/fm;
%Muestras
muestras=T/Ts;
```

Fig. 12. Datos frecuencia muestreo disminuida.

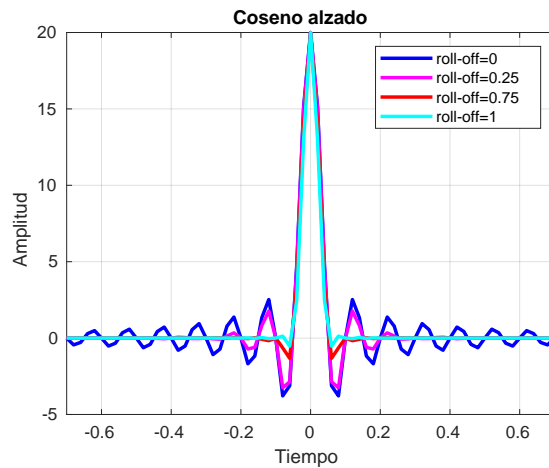


Fig. 13. Coseno alzado con baja frecuencia de muestreo.

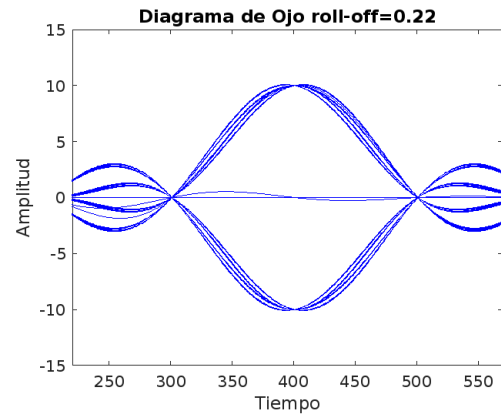


Fig. 16. 400 muestras entre pulsos.

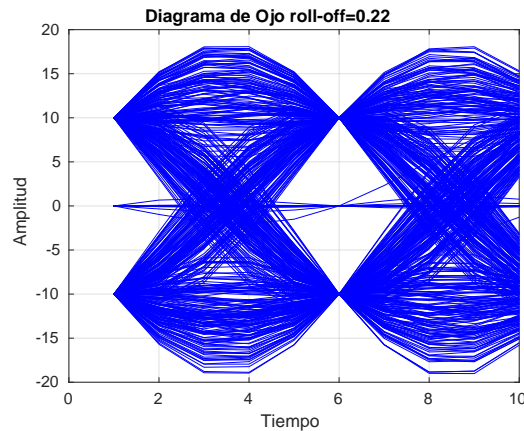


Fig. 14. Diagrama de ojo con baja frecuencia de muestreo.

2) *Disminución del periodo entre pulsos*:: Al hacer una disminución de los periodos entre los pulsos se observan las diferencias en :15, 16 y 17.

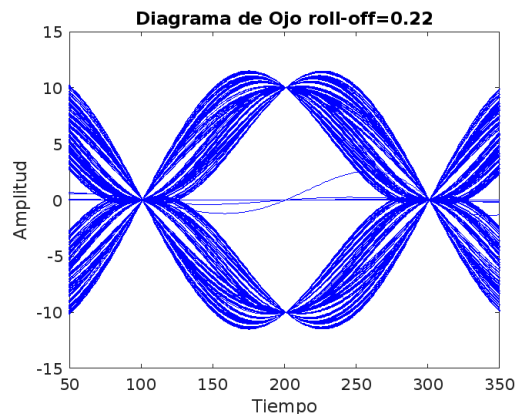


Fig. 15. 200 muestras entre pulsos

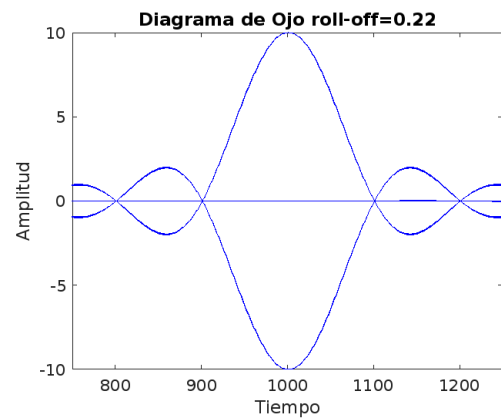


Fig. 17. 1000 muestras entre pulsos.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la respuesta al impulso del coseno alzado de Nysquit para diferentes factores de roll-off así como también para su espectro. Se observa que la amplitud conforme avanza el tiempo es más baja para factores de roll-off más grandes, sin embargo, la respuesta en frecuencia aumenta también su ancho de banda conforme el factor de roll-off aumenta.

La distorsión percibida por el diagrama de ojos, sin la inclusión de ruido gaussiano, se debe a la superposición existente entre un pulso transmitido anteriormente y uno nuevo que recién se empieza a transmitir (ISI), esto producto de la convolución que define el periodo de transmisión entre un pulso y otro, ya que el periodo en el que se genera cada pulso en la señal no está perfectamente sincronizado con la duración real del coseno de Nysquit. Este error de sincronización empieza a cerrar el ojo cada vez más y conforme se reduzca el tiempo entre cada pulsación aumentará la interferencia entre símbolos.

¿Qué pasa si se disminuye la frecuencia de muestreo?

Tras bajar la frecuencia de muestreo se evidencia aliasing (Figura 13), esto se traduce en una mala interpretación de los datos pues no se puede reconstruir la señal a la perfección. Como se puede observar en la Figura 14 este efecto de aliasing afecta al diagrama de ojo y hace que tenga un efecto menos

suave en sus curvas, pero tampoco se diferencia mucho con respecto al pulso teórico.

Tras disminuir la cantidad de muestras entre un pulso y otro en el tren de impulsos, se logra evidenciar el cierre cada vez más notorio del diagrama de ojos. Esto ocurre debido a la operación de convolución, para disminuir la interferencia entre símbolos en un máximo se deben asignar tantas muestras entre un impulso y otro como la cantidad de muestras con las que se definió el pulso original, para efectos de este informe se representó el pulso de Nysquit con 1000 muestras. De no lograrse esta sincronización entre la duración real de la señal y el período del tren de deltas de Dirac se empezará a generar una superposición entre pulsos como se expresó anteriormente.

En general, ¿Qué sucede si se incrementa el valor de el roll-off?

Si se incrementa el factor de roll-off el pulso se irá atenuando cada vez más conforme aumenta el tiempo, esto es especialmente favorable si es que se pretende evitar la interferencia entre símbolos, además da una mayor libertad al momento de fijar el período en el cual se enviarán los pulsos, ya que tras atenuarse tan rápido la superposición no será tan invasiva en el tiempo. Sin embargo, el costo de aumentar el factor del roll-off se puede observar en el análisis espectral, mayores factores implican un aumento en el ancho de banda de la señal transmitida.

V. CONCLUSIONES

Se evidenció la importancia de la forma de pulso con la que se debe transmitir la información, así como también se demuestran las ventajas que conlleva en el espectro de la señal la correcta definición del modelo de pulso a transmitir. Se visualiza como afecta la variación del parámetro de roll-off y se entiende que la correcta definición de éste dependerá parcialmente del contexto en cuestión, pues la decisión de generar un pulso con un factor cercano a 0 manifiesta una ideal de ancho de banda, pero dificulta la transmisión en el tiempo, pues el decaimiento de la señal es mucho menos pronunciado y esto facilita la interferencia entre símbolos. La utilidad de visualizar una señal mediante un diagrama de ojo, con la prueba directa y experimental logra evidenciar de que una mala gestión del período de generación de pulsos afecta el rendimiento general de la señal y aumenta también la interferencia entre símbolos.

ANEXOS

REFERENCES

- [1] Leon W. Couch. *Sistemas de comunicaciones digitales y analógicos*. Pearson Education, 2007. ISBN: 978-970-26-1216-2.
- [2] Rodrigo Munoz Lara. "Laboratorio 2: Interferencia intersímbolo". In: (2022), p. 3.