

# SISTEMA URINARIO

## INSUFICIENCIA RENAL AGUDA



El sistema urinario es responsable de filtrar la sangre, eliminar desechos y regular el equilibrio de agua y electrolitos en el cuerpo. Además, mantiene la presión arterial y el pH en niveles adecuados mediante la excreción de orina.

La insuficiencia renal aguda (IRA) ocurre cuando los riñones dejan de filtrar eficazmente los desechos y el exceso de líquidos de la sangre, provocando una acumulación rápida de sustancias tóxicas en el organismo.

### OBJETIVO

Diseñar un controlador basado en un modelo eléctrico análogo del sistema urinario, que permita simular un protocolo de tratamiento capaz de regular la presión vesical en un paciente con insuficiencia renal aguda, de modo que se asemeje a la presión vesical de un individuo sano.

### COMPONENTES

**-Ve(t):** Representa los riñones que reciben sangre mediante las arterias renales.

**-Rf:** Resistencia al flujo en las arterias interlobulares y arteriolas aferentes, que regulan el ingreso de sangre al glomérulo.

**-Rp:** Representa la resistencia al paso de fluido a través del sistema tubular renal.

**-Lf:** Indica la inercia del flujo de filtrado a través de los túbulos.

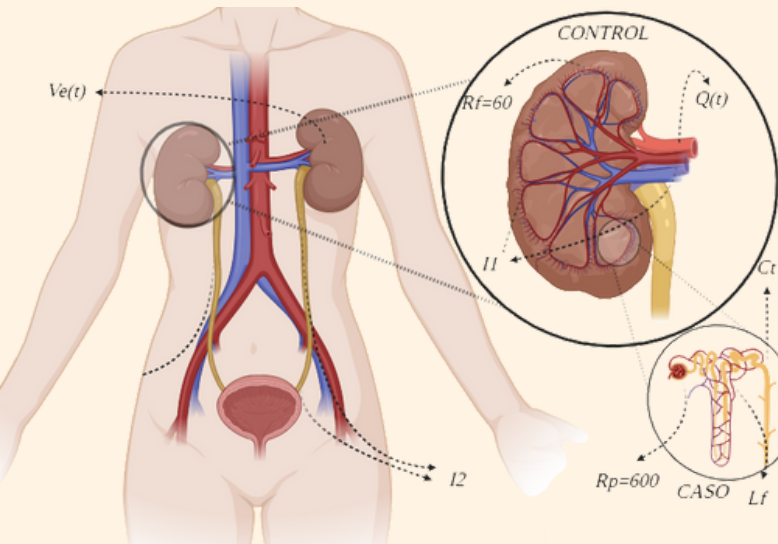
**-Cr:** Interpreta la capacidad de los túbulos renales para almacenar y modificar el filtrado, es decir, su "distensibilidad funcional".

**-Vs(t):** Corresponde al flujo de orina que proviene de las nefronas accesorias o zonas no dañadas del riñón, que continúan funcionando parcialmente durante la IRA.

### PARÁMETROS

	Control	Caso
Rf	60Ω	600Ω
Rp	1E3Ω	1E3Ω
Lf	100E-3H	100E-3H
Cr	250E-6F	250E-6F

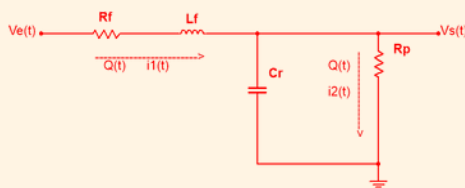
### DIAGRAMA FISIOLÓGICO



### DIAGRAMA ELÉCTRICO

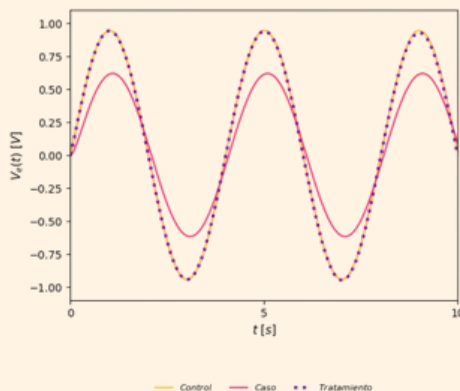
El diagrama eléctrico es una analogía fisiológica que permite representar los componentes del sistema urinario humano utilizando elementos de un circuito eléctrico.

Esta técnica se basa en el principio de que el flujo de sangre o de orina en el cuerpo puede modelarse de forma similar al flujo de corriente eléctrica en un circuito.



### SIMULACIÓN IN SILICO

El uso de un controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) demostró ser un sistema de control retroalimentado que calcula la señal de control como la suma de tres componentes que dependen del error entre la señal deseada (referencia) y la señal medida (variable controlada). Su objetivo es minimizar ese error a lo largo del tiempo.



### INGENIERÍA BIOMÉDICA

### MODELADO DE SISTEMAS FISIOLÓGICOS

DR. PAUL ANTONIO VALLE TRUJILLO

### MODELADO MATEMÁTICO

- Función de transferencia

$$\frac{Vs(s)}{Ve(s)} = \frac{Rf}{[LCRp]^2 + [CR/Rp + L]s + Rf + Rp}$$

- Ecuaciones integro-diferenciales

$$i2(t) = \left[ \frac{1}{C} \int [i1(t) - i2(t)] dt \right] \left[ \frac{1}{Rp} \right]$$

$$i1(t) = \left[ -L \frac{di1(t)}{dt} - \frac{1}{C} \int [i1(t) - i2(t)] dt + Ve(t) \right] \left[ \frac{1}{Rf} \right]$$

$$Vs(t) = [Rp][i2(t)]$$

- Error en estado estacionario

$$e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} [1 - \frac{Vs(s)}{Ve(s)}]$$

$$= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} \left[ 1 - \frac{Rf}{s^2 + \frac{CR}{Rp}s + \frac{Rf + Rp}{LCRp}} \right] = 0.0566$$

- Estabilidad del sistema

$$\frac{-b \pm \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}$$

$$25 \exp - 3s^2 + 15.1s + 1060$$

$$R1 = -81.08372627$$

$$R2 = -522.9162737$$

### CASO

$$= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} \left[ 1 - \frac{Rf}{s^2 + \frac{CR}{Rp}s + \frac{Rf + Rp}{LCRp}} \right] = 0.375$$

$$25 \exp - 3s^2 + 150.1s + 1600$$

$$R1 = -10.67855288$$

$$R2 = -5993.321447$$

El sistema para ambos casos de individuo sano o con IRA tiene una respuesta estable sobreamortiguada, ya que las raíces son reales negativas y diferentes.

### CONCLUSIÓN

La modelación del sistema urinario mediante un circuito eléctrico análogo permite representar de forma funcional y comprensible los procesos fisiológicos involucrados en la filtración renal y la regulación de la presión vesical. Al asociar componentes eléctricos como resistencias, capacitancias e inductancias con elementos anatómicos y funcionales del sistema urinario —como arterias, nefronas y túbulos renales— es posible analizar el comportamiento del sistema bajo condiciones normales y patológicas, como la insuficiencia renal aguda.

### REFERENCIAS

- Díaz de León-Ponce, M. A., et al. (2017). Insuficiencia renal aguda (IRA): clasificación, fisiopatología y tratamiento. Revista Mexicana de Anestesiología, 40(4), 281–287.
- Cun.es. (s.f.). Insuficiencia renal aguda: síntomas, diagnóstico y tratamiento. Clínica Universidad de Navarra.
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2021). Modern control systems (14th ed.). Pearson. (Para teoría y aplicación de controladores PID)



¡Escanea Escanea!



Rivera Perhuisas Mariana  
22210427



Zamora Chan Michelle Ariadna  
22210432