

# **CBM414 - Procesamiento digital de señales biomédicas**

## **Clase 19 - Densidad Espectral de Potencia y periodogramas**

David Ortiz, Ph.D.

Escuela de Ingeniería Biomédica  
Universidad de Valparaíso



**Universidad  
de Valparaíso**  
CHILE

## Objetivo general

Clase anterior:

- Diseño de filtros IIR de orden superior **12.6,12.7**

Clase de hoy:

- Densidad Espectral de Potencia y periodogramas **9.6**

---

Esta presentación es una recopilación del texto guía de *Orfanidis* y no contiene todos los temas abordados en clase. Por favor, reportar posibles errores al correo david.ortiz@uv.cl.

# Densidad Espectral de POTENCIA

**Función de autocorrelación**  $k \geq 0$ :

$$R_{XX}(k) = \mathbb{E}[X(n)X(n-k)], \quad \text{Estocástica}$$

$$\hat{R}_{xx}(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1-k} x(n+k)x(n), \quad \text{Determinista}$$

Ejemplo: Si  $x(n)$  es ruido blanco con potencia  $\sigma^2$ , entonces:

$$R_{xx}[k] = \begin{cases} \sigma^2, & \text{si } k = 0, \\ 0, & \text{si } k \neq 0. \end{cases}$$

**Observaciones:**

*Potencia:*

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

Puede expresarse en términos de la autocorrelación  $R_{XX}(k)$ :

$$P_x = \hat{R}_{xx}(0)$$

*Energía:*

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

# DENSIDAD ESPECTRAL de potencia

Aplicando la DTFT a la autocorrelación:

$$S_{XX}(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} R_{XX}(k)e^{-j\omega k}, \quad \text{espectro de potencia}$$

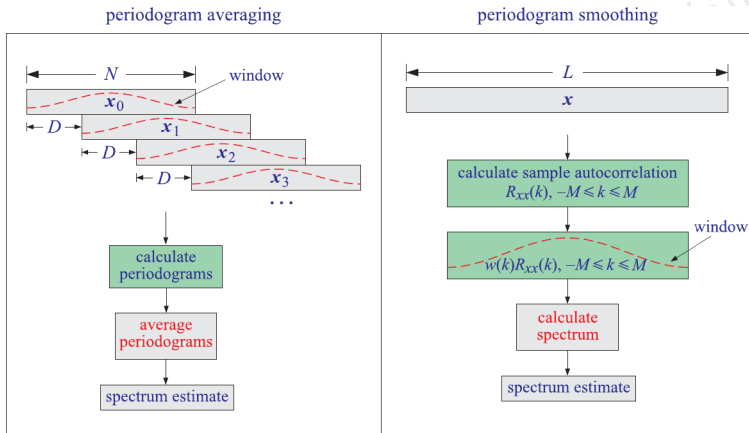
$$\hat{S}_{xx}(\omega) = \sum_{k=-(N-1)}^{N-1} \hat{R}_{xx}(k)e^{-j\omega k} = \frac{1}{N} |X_N(\omega)|^2, \quad \text{periodograma}$$

La cantidad  $S_{XX}(f)/f_s$  representa la *potencia por unidad de frecuencia*, llamada "espectro de potencia" o "densidad espectral de potencia (PSD)". Su integral en el intervalo de Nyquist da la potencia total de la señal.

**PSD modificado:** Se define aplicando una ventana, y luego se calcula la DTFT, es decir:

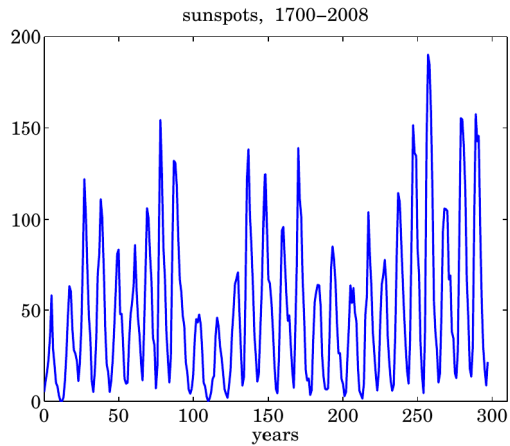
$$X_w(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} w(n)x(n)e^{-j\omega n}, \quad \hat{S}_{\text{mod}}(\omega) = \frac{1}{N} |X_w(\omega)|^2 \quad (\text{periodograma modificado})$$

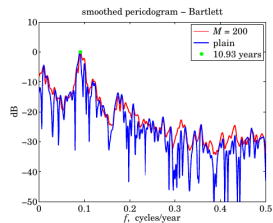
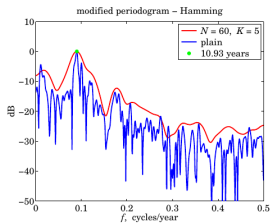
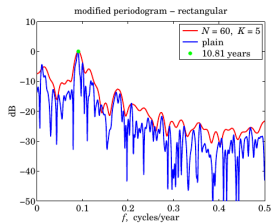
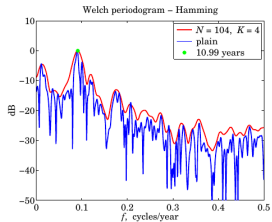
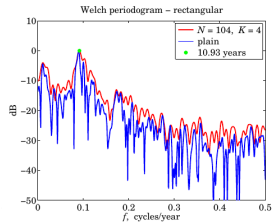
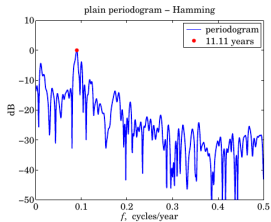
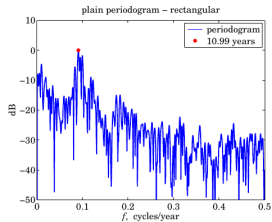
# Otros PSD modificados



**Método Welch:**  $K$  periodogramas promediados con 50% de superposición.

**Método Barlett:** Periodograma suavizado con ventana Barlett.





## Objetivo general

### Estudiar

Clase de hoy:

- Densidad Espectral de Potencia y periodogramas **9.6**

Próxima clase:

- Filtros de corrección de fase y cuantificación de la atenuación

Referencias:

1. S. J. Orfanidis, *Introduction to signal processing*. Rutgers University, 2010.  
Disponible en <https://eceweb1.rutgers.edu/~orfanidi/intro2sp/2e/>