

# Amplificador Lock-In

Morena Bilatz, Lola Estrada y Nina Schwartz

Laboratorio 4, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Prof. Diego Shalom.

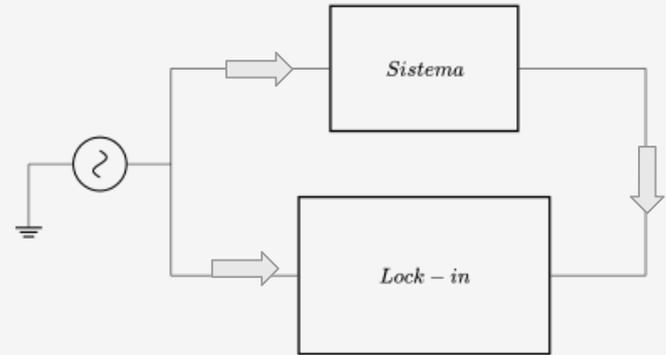
# ¿Qué es un amplificador Lock-In?

- Es un dispositivo de medición que permite detectar señales muy débiles y extraerlas de ruidos de alta frecuencia.
- Aísla la señal buscada y la amplifica, usando un PSD.



# ¿Cómo funciona?

- El generador manda una señal de **referencia externa**, de frecuencia  $\omega_r$
- El Lock-In genera una señal de **referencia interna** de la forma  $V_L \sin(\omega_L t + \theta_{ref})$
- El sistema manda una señal **experimental** al Lock-In de la forma  $V_{sig} \sin(\omega_r t + \theta_{sig})$



# ¿Cómo funciona?

- Con el PSD (*phase-sensitive detector*) se multiplica la señal **experimental** por la de **referencia interna**

$$V_{psd} = V_{sig} V_L \sin(\omega_r t + \theta_{sig}) \sin(\omega_L t + \theta_{ref})$$

# ¿Cómo funciona?

- Con el PSD (*phase-sensitive detector*) se multiplica la señal **experimental** por la de **referencia interna**

$$V_{psd} = V_{sig} V_L \sin(\omega_r t + \theta_{sig}) \sin(\omega_L t + \theta_{ref})$$


$$\sin(A)\sin(B) = \frac{1}{2}[\cos(A - B) - \cos(A + B)]$$

# ¿Cómo funciona?

- Con el PSD (*phase-sensitive detector*) se multiplica la señal **experimental** por la de **referencia interna**

$$V_{psd} = V_{sig} V_L \sin(\omega_r t + \theta_{sig}) \sin(\omega_L t + \theta_{ref})$$

$$\sin(A)\sin(B) = \frac{1}{2}[\cos(A - B) - \cos(A + B)]$$

$$V_{psd} = \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos[(\omega_r - \omega_L)t + \theta_{sig} - \theta_{ref}] - \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos[(\omega_r + \omega_L)t + \theta_{sig} + \theta_{ref}]$$

# ¿Cómo funciona?

- Si  $\omega_L = \omega_r$

$$V_{psd} = \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos(\theta_{sig} - \theta_{ref}) - \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos[(2\omega_r)t + \theta_{sig} + \theta_{ref}]$$

# ¿Cómo funciona?

- Si  $\omega_L = \omega_r$

$$V_{psd} = \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos(\theta_{sig} - \theta_{ref}) - \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos[(2\omega_r)t + \theta_{sig} + \theta_{ref}]$$

- Aplicando un **filtro pasabajos** ,

$$V_{psd} = \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos(\theta_{sig} - \theta_{ref})$$

donde  $V_{psd}$  es constante y **proporcional** a la amplitud de la señal experimental

# Módulo y fase

- $V_{psd}$  se anula si el desfase es de  $\pi/2$        $V_{psd} = \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos(\theta_{sig} - \theta_{ref})$

# Módulo y fase

- $V_{psd}$  se anula si el desfase es de  $\pi/2$   $V_{psd} = \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos(\theta_{sig} - \theta_{ref})$

- Le sumo una señal desfasada en  $\pi/2$  a la referencia:

$$V_{ref,90^\circ} = V_L \sin(\omega t + \theta_{ref} + 90^\circ)$$

# Módulo y fase

- $V_{psd}$  se anula si el desfase es de  $\pi/2$        $V_{psd} = \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos(\theta_{sig} - \theta_{ref})$

- Le sumo una señal desfasada en  $\pi/2$  a la referencia:

$$V_{ref,90^\circ} = V_L \sin(\omega t + \theta_{ref} + 90^\circ)$$

$$V_{psd,2} = \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos(\theta_{sig} - \theta_{ref} - \frac{\pi}{2})$$

# Módulo y fase

- $V_{psd}$  se anula si el desfase es de  $\pi/2$   $V_{psd} = \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos(\theta_{sig} - \theta_{ref})$

- Le sumo una señal desfasada en  $\pi/2$  a la referencia:

$$V_{ref,90^\circ} = V_L \sin(\omega t + \theta_{ref} + 90^\circ)$$

$$V_{psd,2} = \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos(\theta_{sig} - \theta_{ref} - \frac{\pi}{2})$$

- Luego de pasarla por el filtro pasabajos,

$$V_{psd2} \approx V_{sig} \sin(\theta)$$

$$\theta = \theta_{sig} - \theta_{ref}$$

# Módulo y fase

- Representa la señal como un **vector**

$$\begin{cases} X = V_{sig} \cos(\theta) \\ Y = V_{sig} \sin(\theta) \end{cases}$$

# Módulo y fase

- Representa la señal como un **vector**

$$\begin{cases} X = V_{sig} \cos(\theta) \\ Y = V_{sig} \sin(\theta) \end{cases}$$

- Puedo calcularle **módulo** y **fase**

$$\begin{cases} R = \sqrt{X^2 + Y^2} \\ \theta = \tan^{-1}(Y/X) \end{cases}$$

# Módulo y fase

- Representa la señal como un **vector**
- Puedo calcularle **módulo** y **fase**

$$\begin{cases} X = V_{sig} \cos(\theta) \\ Y = V_{sig} \sin(\theta) \end{cases}$$

$$\begin{cases} R = \sqrt{X^2 + Y^2} \\ \theta = \tan^{-1}(Y/X) \end{cases}$$



# ¿Qué mide el Lock-In?

- Según el **teorema de Fourier** , cualquier señal puede ser representada como una suma de senos de distintas amplitudes, frecuencias y fases.

# ¿Qué mide el Lock-In?

- Según el **teorema de Fourier** , cualquier señal puede ser representada como una suma de senos de distintas amplitudes, frecuencias y fases.
- Senos de distintas frecuencias son **ortogonales** . El promedio del producto de senos de distintas frecuencias es **cero** .

# ¿Qué mide el Lock-In?

- Según el **teorema de Fourier** , cualquier señal puede ser representada como una suma de senos de distintas amplitudes, frecuencias y fases.
- Senos de distintas frecuencias son **ortogonales** . El promedio del producto de senos de distintas frecuencias es **cero** .
- Con el PSD se multiplican señales sinusoidales de distintas frecuencias por una de  $\omega_L = \omega_r$  .

$$V_{sig} = \sum_{i=1}^N V_i \sin(\omega_i t + \theta_{sig}) \quad \longrightarrow \quad V_{psd} = \sum_{i=1}^N V_i \sin(\omega_i t + \theta_{sig}) \cdot V_L \sin(\omega_L t + \theta_L)$$

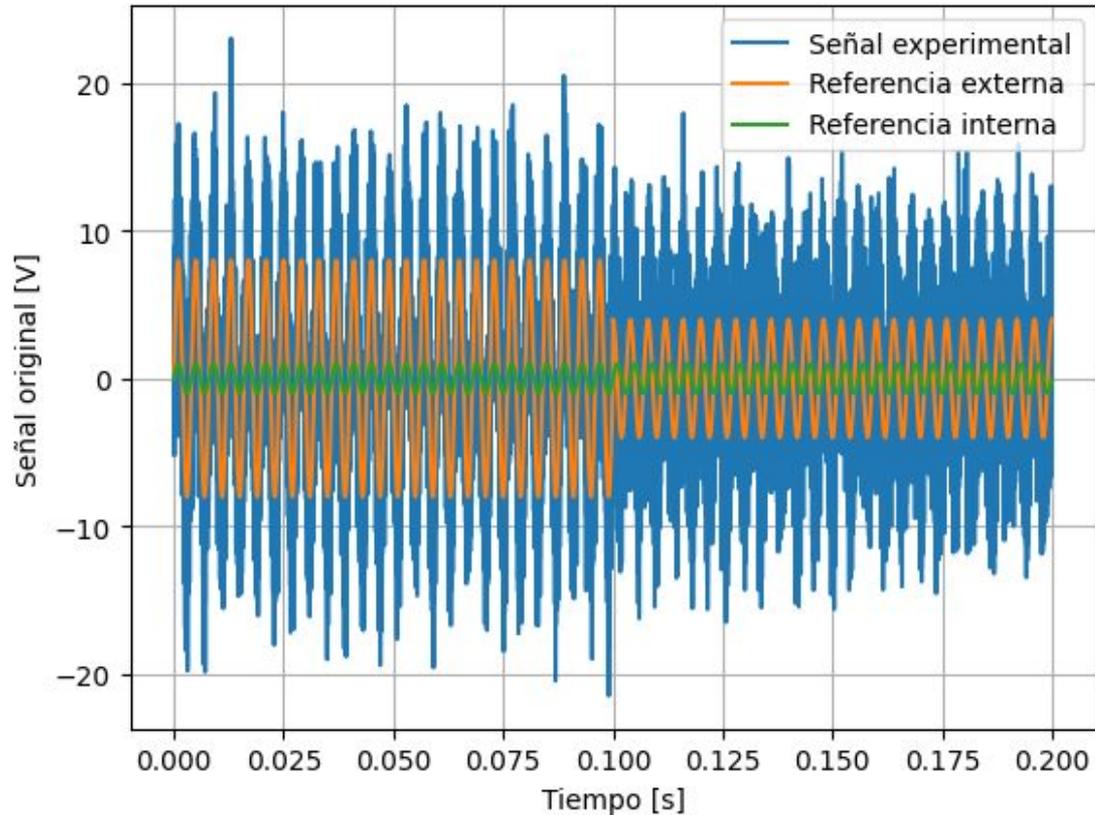
# ¿Qué mide el Lock-In?

- Según el **teorema de Fourier** , cualquier señal puede ser representada como una suma de senos de distintas amplitudes, frecuencias y fases.
- Senos de distintas frecuencias son **ortogonales** . El promedio del producto de senos de distintas frecuencias es **cero** .
- Con el PSD se multiplican señales sinusoidales de distintas frecuencias por una de  $\omega_L = \omega_r$  .

$$V_{sig} = \sum_{i=1}^N V_i \sin(\omega_i t + \theta_{sig}) \quad \longrightarrow \quad V_{psd} = \sum_{i=1}^N V_i \sin(\omega_i t + \theta_{sig}) \cdot V_L \sin(\omega_L t + \theta_L)$$

El Lock-In mide la **única componente de Fourier** con la señal de frecuencia  $\omega_r$

# Ejemplo: simulación



$$A1 = 8$$

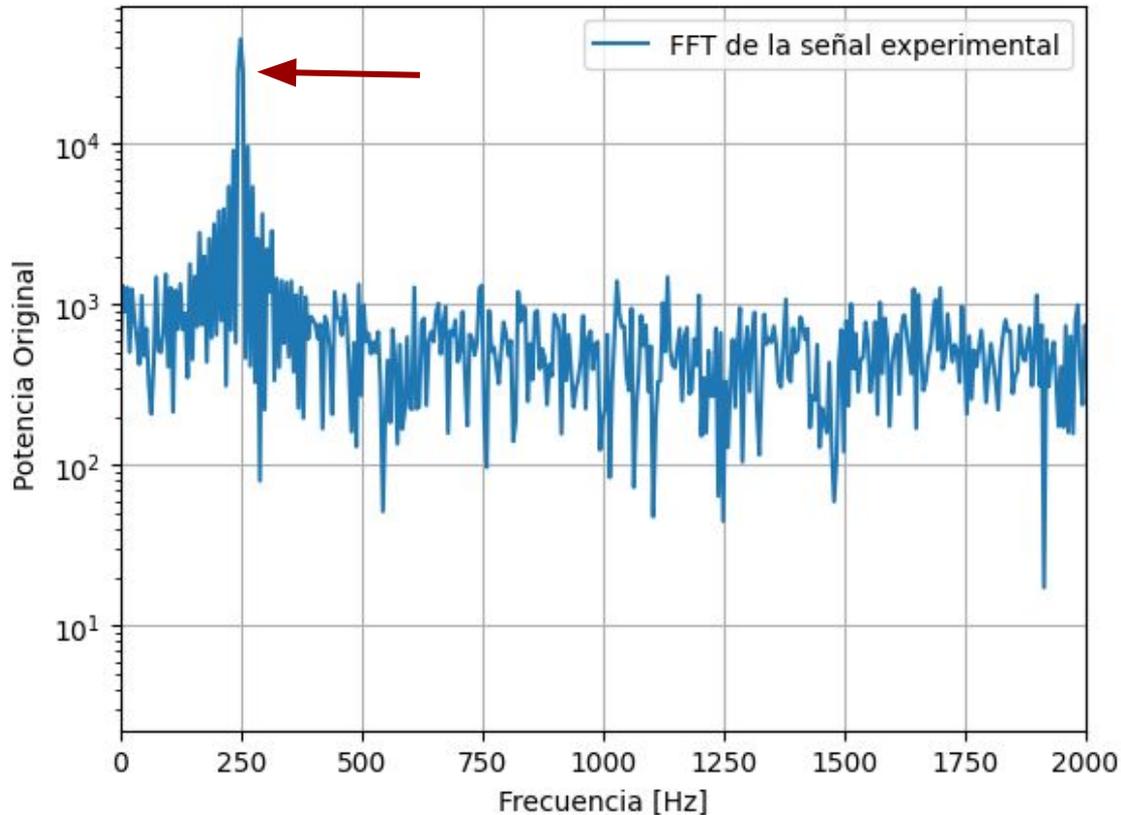
$$A2 = 4$$

$$FREC = 250$$

$$FASE1 = 0$$

$$FASE2 = \text{np.pi}/2$$

# Ejemplo: simulación



$$A1 = 8$$

$$A2 = 4$$

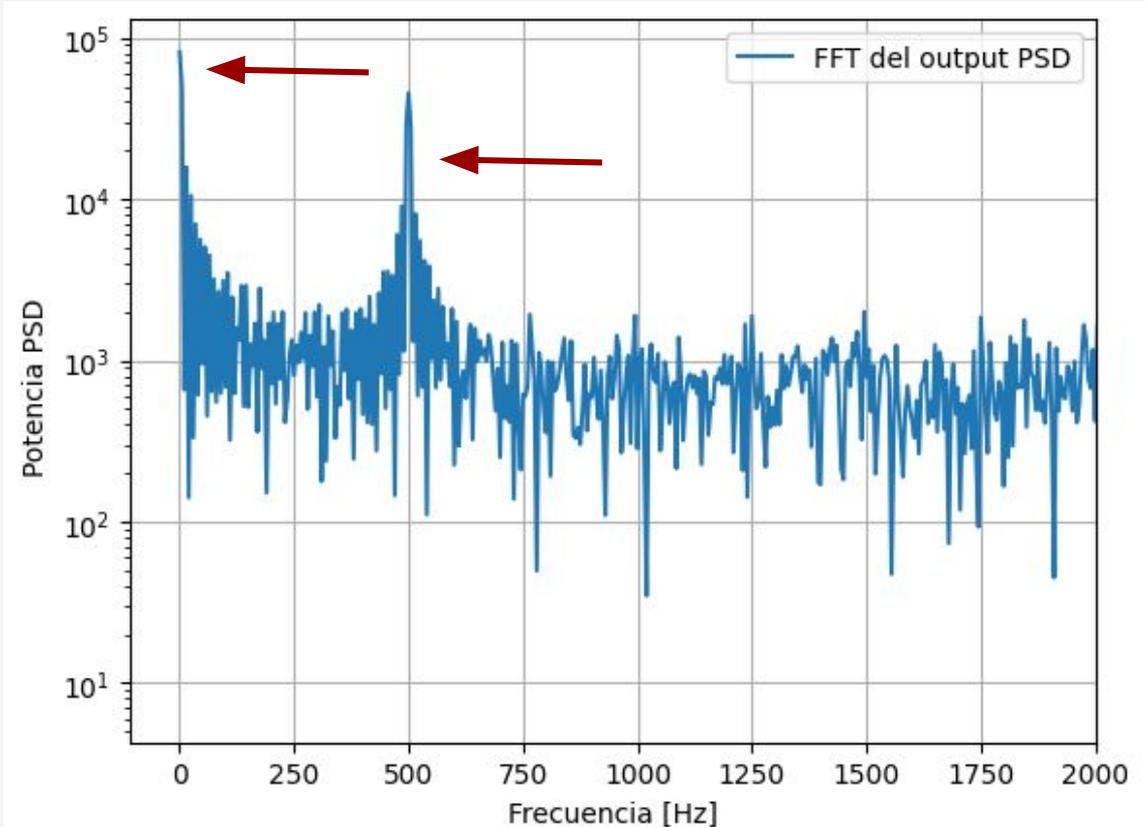
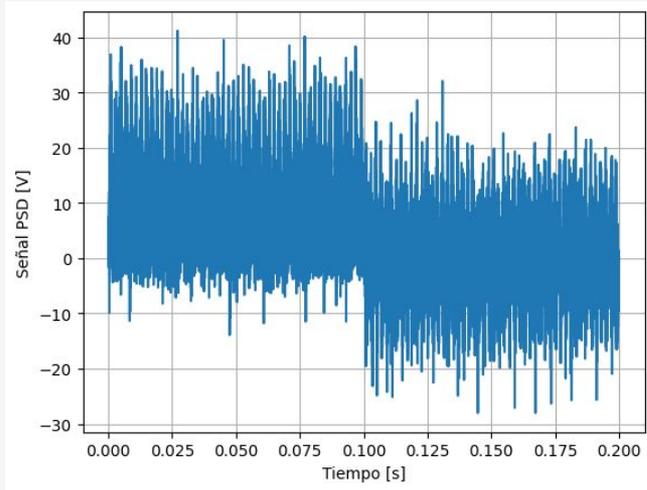
$$FREC = 250$$

$$FASE1 = 0$$

$$FASE2 = \text{np.pi}/2$$

# Ejemplo: simulación

FREC = 250

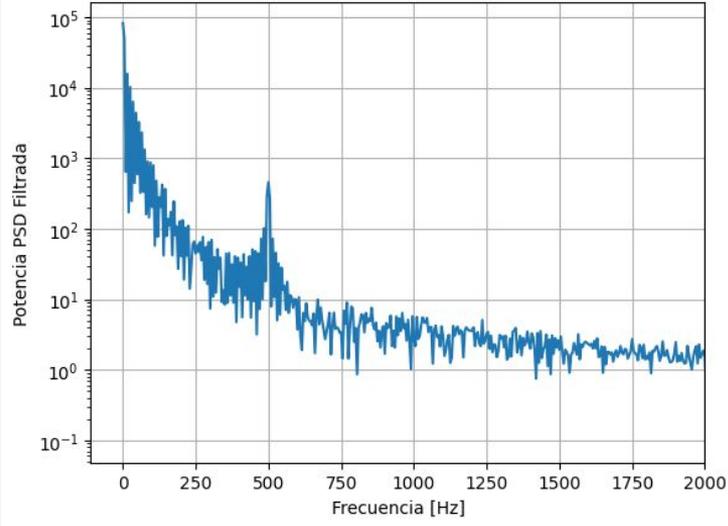


$$V_{psd} = \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos(\theta_{sig} - \theta_{ref}) - \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos[(2\omega_r)t + \theta_{sig} + \theta_{ref}]$$

# Ejemplo: simulación

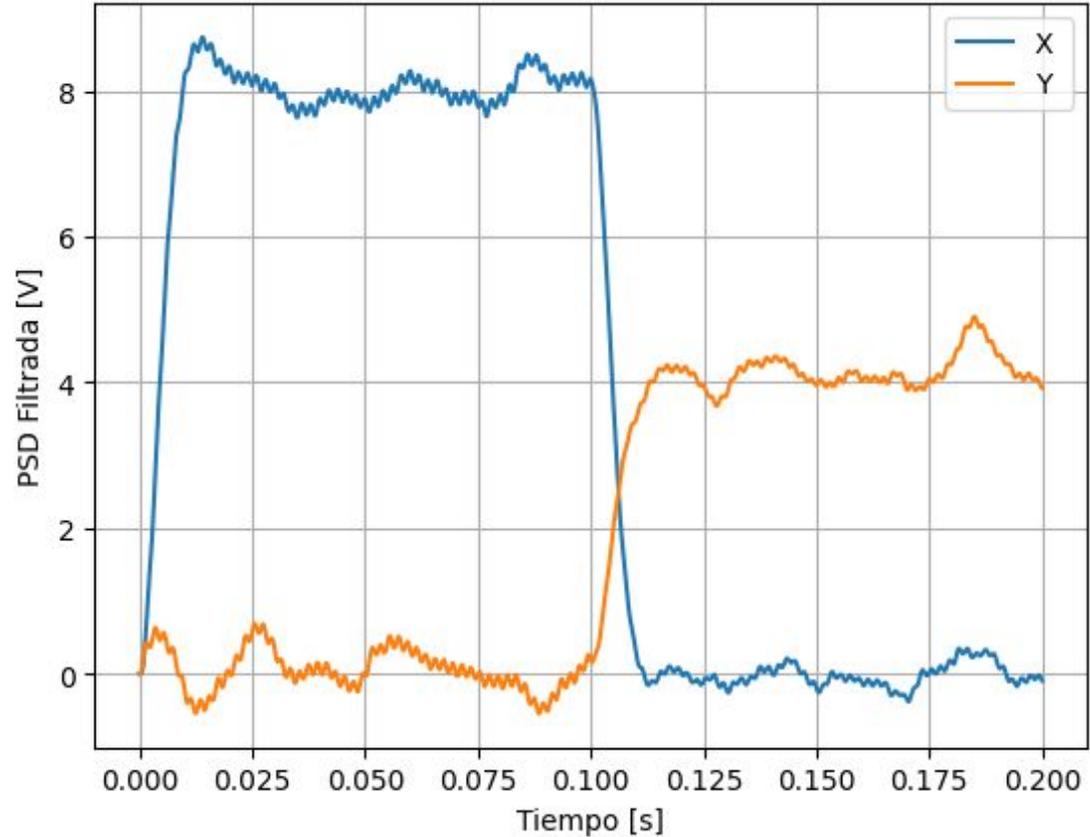
A1 = 8

A2 = 4



$$X = V_{sig} \cos(\theta)$$

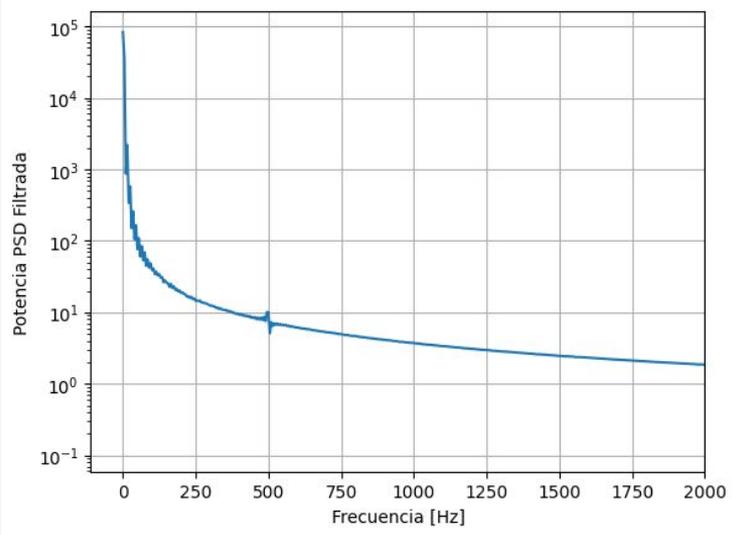
$$Y = V_{sig} \sin(\theta)$$



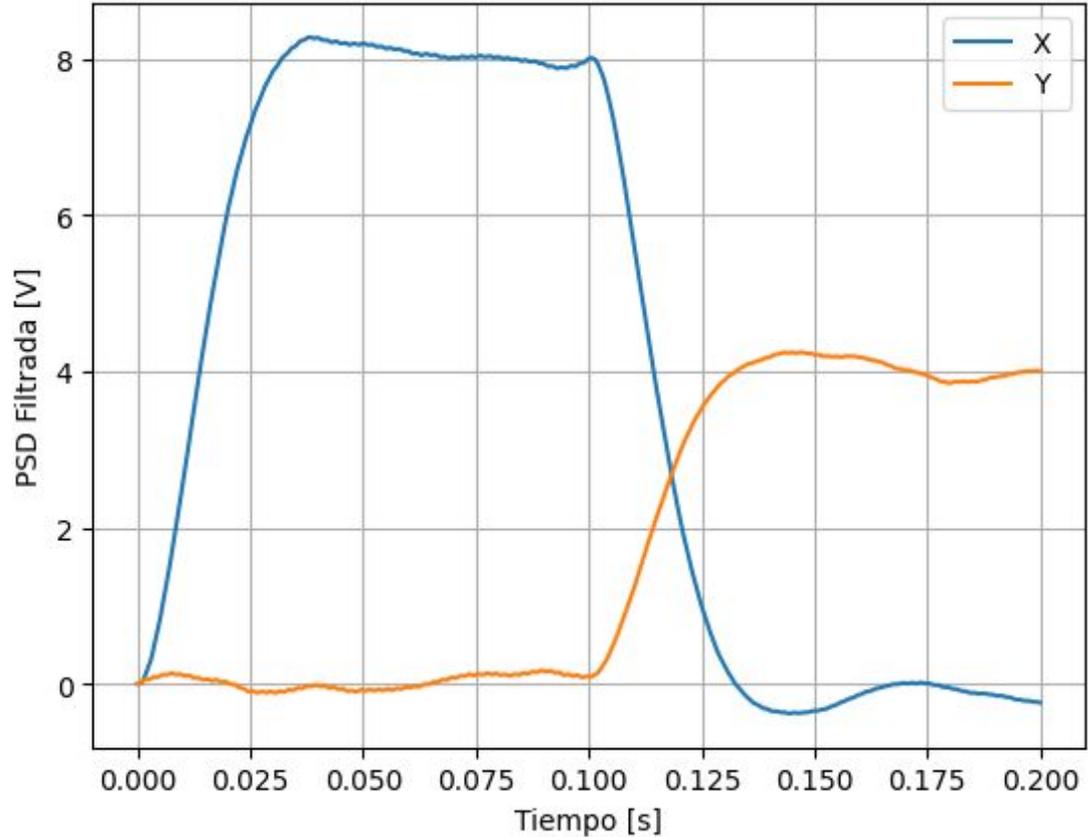
# Ejemplo: simulación

A1 = 8

A2 = 4



$$f_c = \frac{1}{\tau}$$



# ¿Preguntas?

Gracias por escuchar ;)