

Laboratorio 1: PAM y PCM

Felipe Ulloa 1, felipe.ulloa1@mail.udp.cl
 Alex Parada 2, email alex.parada@mail.udp.cl
 Fernando Vergara 3, fernando.vergara1@mail.udp.cl
 Escuela de Informática y Telecomunicaciones
 Universidad Diego Portales

I. INTRODUCCIÓN

La Modulación por impulsos codificados (PCM) es un procedimiento que se utiliza para transformar una señal análoga a una señal digital.

Por otra parte la modulación por amplitud de pulsos (PAM) es un termino que describe la conversión de la señal analógica a una señal del tipo de pulso en el cual la amplitud del pulso representa la información analógica [3]. Una de las características de la PAM es que su ancho de banda es mayor que el de la forma de onda analógica es por esto que se utiliza en distintas areas principalmente en la comunicación de datos como por ejemplo para los estandares De Gigabit Ethernet 100BASE-T1 se utiliza la codificación PAM-3 (Modulación de 3 niveles) o para 100BASE-T2 PAM-5 (Modulación de 5 niveles), o bien para la trasmisión de datos en DRAMs esto debido al constante incremento del ancho de banda de estas. [1].

Para esta experiencia se abordaran tanto la PCM como la PAM y sus distintos tipos de muestreos analizando características de estas entre ellas el error de cuantificación y niveles de la pam .

II. METODOLOGÍA

A. Parte 1

La primera actividad constó de graficar una señal sinusoidal, su transformada de Fourier, la señal modulada PAM, y finalmente la señal modulada PCM.

1) *Señal sinusoidal y frecuencia de muestreo*: Se gráfico una señal sinusoidal coseno, que simbolizara nuestra señal analógica, con una frecuencia de la sinusoidal y una frecuencia de muestreo determinada por la guía del laboratorio.

2) *Transformada de Fourier*: Es una herramienta que nos permite transformar señales entre el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, para poder analizar la señal desde una perspectiva de la frecuencia.

Al calcular la transformada de Fourier, se nos retorna la parte real, espectro de Amplitud, y la parte imaginaria, el espectro de fase. El espectro de Amplitud nos entrega la mitad de la amplitud de la señal y el espectro de la fase, el espectro como función impropia, para corregir este tema, multiplicamos por dos la transformada de Fourier, aplicamos el valor absoluto a la señal, dividido por la longitud de la señal para normalizar la amplitud. Ya que la señal era impropia, con el valor absoluto se nos duplicara la señal respecto el eje Y, por lo que solo consideraremos la parte positiva.

$$\begin{aligned} Y &= fft(mt); \\ magTF &= 2 * (abs(Y(1 : L/2)/L)); \\ f &= fm * (0 : L/2 - 1)/L; \end{aligned} \quad (1)$$

3) *PAM muestreo natural*: la modulación por amplitud de pulsos (PAM) describe la conversión de la señal analógica a una señal del tipo de pulso en la cual la amplitud de pulso representa la información analógica. [3]

El muestreo natural o por compuerta nos indica de que forma vamos a capturar los datos de nuestra señal analógica. En este caso, para un muestreo natural, necesitamos multiplicar una señal cajón a nuestra señal analógica, esta señal cajón, aparte de necesitar una frecuencia mayor a la analógica, necesita un parámetro determinado ciclo de trabajo, que nos indica el porcentaje del periodo durante el cual la onda es positiva.

En Matlab se utilizo la señal cuadrada, que para llevarla a cajón se realiza una traslación en el eje Y, para que todos sus valores sean positivo, y se divide en dos, para que la amplitud sea de 1, como la señal cajón.

$$\begin{aligned} \%RECT &: \text{Señal cajon}; mt : \text{Señal analógica} \\ RECT &= 0.5 * square(2 * pi * fs * t, d) + 0.5; \\ Snt &= mt. * RECT; \%Snt : \text{PAM muestro natural} \end{aligned} \quad (2)$$

4) *PAM muestreo instantáneo*: El muestreo instantáneo consta de multiplicar nuestra señal analógica por un tren de impulsos, quedando la señal modulada en bloques con amplitud plana, tal como también se le dice a la PAM muestreo instantáneo, una PAM Plana.

Para lograr esto necesitamos multiplicar la señal analógica, por el primer valor de cambio entre 0 y 1 de la señal cajón (un impulso), y luego mantener el mismo valor anterior para la señal modulada, por el tiempo que dure en amplitud 1, la señal cajón. (Lineas 20-30) (Anexo código :IV-A)

B. Parte 2

La segunda actividad constó en realizar una modulación por pulsos codificados, con las señales previamente trabajadas en la actividad anterior se aplicó tal modulación a estas señales con la restricción de considerar N bits configurables en el código.

1) *Señal cuantificada y comparación con señales anteriores:* Se realizó un gráfico con el fin de comparar la señal PAM muestreada instantáneamente creada en la actividad 1 junto con la señal original, adicionalmente se cuantificó la señal PAM.

Para lograr la cuantificación de la señal PAM muestreada instantáneamente, se procedió a dividir todo el rango de la amplitud y se fue asignando el valor obtenido a todas las muestras que están contenidas en el rango tomado para realizar la codificación.(Líneas 19-20).(Anexo código:IV-B)

```
vmax = 1; %Valormáximodes
vmin = -vmax; %Valormínimo
del = (vmax - vmin)/M;
part = vmin : del : vmax;
code = vmin - (del/2) : del : vmax + (del/2);
```

Por otra parte se necesito obtener los niveles de cuantificación de la señal, para esto se ocupó la función de Matlab denominada "quantiz," este comando permitió devolver los niveles de cuantificación de la señal de entrada siguiente mediante el uso de la partición de cuantificación escalar definida en la variable de entrada(Línea 25).(Anexo códigoIV-B)

```
[ind, q] = quantiz(coseno, part, code);
%Proceso de Cuantización
```

2) (: Codificación y Error de cuantificación) En el siguiente apartado se realizó un gráfico a partir de la codificación de la PAM muestreada instantáneamente con el fin de graficar el error por cuantización que presenta tal señal.

Se empezó codificando la señal PAM, para esto se utilizan los valores codificados anteriormente con el fin de utilizarlos para usar la función de Matlab denominada "de2bi", tal comando nos permite transformar decimales en su forma binaria esto se utilizará posteriormente para asignar a cada nivel de cuantización un código binario(Líneas 46-56).(Anexo código: IV-B)

```
%ProcesodeCodificación
code = de2bi(ind, 'left - msb');
k = 1;
for i = 1 : l1
    for j = 1 : numBits
        coded(k) = code(i, j);
        j = j + 1;
        k = k + 1;
    end
    i = i + 1;
end
```

Posterior a realizar la codificación de la señal, se procedió a realizar el gráfico del error por cuantización, tal efecto se define como la diferencia del valor real de la señal y la señal

cuantificada, es decir la magnitud de la señal de entrada y la de salida, representándose bajo la siguiente ecuación.

$$eq(n) = xq(n) - x(n)$$

En donde $eq(n)$ siempre debe estar en el rango

$$-\delta/2 > eq(n) < \delta/2$$

$$\delta = R/L$$

R = rango de cuantización
 L = Número de niveles de cuantificación

III. RESULTADOS

En el siguiente apartado, se muestra la realización de la modulación PAM (tanto muestreo natural como instantáneo) a una señal senoidal, además de esto se muestra como se comporta tal modulación a una transformada de Fourier.

A. Actividad 1

La siguiente figura es de la señal sinusoidal coseno que nos representa una señal analógica.

$$\begin{aligned} \text{Frecuencia del coseno} &= 1.000\text{Hz} \\ \text{frecuencia de muestreo} &= 100.000\text{Hz} \end{aligned} \quad (7)$$

Para que el coseno durara 2 periodos, se utilizaron las siguientes muestras y así se determino el tiempo de la señal.

$$\begin{aligned} L(\text{Muestras}) &= 200 \\ t &= (0 : L - 1) / \text{frecuenciaMuestreo} \end{aligned} \quad (8)$$

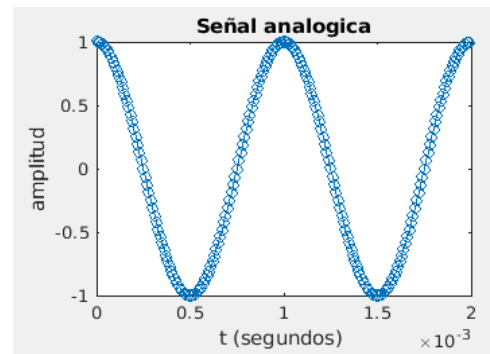


Fig. 1. Señal analógica

La siguiente señal es la señal analógica anterior, modulada por muestro Natural, que resulta de (eq:2), donde se utilizaron los siguientes parámetros.

$$\begin{aligned} \text{frecuencia de señal cajón} &= 5.000\text{Hz} \\ \text{Ciclo de trabajo} &= 70\% \end{aligned} \quad (9)$$

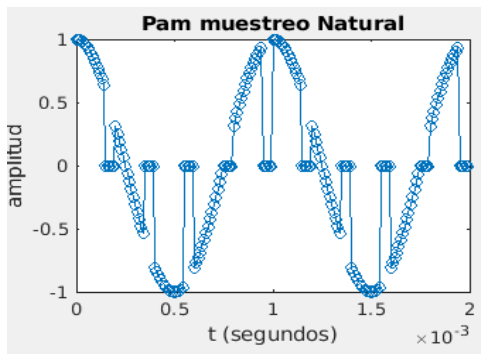


Fig. 2. PAM por muestreo natural

La siguiente señal es la señal analógica anterior, modulada por muestro instantáneo, como se puede revisar en (Lineas 20-30) (Anexo código :IV-A).

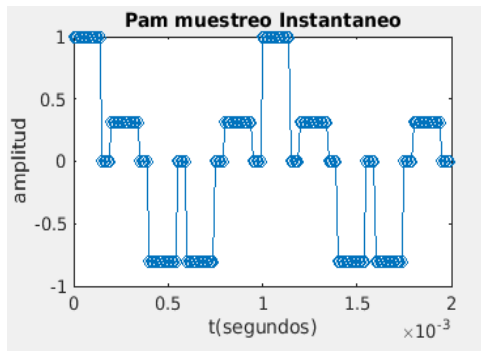


Fig. 3. PAM por muestreo instantáneo

La siguiente señal es la analógica anterior, pero analizada en el plano de la frecuencia, gracias a la transformada de Fourier. (eq:1)

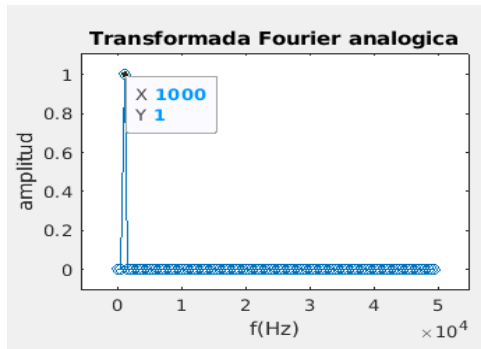


Fig. 4. Fourier de la señal

La siguiente señal es la analógica muestreada en PAM natural, pero analizada en el plano de la frecuencia, gracias a la transformada de Fourier. (Ecuación:1)

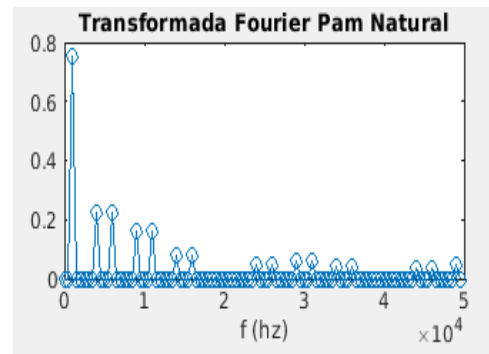


Fig. 5. Fourier por muestreo natural

La siguiente señal es la analógica muestreada en PAM plana, pero analizada en el plano de la frecuencia, gracias a la transformada de Fourier. (Ecuación:1)

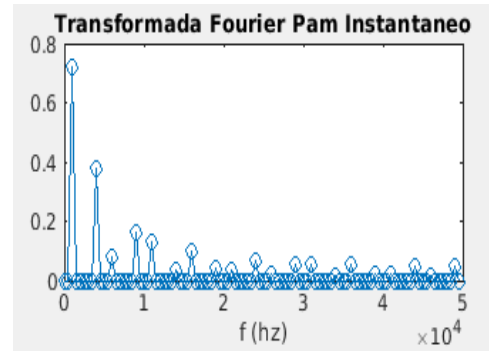


Fig. 6. Fourier por muestreo instantáneo

B. Actividad 2

En el siguiente apartado se muestra la modulación PCM a la señal trabajada con modulación PAM, además se muestra el resultado gráfico del error de cuantificación de la señal codificada.

Los parámetros utilizados para cada procedimiento fueron los siguientes.

$$L(\text{Muestras}) = 300$$

$$\text{frecuencia sinusoidal} = 1000; \% \text{Frecuencia de la sinusoidal}$$

$$\text{frecuencia de muestreo} = 100000; \% \text{Frecuencia de muestreo}$$

$$1/1e5 \text{ Hz}$$

$$\text{tiempomuestreado} = 0 : 1/f_m : 2/f_c;$$

(10)

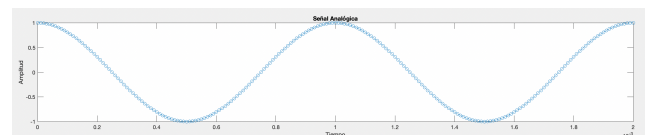


Fig. 7. Procedimiento PCM parte 1

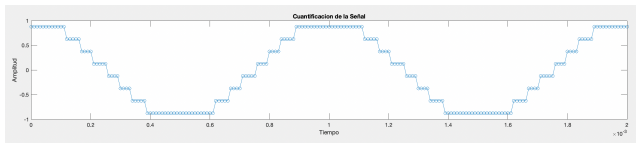


Fig. 8. Procedimiento PCM parte 2

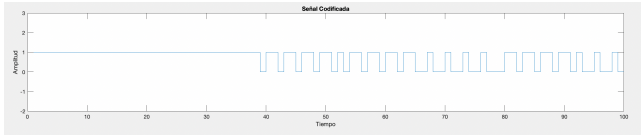


Fig. 9. Procedimiento PCM parte 3

Para el apartado siguiente, se utiliza el parámetro número de bits que, directamente afecta el nivel de cuantificación que a su vez mientras más alto sea el valor del bit menor error de cuantificación habrá.

$$\text{numBits} = 3$$

Afectando al nivel de cuantificación establecido por

$$M = 2^{\text{numBits}}; \quad (11)$$

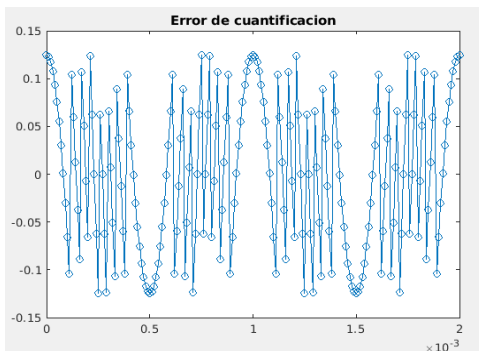


Fig. 10. Error de cuantización con 3 bits

C. Cuestionario

1) ¿Qué pasa si disminuye la frecuencia de muestreo?

R: La señal empieza a perder "suavidad", se asemeja a una señal triangular, resultando en otra señal a la muestra da.

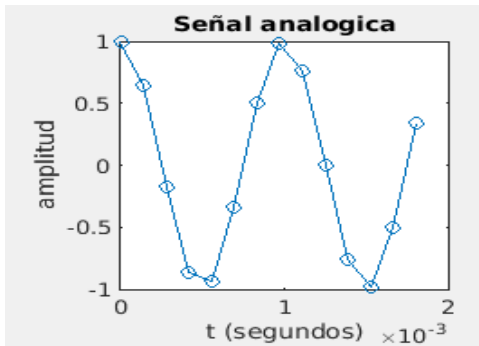


Fig. 11. Señal analógica con frecuencia de muestreo menor

2) ¿Hay algún límite? Si lo hay, ¿Cuál es?

R: El límite presente se debe a que la frecuencia de muestreo debe ser el doble del componente de interés de la frecuencia más alta en la señal estudiada, tal límite de frecuencia se denomina frecuencia de Nyquist, del Teorema de muestreo de Nyquist.

3) ¿Por qué existe ese límite?

R: Al disminuir la frecuencia de muestreo por debajo de la frecuencia Nyquist, la señal estudiada empieza a adoptar una forma de señal triangular, resultando en otra señal.

4) ¿Qué pasa si se supera ese límite?

R: Comienza a aparecer el efecto denominado "Aliasing", que produce que aparezcan frecuencias falsas bajas en los datos muestreados provocando que la señal graficada sea distinta a .

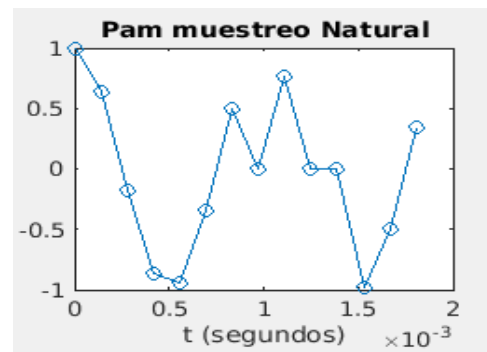


Fig. 12. Pam natural con Aliasing

¿Por qué la transformada de Fourier tiene esa forma?

R: Al modular la señal produce una disminución del ancho de banda de esta, esto provoca que la señal sea más fácil de transportar.

¿El error por cuantificación depende de N de bits de la palabra PCM?

R: Si depende, debido a que el error de cuantificación es la diferencia entre el valor real de la muestra (valor analógico) y el nivel asignado, mientras menos bits posea la señal menor serán los niveles asignados por ende el error que se presentará será mayor.

IV. CONCLUSIONES

Al transmitir una señal PAM se puede dar cuenta de un aumento sustancial en el ancho de banda, pero esto lleva consigo una pérdida de datos y precisión en la señal modulada, se puede decir que la calidad de la señal se ve disminuida. Esta pérdida de datos se puede suplir aumentando los niveles o bits de la PAM por lo que podemos aumentar la precisión cuanto se desee.

Para el apartado PCM se realizó la práctica de muestreo, cuantificación y codificación que permitió convertir una señal

analógica a una señal digital, al transcurrir la realización de la actividad se evidencio además que se genera un pequeño pero irreparable error de cuantificación. Este error a pesar de ser irreparable se puede hacerse adecuadamente pequeña utilizando una cantidad mayoritaria de bits.

Finalmente de manera comparativa, se puede afirmar que a pesar de que la digitalización de señales permite abarcar más utilidades, esta posee un coste mayoritario en implementación y ancho de banda lo que impediría para algunas funciones no sea tan beneficioso digitalizar.

ANEXOS

A. Código actividad 1

```

1  % mt: Onda sinusoidal ; Snt : PAM muestro natural;
2
3  %Parametros generales
4  fc=1000; %Frecuencia de la sinusoidal
5  fm=100000; %Frecuencia de muestreo 1/1e5Hz
6  Tm=1/fm;
7  fs= fc*5; %Frecuencia de la cuadrada
8  L=200; %Muestras
9  t=(0:L-1)*Tm;%tiempo muestreado a 1e5 HZ.
10
11 %Se al analogica sinusoidal
12 mt=cos(2*pi*fc*t);
13
14 %-----Modulacion PAM Natural-----
15 %d=0.7e-2*fs; %(tau / Ts) <=> (tau * fs)
16 d=75;%Parametro, ciclo de trabajo 'd'
17 REct=0.5*square(2*pi*fs*t,d)+0.5; %Se al cajon.
18 Snt=mt.*REct; %Snt : PAM muestro natural
19
20 %-----Modulacion PAM Instantaneo -----
21 SIt = Snt; %SIt : PAM muestreo instantaneos, falta que sea modificado por el for
22 for i = 2: length(t)
23     if REct(i) == 1 && REct(i-1) == 0 %Si hay un ascenso
24         SIt(i) = REct(i) * mt(i); %sampling
25     elseif REct(i) == 1 && REct(i-1) == 1 %La se al cajon se mantiene en 1.
26         SIt(i) = SIt(i-1); %Se mantiene el valor anterior del SIt
27     else
28         SIt(i) = 0; %Cualquier otro caso es 0
29     end
30 end
31
32
33 %-----Transformada de Fourier -----
34 Y=fft(mt);
35 magTF = 2*(abs(Y(1:L/2)/L)); %Se utiliza solo la parte real, y se soluciona la mitad de la
    amplitud
36 f = fm*(0:L/2-1)/L; %Vector de frecuencias positivas
37
38 figure(1)
39 subplot(2,2,1); plot(t,mt,'-o'); title('Se al analogica'); xlabel('t (segundos) '); ylabel('
    amplitud');
40 subplot(2,2,2); plot(f,magTF,'-o'); title('Transformada Fourier analogica'); xlabel('f(Hz)');
    ylabel('amplitud');
41 subplot(2,2,3); plot(t,Snt,'-o'); title('Pam muestreo Natural'); xlabel('t (segundos)'); ylabel('
    amplitud');
42 subplot(2,2,4); plot(t,SIt,'-o'); title('Pam muestreo Instantaneo'); xlabel('t(segundos)');
    ylabel('amplitud');
43
44
45 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%1a.-Que pasa si se disminuye la frecuencia de muestreo?%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
46 %La funcion pierde suavidad, y comienza a tener una forma de funcion triangular, hasta que
    termina completamente desfigurada.
47 %% L = 200 -> fm 100.0000
48 %% L1a = x -> fmMin 12.000 => x=24;
49
50 fmMin=(fc+fs)*1.2; %(1000+5000)*2 =12.000 < 100.000
51 L1a=(fmMin*L)/fm;
52 t1a=(0:L1a-1)*(1/fmMin);% tiempo muestreado a 1e5 HZ, por 2 periodos de sinusoidal
53 mt1a=cos(2*pi*fc*t1a); %Onda analogica sinusoidal
54 REct1a=0.5*square(2*pi*fs*t1a,80)+0.5;%Forma de onda de conmutacin de ondas rectangulares
55 Snt1a=mt1a.*REct1a;
56 SIt1a = Snt1a;
57 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PAM muestreo instantaneo %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
58 for i = 2: length(t1a)
59     if REct1a(i) == 1 && REct1a(i-1) == 0 %if the rising edge is detected

```

```

60     SIt1a(i) = REct1a(i) * mt1a(i); %sampling occurs
61     elseif REct1a(i) == 1 && REct1a(i-1) == 1 %and while the carrier signal is 1
62         SIt1a(i) = SIt1a(i-1); %the value of y1 remains constant
63     else
64         SIt1a(i) = 0; %otherwise, Snt is zero
65     end
66 end
67 Y1a=fft(mt1a);
68 magTF1a = 2*(abs(Y1a(1:L1a/2)/L1a)); %Se utiliza solo la parte real, y se soluciona la mitad de
    la amplitud
69 fl1a = fmMin*(0:L1a/2-1)/L1a; %Vector de frecuencias positivas
70
71 figure(2)
72 subplot(2,3,1); plot(t1a,mt1a,'-o'); title('se al de mensaje'); xlabel('t (segundos)'); ylabel(
    ('amplitud'));
73 subplot(2,3,2); plot(fl1a,magTF1a,'-o'); title('Transformada Fourier Se al'); xlabel('f (hz)');
74 subplot(2,3,3); plot(t1a,Snt1a,'-o'); title('Pam muestreo Natural'); xlabel('t (segundos)');
    ylabel('amplitud');
75 subplot(2,3,4); plot(t1a,REct1a,'-o'); title('Cajon'); xlabel('t (segundos)'); ylabel('amplitud
    ');
76 subplot(2,3,5); plot(t1a,SIt1a,'-o'); title('Pam muestreo Instantaneo'); xlabel('t (segundos)')
    ; ylabel('amplitud');
77
78
79 %-----1b.- Hay alg n l mite? Si lo hay, Cul es?
80 %%%EL limite es que la frecuencia de muestreo tiene que ser el doble del componente de
    inters de frecuencia m s alto en la se al medida, y esta frecuencia se denomina
    Frecuencia de Nyquist. Teorema de Teorema de Muestreo de Nyquist
81
82 %-----1c Porque existe este l mite?
83 %%Porque a esta frecuencia de muestro, la se al se asemeja a una se al triangular.
84
85 %-----1d. Que pasa si supera este l mite?
86 %%Comienza generarse Aliasing, que es que los componentes de frecuencias falsas mas bajas
    aparecen en los datos muestreados, y ya la se al graficada, resulta en otra se al.
87
88 %----- Por qu la transformada de Fourier tiene esa forma para cada una de las
    se ales ?
89
90 Ysn=fft(Snt);%Transformada de Fourier de PAM natural
91 Ysi=fft(SIt);%Transformada de Fourier de PAM instantanea
92 magTFsn = 2*(abs(Ysn(1:L/2)/L)); %Se utiliza solo la parte real, y se soluciona la mitad de la
    amplitud
93 magTFsi = 2*(abs(Ysi(1:L/2)/L));
94
95
96 figure(3)
97 subplot(3,2,1); plot(t,mt,'-o'); title('se al de mensaje'); xlabel('t (Segundos)'); ylabel('
    amplitud');
98 subplot(3,2,2); plot(f,magTF,'-o'); title('Transformada Fourier Se al'); xlabel('f (hz)');
    ylabel('amplitud');
99
100 subplot(3,2,3); plot(t,Snt,'-o'); title('Pam muestreo Natural'); xlabel('t (segundos) ');
    ylabel('amplitud');
101 subplot(3,2,4); plot(f,magTFsn,'-o'); title('Transformada Fourier Pam Natural'); xlabel('f (hz)
    ');
102 subplot(3,2,5); plot(t,SIt,'-o'); title('Pam muestreo Instantaneo'); xlabel('t(segundos)');
    ylabel('amplitud');
103 subplot(3,2,6); plot(f,magTFsi,'-o'); title('Transformada Fourier Pam Instantaneo'); xlabel('f
    (hz) ');
104
105 %Porque al modularla, se reduce el ancho de banda, para que sea mas facil su transporte

```

B. Código actividad 2

```

1 %MODULACI N PCM
2 clc; %limpiar la pantalla de comandos de Matlab

```

```

3 close; %cerrar las variables usadas
4 clear; %limpia estas variables
5 fc=1000; %Frecuencia de la sinusoidal
6 fm=100000; %Frecuencia de muestreo 1/1e5Hz
7 numBits = input("Ingrese numero el bits");
8 numMuestras = 30;
9 M = 2^numBits; %Palabras codificadas o niveles de amplitud
10 t=0:1/fm:2/fc;% tiempo muestreado a 1e5 HZ, por 5 periodos de sinusoidal
11 coseno = cos(2*pi*fc*t); %Se al de entrada
12 figure(1)
13 subplot(3,1,1); %Posici n de la gr fica
14 plot(t,coseno,'-o'); %Se al de entrada
15 title('Se al Anal gica');
16 ylabel('Amplitud');
17 xlabel('Tiempo');
18
19 %Proceso de Cuantizaci n para la generaci n de la se al PCM.
20 vmax=1; %Valor m ximo de s
21 vmin=-vmax; %Valor m nimo
22 del=(vmax-vmin)/M;
23 part=vmin:del:vmax; %Valores que toma a lo largo de nuestra se al, dividiendo la Amplitud
24 code=vmin-(del/2):del:vmax+(del/2); %Conteo de valores cuantificados
25 [ind,q]=quantiz(coseno,part,code); %Proceso de Cuantizaci n
26
27 l1=length(ind);
28 l2=length(q);
29 for i=1:l1
30     if(ind(i)~=0);
31         ind(i)=ind(i)-1;
32     end
33     i=i+1;
34 end
35 for i=1:l2;
36     if(q(i)==vmin-(del/2))
37         q(i)=vmin+(del/2);
38     end
39 end
40 subplot(3,1,2);
41 plot(t,q,'-o')
42 title('Cuantificaci n de la Se al ');
43 ylabel('Amplitud');
44 xlabel('Tiempo');
45
46 %Proceso de Codificaci n
47 code=de2bi(ind,'left-msb');
48 k=1;
49 for i=1:l1
50     for j=1:numBits
51         coded(k)=code(i,j);
52         j=j+1;
53         k=k+1;
54     end
55     i=i+1;
56 end
57 subplot(3,1,3);
58 %grid on;
59 %plot(length(coded),coded,'-o')
60 stairs(coded); %Toma los valores de un vector para poder graficarlas
61 axis([0 100 -2 3]);
62 %grid on;
63 title('Se al Codificada');
64 ylabel('Amplitud');
65 xlabel('Tiempo');
66
67 figure(2)
68 plot(t,coseno-q,'-o')
69 title('Error de cuantificaci n')
70
71

```



```

72 %ARCHIVO
73
74 filedata = fopen("archivo.txt", 'w');
75 formatspec = '%d';
76 tam = length(coded);
77 for i=1:tam - 2
78     fprintf(filedata, formatspec, coded(i));
79     if(mod(i,numBits) == 0)
80         fprintf(filedata, '\n');
81     end
82 end
83 fclose(filedata);

```

REFERENCES

- [1] Changho Hyun, Yong-Un Jeong, Suhwan Kim, and Joo-Hyung Chae. An 18-gb/s/pin single-ended pam-4 transmitter for memory interfaces with adaptive impedance matching and output level compensation. *Electronics*, 10(15), 2021.
- [2] H. Kopka and P. W. Daly. A Guide to L^AT_EX, 3rd ed. Harlow. England: Addison-Wesley, 1999.
- [3] Couch Leon. *Sistemas De Comunicacion Digitales Y Analogicos*, chapter 3. Pearson-prentice Hall, 7ma.edicion edition, 2013.