

Evaluación de Conducta de Entrada

Sistemas y Señales Biomedicos (SYSB)

PhD. Pablo Eduardo Caicedo-Rodríguez

Table of contents

1 Solución del Taller de Conducta de Entrada	2
2 Problemas de Análisis	3
2.1 Problema 1: Sensibilidad del RMS ante la Amplitud	4
2.2 Problema 2: Estabilidad de la Media en Procesos Sinusoidales	4
2.3 Problema 3: Impacto del Ruido en la Varianza Total	4
2.4 Problema 4: Límite de Visualización Temporal (SNR Crítico)	4
2.5 Problema 5: Efecto de la Frecuencia de Muestreo en el RMS	5
2.6 Problema 6: Independencia Estocástica	5
2.7 Problema 7: Análisis de la Distribución de Amplitudes	5
2.8 Problema 8: Energía en Ventanas Cortas	5
2.9 Problema 9: Influencia de la Fase	5
2.10 Problema 10: Relación entre RMS y Desviación Estándar	5
3 Apéndice de Fórmulas y Definiciones	6
3.1 Valor RMS (Root Mean Square)	6
3.2 Relación Señal-Ruido (SNR) en Escala Logarítmica	6
3.3 Aditividad de Varianzas	6
3.4 Potencia Media Temporal (Average Power)	6
3.5 Potencia de una Señal Sinusoidal	7
3.6 Potencia del Ruido (Varianza)	7
3.7 Potencia Total del Sistema	7
4 Tabla de Asignación	7

1 Solución del Taller de Conducta de Entrada

La implementación se restringe a los conceptos fundamentales de síntesis de señales, adición de procesos estocásticos y caracterización mediante momentos estadísticos de primer y segundo orden.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# 1. Parámetros de la simulación
fs = 1000 # Frecuencia de muestreo [Hz]
T = 1.0   # Ventana de observación [s]
t = np.arange(0, T, 1/fs)

# 2. Generación de la componente determinística (Señal)
f1, f2 = 60, 150 # Frecuencias en Hz
A1, A2 = 1.2, 0.8
señal_limpia = A1 * np.sin(2 * np.pi * f1 * t) + A2 * np.sin(2 * np.pi * f2 * t)

# 3. Generación del proceso estocástico (Ruido)
sigma_ruido = 0.5
ruido = np.random.normal(0, sigma_ruido, len(t))
señal_ruidosa = señal_limpia + ruido

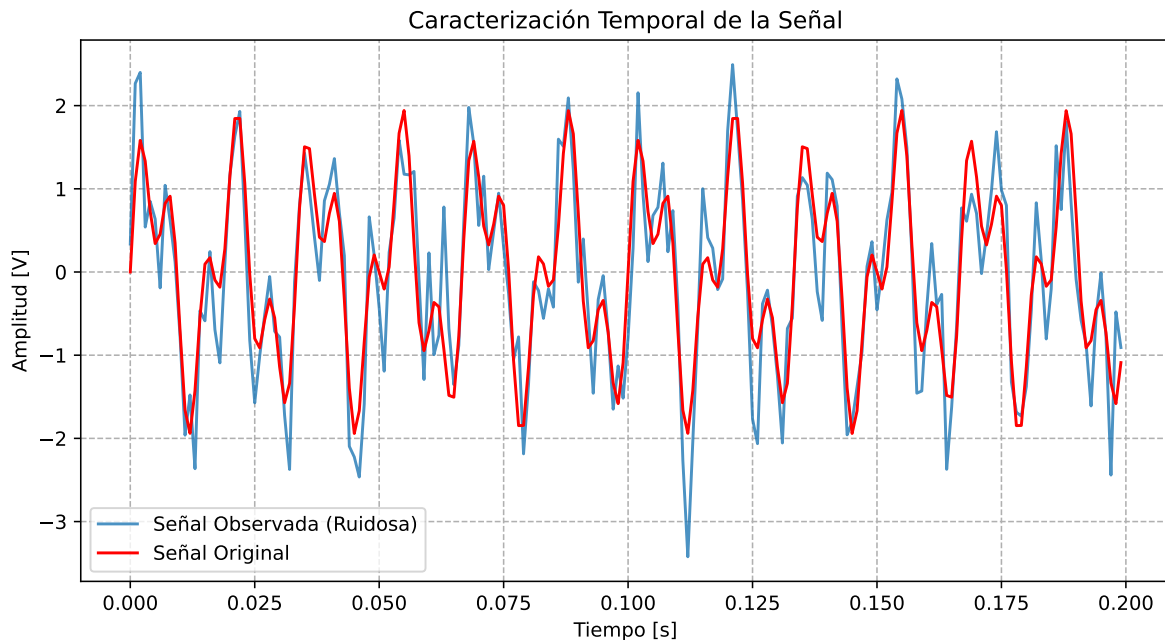
# 4. Cálculo de métricas estadísticas
media = np.mean(señal_ruidosa)
varianza = np.var(señal_ruidosa)
rms = np.sqrt(np.mean(señal_ruidosa**2))

# Cálculo de la Relación Señal-Ruido (SNR)
potencia_señal = np.mean(señal_limpia**2)
potencia_ruido = np.var(ruido)
snr_db = 10 * np.log10(potencia_señal / potencia_ruido)

# 5. Visualización
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.plot(t[:200], señal_ruidosa[:200], label='Señal Observada (Ruidosa)', alpha=0.8)
plt.plot(t[:200], señal_limpia[:200], 'r', label='Señal Original', linewidth=1.5)
plt.title("Caracterización Temporal de la Señal")
plt.xlabel("Tiempo [s]")
plt.ylabel("Amplitud [V]")
plt.legend()
```

```
plt.grid(True, linestyle='--')
plt.show()

print(f"Métricas calculadas:\nMedia: {media:.4f}\nRMS: {rms:.4f}\nSNR: {snr_db:.2f} dB")
```



Métricas calculadas:
 Media: -0.0200
 RMS: 1.1299
 SNR: 6.27 dB

2 Problemas de Análisis

Los siguientes problemas exigen la manipulación de las condiciones experimentales del código anterior para inferir el comportamiento de los estimadores estadísticos. Copie el código anterior (en un cuaderno de Jupyter) y modifique las condiciones experimentales según lo solicitado en cada problema. El reporte que se entrega debe contener:

0. Una celda markdown que contenga los integrantes del grupo y el enunciado del problema.
1. El código modificado

2. Un análisis de los resultados obtenidos
3. El código debe ser autocontenido, es decir, debe tener todas las importaciones necesarias y los datos de entrada.
4. El cuaderno jupyter debe ser enviado en formato .ipynb al correo electrónico del profesor (pablo.caicedo@escuelaing.edu.co) con el asunto “SYSB-Lab1-2026I. Nombre del grupo”. La entrega debe ser antes de las 9:30am del 3 de febrero de 2026.
5. Una omisión en alguno de los puntos anteriores resultará en una calificación de 0.
6. Tiene el derecho de solicitar al profesor confirmación de la llegada del cuaderno jupyter antes de las 10:00am del 3 de febrero de 2026. Después de ese momento no se atenderán reclamos por incompletitud del cuaderno jupyter.

2.1 Problema 1: Sensibilidad del RMS ante la Amplitud

Modifique las amplitudes A_1 y A_2 de forma que su suma sea constante (ej. $A_1 + A_2 = 2$).

Analice: ¿Cómo varía el valor RMS total al cambiar la proporción entre amplitudes? Justifique matemáticamente por qué el RMS no es simplemente la suma de las amplitudes.

2.2 Problema 2: Estabilidad de la Media en Procesos Sinusoidales

Ajuste el tiempo de observación T a valores que no sean múltiplos exactos del periodo de la señal más lenta (ej. $T = 0.023$ s). **Analice:** Explique por qué el valor de la media se aleja de cero a pesar de que la señal base es una senoide pura.

2.3 Problema 3: Impacto del Ruido en la Varianza Total

Incrementalmente aumente `sigma_ruido` de 0.1 a 2.0. **Analice:** Demuestre la relación entre la varianza de la señal ruidosa, la varianza de la señal limpia y la varianza del ruido. ¿Se cumple la propiedad de aditividad de varianzas?

2.4 Problema 4: Límite de Visualización Temporal (SNR Crítico)

Reduzca el valor de SNR a -5 dB ajustando `sigma_ruido`. **Analice:** Evalúe la capacidad de distinguir visualmente las componentes determinísticas en la gráfica temporal. ¿Qué métrica estadística permite confirmar la presencia de la señal si la inspección visual falla?

2.5 Problema 5: Efecto de la Frecuencia de Muestreo en el RMS

Reduzca `fs` a 200 Hz. **Analice:** Compare el valor RMS obtenido con el valor de la simulación original (1000 Hz). Explique si la tasa de muestreo afecta la estimación de la energía de la señal en este caso.

2.6 Problema 6: Independencia Estocástica

Genere dos vectores de ruido independientes y súmelos a la señal original. **Analice:** Compare el SNR resultante con el caso de un solo vector de ruido. Explique cómo se escala el ruido cuando se agregan múltiples fuentes independientes.

2.7 Problema 7: Análisis de la Distribución de Amplitudes

Grafique un histograma de `señal_ruidosa` para $T = 5.0$ s. **Analice:** ¿La distribución resultante es puramente normal (Gaussiana)? Explique cómo la presencia de las componentes sinusoidales altera la forma del histograma.

2.8 Problema 8: Energía en Ventanas Cortas

Divida la señal de 1.0 s en 10 segmentos de 0.1 s cada uno y calcule el RMS de cada segmento. **Analice:** Explique la variabilidad observada entre los segmentos y relacione esta variabilidad con el concepto de estacionariedad.

2.9 Problema 9: Influencia de la Fase

Añada un desfase aleatorio ϕ a una de las sinusoides. **Analice:** Determine si el valor RMS y el SNR dependen de la fase relativa entre las componentes. Justifique su respuesta basándose en la definición de potencia media.

2.10 Problema 10: Relación entre RMS y Desviación Estándar

Para una señal con media aproximadamente cero, demuestre mediante el código bajo qué condiciones el valor RMS es equivalente a la desviación estándar. **Analice:** ¿En qué casos prácticos de bioseñales esta equivalencia deja de ser válida?

3 Apéndice de Fórmulas y Definiciones

Para la resolución de los problemas planteados, se definen las siguientes métricas generalizadas que complementan el taller original:

3.1 Valor RMS (Root Mean Square)

Representa la magnitud eficaz de la señal:

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x(t)^2 dt} \approx \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2}$$

3.2 Relación Señal-Ruido (SNR) en Escala Logarítmica

Relaciona la potencia de la componente de interés frente a la potencia del ruido:

$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_{seal}}{P_{ruido}} \right)$$

Donde la potencia P para señales de media cero es equivalente a la varianza σ^2 .

3.3 Aditividad de Varianzas

Para dos señales independientes X y Y :

$$Var(X + Y) = Var(X) + Var(Y)$$

Esta propiedad permite descomponer la variabilidad observada en un sistema biológico ruidoso.

3.4 Potencia Media Temporal (Average Power)

Para una señal discreta $x[n]$ de longitud N , la potencia media se define como:

$$P_x = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |x[n]|^2$$

Uso: Representa la intensidad promedio de la señal a lo largo del intervalo de observación. Es equivalente al cuadrado del valor RMS.

3.5 Potencia de una Señal Sinusoidal

Para una señal del tipo $x(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$, la potencia media en un periodo completo (o para $T \gg 1/f$) es:

$$P_{sin} = \frac{A^2}{2}$$

Uso: Permite predecir la contribución energética de cada armónico o componente fisiológica rítmica independientemente de su fase.

3.6 Potencia del Ruido (Varianza)

En procesos estocásticos con media cero ($\mu = 0$), la potencia del ruido es equivalente a su varianza (σ^2):

$$P_{ruido} = \sigma^2 = E[x^2] - (E[x])^2$$

Uso: Cuantifica la dispersión o la incertidumbre del sistema de medida.

3.7 Potencia Total del Sistema

En un sistema donde la señal (s) y el ruido (n) son incorrelados, la potencia de la señal observada ($x = s + n$) es la suma de sus potencias individuales:

$$P_{total} = P_{seal} + P_{ruido}$$

Uso: Es fundamental para el diseño de filtros y la evaluación de la calidad de la adquisición (SNR).

4 Tabla de Asignación

Grupo	Problemas Asignados
A	3
B	9
C	2
D	6
E	1
F	4