

## 1. Teorema de muestreo y Cuantificación de señales

### Conocimientos previos:

- Definiciones de señal, frecuencia, periodo.
- Clasificación de las señales.
- Propiedades de una señal periódica.

### Competencias a desarrollar:

Meta ABET	Indicadores
Habilidad para identificar, formular y resolver problemas complejos de Ingeniería aplicando principios de Ingeniería, ciencias y matemáticas	Conocer las relaciones entre los fenómenos físicos y el modelo mediante leyes, teoremas y principios.
	Escoger los requerimientos necesarios en el planteamiento de soluciones, teniendo en cuenta las partes interesadas
Habilidad para comunicarse efectivamente ante un rango de audiencias	Expresar ideas en forma clara y concisa, mediante un lenguaje apropiado al contexto (comunicación oral y escrita)
	Aplicar una estrategia de comunicación oral y escrita para presentación de propuestas, proyectos, reportes de resultados, reportes técnicos de avances.
Capacidad de desarrollar y aplicar nuevos conocimientos según sea necesario, utilizando estrategias de aprendizaje apropiadas	Relacionar la información existente en las diferentes fuentes respecto a un problema

### Metodología:

Revise las fuentes bibliográficas del curso para responder las preguntas teóricas, lleve sus dudas y conclusiones para ser presentadas en clase. Desarrolle los ejercicios prácticos y presente un informe usando la plantilla (overleaf).

Ud. se está formando como ingeniero en mecatrónica. Teniendo eso como base, investigue los siguientes conceptos y explique su importancia dentro del campo de la ingeniería mecatrónica:

- Periodo y frecuencia de muestreo
- Ancho de banda
- Niveles de cuantificación para una señal
- Error de cuantificación
- Aliasing

Investigue usando la bibliografía del curso y usando las referencias existentes en el aula virtual (Revise el artículo original de Claude Shannon), luego resuelva las siguientes preguntas:

- ¿Por qué y para qué se digitalizan las señales análogas?

- ¿Cómo se realiza la digitalización de una señal análoga?
- ¿Cuáles son las fases o procesos necesarios para digitalizar una señal análoga?
- ¿Qué condiciones son necesarias para realizar correctamente la digitalización de una señal análoga?
- ¿Qué consecuencias se derivan de no tener en cuenta y aplicar correctamente las anteriores condiciones?

## EJERCICIOS PRÁCTICOS:

### 1. Muestreo de señales y aliasing

Observe, entienda, copie y ejecute (matlab) el siguiente código de ejemplo:

```
% Señal de tiempo continuo
t=0:0.001:1;
xt=2*cos(2*pi*2*t)+3*sin(2*pi*6*t); % 2 Hz y 6 Hz
figure,
plot(t,xt)
hold on
% Discretización de la señal análoga
Ts=1/18; % Periodo de muestreo
Fs=1/Ts;
nT=0:Ts:1;
xnT=2*cos(2*pi*2*nT)+3*sin(2*pi*6*nT);
stem(nT,xnT)
hold off
N=Fs;
% Señal de tiempo discreto
n=0:N; % la variable de tiempo es discreta, valores enteros
xn=2*cos(2*pi*(2/Fs)*n)+3*sin(2*pi*(6/Fs)*n);
figure,
stem(n,xn)
```

Del fragmento de código anterior, observe que la señal análoga posee dos frecuencias combinadas (2 Hz y 6 Hz). Al ejecutar el programa la señal continua observada en la figura 1 posee una frecuencia de 2Hz. En la misma figura 1 se observará la ubicación de las muestras al momento de muestrear la señal, observe que la primera y la última muestras poseen la misma amplitud y se encuentran en el punto inicial de un periodo de la señal. La muestra en  $x = 0.5$  también es una muestra que se ubica al inicio de un ciclo de la señal.

La figura 2 presenta la señal digitalizada, observe que la variable de tiempo se ha convertido en una variable con valores enteros y ya no indica segundos sino muestras, inicia en 0 y termina en 18 para un total de 19 muestras. Debe entender que la última muestra corresponde a un nuevo ciclo de la señal que inicia en ese punto.

Tomado como base el anterior código ejemplo, realice modificaciones de tal forma que:

Se realice la simulación de la siguiente señal análoga periódica. En un gráfico represente 2 períodos completos de la señal.

$$x(t) = 3\cos(2\pi 15t) + 4\sin(2\pi 25t) - 3\sin(2\pi 20t)$$

Responda:

¿Cuál es la frecuencia y periodo de la señal análoga?

¿Cuál es su ancho de banda?

A continuación, obtenga la versión muestreada( $x(n)$ ) de la señal  $x(t)$ .

Utilice una frecuencia de muestreo de 100 muestras por segundo.

¿Cuál es la frecuencia de la señal de tiempo discreto obtenida mediante el muestreo?, ¿Qué unidades tiene ese valor?

¿Cuál es el periodo de la mencionada señal de tiempo discreto?, ¿Qué unidades tiene ese valor?

¿De donde resultan las unidades mencionadas?

Si se cambia la frecuencia de muestreo a 75 muestras por segundo.

¿Cómo se afecta la señal de tiempo discreto?

¿Cómo se afectan la frecuencia y el periodo de la señal en tiempo discreto?

Si se cambia la frecuencia de muestreo a 50 muestras por segundo.

¿Cómo se afecta la señal de tiempo discreto?

¿Cómo se afectan la frecuencia y el periodo de la misma?

¿Es posible evidenciar el aliasing en este experimento?, Explique sus respuestas

Si se cambia la frecuencia de muestreo a 25 muestras por segundo.

¿Cómo se afecta la señal de tiempo discreto?

¿Cómo se afectan la frecuencia y el periodo de la misma?

¿Es posible evidenciar el aliasing en este experimento?, Explique sus respuestas

## 2.Muestreo y comunicación digital

Se va a realizar una aplicación en la que se necesita digitalizar la información relativa a la vibración de un motor de un vehículo (automóvil). Resuelva las siguientes preguntas:

¿Cuál es el ancho de banda de este tipo de señales?

¿Cuál sería la frecuencia de muestreo para esta aplicación?

¿Cuál sería el periodo de muestreo?

Teniendo en cuenta las respuestas anteriores, sobre la misma aplicación, si se considera un C A/D con 8 bits y un canal de comunicación con velocidad de 9600 bits/segundo

- ¿Teóricamente cuántas muestras se podrían transmitir?

De no coincidir los resultados de número de muestras capturadas por segundo y número de muestras transmitidas por segundo

- ¿Cuál debería ser la velocidad de transmisión en bits por segundo para cumplir con el teorema de muestreo?

## 3.Cuantificación de señales y error de cuantificación

%Cuantificación de señales

```

% Generando señal análoga
t=0:0.001:1;
xt=2*cos(2*pi*3*t)+3*cos(2*pi*6*t);
%Discretizando señal en tiempo
Ts=1/18;
Fs=1/Ts;
nTs=0:Ts:1;
xnTs=2*cos(2*pi*3*nTs)+3*cos(2*pi*6*nTs);
%Mostrando en pantalla
figure('Name','Señal análoga y señal discretizada')
plot(t,xt);
hold on
stem(nTs,xnTs);
hold off
%cuantificando la señal de tiempo discreto
ran=max(xt)-min(xt);%rango de la señal
nbits=8;%bits de cuantificacion
nnivs=(2^nbits)-1;%numero de niveles de cuantificacion
delta=ran/nnivs;%altura de nivel
nive=min(xt):delta:max(xt);
nivem=nive+delta/2;
[~,N]=size(nTs);
xnq=zeros(1,N);
for i=1:N
    j=1;
    while xnTs(i)>nivem(j)
        j=j+1;
    end
    xnq(i)=nive(j);
end
figure('Name','Señal discretizada y señal cuantificada')
stem(nTs,xnq)
hold on
stem(nTs,xnTs)
hold off
%error de cuantificacion
err=xnTs-xnq;
figure('Name','Error de cuantificacion')
stem(nTs,err);
meadia_err=mean(err)
desv_err=std(err)

```

El código anterior simula el proceso de cuantificación de una señal análoga utilizando redondeo de los valores. Analice el código, entiéndalo, y haga simulaciones cambiando el número de bits y responda:

Considere que su sistema para digitalizar señales hace la cuantificación de las muestras por redondeo, teniendo en cuenta esto, responda:

- ¿Cómo calcularía el error que se genera para cada muestra al aproximar los valores reales a los valores cuantificados?
- ¿Qué características estadísticas tiene esa señal de error?

Siguiendo con la aplicación mencionada (muestreo de vibraciones). Los 8 bits del C A/D son los que determinan el número de niveles de cuantificación.

- ¿Cuántos niveles se generan?
- ¿Cuál es el valor de la media del error de cuantificación?
- ¿Cuál es el valor de la desviación estándar?

Responda las tres preguntas anteriores para las siguientes condiciones:

- Aumenta el número de bits del C A/D a 10.
- Disminuye el número de bits del C A/D a 6.

Modifique el programa cambiando la estrategia de aproximación.

Considere que su sistema de digitalización de señales no realiza la cuantificación por redondeo sino a través del truncamiento de los valores:

- ¿Cómo y en cuánto cambiarían las propiedades estadísticas (media y desviación) de la señal de error?
- ¿Cómo se afectan las propiedades estadísticas de la señal de error por efecto de las aproximaciones mencionadas anteriormente?

### **Autoevaluación:**

En este apartado debe realizar una autoevaluación del proceso desarrollado y de las habilidades adquiridas con las actividades propuestas. Para ello responda las siguientes preguntas otorgando el valor porcentual (0 - 100 %) a cada una de ellas.

1. ¿Desarrolló la totalidad de las actividades propuestas?
2. ¿La metodología le permitió construir saberes significativos que le aporten al desarrollo del tema planteado?
3. ¿Qué tanto fue su grado de dedicación durante el desarrollo de las actividades planteadas?
4. ¿Qué tanto fue su grado de interés en el tema propuesto?
5. Otorgue un valor porcentual a cada uno de los indicadores de las metas propuestas según su cumplimiento

### **Retroalimentación:**

En esta sección se espera que a partir de lo vivido durante el desarrollo de las actividades propuestas, Ud pueda dar algunas recomendaciones o sugerencias sobre el tema y el desarrollo de las mismas. Tenga en cuenta que sus aportes enriquecen el ejercicio docente, gracias.