

**LABORATORIO 3:  
PULSOS DE NYQUIST**

**JUAN PABLO ROA CARVAJAL  
DANY RUBIANO JIMÉNEZ**

Profesores: Carlos González Cortés

Ayudantes: Pablo Reyes Díaz

Maximiliano Pérez Rodríguez



# TABLA DE CONTENIDOS

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>v</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
1.1    MOTIVACIÓN Y ANTECEDENTES . . . . .	7
1.2    OBJETIVOS . . . . .	7
1.3    ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO . . . . .	7
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
2.1    INTERFERENCIA INTERSIMBÓLICA (ISI) . . . . .	9
2.2    DIAGRAMA DE OJO . . . . .	9
2.3    PRIMER CRITERIO DE NYQUIST . . . . .	9
<b>CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA .....</b>	<b>11</b>
3.1    PULSOS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO . . . . .	11
3.2    PULSOS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA . . . . .	11
3.3    COSENO ALZADO PARA DIFERENTES VALORES DE $\alpha$ . . . . .	12
3.4    SEÑAL RESULTANTE AL ENVIÓ DE 10 BITS . . . . .	14
3.5    DIAGRAMAS DE OJO SIN Y CON RUIDO . . . . .	15
<b>CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>17</b>
4.1    PULSOS EN EL TIEMPO Y LA FRECUENCIA . . . . .	17
4.2    EFECTO DE VARIAR $\alpha$ . . . . .	17
4.3    ¿EXISTE ISI AL TRANSMITIR 10 BITS? . . . . .	18
4.4    ANÁLISIS DE LOS PULSOS EN BASE A LOS DIAGRAMAS DE OJO . . . . .	18
4.5    ANÁLISIS DE LOS PULSOS A TRAVÉS DE UN CANAL AWGN . . . . .	18
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO 6. ANEXO 1.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO 7. ANEXO 2.....</b>	<b>27</b>

<b>CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>29</b>
--------------------------------------	-----------

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1: Gráfico perteneciente al pulso Sinc y coseno alzado (RC) en el dominio del tiempo . .	11
Figura 3-2: Gráfico perteneciente al pulso Sinc y coseno alzado (RC) en el dominio de su frecuencia . . . . .	12
Figura 3-3: Gráfico perteneciente al pulso coseno alzado (RC) en el tiempo para distintos valores de $\alpha$ . . . . .	13
Figura 3-4: Gráfico perteneciente al pulso coseno alzado (RC) en su frecuencia para distintos valores de $\alpha$ . . . . .	13
Figura 3-5: Ejemplo de tren de impulso utilizado . . . . .	14
Figura 3-6: Resultado de la convolución entre el tren de impulsos y los pulsos . . . . .	15
Figura 3-7: Diagrama de ojo sin ruido . . . . .	16
Figura 3-8: Diagrama de ojo con ruido presente . . . . .	16



# **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 MOTIVACIÓN Y ANTECEDENTES**

En el proceso de transmisión de una señal digital, se necesita idealmente un canal de ancho de banda infinito. Sin embargo, en la realidad esto no es posible, el canal practico tiene ancho de banda finito, por lo tanto en la transmisión los pulsos se entorpecen entre si, dificultando al receptor tomar la decisión sobre los bits recibidos. Lo anterior, se denomina interferencia intersimbólica (ISI), y aunque representa un punto crítico al momento de recibir la señal, es posible disminuir los errores de decisión a través de ciertos métodos, tales como los pulsos de Nyquist.

## **1.2 OBJETIVOS**

En esta experiencia se tiene como objetivo evaluar el rendimiento de dos pulsos que cumplen con el primer criterio de Nyquist (lo cual debe ser comprobado), de modo que se pueda inferir cual pulso logra una mejor transmisión por un canal de comunicación digital. Para ello se ha solicitado realizar diferentes pruebas a los pulsos Sinc y coseno alzado (abreviado Rc del ingles raised cosine).

## **1.3 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO**

El presente documento distribuye su contenido de la siguiente forma, en primer lugar se encuentra un marco teórico , posteriormente se da lugar a un capítulo dedicado al desarrollo de la experiencia en donde se describe el uso de las herramientas pedidas, luego se explyea el análisis de los resultados obtenidos, y en último lugar se dan las conclusiones respectivas al desarrollo de la experiencia.





## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 INTERFERENCIA INTERSIMBÓLICA (ISI)

En un sistema de transmisión digital, la distorsión de la señal recibida se manifiesta mediante ensanchamientos temporales, y el consecuente solapamiento, de pulsos individuales hasta el punto de que el receptor puede no distinguir correctamente entre cambios de estado, por ejemplo entre elementos individuales de la señal.

A partir de un cierto umbral, la ISI puede comprometer la integridad de los datos recibidos. (Wikipedia, 2013).

### 2.2 DIAGRAMA DE OJO

El diagrama de ojo es un método utilizado para el análisis del comportamiento de los enlaces de transmisión. Permite analizar las formas de onda de los pulsos que se propagan en un enlace de comunicaciones, para lograr observar sus formas, desfases, niveles de ruido, potencias de las señales... y con ello apreciar la distorsión del canal (ISI), la severidad del ruido o interferencia y los errores de sincronismo en el receptor. (Wikipedia, s.f.-a).

### 2.3 PRIMER CRITERIO DE NYQUIST

En comunicaciones, el Criterio de Nyquist para ISI (Inter-symbol Interference por sus siglas en Inglés) describe las condiciones bajo las cuales, cuando satisfechas por un canal de comunicación (incluyendo las respuestas de los filtros de transmisión y recepción), resultan en una Interferencia entre símbolos nula. Este criterio provee un método para construir funciones de banda limitada que resistan los efectos de la interferencia entre símbolos. Cuando símbolos consecutivos son transmitidos por un canal mediante una modulación lineal (como la ASK, QAM, etc.), la Respuesta a impulso (o equivalentemente la respuesta en frecuencia) del canal causa que un símbolo transmitido se esparza en el dominio del tiempo. Esto causa interferencia entre símbolos porque los símbolos transmitidos anteriormente afectan los recibidos actualmente, reduciendo así la tolerancia al ruido. El teorema de Nyquist relaciona esta condición del dominio del tiempo a una condición equivalente en el dominio de la frecuencia.

Si se denomina la respuesta al impulso del canal como  $h(t)$ , entonces la condición para una respuesta libre de ISI puede ser expresada como:

$$h(nT_s) = \begin{cases} 1 & \text{si } n = 0 \\ 0 & \text{si } n \neq 0 \end{cases}$$

para todos los enteros  $n$ , donde  $T_s$  es el periodo del símbolo. (Wikipedia, s.f.-b).



## CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

En el presente capítulo se exponen (en base a gráficos) los resultados obtenidos durante el desarrollo de la respectiva experiencia.

### 3.1 PULSOS EN EL DOMINIO DEL TIEMPO

A continuación se presenta una imagen en donde se puede apreciar los pulsos Sinc y coseno alzado respectivamente.

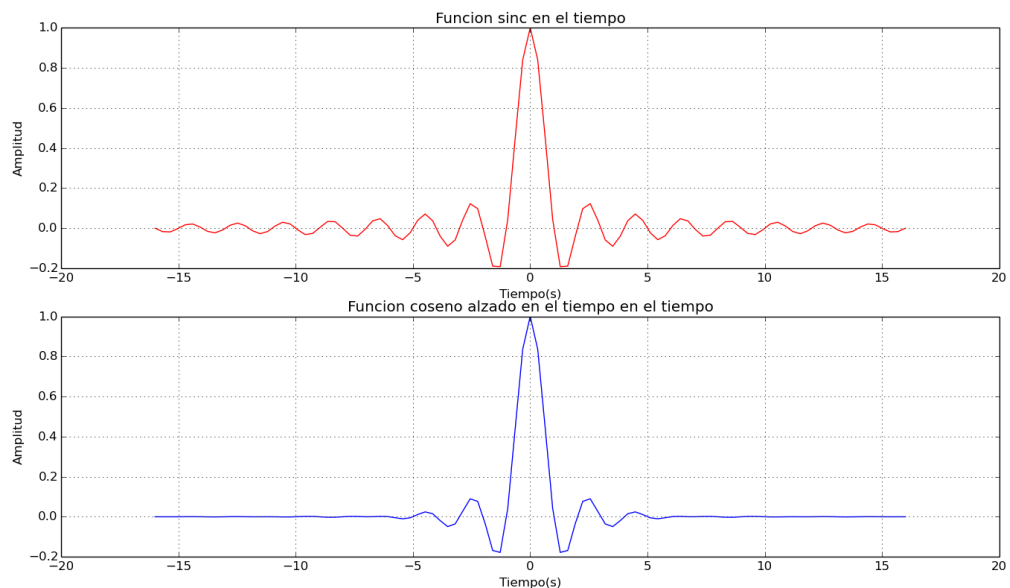


Figura 3-1: Gráfico perteneciente al pulso Sinc y coseno alzado (RC) en el dominio del tiempo

En el caso del coseno alzado se debe hacer notar que el valor  $\alpha$  utilizado fue 0.22, en donde este ultimo valor fue propuesto por defecto. Para obtener el resultado anterior se utilizo para representar el pulso Sinc la función de numpy "numpy.sinc". Este ultimo también fue utilizado para representar a función coseno alzado.

### 3.2 PULSOS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

En la siguiente imagen se puede observar los pulsos de interes en el dominio de su frecuencia.

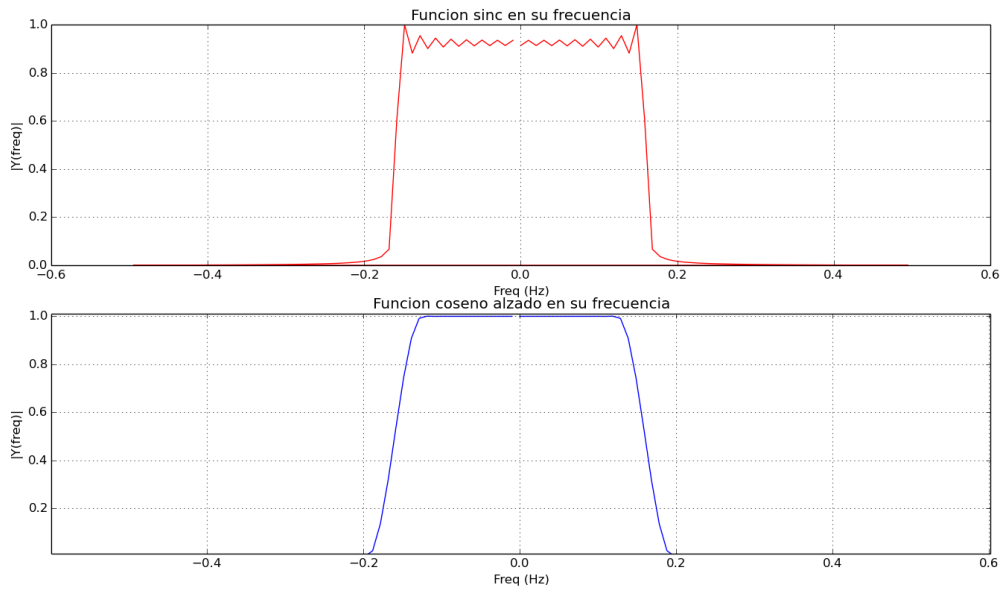


Figura 3-2: Gráfico perteneciente al pulso Sinc y coseno alzado (RC) en el dominio de su frecuencia

Para obtener el resultado anterior se aplicó una transformada de Fourier a cada pulso expuesto en la sección anterior. Se debe recordar que al aplicar la función transformada de Fourier a una señal en el dominio del tiempo se obtiene su representación en el dominio de su frecuencia.

### 3.3 COSENO ALZADO PARA DIFERENTES VALORES DE $\alpha$

Tal como se solicitó en la experiencia, se expone en la siguiente imagen el pulso coseno alzado para tres diferentes valores de  $\alpha$  tanto en el dominio del tiempo como para el dominio de su frecuencia.

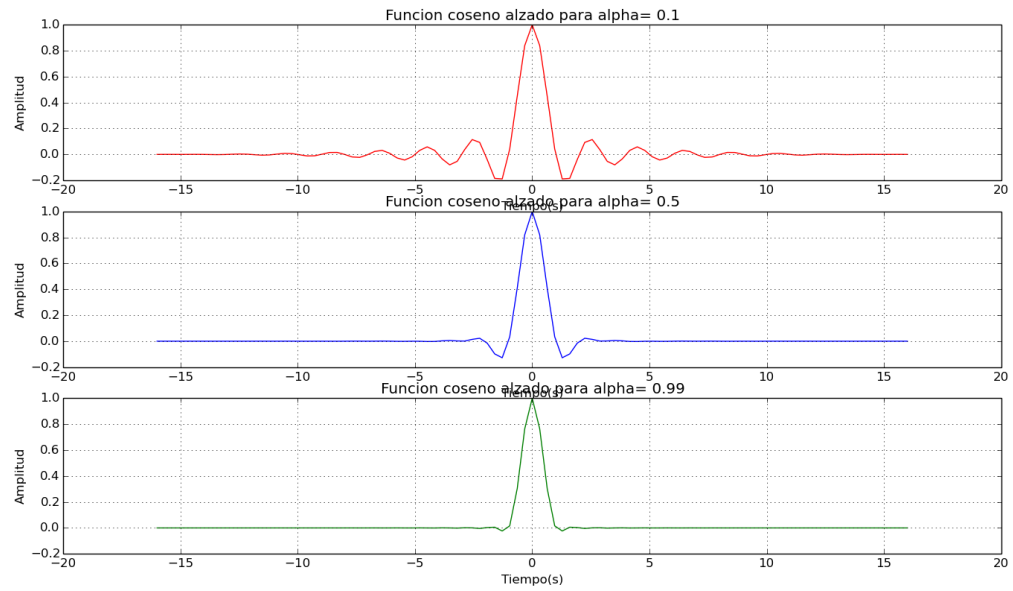


Figura 3-3: Gráfico perteneciente al pulso coseno alzado (RC) en el tiempo para distintos valores de  $\alpha$

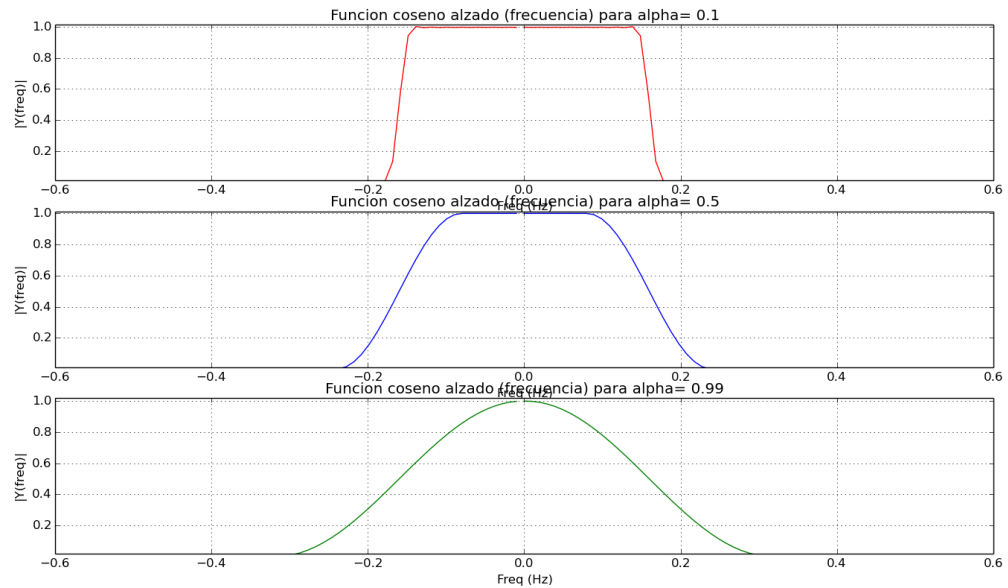


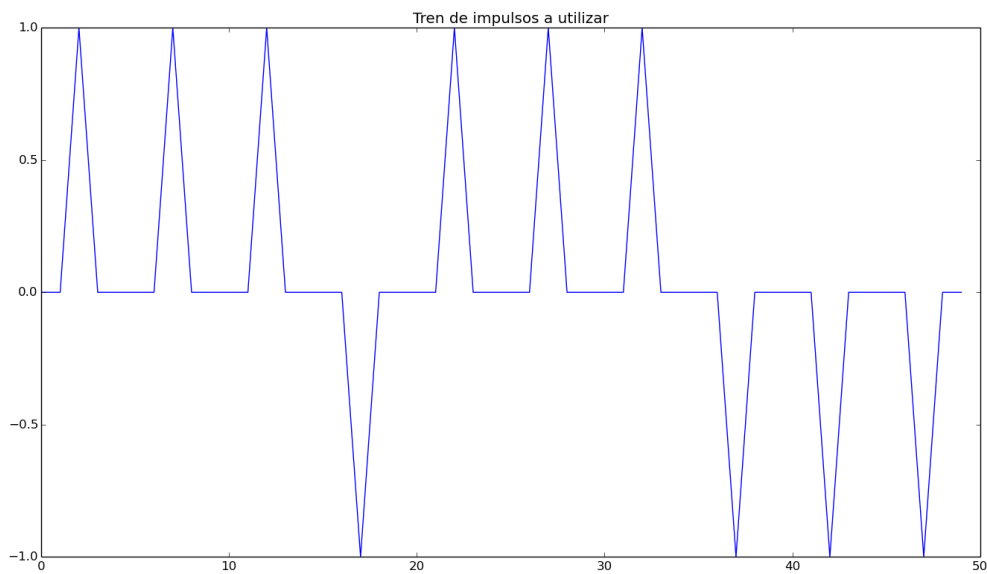
Figura 3-4: Gráfico perteneciente al pulso coseno alzado (RC) en su frecuencia para distintos valores de  $\alpha$

Se debe recordar que el valor de  $\alpha$  debe ser mayor que cero y menor que uno. En el caso de la imagen expuesta anteriormente se puede notar que se utilizaron los valores de  $\alpha$  0.1, 0.5 y 0.99 en el mismo orden

presentado.

### 3.4 SEÑAL RESULTANTE AL ENVIÓ DE 10 BITS

Para simular la transmisión de 10 bits aleatorios a los pulsos de interés (Sinc y coseno alzado) se procede a "crear un tren de impulsos", el cual en cada cierto periodo contiene un bit aleatorio que puede ser 1 o -1 (recordar que como se dijo anteriormente el valor de este bit es totalmente aleatorio). A continuación se expone un tren de impulso resultante de la aleatoriedad.



*Figura 3-5: Ejemplo de tren de impulso utilizado*

Luego de obtener el tren de impulsos aleatorio, para continuar con la simulación de la transmisión de los diez bits aleatorios se procede a realizar una convolución entre los pulsos y el tren respectivo. En la siguiente imagen se puede apreciar uno de los resultados obtenidos.

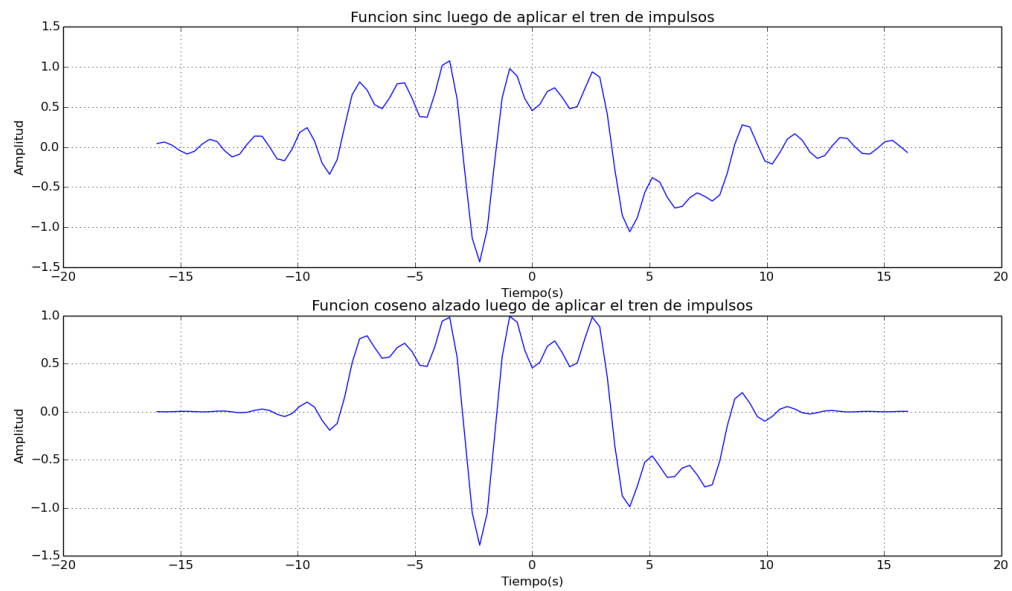
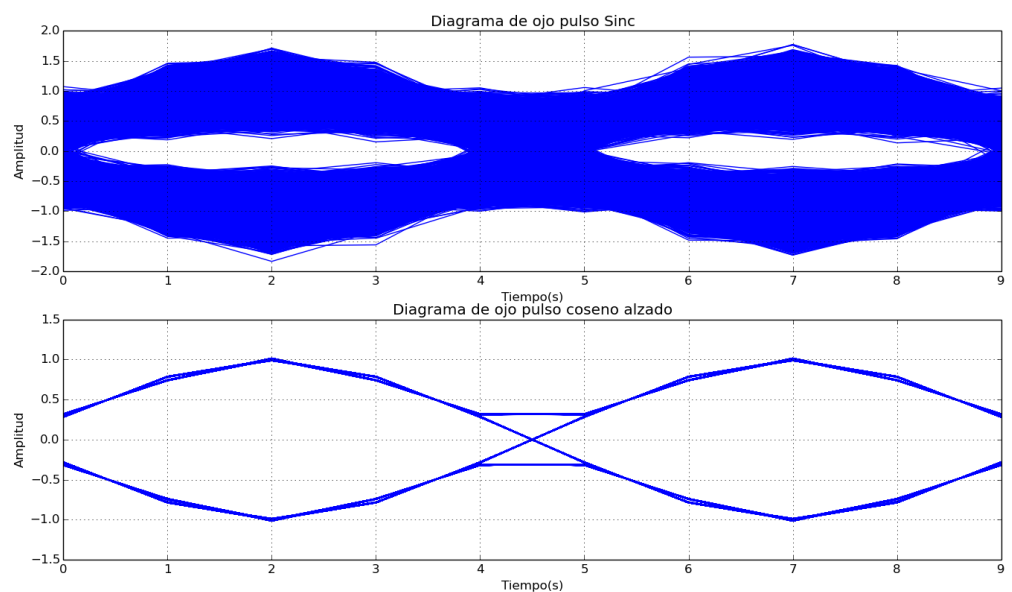
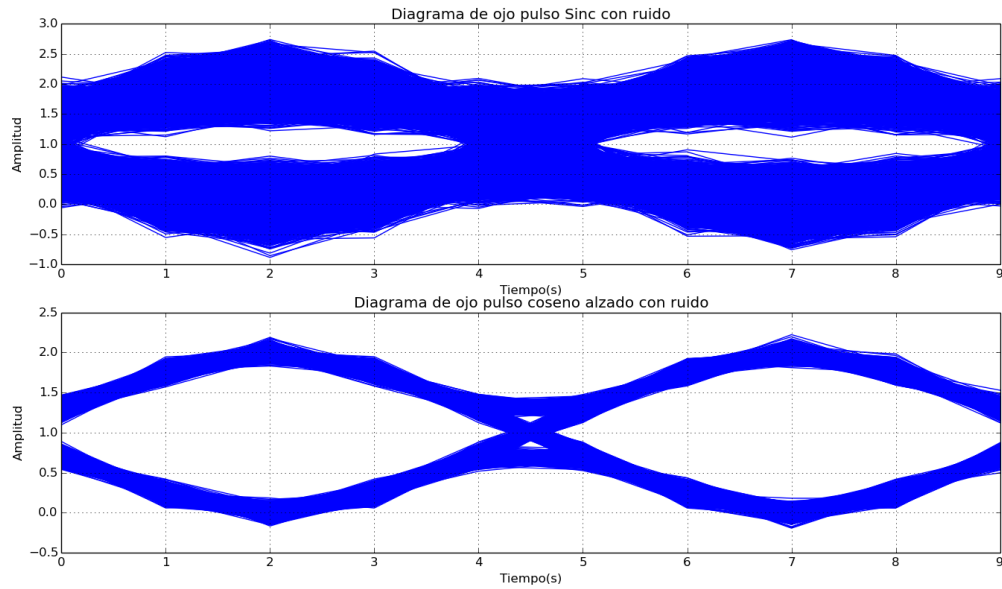


Figura 3-6: Resultado de la convolución entre el tren de impulsos y los pulsos

### 3.5 DIAGRAMAS DE OJO SIN Y CON RUIDO

A continuación se presentan dos diagramas de ojos en donde la segunda imagen a diferencia de la primera presenta ruido:



*Figura 3-7: Diagrama de ojo sin ruido**Figura 3-8: Diagrama de ojo con ruido presente*

Los diagramas presentados pertenecen a los pulsos Sinc y coseno alzado en donde este ultimo fue realizado con un valor de  $\alpha$  0.999. Esto último debido a que presentaba mejores resultados gráficamente.



## CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 PULSOS EN EL TIEMPO Y LA FRECUENCIA

En lo que respecta a los dos tipos de pulsos con los cuales se llevó a cabo esta experiencia, cabe recordar que:

El pulso Sinc se define de la siguiente manera:

$$\text{sinc}(lT) = \frac{\sin(\pi lT/T)}{\pi lT/T} = \frac{\sin(\pi l)}{\pi l} = 0$$

Por otra parte, el pulso coseno alzado se define de la siguiente manera:

$$s(t) = \text{sinc}(t/T) \frac{\cos(\alpha\pi t/T)}{1 - 4\alpha^2 t^2/T^2}$$

En el capítulo anterior se expusieron dos imágenes en donde se puede comparar los pulsos Sinc y coseno alzado en sus respectivos dominios de tiempo y frecuencia. En base a las imágenes (especialmente la comparación en el dominio del tiempo) obtenidas se puede dilucidar fácilmente que el pulso Sinc posee en las colas una especie de "ruido", al comparar esta característica en el pulso coseno alzado se puede notar que este último no posee la mencionada característica o es prácticamente nula. Es por esta característica de interés que se puede mencionar que el pulso coseno alzado decae más rápido que el pulso Sinc lo cual puede ser una propiedad de especial interés.

Entonces, en lo que refiere a los resultados obtenidos en la respectiva experiencia, en el instante cero la amplitud del lóbulo que se forma es de igual magnitud en ambos pulsos, pero se puede observar claramente que el pulso de coseno alzado decrece hasta hacerse nulo en un intervalo de tiempo mucho menor que el pulso Sinc, es decir, este último pulso ocupa un ancho de banda mayor que el pulso de coseno alzado, atenuándose más lentamente. A partir de esta observación, se puede decir que el pulso de coseno alzado cumple con el primer criterio de Nyquist, mientras que el Sinc no lo hace, esto debido a que al momento de transmitir una serie de este pulso a través de un canal, ocurriría inevitablemente interferencia entre los símbolos. Esta idea se explorará con más profundidad en secciones posteriores.

### 4.2 EFECTO DE VARIAR $\alpha$

Como se solicitó, se realizó una comparación del pulso coseno alzado para tres valores de  $\alpha$  (estos valores durante la ejecución del código serán entregados por el usuario), los cuales deben cumplir con ser mayores a cero y menores que 1. Para la realización del presente documento se utilizaron los valores 0.1, 0.5 y 0.99 de forma respectiva en que se presentan en las imágenes respectivas. La comparación del pulso coseno alzado puede ser más notorio en el dominio de la frecuencia. Se puede dilucidar que cuando el valor de  $\alpha$  es cercano a cero se observa un pulso con un especie de "techo" más plano y con un ancho de banda menor en comparación al pulso generado con un  $\alpha$  cercano a uno, en donde el denominado "techo" deja de

ser plano y el ancho de banda aumenta en lo que puede ser el doble del valor del ancho de banda para un  $\alpha$  cercano a cero.

### 4.3 ¿EXISTE ISI AL TRANSMITIR 10 BITS?

Al generar un tren de impulsos de 10 bits mediante la generación de números aleatorios y realizar la convolución para ambos pulsos, se puede observar con una cierta claridad lo expresado en secciones anteriores. Debido a que el pulso Sinc en sus colas tiene un regazo de la ondas de amplitud, se nota que cada pulso incide en el pulso siguiente ya que se suman los retazos, superponiéndose las señales, e incidiendo a que en la evaluación del primer criterio de Nyquist, no se pueda distinguir claramente a que bit corresponde la señal en los instantes de tiempo.

En el caso de la señal generada con pulsos de coseno alzado, se observa que hay menor superposición entre los pulsos, debido a la atenuación del pulso en sus colas es menor. Esto implica que al momento de realizar la suma de los pulsos se pueda observar menor superposición entre estos, permitiendo discriminar con mayor claridad a que bit corresponde la señal en el tiempo.

De esta forma, en un análisis preliminar, se podría decir que en la señal con pulsos de coseno alzado de acuerdo con el primer criterio de Nyquist, los impulsos consecutivos demuestran la propiedad de menor interferencia entre símbolos transmitidos en los instantes de muestreo, en comparación con los pulsos de Sinc.

### 4.4 ANÁLISIS DE LOS PULSOS EN BASE A LOS DIAGRAMAS DE OJO

A través de la herramienta del diagrama de ojo, se puede observar con mayor claridad si hay mayor o menor interferencia intersimbólica en las señales generadas con ambos símbolos. Los resultados que se observan a partir de las imágenes de los diagramas generados, muestran que para la señal generada con pulsos sinc el "ojo" tiende a estar más cerrado en su verticalidad, a comparación del diagrama generado con pulsos de coseno alzado, esto indica y reafirma las observaciones expuestas anteriormente, en las que existe mayor interferencia intersimbólica para la señal con pulsos Sinc.

### 4.5 ANÁLISIS DE LOS PULSOS A TRAVÉS DE UN CANAL AWGN

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Al emplear pulsos rectangulares en frecuencia, éstos en el tiempo se traducen en funciones Sinc, que tal como se observó durante la experiencia, esta función tiene una serie de lóbulos secundarios que en el momento de la generación de una señal con pulsos consecutivos de este tipo, radican en que el receptor de la señal no sólo detecten la parte de señal correspondiente al bit o símbolo que se intentan traducir, sino que también se estará detectando superpuesto a lo anterior una parte de bit correspondiente a algún bit o símbolo contiguo, produciendo así la tan mencionada interferencia intersimbólica. En la realidad, la suma entre esta interferencia y el ruido que se obtiene en la transmisión a través de los canales de comunicación, conllevará a que se pueda recibir un símbolo diferente al original, por lo tanto perjudicará a las acciones que se quieran llevar a cabo con la información obtenida en el receptor de la señal.

Nyquist a través de sus criterios busca eliminar los problemas mencionados anteriormente, siendo el primer criterio, aquel que busca reducir, o llevar a nula la interferencia entre los símbolos. Entonces, tal como se observa en el desarrollo de esta experiencia, el pulso de coseno alzado ofrece una cierta solución, ya que en la suma de los pulsos consecutivos hay menor superposición entre pulsos debido a la forma en que se comporta en el dominio del tiempo, en donde se observa que la función decrece hasta hacerse nulo más rápido que el Sinc, permitiendo tener menor interferencia entre los símbolos.

El análisis a partir de los diagramas de ojo generados a partir de los distintos casos pedidos, permiten ver que en presencia de ISI, cuando el pulso no satisface el criterio de Nyquist, el diagrama tiende a cerrarse verticalmente, tal como ocurrió con los pulsos Sinc. Esto podría llevar en la realidad a que no se pueda llevar a cabo una recuperación de la señal ante errores cometidos en la recuperación de la señal transmitida. Así mismo, se observa que en presencia de ruido, tal como se generó a través del canal AWGN, las diferentes líneas que contornean el ojo tienden a engrosarse, algo que de por sí era esperable, y por supuesto el ojo tiende a cerrarse. Entonces, a medida que la interferencia entre símbolos es mayor, en la realidad podría resultar en que sea menor el valor de la amplitud de ruido que se admitiría para poder identificar la señal transmitida. La conjunción de la interferencia con el ruido, conlleva entonces a que una señal pueda ser completamente distinta a la señal original en el momento de la identificación de cada uno de los símbolos presentes en esta.

Con respecto al canal AWGN, en la modificación del SNR, es claro que a medida que la razón entre la amplitud de la señal y el ruido es más cercana a uno, la señal tiende a perderse en su totalidad al sumarse el ruido. Por lo tanto en la práctica, hay que tener sumo cuidado con el ruido que puede afectar al canal de transmisión, tratando de mitigar mediante las herramientas que se tienen al alcance todo este problema.

Tal como se ha visto en clases el espectro es un recurso limitado, por lo tanto limitar el ancho de banda permitido para un pulso resulta de vital importancia. Después del análisis de los diferentes  $\alpha$  que se aplicaron a los pulsos de coseno alzado, se puede observar que mientras crece  $\alpha$ , mayor es el ancho de banda que ocupa la señal, aunque es mayor la contracción de los lóbulos de la función en el dominio del tiempo. Entonces, aunque a un  $\alpha$  mayor se necesita un ancho de banda mayor, lo que suscita en un gran problema en

la práctica, esto ofrece que en una sucesión consecutiva de pulsos de este tipo, exista una menor interferencia entre los símbolos, trayendo consigo una mayor facilidad para que el receptor pueda distinguir los símbolos que realmente se transmiten a través del canal.

## CAPÍTULO 6. ANEXO 1

A continuación se presenta una serie de imágenes que representan el código utilizado para el desarrollo de la respectiva experiencia.

```
1 import numpy as np
2 from numpy import sin, linspace, pi,fft
3 from scipy import fft, arange, ifft, signal
4 import matplotlib.pyplot as plt
5 from random import randint
6 from math import floor
7
8
9
10 ###valores por defecto
11 t1 = linspace(-16,16, 101)
12 sinc = np.sinc(t1)
13 alpha = 0.22##valor predeterminado
14 coseno_alzado = (np.sinc(t1) * np.cos(alpha*np.pi*t1))/(1-(4*alpha*alpha*t1*t1))
15
16
17 def tiempo_fecuencia():##funcion que expone los pulsos en el dominio de su tiempo y frecuencia
18
19
20     ##pulsos en el tiempo
21     plt.subplot(2,1,1)
22     plt.title('Funcion sinc en el tiempo')
23     plt.xlabel('Tiempo(s)')
24     plt.ylabel('Amplitud')
25     plt.grid(True)
26     plt.plot(t1,sinc, 'r')
27
28     plt.subplot(2,1,2)
29     plt.title('Funcion coseno alzado en el tiempo en el tiempo')
30     plt.xlabel('Tiempo(s)')
31     plt.ylabel('Amplitud')
32     plt.grid(True)
33     plt.plot(t1,coseno_alzado, 'b')
34     plt.show()
35
36
37     ##pulsos en la frecuencia
38     transformada_sinc = abs(fft(sinc))/len(sinc)
39     transformada_coseno_alzado = abs(fft(coseno_alzado))/len(coseno_alzado)
40
41
42     k = np.fft.fftfreq(len(sinc),1)
43     k2 = np.fft.fftfreq(len(coseno_alzado),1)
44
45     plt.subplot(2,1,1)
46     plt.title('Funcion sinc en su frecuencia')
47     plt.xlabel('Freq (Hz)')
48     plt.ylabel('|Y(freq)|')
49     plt.grid(True)
50     plt.plot(k,transformada_sinc/max(transformada_sinc), 'r')
51
52     plt.subplot(2,1,2)
53     plt.title('Funcion coseno alzado en su frecuencia')
54     plt.xlabel('Freq (Hz)')
55     plt.ylabel('|Y(freq)|')
56     plt.plot(k,transformada_coseno_alzado/max(transformada_coseno_alzado),'b')
57     plt.grid(True)
58     plt.show()
```

```

60 def comparar_rc(a,b,c):##funcion utilizada para exponer el pulso rc para 3 valores alpha entregados por el usuario
61     alpha1=a
62     alpha2=b
63     alpha3=c
64     rc1 = (np.sinc(t1) * np.cos(alpha1*np.pi*t1))/(1-(4*alpha1*alpha1*t1*t1))
65     rc2 = (np.sinc(t1) * np.cos(alpha2*np.pi*t1))/(1-(4*alpha2*alpha2*t1*t1))
66     rc3 = (np.sinc(t1) * np.cos(alpha3*np.pi*t1))/(1-(4*alpha3*alpha3*t1*t1))
67
68     plt.subplot(3,1,1)
69     plt.title('Funcion coseno alzado para alpha= %s' %(alpha1))
70     plt.xlabel('Tiempo(s)')
71     plt.ylabel('Amplitud')
72     plt.grid(True)
73     plt.plot(t1,rc1, 'r')
74
75     plt.subplot(3,1,2)
76     plt.title('Funcion coseno alzado para alpha= %s' %(alpha2))
77     plt.xlabel('Tiempo(s)')
78     plt.ylabel('Amplitud')
79     plt.grid(True)
80     plt.plot(t1,rc2, 'b')
81
82     plt.subplot(3,1,3)
83     plt.title('Funcion coseno alzado para alpha= %s' %(alpha3))
84     plt.xlabel('Tiempo(s)')
85     plt.ylabel('Amplitud')
86     plt.grid(True)
87     plt.plot(t1,rc3, 'g')
88     plt.show()
89
90     transformada_coseno_alzado1 = abs(fft(rc1))/len(rc1)
91     transformada_coseno_alzado2 = abs(fft(rc2))/len(rc2)
92     transformada_coseno_alzado3 = abs(fft(rc3))/len(rc3)
93     k1 = np.fft.fftfreq(len(rc1),1)
94     k2 = np.fft.fftfreq(len(rc2),1)
95
96
97     transformada_coseno_alzado1 = abs(fft(rc1))/len(rc1)
98     transformada_coseno_alzado2 = abs(fft(rc2))/len(rc2)
99     transformada_coseno_alzado3 = abs(fft(rc3))/len(rc3)
100    k1 = np.fft.fftfreq(len(rc1),1)
101    k2 = np.fft.fftfreq(len(rc2),1)
102    k3 = np.fft.fftfreq(len(rc2),1)
103
104    plt.subplot(3,1,1)
105    plt.title('Funcion coseno alzado (frecuencia) para alpha= %s' %(alpha1))
106    plt.xlabel('Freq (Hz)')
107    plt.ylabel('|Y(freq)|')
108    plt.grid(True)
109    plt.plot(k1,transformada_coseno_alzado1/max(transformada_coseno_alzado1),'r')
110
111    plt.subplot(3,1,2)
112    plt.title('Funcion coseno alzado (frecuencia) para alpha= %s' %(alpha2))
113    plt.xlabel('Freq (Hz)')
114    plt.ylabel('|Y(freq)|')
115    plt.grid(True)
116    plt.plot(k2,transformada_coseno_alzado2/max(transformada_coseno_alzado2),'b')
117
118    plt.subplot(3,1,3)
119    plt.title('Funcion coseno alzado (frecuencia) para alpha= %s' %(alpha3))
120    plt.xlabel('Freq (Hz)')
121    plt.ylabel('|Y(freq)|')
122    plt.grid(True)
123    plt.plot(k3,transformada_coseno_alzado3/max(transformada_coseno_alzado3),'g')
124    plt.show()
125

```

```

122 def bits_aleatorios():##funcion que expone el resultado de convolucionar los pulsos con un tren de 10 implusos aleatorios
123
124
125 T=5##valor del periodo para el tren de impulsos
126 tren=np.array(range(10*T), dtype="int")
127
128 ##tren para valores de periodo impar
129 contador=floor(T/2);
130 for x in range(0,10*T):
131
132     if (contador==0):
133         tren[x]=randint(0,1)
134         contador=floor(T/2)*2
135         if (tren[x]==0):
136             tren[x]=-1
137
138     else:
139         tren[x]=0
140         contador=contador-1
141
142 plt.title('Tren de impulsos a utilizar')
143 plt.plot(tren)
144 plt.show()
145
146 resultado=np.convolve(sinc,tren,'same')##resultado de la convolucion del pulso sinc con el respectivo tren de impulsos
147 resultado2=np.convolve(coseno_alzado,tren, 'same')##resultado de la convolucion del pulso coseno alzado con el respectivo tren
148 plt.subplot(2,1,1)
149 plt.title('Funcion sinc luego de aplicar el tren de impulsos')
150 plt.xlabel('Tiempo(s)')
151 plt.ylabel('Amplitud')
152 plt.grid(True)
153 plt.plot(t1,resultado)
154
155 plt.plot(t1,resultado)
156
157 plt.subplot(2,1,2)
158 plt.title('Funcion coseno alzado luego de aplicar el tren de impulsos')
159 plt.xlabel('Tiempo(s)')
160 plt.ylabel('Amplitud')
161 plt.grid(True)
162 plt.plot(t1,resultado2)
163 plt.show()
164
165 def eyediagram():##funcion utilizada para exponer los diagramas de ojos de los pulsos
166
167 alpha_ojo = 0.9999999999999999##valor cercano a 1 entrega un diagrama mas limpio
168 coseno_alzado2 = (np.sinc(t1) * np.cos(alpha_ojo*np.pi*t1))/(1-(4*alpha_ojo*alpha_ojo*t1*t1))
169 T=5##valor del periodo para el tren de impulsos
170 tren2=np.array(range(10000*T), dtype="int")
171
172 ##tren para valores de periodo impar
173 contador=floor(T/2);
174 for x in range(0,10000*T):
175
176     if (contador==0):
177         tren2[x]=randint(0,1)
178         contador=floor(T/2)*2
179         if (tren2[x]==0):
180             tren2[x]=-1
181
182     else:
183         tren2[x]=0
184         contador=contador-1
185
186 resultado3=np.convolve(sinc,tren2,'same')##resultado de la convolucion del pulso sinc con el respectivo tren de impulsos
187 resultado4=np.convolve(coseno_alzado2,tren2,'same')##resultado de la convolucion del pulso coseno alzado con el respectivo tren de 1
188
189 ##primero se exponen los diagramas de ojo resultantes solo de la convolucion
190 ojo_sinc=np.reshape(resultado3,(2*T,len(resultado3)/(2*T)), order='F')
191 ojo_coseno_alzado=np.reshape(resultado4,(2*T,len(resultado4)/(2*T)), order='F')
192
193 plt.subplot(2,1,1)
194 plt.title('Diagrama de ojo pulso Sinc')
195 plt.xlabel('Tiempo(s)')
196 plt.ylabel('Amplitud')
197 plt.grid(True)
198 plt.plot(ojo_sinc,'b')
199

```

```
200 plt.subplot(2,1,2)
201 plt.title('Diagrama de ojo pulso coseno alzado')
202 plt.xlabel('Tiempo(s)')
203 plt.ylabel('Amplitud')
204 plt.grid(True)
205 plt.plot(ojo_coseno_alzado,'b')
206
207 plt.show()
208
209 ##ahora se expondran los diagramas de ojo con ruido awgn agregado
210 # Numero de datos a utilizar
211 N = 50000
212 # razon señal ruido
213 SNR = 50.0
214
215 # Create some data with noise and a sinusoidal
216 # variation.
217 y = np.random.normal(0.0, 1.0/SNR, N) + 1.0
218
219 ruido_sinc= y+resultado3
220 ruido_rc=y+resultado4
221
222 ojo_ruido_sinc=np.reshape(ruido_sinc,(2*T,len(ruido_sinc)/(2*T)), order='F')
223 ojo_ruido_coseno_alzado=np.reshape(ruido_rc,(2*T,len(ruido_rc)/(2*T)), order='F')
224
225 plt.subplot(2,1,1)
226 plt.title('Diagrama de ojo pulso Sinc con ruido')
227 plt.xlabel('Tiempo(s)')
228 plt.ylabel('Amplitud')
229 plt.grid(True)
230 plt.plot(ojo_ruido_sinc,'b')
231
232 plt.subplot(2,1,2)
233 plt.title('Diagrama de ojo pulso coseno alzado con ruido')
234 plt.xlabel('Tiempo(s)')
235 plt.ylabel('Amplitud')
236 plt.grid(True)
237 plt.plot(ojo_ruido_coseno_alzado,'b')
```



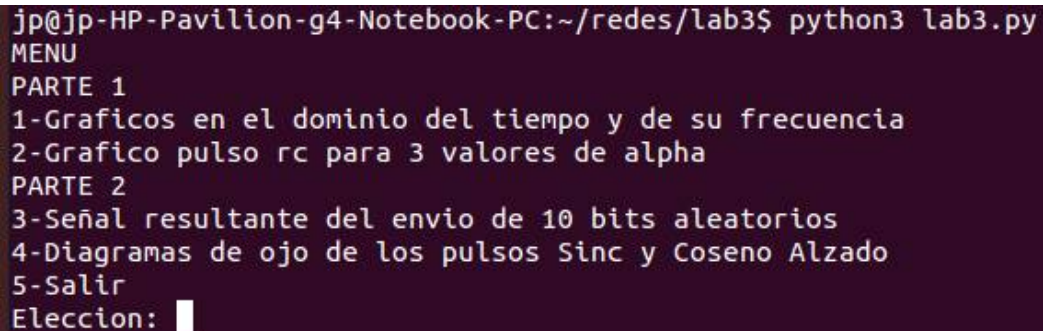
```
244 #####MENU#####
245 salida=0##variable a utilizar para mantener el while
246 while (salida==0):
247     print('MENU')
248     print('PARTE 1')
249     print('1-Graficos en el dominio del tiempo y de su frecuencia')
250     print('2-Grafico pulso rc para 3 valores de alpha')
251     print('PARTE 2')
252     print('3-Señal resultante del envio de 10 bits aleatorios')
253     print('4-Diagramas de ojo de los pulsos Sinc y Coseno Alzado')
254     print('5-Salir')
255
256     opcion = input("Eleccion: ")
257     opcion=int(opcion)
258
259     if (opcion==1):
260         tiempo_frecuencia()
261         print('////////////////////////////////////')
262         print('////////////////////////////////////')
263
264     if (opcion==2):
265
266         a1=input('valor para el primer valor alpha (0<alpha<1):')
267         a1=float(a1)
268         while(a1<=0 or a1>=1) :
269             print('valor de alpha debe cumplir 0<alpha<1')
270             a1=input('valor para el primer valor alpha (0<alpha<1):')
271             a1=float(a1)
272
273         a2=input('valor para el segundo valor alpha (0<alpha<1):')
274         a2=float(a2)
275         while(a2<=0 or a2>=1) :
276             print('valor de alpha debe cumplir 0<alpha<1')
277             a2=input('valor para el segundo valor alpha (0<alpha<1):')
278             a2=float(a2)
279
```

```
278         a2=float(a2)
279
280     a3=input('valor para el tercer valor alpha (0<alpha<1):')
281     a3=float(a3)
282     while(a3<=0 or a3>=1) :
283         print('valor de alpha debe cumplir 0<alpha<1')
284         a3=input('valor para el tercer valor alpha (0<alpha<1):')
285         a3=float(a3)
286
287     comparar_rc(a1,a2,a3)
288     print('////////////////////////////////////')
289     print('////////////////////////////////////')
290
291     if (opcion==3):
292         bits_aleatorios()
293         print('////////////////////////////////////')
294         print('////////////////////////////////////')
295
296     if (opcion==4):
297         eyediagram()
298         print('////////////////////////////////////')
299         print('////////////////////////////////////')
300
301     if (opcion==5):
302         salida=1
303         print('////////////////////////////////////')
304         print('////////////////////////////////////')
```

## CAPÍTULO 7. ANEXO 2

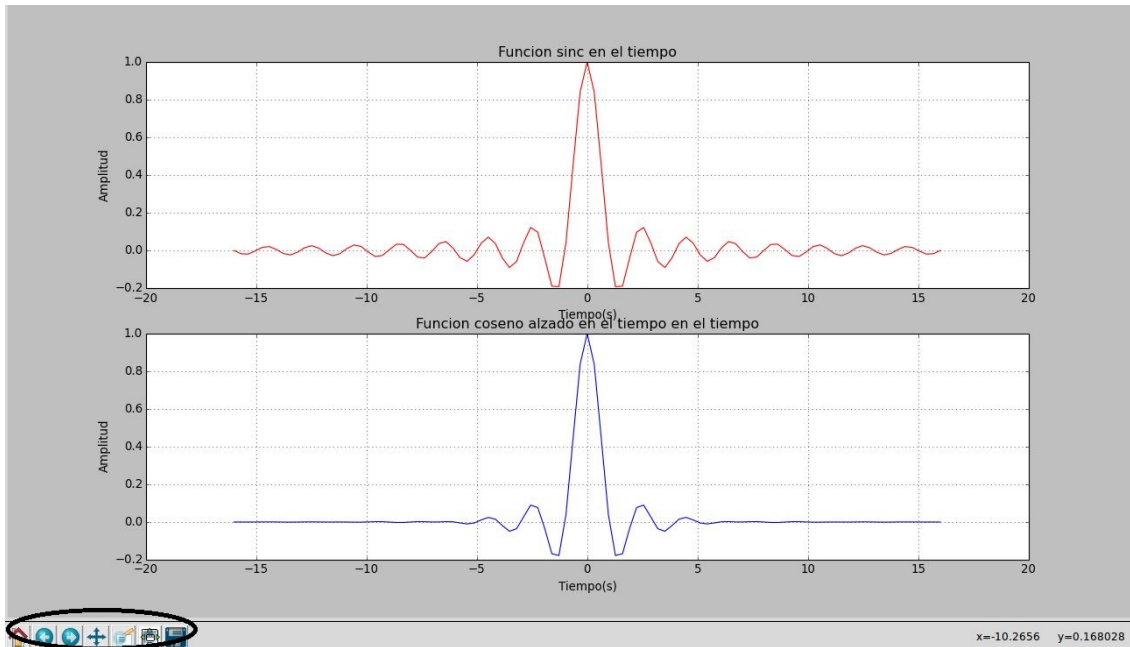
En el presente capítulo se explica el cómo utilizar el código Python con el cual se llevo a cabo la respectiva experiencia.

Para la ejecución del respectivo código debe abrir la terminal de su sistema operativo (de preferencia en una distribución de Linux). Lo siguiente que debe realizar es dirigirse a la ruta en la cual se encuentre el archivo "lab3.py" adjunto al presente documento. Para ejecutar el código debe digitalizar en su terminal la orden "python3 lab3.py", luego debería tener una respuesta como se presenta en la siguiente imagen:



```
jp@jp-HP-Pavilion-g4-Notebook-PC:~/redes/lab3$ python3 lab3.py
MENU
PARTE 1
1-Graficos en el dominio del tiempo y de su frecuencia
2-Grafico pulso rc para 3 valores de alpha
PARTE 2
3-Señal resultante del envio de 10 bits aleatorios
4-Diagramas de ojo de los pulsos Sinc y Coseno Alzado
5-Salir
Eleccion: █
```

Para la ejecución de tareas se debe digitalizar el numero correspondiente a la tarea de interés, es decir, si por ejemplo desea visualizar los pulsos de interés en el dominio del tiempo y su frecuencia debe digitalizar "1" y luego presionar "enter" en su teclado. Para todas las tareas se debe seguir la misma secuencia de pasos. Toda tarea esta asociada a un valor numérico. Un caso especial es la tarea "visualizar" el pulso coseno alzado para tres valores de  $\alpha$ , en donde luego de presionar su respectivo número de orden "2" se procede a solicitar los valores de  $\alpha$ , en donde se deben ingresar valores mayores a cero y menores que uno, en cualquier caso si se llegase a ingresar algún valor que no cumpla con tal restricción se le volverá a solicitar el valor de  $\alpha$ . Como podrá notar luego de la ejecución de las tareas se presentaran gráficos, cuando estos ultimo se presenten podrá ejercer acciones sobre ellos mediante los botones que se encuentran bajo estos.



Por ejemplo puede proceder a guardar la imagen, realizar un acercamiento, mover el gráfico, entre otras acciones. Cada vez que se muestra un gráfico esté debe ser cerrado para que la tarea siga su ejecución o para solicitarle al usuario cual tarea desea realizar a continuación. Finalmente para terminar con la ejecución del código debe digitalizar "5" y presionar "enter". Se debe hacer notar que para la velocidad en que se ejecutan las tareas a pesar de que suelen ser de rápida respuestas, estas ultimas dependen de las características de Hardware en donde son ejecutadas.

## **CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA**

Parada, P. (2010). Principios de comunicaciones. [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/2/EL4005/1/material\\_docente/](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/2/EL4005/1/material_docente/).

Wikipedia. (s.f.-a). Diagrama de ojos. [https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama\\_de\\_ojos](https://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_ojos).

Wikipedia. (s.f.-b). Primer criterio de nyquist. [https://es.wikipedia.org/wiki/Primer\\_criterio\\_de\\_Nyquist](https://es.wikipedia.org/wiki/Primer_criterio_de_Nyquist).

Wikipedia. (2013). Interferencia entre símbolos. [https://es.wikipedia.org/wiki/Interferencia\\_entre\\_smbolos](https://es.wikipedia.org/wiki/Interferencia_entre_smbolos).