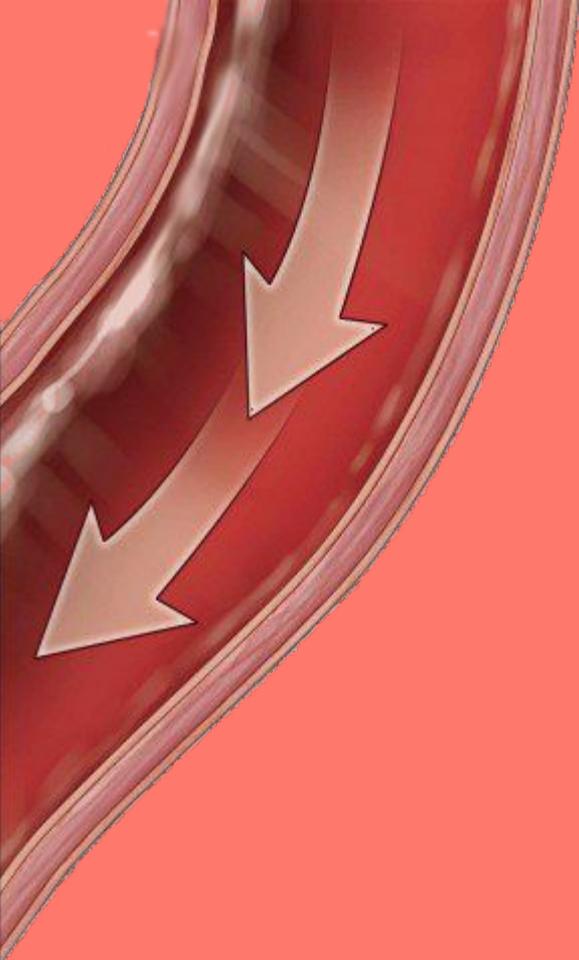


CLASE 6 - FISIOLÓGÍA CUANTITATIVA

Fisiología Arterial

Trabajo Práctico N°5



Contenidos

1

Presentación del segundo informe

Fechas, tareas y señales. Repaso de circuitos WK (2, 3 y 4 elementos).

2

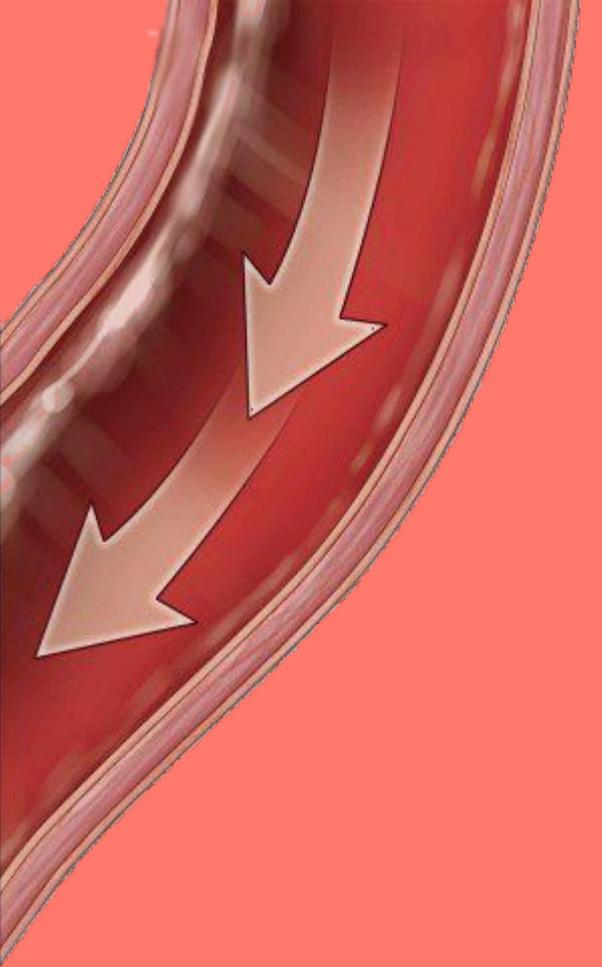
Estimación de parámetros

Estimación de parámetros de WK2 y bondad del ajuste

3

Impedancia arterial

Ejemplo de reconstrucción de señales a partir de armónicos. Impedancia arterial y modelos de WindKessel.



Contenidos

1

Presentación del segundo informe

Fechas, tareas y señales. Repaso de circuitos WK (2, 3 y 4 elementos).

2

Estimación de parámetros

Estimación de parámetros de WK2 y bondad del ajuste

3

Impedancia arterial

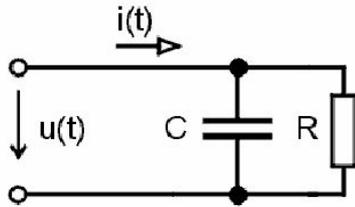
Ejemplo de reconstrucción de señales a partir de armónicos. Impedancia arterial y modelos de WindKessel.

Objetivos del trabajo

- Evaluar la dinámica arterial a partir de modelos eléctricos de tipo RC.
- Trabajar con señales arteriales relevadas in-vivo. Conocer los comportamientos frecuenciales de las señales de presión y flujo arteriales.
- Corroborar las predicciones del modelo

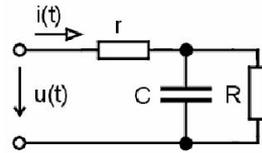
Modelos de Windkessel

2 elementos

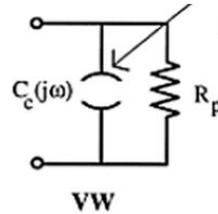


a) 2WM

3 elementos

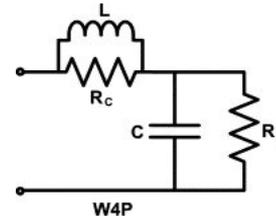


b) 3WM

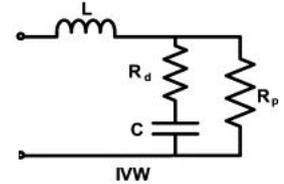


VW

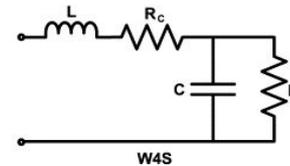
4 elementos



W4P



IWV



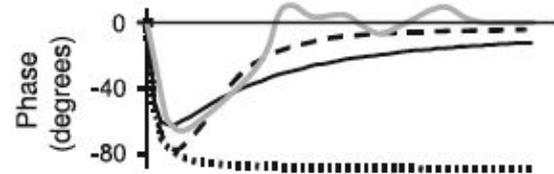
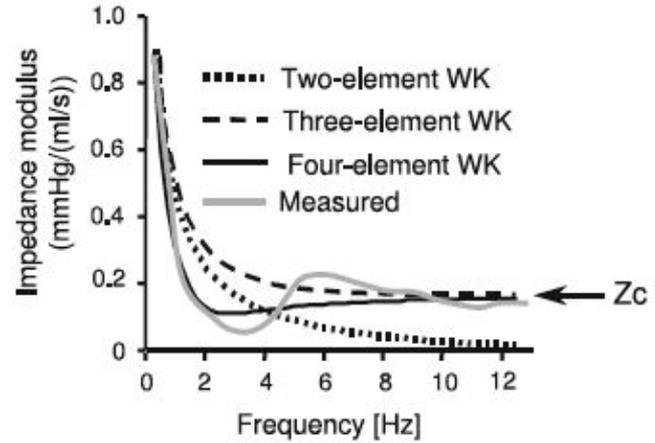
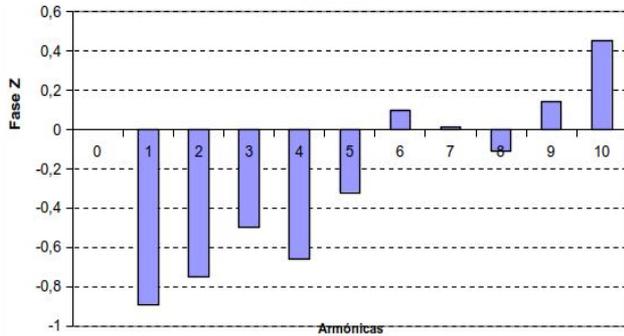
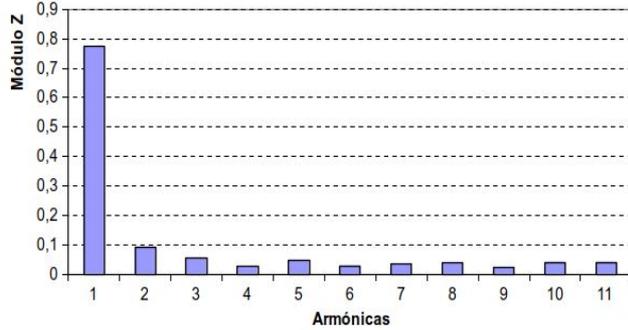
W4S

Enlaces de interés

[1] Westerhof, N., Lankhaar, J.-W., y Westerhof, B. E. (2008) *The arterial Windkessel*. Medical & Biological Engineering & Computing, 47(2), 131–141. doi: 10.1007/s11517-008-0359-2

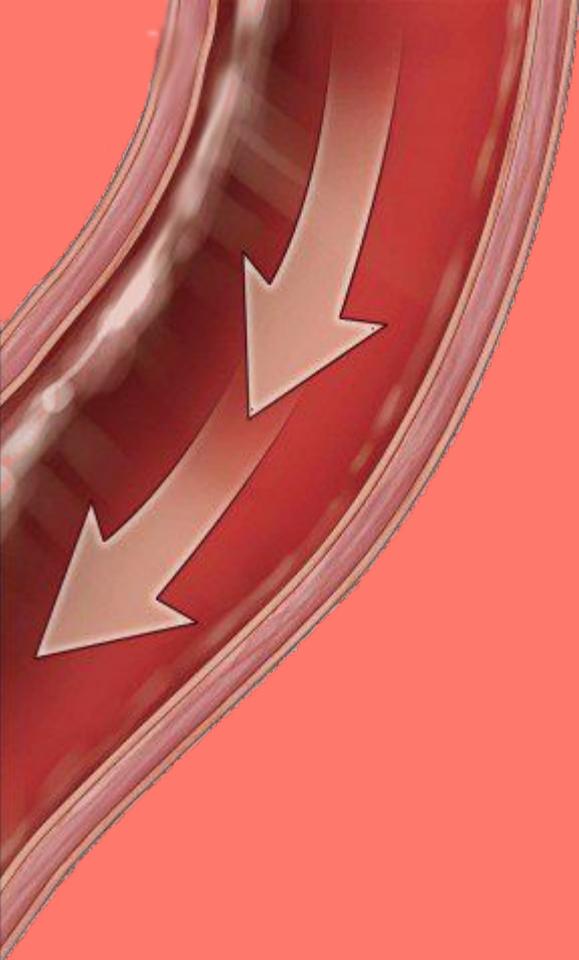
[2] Kerner, D. *Solving Windkessel Models with MLAB*. Extraído de:
<http://www.civilized.com/mlabexamples/windkesmodel.html>

Impedancia arterial y modelo de WK: ejemplo



Sobre el informe:

- Límite de 10 hojas.
- Determinar las constantes circuitales del modelo WK_2 clásico (C_A y R_p) utilizando las series temporales medidas de presión aórtica (P_A) y flujo aórtico (Q_A) de T1.xls ($f_s=250\text{Hz}$).
- Evaluar el grado de ajuste del modelo (utilizando las constantes calculadas) en términos de P_A medida, aplicando como entrada Q_A .
- Incorporar la resistencia de la aorta proximal (modelo WK_3) y verificar la mejora en la aproximación del modelo respecto del WK_2 .
- Calcular la transformada de cada sistema y compararla con $Z(jw)$.



Contenidos

1

Presentación del segundo informe

Fechas, tareas y señales. Repaso de circuitos WK (2, 3 y 4 elementos).

2

Estimación de parámetros

Estimación de parámetros de WK2 y bondad del ajuste

3

Impedancia arterial

Ejemplo de reconstrucción de señales a partir de armónicos. Impedancia arterial y modelos de WindKessel.

Estimación de la Resistencia periférica (R_p)

Debido a que en régimen permanente no se desarrollan variaciones de $P_{AO}(t)$, la ecuación diferencial puede reducirse a:

$$Q_{VI} = \frac{P_{AO} - P_{\infty}}{R_p}$$

Consecuentemente, la resistencia periférica puede ser obtenida a partir de las **componentes estables** de P_{AO} y Q_{VI} , es decir, **utilizando sus valores medios**:

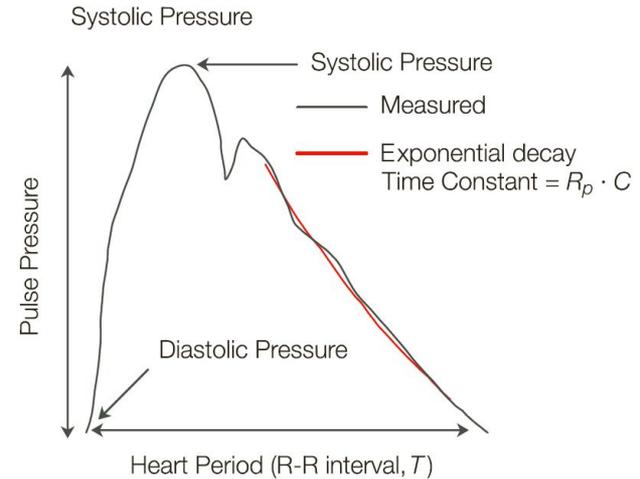
$$R_p = \frac{\overline{P_{AO}} - P_{\infty}}{\overline{Q_{VI}}}$$

Estimación de la Compliancia arterial sistémica (C_a)

Obtenida R_p , la compliance sistémica puede derivarse del valor del constante de decaimiento $\tau = C_a R_p$. Para obtenerla, debe efectuarse un **ajuste exponencial** (no lineal) de la presión aórtica.

$$P_{DIA}(t) = P_{fs} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

El ajuste puede tener inicio tiempo después del cierre de la válvula aórtica (10% del ciclo) aunque se considera adecuado **el último tercio de la diástole** (libre de reflexiones).



Estimación de la Resistencia de la aorta proximal (R_c)

La introducción de Z_c (impedancia característica) mejora el comportamiento de Z_{in} en altas frecuencias.

$$Z_{IN}(\omega) = \frac{P_{AO}(\omega) - P_{\infty}}{Q_{VI}(\omega)} = Z_C + \frac{R_p}{1 + j\omega R_p C_A}$$

$$(P_{AO} - P_{\infty}) + R_A C_A \frac{dP_{AO}}{dt} = (R_p + Z_C) Q_{VI} + Z_C R_p C_A \frac{dQ_{VI}}{dt}$$

- Para estimar el valor de la resistencia de la aorta proximal se implementa el modelo de WK_3 utilizando los valores de R_p y C_a hallados para WK_2 , y se varía el valor de R_c hasta encontrar aquel que mejor ajusta el modelo a los datos reales.
- El valor de R_c en los mamíferos representa un 5% a 7% del valor de R_p .

Bondad del ajuste

El **índice de correlación** (o coeficiente de determinación) R^2 (en mayúsculas por referirse a un ajuste no lineal) se define como :

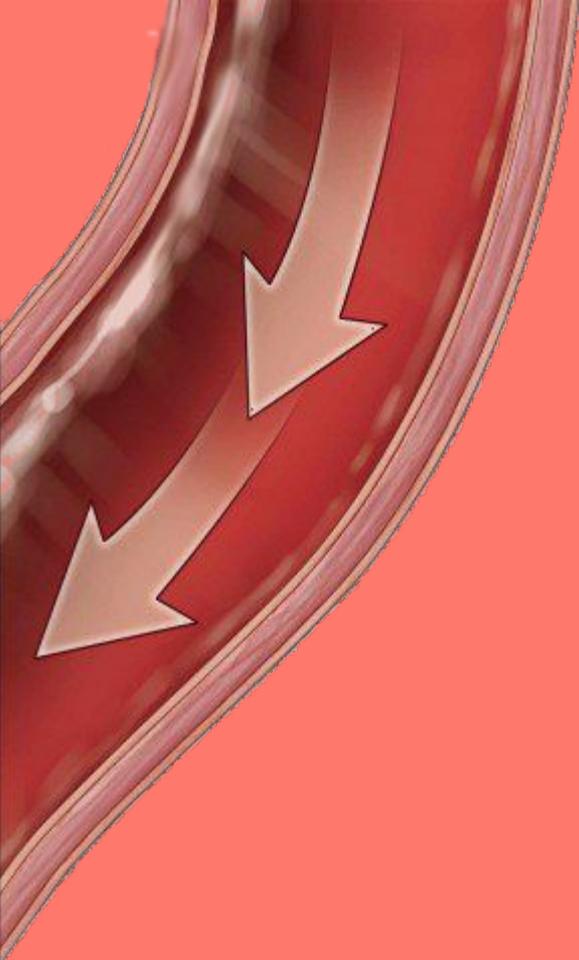
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (ymed_i - yest_i)^2}{\sum_i (ymed_i - \overline{ymed})^2}$$

Donde $ymed_i$ constituye el dato medido e $yest_i$ el dato estimado a partir de la **curva de aproximación al comportamiento a modelar**.

En el numerador se observa la **varianza residual** (variabilidad no explicada) mientras que en el denominador la **varianza total** de los datos evaluados respecto a su media muestral.

Estimación de parámetros en Simulink

Parameter estimation



Contenidos

1

Presentación del segundo informe

Fechas, tareas y señales. Repaso de circuitos WK (2, 3 y 4 elementos).

2

Estimación de parámetros

Estimación de parámetros de WK2 y bondad del ajuste

3

Impedancia arterial

Ejemplo de reconstrucción de señales a partir de armónicos. Impedancia arterial y modelos de WindKessel.

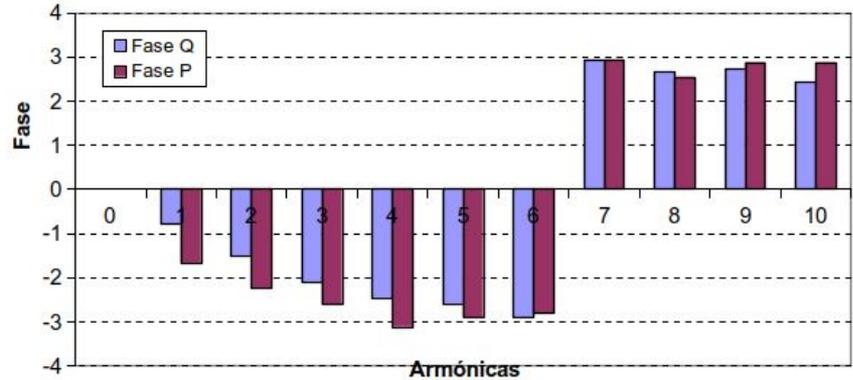
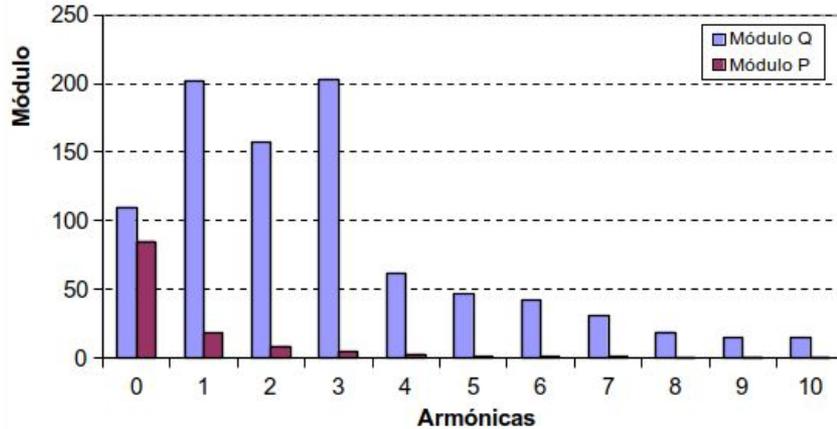
Impedancia arterial y modelo de WK: ejemplo

Sean dos señales de Presión (mmHg) y Flujo (ml/s) aórticas de un paciente humano gobernadas por las siguientes armónicas

Armónica	Módulo Q	Fase Q	Módulo P	Fase P
0	110	0	85	0
1	202	-0.78	18.6	-1.67
2	157	-1.50	8.6	-2.25
3	203	-2.11	5.1	-2.61
4	62	-2.46	2.9	-3.12
5	47	-2.59	1.3	-2.91
6	42	-2.91	1.4	-2.81
7	31	2.92	1.2	2.93
8	19	2.65	0.4	2.54
9	15	2.73	0.6	2.87
10	15	2.42	0.6	2.87

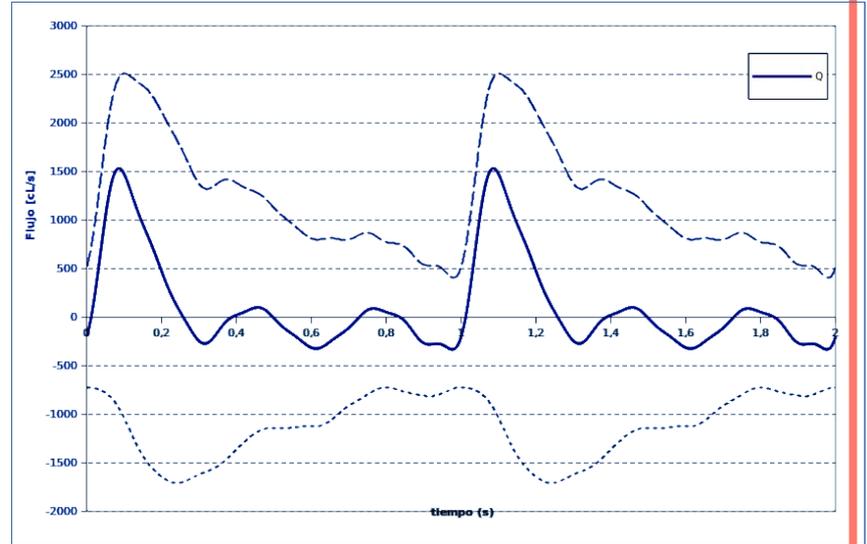
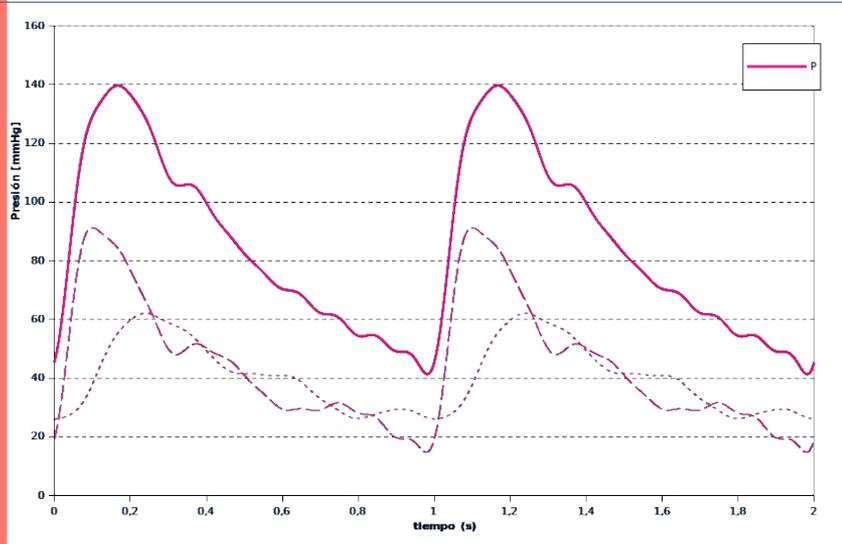
Impedancia arterial y modelo de WK: ejemplo

1. Graficar en frecuencia las componentes armónicas de $P(t)$ y $Q(t)$.



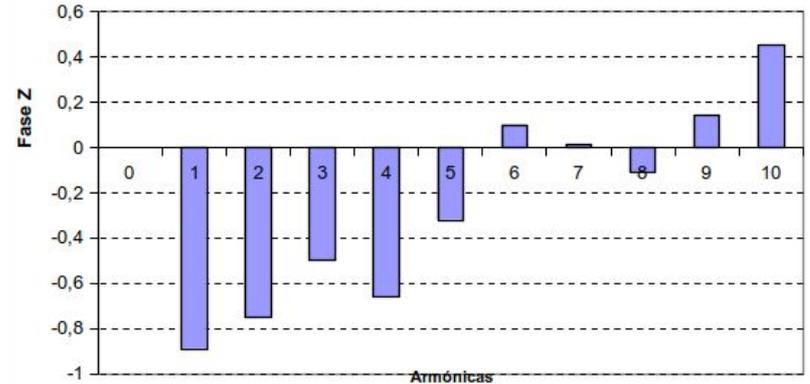
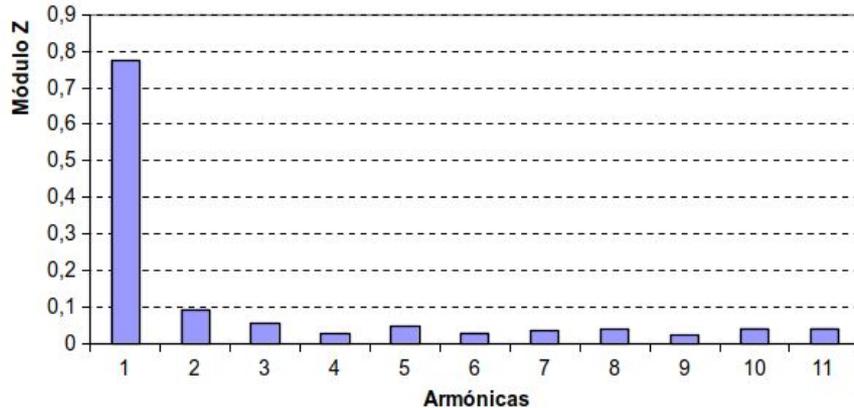
Impedancia arterial y modelo de WK: ejemplo

1. Graficar en frecuencia las componentes armónicas de $P(t)$ y $Q(t)$.
2. Sintetizar las formas de onda temporales

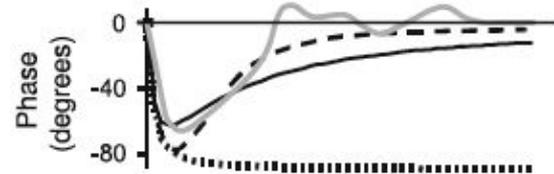
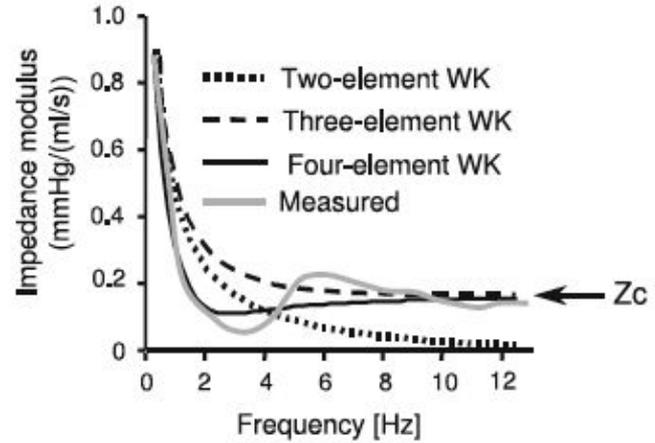
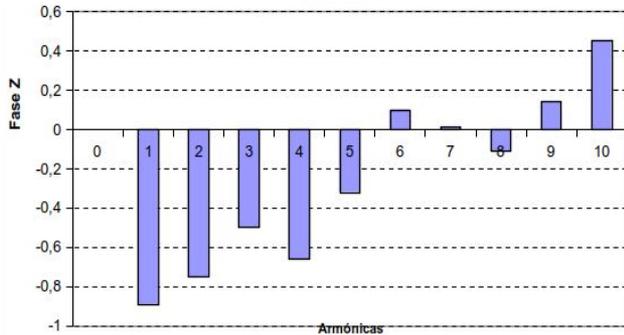
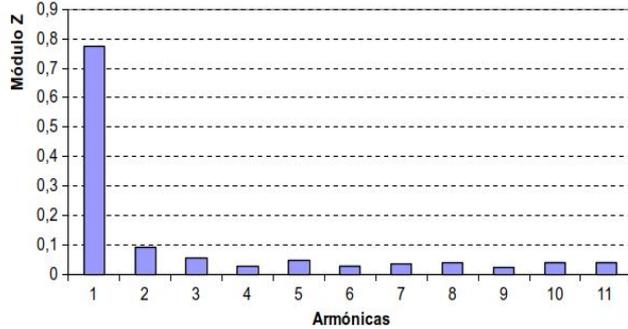


Impedancia arterial y modelo de WK: ejemplo

1. Graficarlas en frecuencia
2. Sintetizar las formas de onda temporales
3. Calcular Ze identificando los componentes eléctricos representativos



Impedancia arterial y modelo de WK: ejemplo



Gracias!

¿Preguntas?

Ricardo Armentano

 rarmetano@cup.edu.uy

Lucía Lemes

 llemes@cup.edu.uy