

Introducción

El modelo WK₂

Inconsistencias WK₂

El modelo WK₃

Aspectos Clínicos

MATLAB

ACTIVIDAD PRÁCTICA

Modelo Windkessel de 2 Elementos

Determinación experimental de 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**:

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

Introducción

El modelo WK₂

Inconsistencias WK₂

El modelo WK₃

Aspectos Clínicos

MATLAB

ACTIVIDAD PRÁCTICA

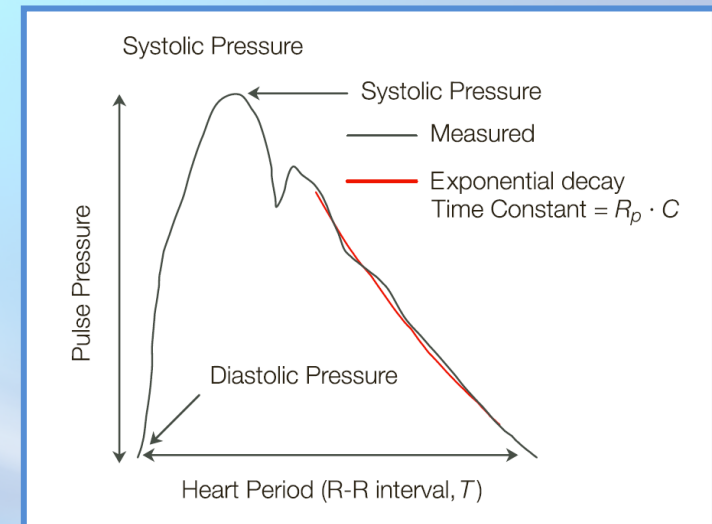
Modelo Windkessel de 2 Elementos

Determinación experimental de 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)



Introducción

El modelo WK2

Inconsistencias

WK₂

El modelo WK₃

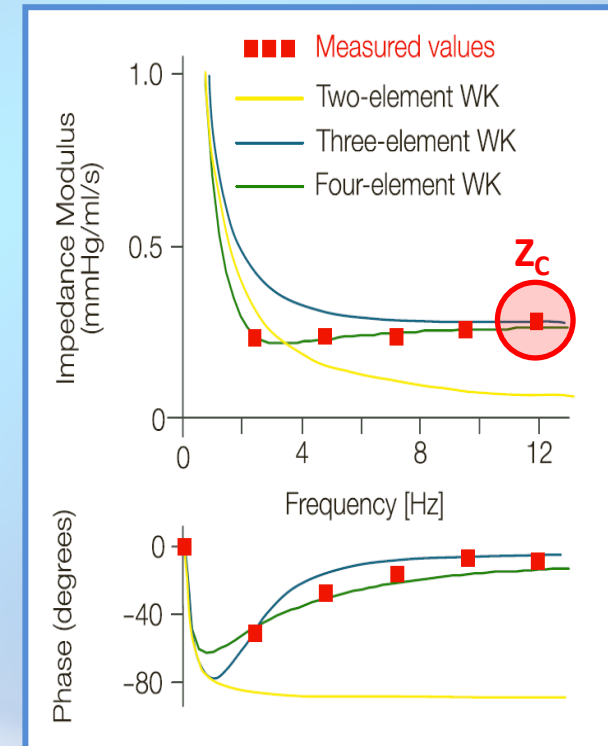
Aspectos Clínicos

MATLAB

ACTIVIDAD PRÁCTICA

Inconsistencias del modelo WK2

- El modelo WK_2 acusa deficiencias en *ajuste de la fase sistólica*.
- No pueden evaluarse fenómenos relacionados con el *propagación o reflexión de ondas*
- El modelo no es representativo del comportamiento medido en términos de *impedancia arterial (Z_{in})*. Esta última establece la relación presión-flujo medida en la aorta proximal ($Z_{in}(f) = P_A(f) / Q_A(f)$) en el *dominio frecuencial*



Introducción

El modelo WK2

Inconsistencias WK₂

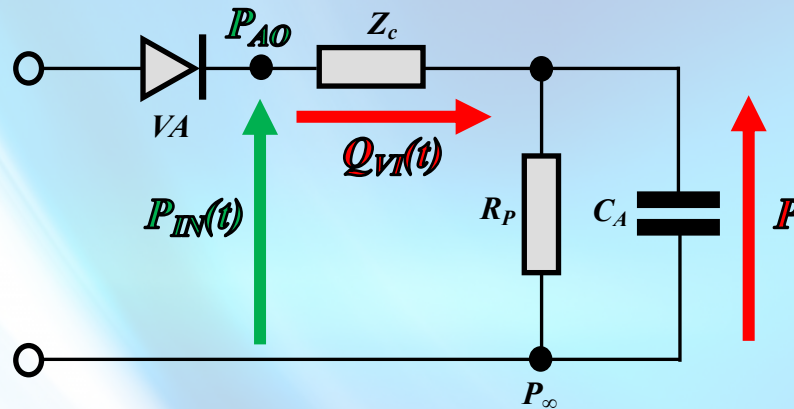
El modelo WK₃

Aspectos Clínicos

MATLAB

ACTIVIDAD PRÁCTICA

Modelo Windkessel de 3 Elementos



Parámetros constitutivos

VA: Válvula aórtica

R_P : Resistencia Periférica

C_A : Compliance Arterial Sistémica

Z_C : Impedancia de la Aorta Proximal

La introducción de Z_C (impedancia característica) mejora el comportamiento de Z_{in} en altas frecuencias. En los mamíferos es del 5% al 7% de R_P

- P_{AO} : Presión **Aórtica**
- Q_{VI} : Flujo **Ventricular izquierdo**

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

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

Introducción

El modelo WK2

Inconsistencias WK₂

El modelo WK3

Aspectos Clínicos

MATLAB

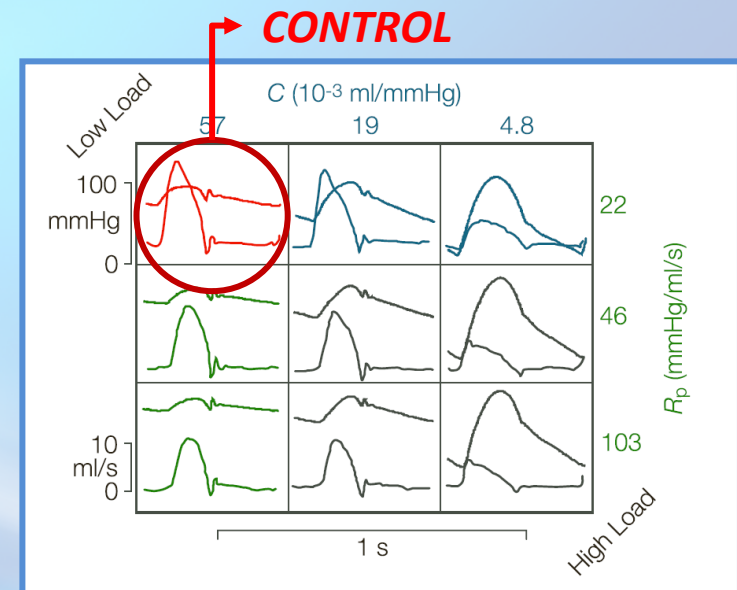
ACTIVIDAD PRÁCTICA

Aspectos Clínicos

Los parámetros de los modelos **WK** (R_p , C_A y Z_c) proporcionan interpretación en términos biológicos. Particularmente, el **WK₃** modela consistentemente los cambios en la presión arterial relacionados **con el envejecimiento**:

- R_p se ve incrementada en conjunción con la disminución de Q_A , lo que implica un leve aumento en la **presión media**.
- C_A se ve disminuida, dando lugar a un aumento de la **presión pulsátil**

↑ P Sistólica, ↓ P diastólica



INGENIERÍA CARDIOVASCULAR

MODELO WINDKESSEL

Introducción

El modelo WK2

Inconsistencias WK₂

El modelo WK3

Aspectos Clínicos

MATLAB

ACTIVIDAD PRÁCTICA

MATLAB: EDOs 1er orden

The screenshot displays the MATLAB R2013a environment. The Editor window shows a script named EDO1.m with the following content:

```
1 %=====
2 %Ecuación Diferencial de Primer Orden
3 %
4 %=====
5 function yp=EDO1(t,y)
6     yp=1-2*y;
7
8
```

The Command Window shows the execution of the script:

```
>> t=0:0.01:4;
>> [t,y]=ode45(@EDO1,t,0);
>> plot(t,y);
fx >>
```

The Workspace window shows the variables t and y:

Name	Value	Min	Max
t	<401x1 double>	0	4
y	<401x1 double>	0	0.49...

The Figure window shows a plot of y versus t, illustrating the solution of the differential equation. The plot shows a curve that starts at (0,0) and asymptotically approaches a value of approximately 0.5 as t increases from 0 to 4.

Introducción

El modelo WK2

Inconsistencias WK₂

El modelo WK3

Aspectos Clínicos

MATLAB

ACTIVIDAD PRÁCTICA

MATLAB: Ajuste no lineal de datos

La función *lsqnonlin* permite encontrar el **mínimo local** de una función expresada como suma mínimos cuadrados de funciones **no lineales**. Implementa algoritmos **ITERATIVOS** en búsqueda de una solución **óptima**:

$$\min_x \sum_i (F(x, y_{est_i}) - y_{med_i})^2$$

donde $F(x,y)$ es una función no lineal, cuyos coeficientes **son desconocidos**, que estima el **comportamiento de los datos medidos**.

Algoritmos utilizados:

- Levenberg-Marquardt
- Trust Region Reflective

Introducción

El modelo WK2

Inconsistencias WK₂

El modelo WK3

Aspectos Clínicos

MATLAB

ACTIVIDAD PRÁCTICA

MATLAB/EXCEL: Bondad de Ajuste

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

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_{med_i} - y_{est_i})^2}{\sum_i (y_{med_i} - \overline{y_{med}})^2}$$

donde y_{med_i} constituye el dato medido e y_{est_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.

Introducción

El modelo WK2

Inconsistencias WK₂

El modelo WK3

Aspectos Clínicos

MATLAB

ACTIVIDAD

PRÁCTICA

Actividad Práctica

- Determinar las constantes circuitales del modelo **WK₂** clásico (**C_A** y **R_p**) utilizando las series temporales medidas de presión aórtica (**P_A**) y flujo aórtico (**Q_A**) de datos arteriales. Xls (**f_s=250Hz**)
- Evaluar el grado de ajuste del modelo (utilizando las constantes calculadas) en términos de **P_A** medida, aplicando como entrada **Q_A**
- Modificar los valores obtenidos de **C_A** y **R_A** de manera de verificar los efectos derivados del envejecimiento.
- Incorporar la resistencia de la aorta proximal (modelo **WK₃**) y verificar la mejora en la aproximación del modelo respecto del **WK₂**.
- Usar los datos del TP de Finapress para generar un **WK₃** y encontrar la ecuación diferencial del circuito eléctrico, luego simularla numéricamente mediante métodos EULER O RK