



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TIJUANA



INGENIERÍA  
BIOMÉDICA

# Modelado de sistemas fisiológicos

## Ingeniería Biomédica

Dr. Paul Antonio Valle Trujillo

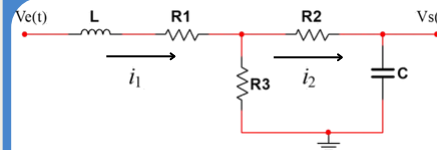
### 01 ¿Qué es la fibrosis pulmonar?

La fibrosis pulmonar es una enfermedad restrictiva en la que el tejido pulmonar se vuelve rígido y cicatrizado, lo que impide que los pulmones se expandan correctamente.

### 02 Objetivo

Simular el comportamiento del sistema respiratorio de un paciente con fibrosis pulmonar utilizando un modelo eléctrico RLC en serie, con el fin de entender y analizar cómo la rigidez pulmonar afecta el flujo de aire y el volumen respiratorio comparado con un pulmón sano.

### 03 Diagrama eléctrico



El diagrama eléctrico representa un modelo análogo del sistema respiratorio, construido a partir de componentes pasivos tipo RLC. Este modelo simula el comportamiento dinámico del flujo y la presión del aire durante la ventilación pulmonar.

En el modelo final, se aumentaron las resistencias R2 y R3 y se redujo la capacitancia C en el caso con fibrosis, simulando la mayor rigidez pulmonar y dificultad al flujo de aire. Mientras que el sistema sano tenía  $C=100\mu F$ , el patológico usó  $C=10\mu F$ , reflejando una menor distensibilidad. La inductancia L se mantuvo constante. Estos cambios generaron una salida de menor amplitud y respuesta más lenta en el sistema afectado, simulando el comportamiento fisiológico de la fibrosis pulmonar.

Componente	Control	Caso
R1	30Ω	50Ω
R2	60Ω	100Ω
R3	60Ω	100Ω
L	10mH	10mH
C	100uF	10uF

### 04 Análisis matemático

Modelo de ecuaciones integro-diferenciales:

$$i_1 = \frac{1}{R_1} \left( V_e(t) - L \left( \frac{di_1(t)}{dt} \right) - R_3[i_1(t) + i_2(t)] \right)$$

$$i_2 = \frac{1}{R_2} \left( \frac{1}{C} \int i_2(t) dt - R_3[i_1(t) + i_2(t)] \right)$$

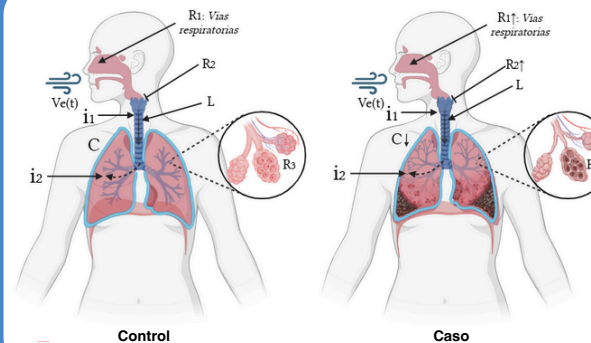
$$V_s(t) = \frac{1}{C} \int i_2(t) dt$$

### 05 Análisis matemático

Función de transferencia:

$$\frac{V_s(t)}{V_e(t)} = \frac{R_3}{CL(R_2 + R_3)s^2 + [C(R_2R_3 + R_1(R_2 + R_3)) + L]s + (R_2 + R_3)}$$

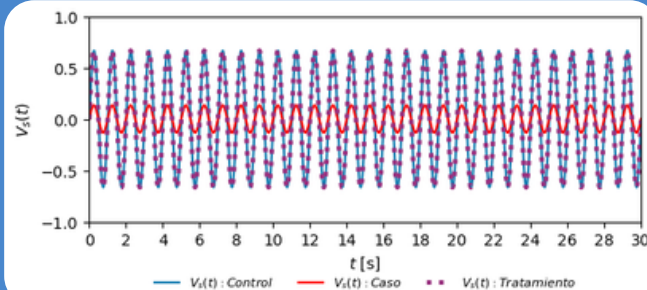
### 06 Diagrama fisiológico



Descripción de los componentes:

- R1: Resistencia de las vías aéreas superiores.
- R2: Resistencia de la vía aérea periférica.
- R3: Resistencia de la caja torácica.
- C: Capacidad de los pulmones para expandirse.
- L: La inercia del flujo de aire.

### 07 Resultados



### 10 Conclusión

Este proyecto logró modelar el sistema respiratorio mediante un circuito RLC, representando la resistencia, inercia y compliance pulmonar. El circuito permitió comparar un pulmón sano con uno afectado por fibrosis, mostrando que la reducción de la capacitancia (compliance) disminuye la amplitud del voltaje de salida, lo que equivale a una menor capacidad pulmonar. Finalmente, se comprobó que el modelo es estable, coherente con la fisiología y funcional, validado mediante simulación en software como Python y Simulink, evidenciando diferencias claras en la dinámica respiratoria entre el modelo sano y el patológico.

### 08 Error en estado estacionario

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

Individuo sano:  $e_t = \frac{R_1}{R_1 + R_3} = 0.33$

Individuo enfermo:  $e_t = \frac{R_1}{R_1 + R_3} = 0.33$

### 09 Estabilidad del sistema

$$\lambda_{1,2} = \frac{\pm b \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}$$

Individuo sano:  $\lambda_1 = -124.5$

Individuo enfermo:  $\lambda_1 = -1775.3$

$\lambda_2 = -10014.4$   $\lambda_2 = -4224.8$

Reales negativas, el sistema es estable y sobreamortiguado



Tapia Jahzeel Abisai  
22210798

GitHub

