



## Introducción

El sistema renal regula el equilibrio de líquidos y electrolitos mediante la filtración de la sangre en el glomérulo y el transporte del filtrado a lo largo del túbulos renales. Este proceso puede representarse mediante un circuito eléctrico de segundo orden que captura la dinámica entre presión, flujo y almacenamiento de volumen dentro del riñón.

## Objetivo

Modelar y analizar el circuito mediante su función de transferencia y ecuaciones dinámicas, evaluando su estabilidad y error en estado estacionario. Simular el sistema en MATLAB/Simulink y diseñar un controlador PID que reduzca el error entre la respuesta de un individuo sano y un paciente con hipertensión.

## Diagrama eléctrico

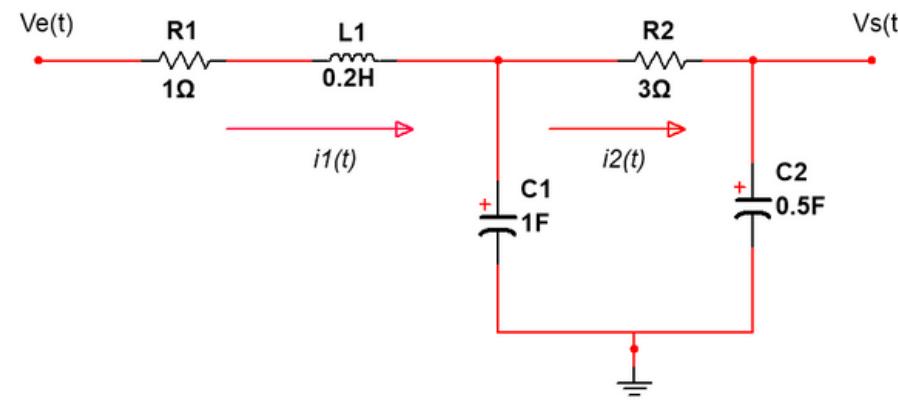


Figura 1.- Circuito RLC

Parametros	Control	Caso
R <sub>1</sub> (resistencia)	1 ohms	1 ohms
C <sub>1</sub> (Capacitancia)	1 Faradio	3 Faradios
R <sub>2</sub>	3 ohms	10 ohms
C <sub>2</sub>	0.5 Faradios	0.5 Faradios
L	0.2 Henrios	0.2 Henrios

Tabla 1.- Valores del circuito.

# SISTEMA RENAL

## MODELO DINAMICO DE FILTRACION

PALABRAS CLAVE : SISTEMA RENAL, MODELO MATEMATICO, CIRCUITO RLC.

## Diagrama fisiológico

En este modelo:

- La resistencia R<sub>1</sub> representa la resistencia vascular renal.
- la resistencia R<sub>2</sub> al flujo tubular.
- La capacitancia C<sub>1</sub> representa la distensibilidad del glomérulo.
- La capacitancia C<sub>2</sub> representan los túbulos renales.
- La inductancia L representa la inercia del flujo sanguíneo renal.

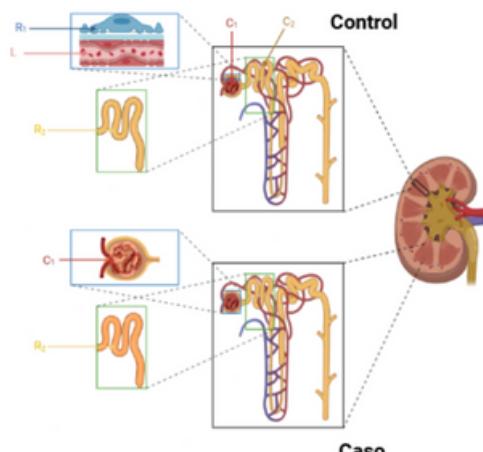


Figura 2.- Sistema renal

## Analisis Matematico

### Función de transferencia

$$\frac{V_s(s)}{V_e(s)} = \frac{1}{R_2 L C_1 C_2 S^3 + (L[C_1 C_2] + R_1 R_2 C_1 C_2)S^2 + (R_1 [C_1 C_2] + R_2 C_2)S + 1}$$

### Modelo de ecuaciones integro-diferenciales

$$i_1(t) = \left[ V_e(t) - L \frac{di_1(t)}{dt} - \frac{1}{C_1} \int (i_1(t) - i_2(t)) dt \right] / R_1$$

$$i_2(t) = \left[ \frac{1}{C_2} \int i_2(t) dt - \frac{1}{C_1} \int (i_1(t) - i_2(t)) dt \right] / R_2$$

$$V_s = \frac{1}{C_2} \int i_2(t) dt$$

### Error en estado estacionario

$$e(s) = \lim_{s \rightarrow 0} S V_s(s) \left[ 1 - \frac{V_s(s)}{V_e(s)} \right]$$

$$e(s) = \lim_{s \rightarrow 0} S \frac{1}{S} \left[ 1 - \frac{1}{R_2 L C_1 C_2 S^3 + (L[C_1 C_2] + R_1 R_2 C_1 C_2)S^2 + (R_1 [C_1 C_2] + R_2 C_2)S + 1} \right]$$

$$e(s) = \lim_{s \rightarrow 0} 1 \left[ 1 - \frac{1}{1} \right] = 0$$

### Estabilidad en lazo abierto

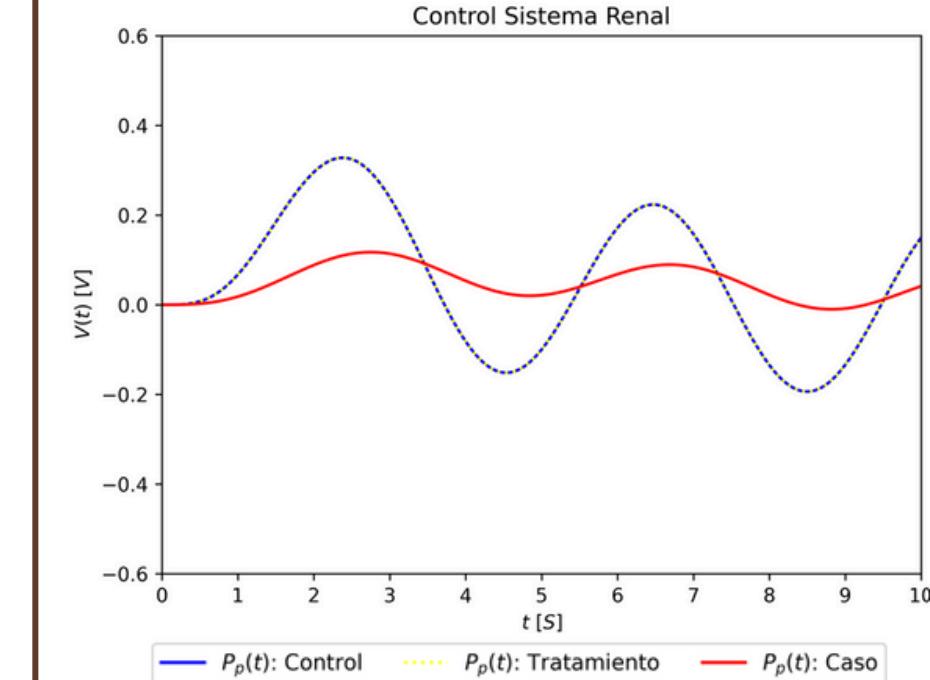
La estabilidad en lazo abierto se analizó al calcular las raíces del denominador, como el sistema es de tercer orden tendrá tres polos. Las raíces obtenidas tanto para el paciente control como para el caso fueron diferentes entre sí y negativas, por lo cual, el sistema es estable.

## Modelado de Sistemas Fisiológicos

### Ingeniería Biomédica

Dr. Paul Antonio Valle Trujillo

## Resultados



## Conclusion

El estudio del sistema fisiológico renal mediante un modelo dinámico de filtración permite comprender de manera cuantitativa cómo los riñones regulan el equilibrio hidroelectrolítico, el volumen sanguíneo y la eliminación de desechos. A través de la comparación entre un individuo sano (control) y un paciente con alteraciones renales (caso), es posible identificar cómo cambios en parámetros clave —como la resistencia vascular renal, el coeficiente de filtración glomerular y la compliancia del sistema— afectan directamente el comportamiento dinámico del filtrado glomerular y de la presión intrarrenal.

## Referencias

- [1] P. A. Valle, Syllabus para Modelado de Sistemas Fisiológicos, Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tijuana, Tijuana, B.C., México, 2025. Permalink: <https://biomath.xyz/course/>
- [2] M. C. Khoo, Physiological Control Systems Analysis Simulation, and Estimation, 2nd ed. Piscataway, New Jersey, USA: IEEE Press, 2018, Section 4, Page 93.
- [3] P. B. Persson, "Physiological Regulation of Renal Blood Flow and Glomerular Filtration Rate by the Endothelium and Smooth Muscle", Blood Purification, vol. 15, no. 4-6, pp. 219–227, 1997.
- [4] Sgouralis y A. T. Layton, "Mathematical Modeling of Renal Hemodynamics in Physiology and Pathophysiology", Mathematical Biosciences, vol. 264, no. 1, pp. 8–20, 2015.



Jesus Javier  
Morales Lozoya  
20210806



Carlos Daniel  
Frausto Luna  
Cr8210366



Kenia Cardenas  
Manzo  
20210773



Erik Rasheed  
Rendon Carrillo  
20210818

