

CLASE 9 - FISIOLÓGÍA CUANTITATIVA

# Modelo de ventilación



# Contenidos

1

## Recordando: sistema respiratorio

Sistema respiratorio y mecánica ventilatoria

2

## Modelo de ventilación

Equivalente eléctrico para el modelo unicompartimental. Otros modelos

3

## Simulación de patologías ventilatorias

Simulación para individuos sin patologías y con patologías obstructivas y restrictivas.



# Contenidos

1

## Recordando: sistema respiratorio

Sistema respiratorio y mecánica ventilatoria

2

## Modelo de ventilación

Equivalente eléctrico para el modelo unicompartimental. Otros modelos

3

## Simulación de patologías ventilatorias

Simulación para individuos sin patologías y con patologías obstructivas y restrictivas.

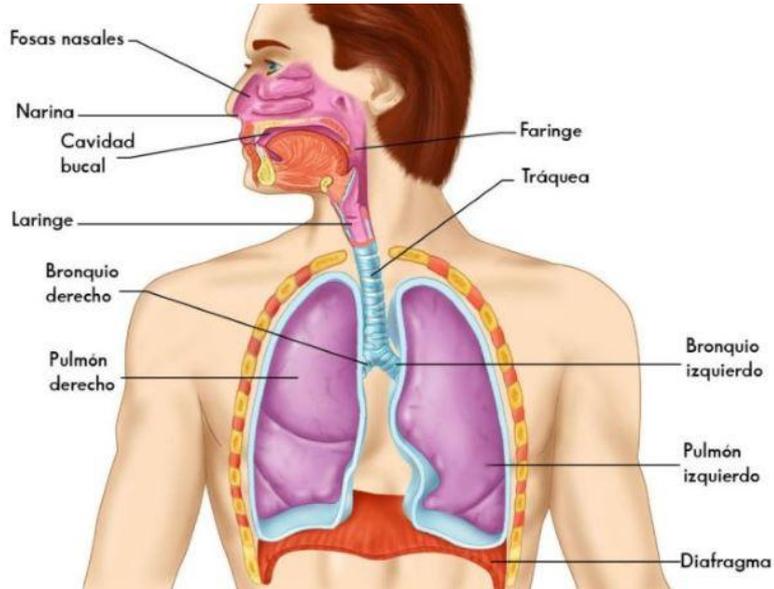
# Introducción

---

## Respiración

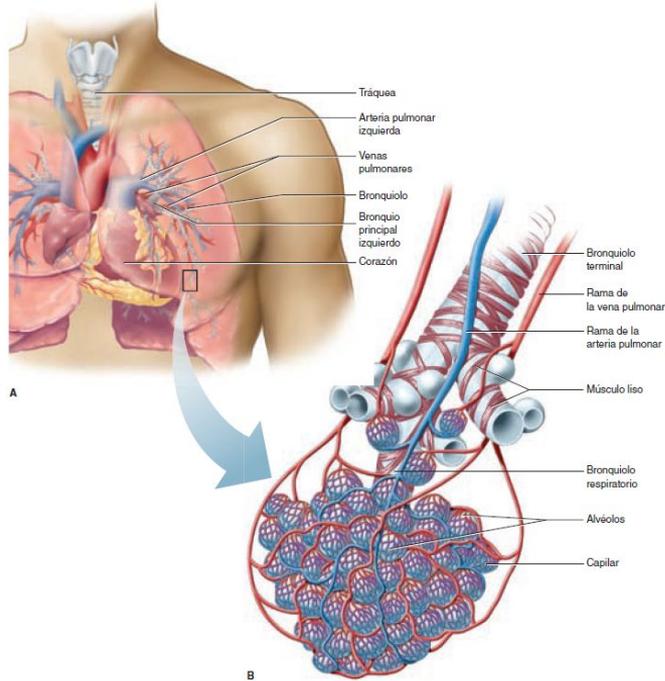
- Secuencia de eventos que permiten el transporte de  $O_2$  desde la atmósfera hasta las células, y el movimiento de  $CO_2$  en sentido opuesto.
- Toda célula necesita del continuo aporte de  $O_2$  y remoción de  $CO_2$  para cumplir su función específica.
- Procesos:
  - VENTILACIÓN PULMONAR
  - DIFUSIÓN ALVÉOLO-CAPILAR
  - TRANSPORTE DE  $O_2$  y  $CO_2$
  - REGULACIÓN

# Introducción



El sistema respiratorio está compuesto por vías respiratorias superiores e inferiores.

# Introducción

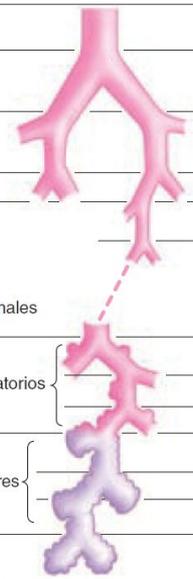


El sistema respiratorio está compuesto por vías respiratorias superiores e inferiores.

El intercambio de gases con los capilares se da en los alvéolos.

# Introducción

	Nombre de las ramas	Número de tubos en la rama
Zona de conducción	Tráquea	1
	Bronquios	2
		4
		8
	Bronquiolos	16
	32	
	Bronquiolos terminales	$6 \times 10^4$
Zona respiratoria	Bronquiolos respiratorios	$5 \times 10^5$
	Conductos alveolares	
	Sacos alveolares	$8 \times 10^6$



El sistema respiratorio está compuesto por vías respiratorias superiores e inferiores.

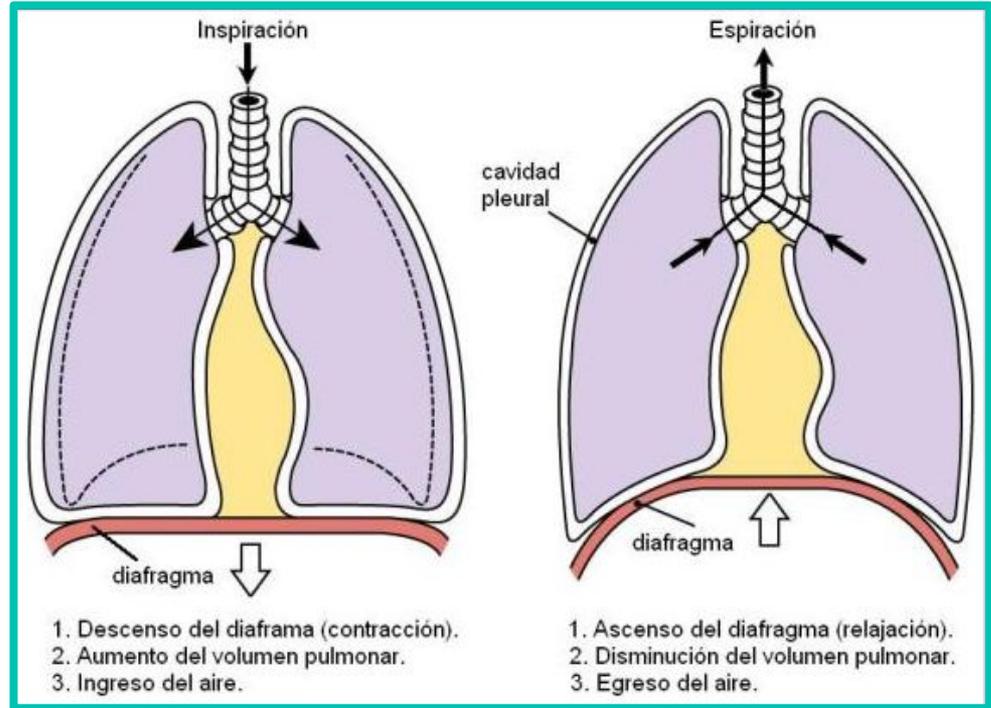
El intercambio de gases con los capilares se da en los alvéolos.

Los bronquios se subdividen en bronquiolos y bronquios terminales, pasando de la zona de conducción a la zona respiratoria.

# Mecánica Ventilatoria

La inspiración es un proceso activo y la espiración es un proceso pasivo (siempre que no sea forzada).

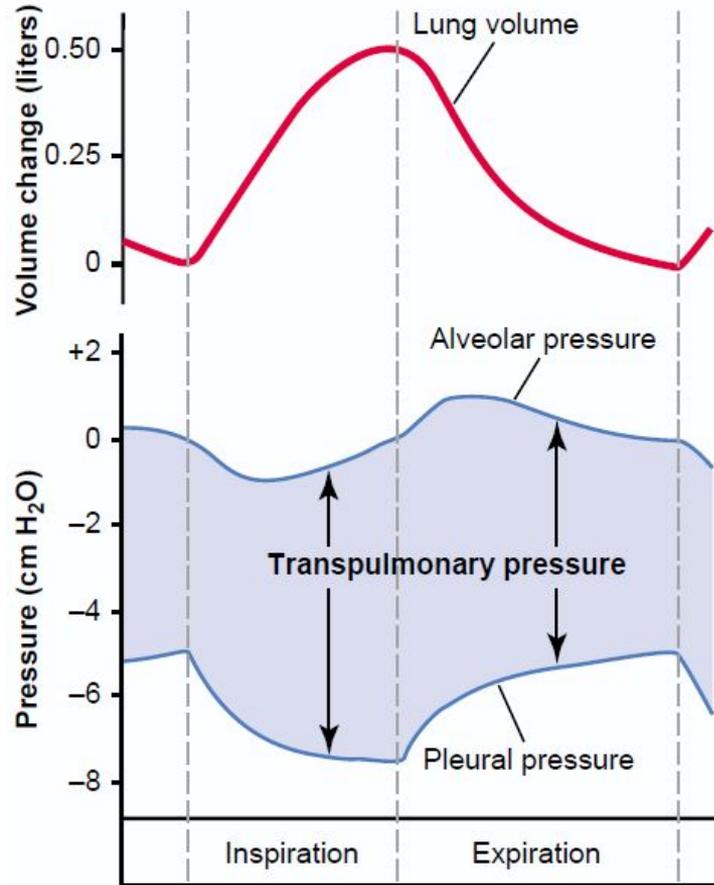
Los músculos actúan para generar diferencias de presiones que permite la entrada y/o salida de aire.



# Mecánica Ventilatoria

La frecuencia respiratoria es de 12-16 ciclos por minuto. El tiempo no se distribuye equitativamente entre las dos fases, la espiración en un ciclo en reposo dura más que la inspiración.

Para que ocurra la ventilación, deben considerarse factores como propiedades del flujo, fluido, los compartimientos y las vías aéreas (calibre y longitud).





# Contenidos

1

## Recordando: sistema respiratorio

Sistema respiratorio y mecánica ventilatoria

2

## Modelo de ventilación

Equivalente eléctrico para el modelo unicompartimental. Otros modelos

3

## Simulación de patologías ventilatorias

Simulación para individuos sin patologías y con patologías obstructivas y restrictivas.

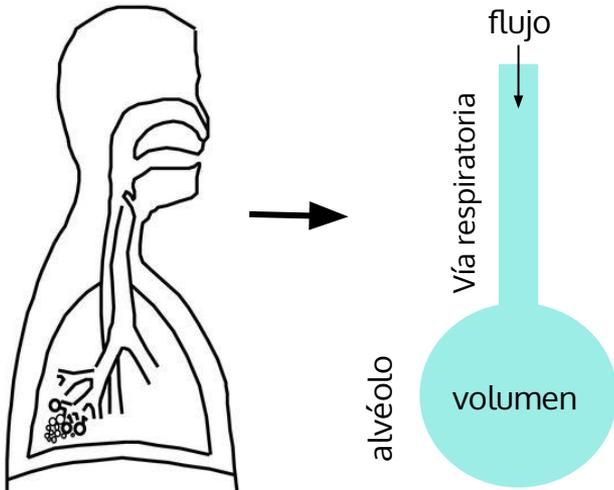
# **Modelo unicompartimental de mecánica ventilatoria**

Equivalente eléctrico de primer  
orden

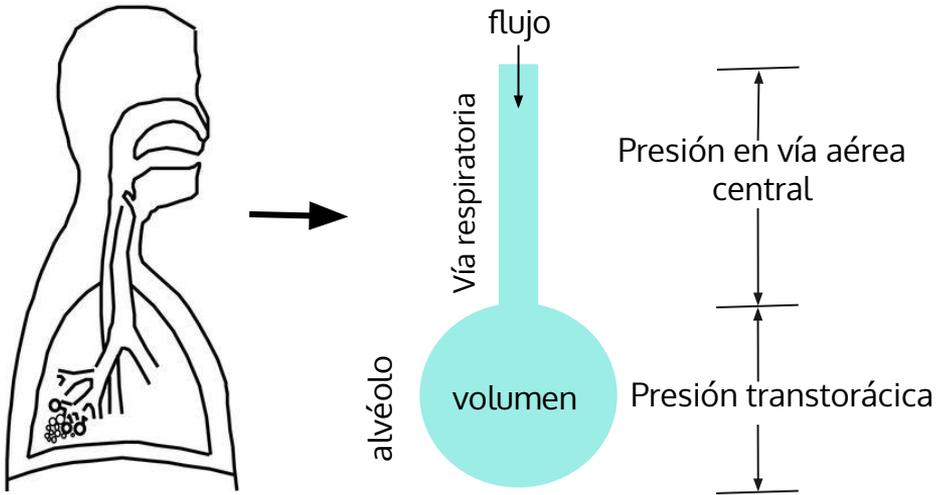
# Modelado: circuito eléctrico equivalente



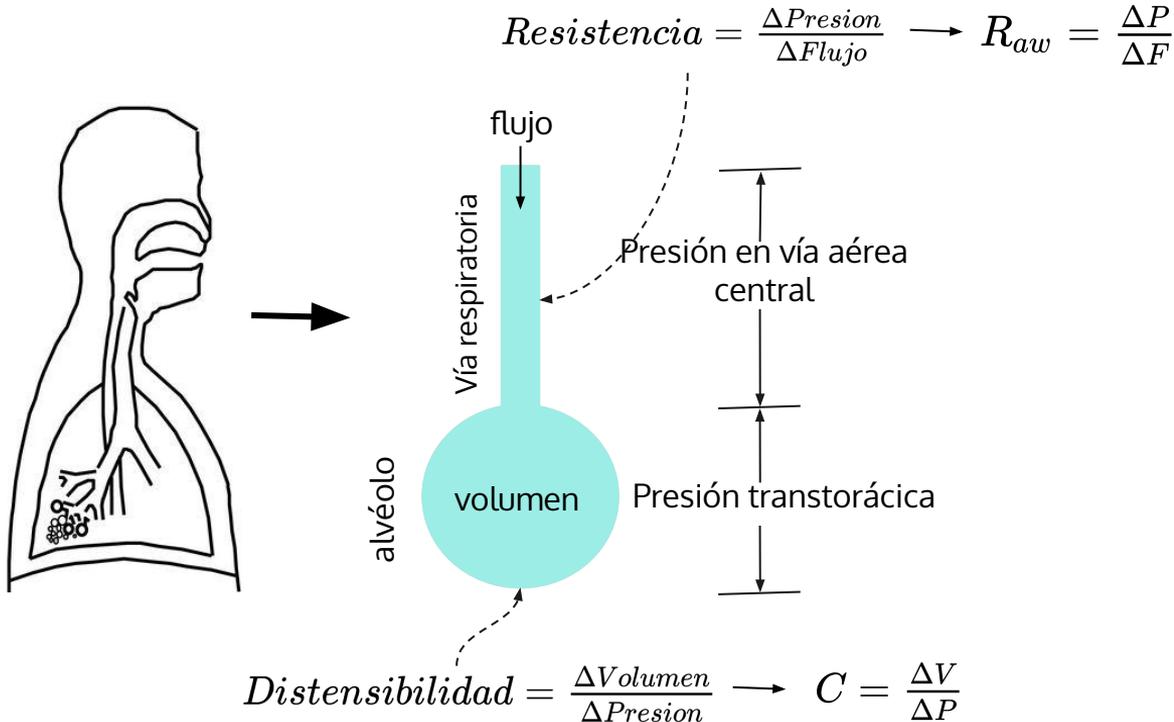
# Modelado: circuito eléctrico equivalente



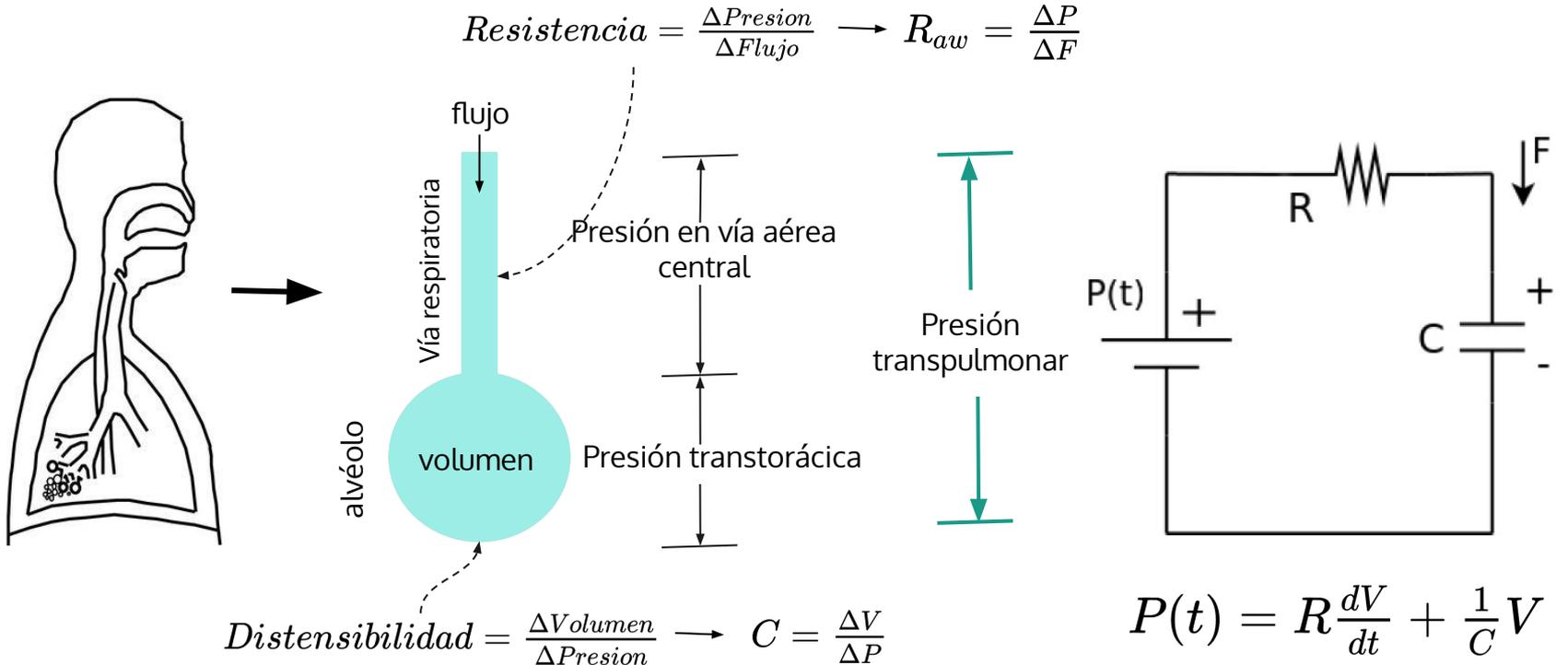
# Modelado: circuito eléctrico equivalente



# Modelado: circuito eléctrico equivalente



# Modelado: circuito eléctrico equivalente

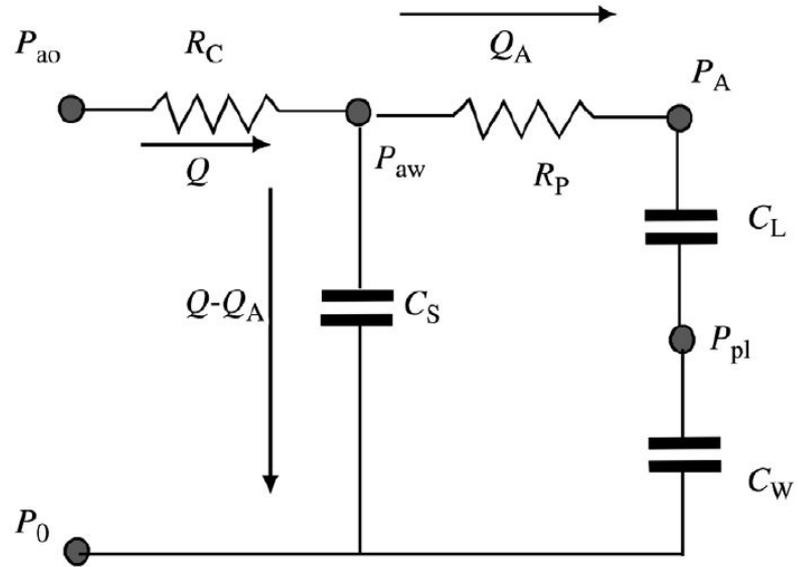


# Otros modelos

Modelos compartimentales,  
modelos fractales

## Circuito eléctrico equivalente de segundo orden

Parameter	Symbol
$C_W$	chest wall compliance
$C_L$	lung compliance
$C_S$	shunt compliance
$R_P$	peripheral airway resistance
$R_C$	central airway resistance
$P_{ao}$	pressure at airway opening
$P_{pl}$	pressure in pleural space
$P_{aw}$	pressure in central airway
$P_A$	pressure in alveoli
$P_0$	ambient pressure
$Q_A$	airflow in alveoli
$Q$	total airflow



## Modelado a partir de fractales

---

La estructura de un pulmón es similar a la de las plantas: una red de tubos que se ramifica.

Su parecido con un fractal es lo que les permite maximizar su superficie. La cantidad de gases que consiguen aprovechar es directamente proporcional a su superficie total (que ronda los 140 metros cuadrados).

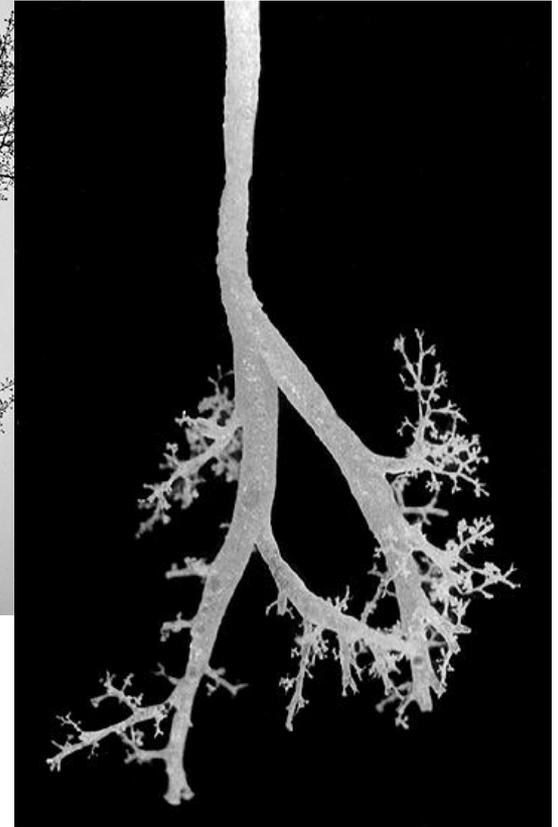


## Modelado a partir de fractales

---

La estructura de un pulmón es similar a la de las plantas: una red de tubos que se ramifica.

Su parecido con un fractal es lo que les permite maximizar su superficie. La cantidad de gases que consiguen aprovechar es directamente proporcional a su superficie total (que ronda los 140 metros cuadrados).





# Contenidos

1

## Recordando: sistema respiratorio

Sistema respiratorio y mecánica ventilatoria

2

## Modelo de ventilación

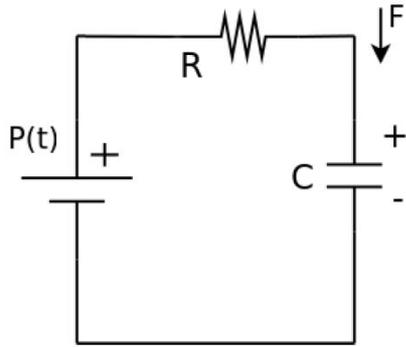
Equivalente eléctrico para el modelo unicompartimental. Otros modelos

3

## Simulación de modelo unicompartimental

Simulación para individuos sin patologías y con patologías obstructivas y restrictivas.

## Modelado: circuito eléctrico equivalente



$$P(t) = R \frac{dV}{dt} + \frac{1}{C} V \Rightarrow \frac{dV}{dt} = \frac{1}{R} \left( P(t) - \frac{1}{C} V \right)$$

Valores para un adulto normal:

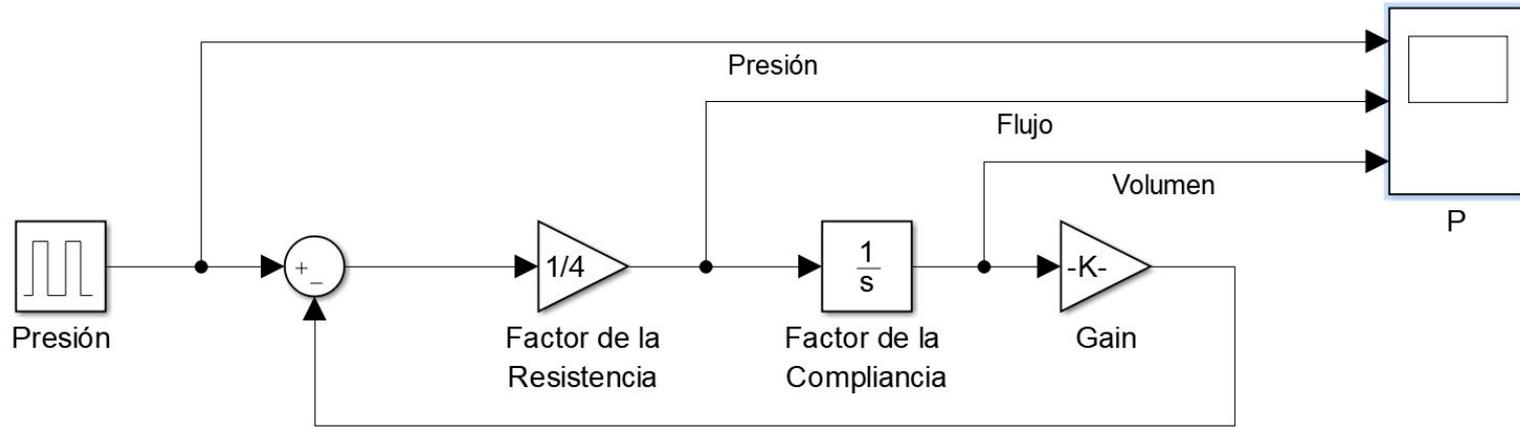
$$P = 15 - 40 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$C = 0.02 - 0,028 \text{ L/cmH}_2\text{O}$$

$$R = 1 - 3 \text{ cmH}_2\text{O/L/s}$$

$$V_0 = 0$$

# Simulación para pulmones no patológicos



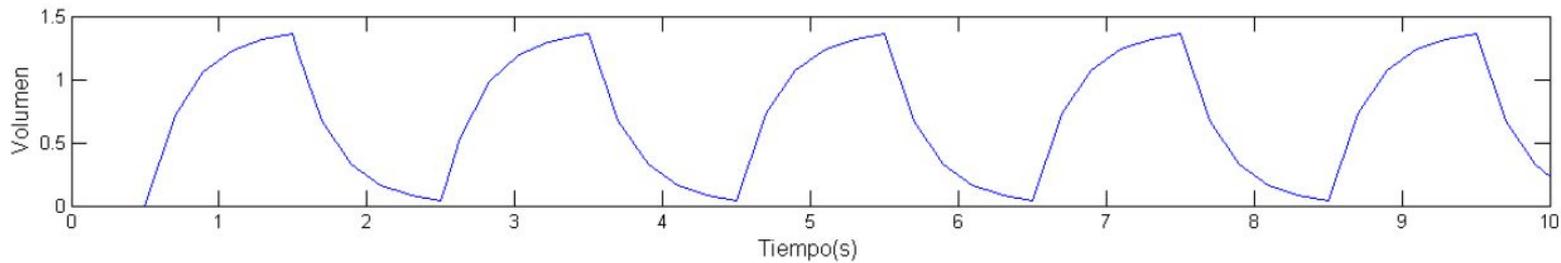
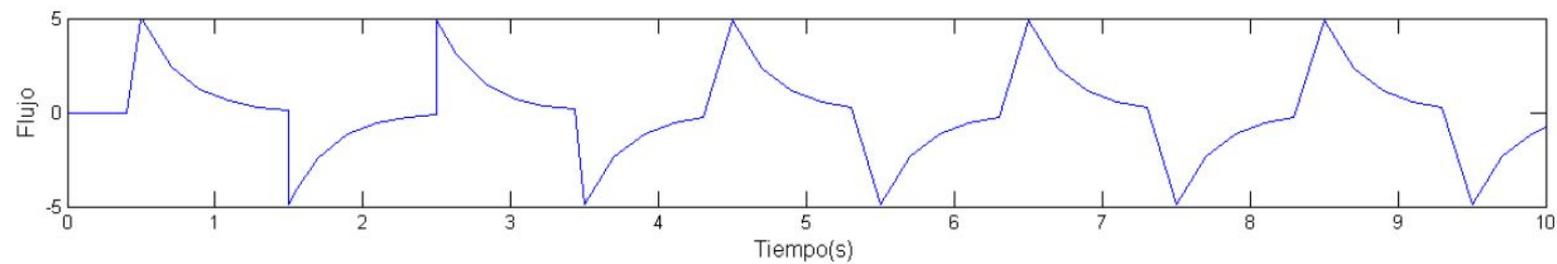
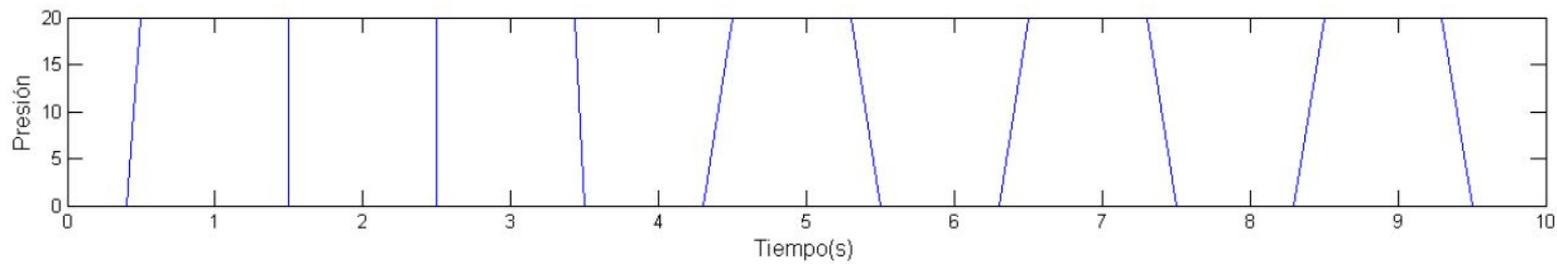
$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{R} \left( P(t) - \frac{1}{C} V \right)$$

$$V_0 = 0$$

$$P = 15 - 40 \text{ cmH}_2\text{O}$$

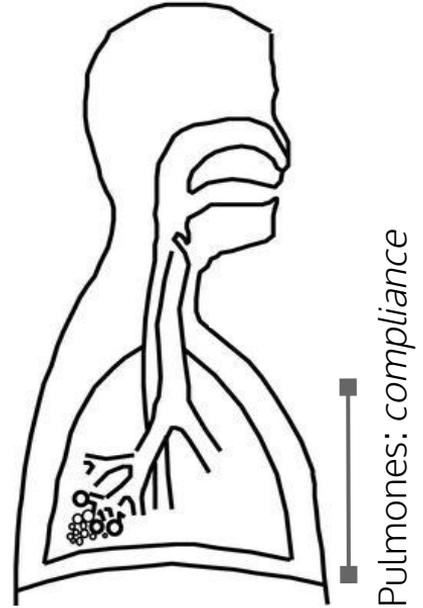
$$C = 0.02 - 0,028 \text{ L/cmH}_2\text{O}$$

$$R = 1 - 3 \text{ cmH}_2\text{O/L/s}$$



## Casos patológicos: síndrome restrictivo

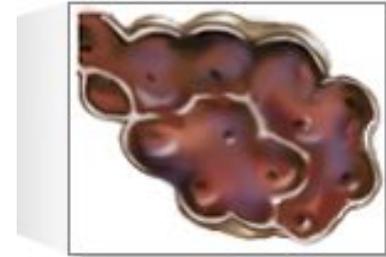
- Alteran la compliance (en condiciones normales el pulmón tiene un tejido elástico que le permite volver a su tamaño original)
- Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo (SDRA), enfisema pulmonar, fibrosis pleural, etc.



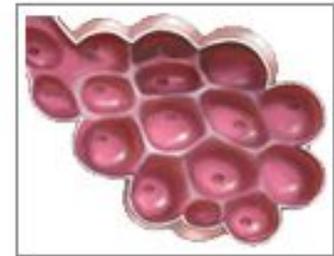
## Casos patológicos: síndrome restrictivo

- Alteran la compliance (en condiciones normales el pulmón tiene un tejido elástico que le permite volver a su tamaño original)
- Síndrome de Distres Respiratorio Agudo (SDRA), enfisema pulmonar, fibrosis pleural, etc.
- **Enfisema pulmonar**
  - Enfermedad caracterizada por la pérdida de la elasticidad pulmonar.
  - Destrucción de estructuras que dan soporte a los alvéolos y de los capilares que suministran sangre a los mismos.
  - El pulmón se distiende con mucha facilidad (se eleva la *compliance*).
  - El pulmón no se vacía de forma correcta tras una inspiración.

Alvéolos con enfisema

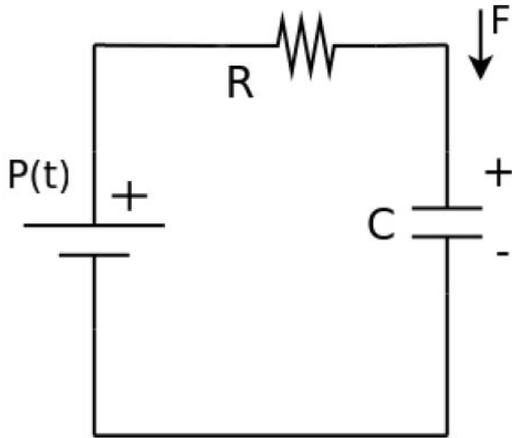


Vista al microscopio de alvéolos normales



## Casos patológicos: síndrome restrictivo

- Enfisema pulmonar: aumento en la *compliance* pulmonar



$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{R} \left( P(t) - \frac{1}{C} V \right)$$

$$V_0 = 0$$

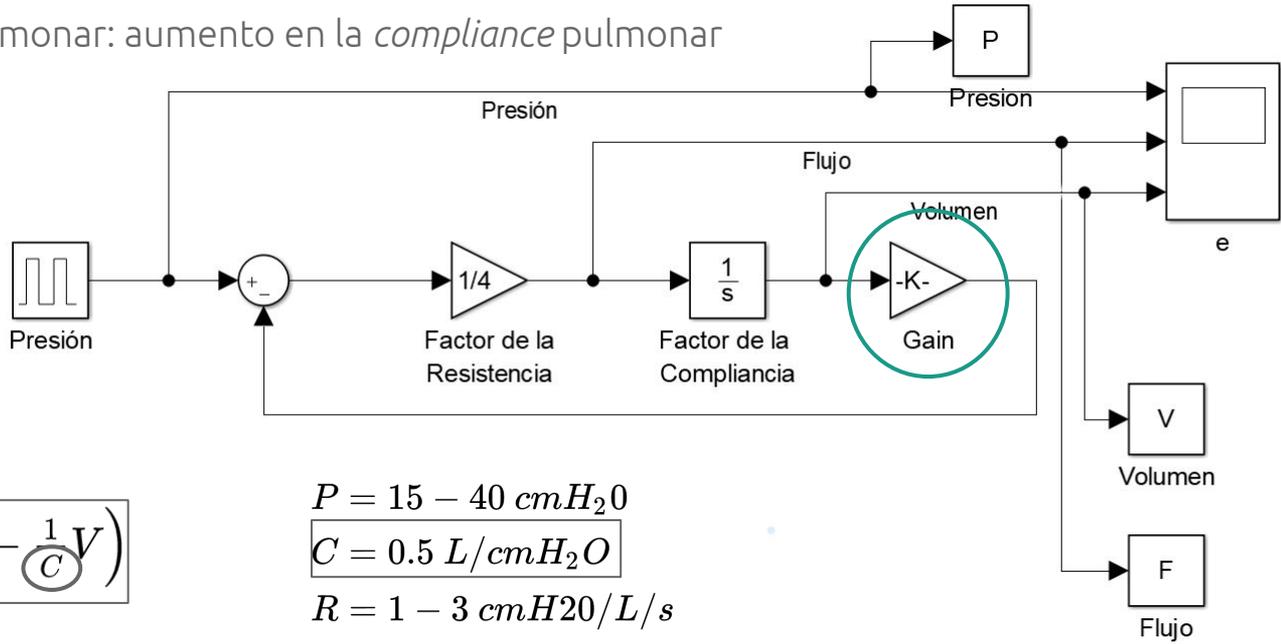
$$P = 15 - 40 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$C = 0.5 \text{ L/cmH}_2\text{O}$$

$$R = 1 - 3 \text{ cmH}_2\text{O/L/s}$$

# Casos patológicos: síndrome restrictivo

- Enfisema pulmonar: aumento en la *compliance* pulmonar

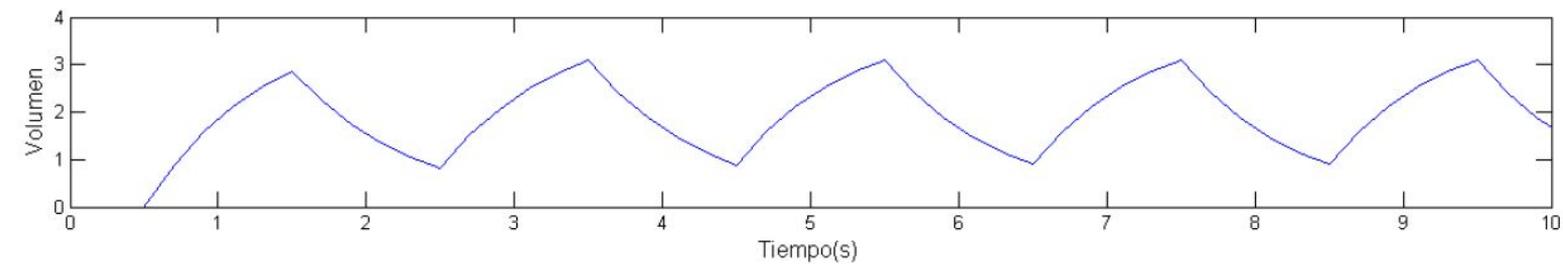
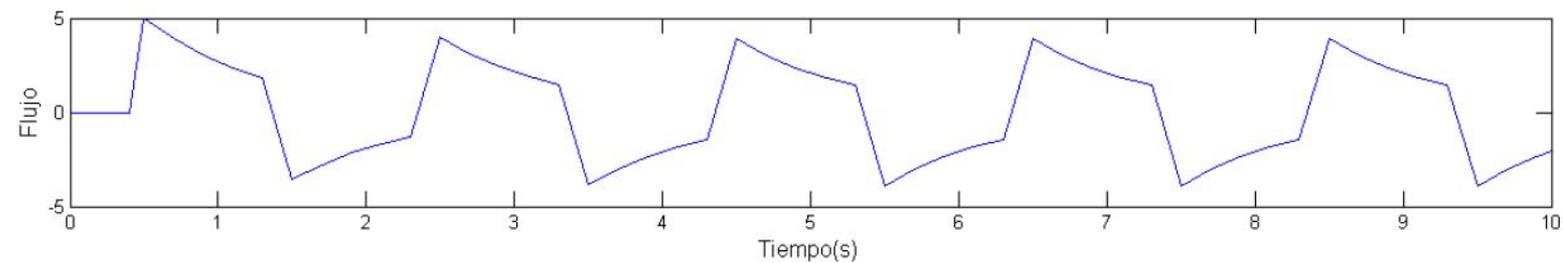
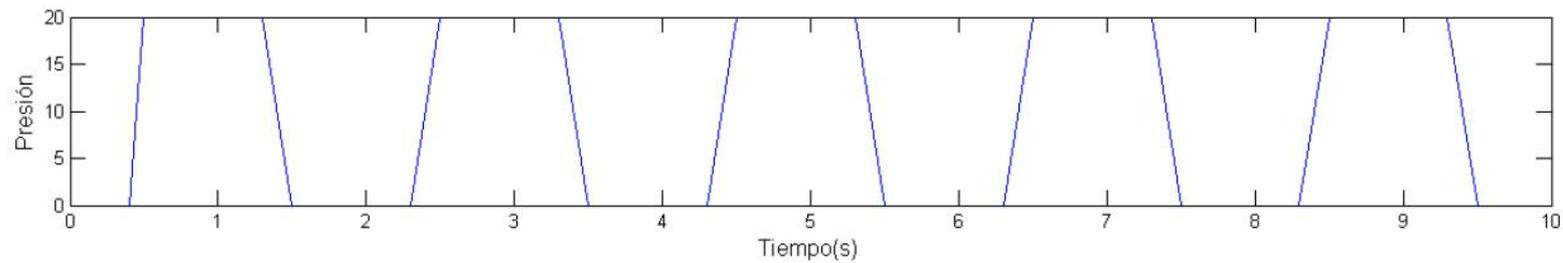


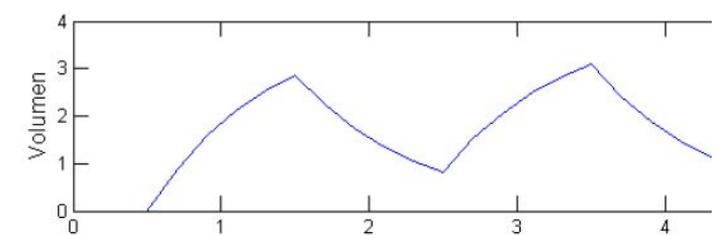
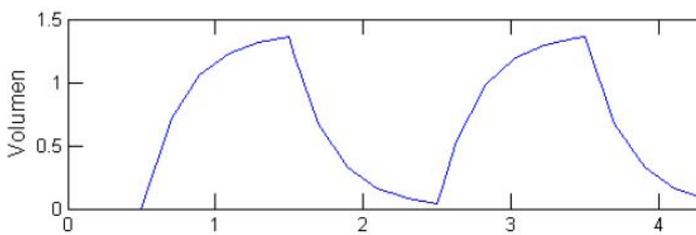
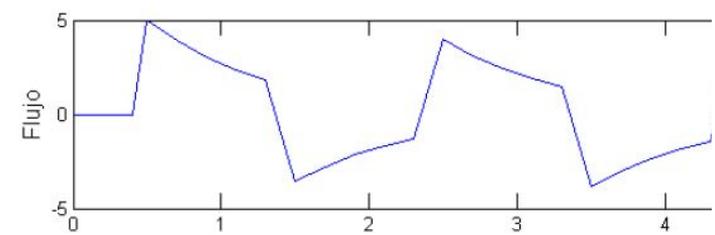
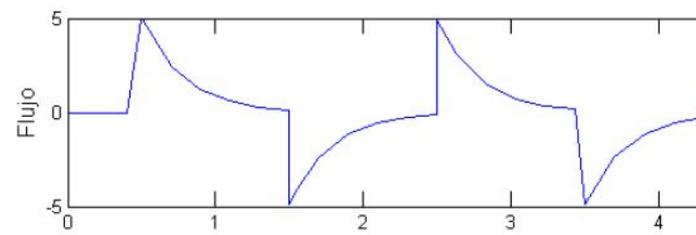
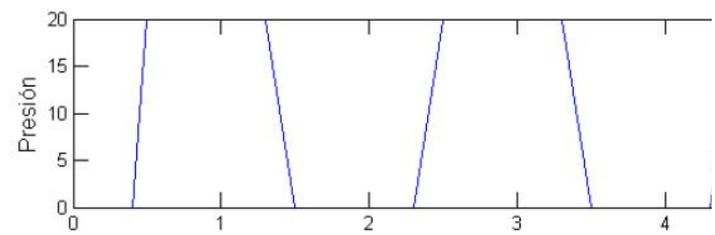
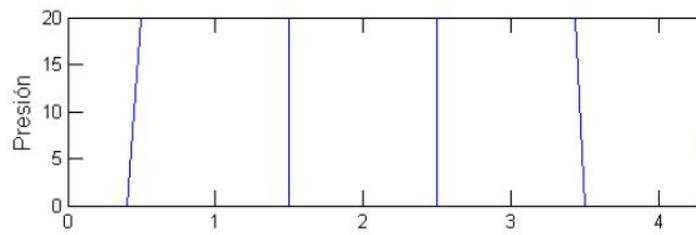
$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{R} \left( P(t) - \frac{1}{C} V \right)$$

$$P = 15 - 40 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$C = 0.5 \text{ L/cmH}_2\text{O}$$

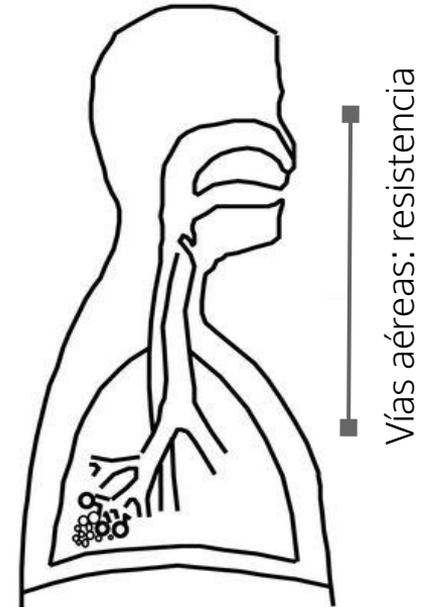
$$R = 1 - 3 \text{ cmH}_2\text{O/L/s}$$





## Casos patológicos: síndrome obstructivo

- Obstructivas: interfieren en la resistencia en la vía aérea
- “Disminución del calibre de los bronquios y/o bronquiolos, difuso o localizado, que provoca atrapamiento aéreo”
- Asma bronquial, bronquitis crónica, EPOC, edema de glotis, entre otras.



# Casos patológicos: síndrome obstructivo

- Obstructivas: interfieren en la resistencia en la vía aérea
- “Disminución del calibre de los bronquios y/o bronquiolos, difuso o localizado, que provoca atrapamiento aéreo”
- Asma bronquial, bronquitis crónica, EPOC, edema de glotis, entre otras.

- **Bronquitis crónica**

- Enfermedad inflamatoria de los bronquios.
- Manifestación clínica: producción crónica de expectoración mucosa.
- Aumento de las células caliciformes.
- El estrechamiento de los canales bronquiales provocan un **aumento en la resistencia** al flujo de aire hacia los alvéolos.

Bronquios sanos

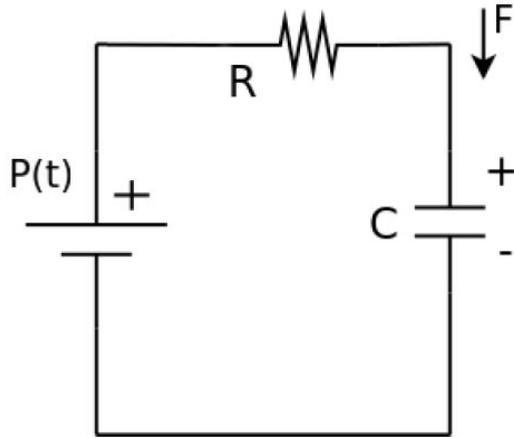


Bronquios inflamados y con mucosidad



# Casos patológicos: síndrome restrictivo

- Bronquitis crónica: aumento de la *resistencia* al flujo de aire



$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{R} \left( P(t) - \frac{1}{C} V \right)$$

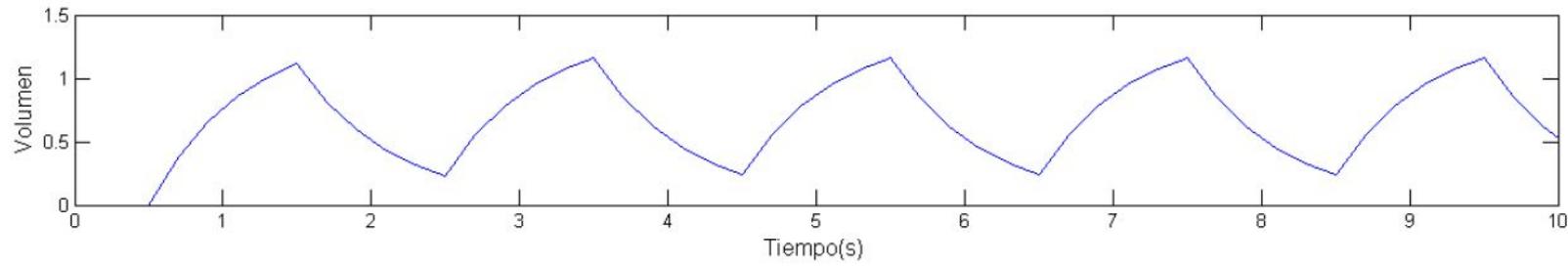
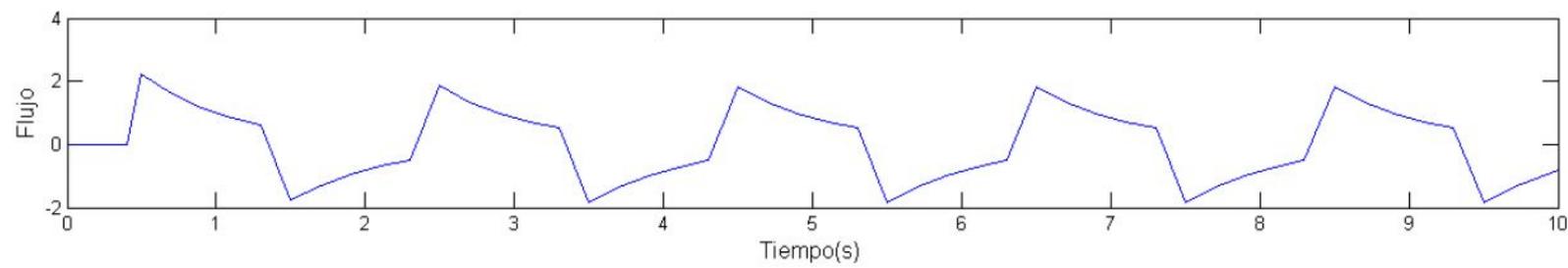
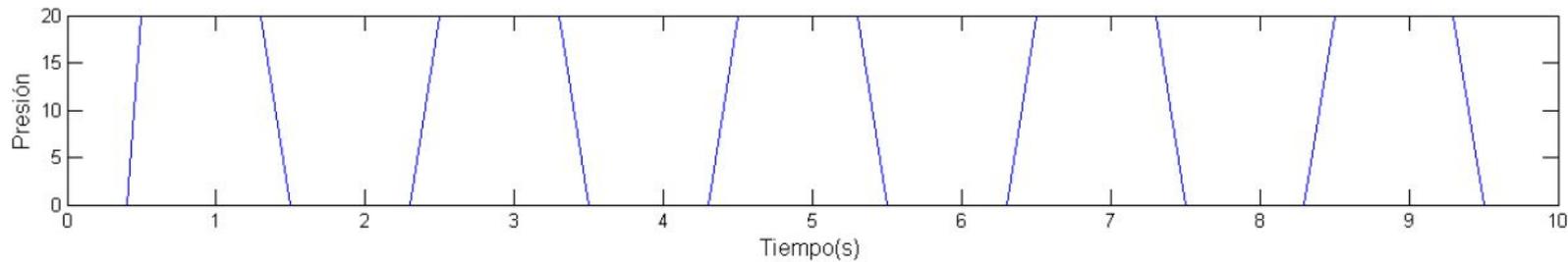
$$V_0 = 0$$

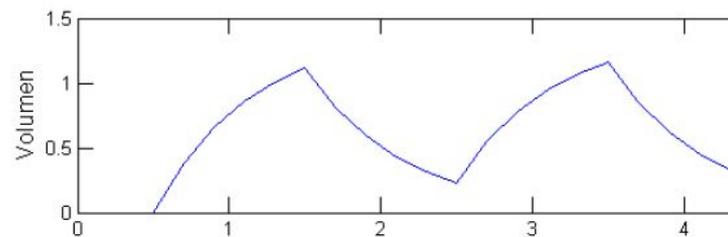
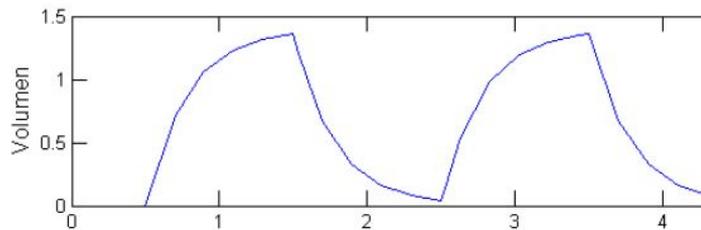
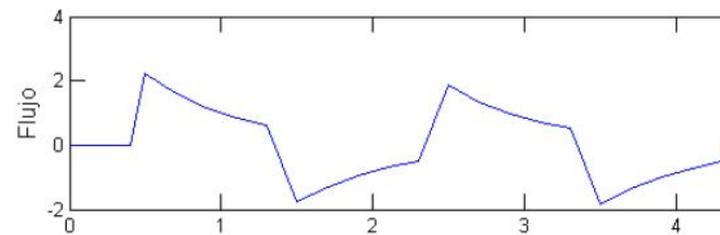
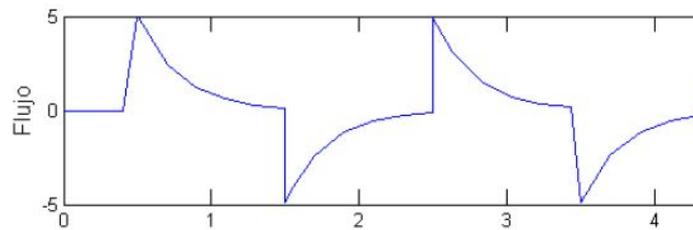
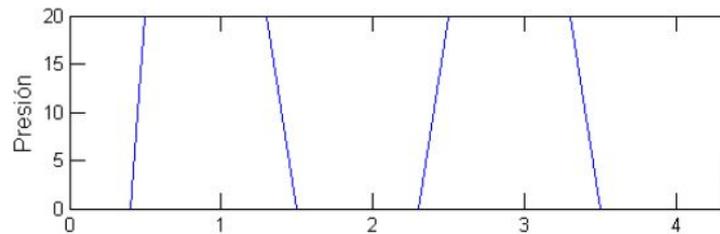
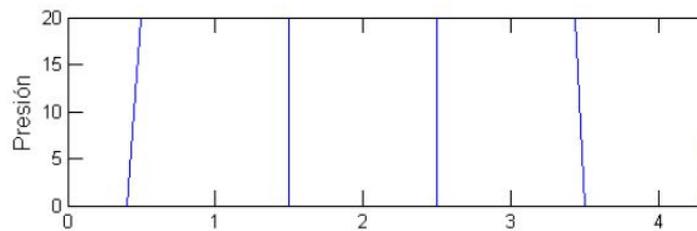
$$P = 15 - 40 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$C = 0.02 - 0,028 \text{ L/cmH}_2\text{O}$$

$$R = 9 \text{ cmH}_2\text{O/L/s}$$







# Gracias!

## ¿Preguntas?

---

Ricardo Armentano



[rarmetano@cup.edu.uy](mailto:rarmetano@cup.edu.uy)

Lucía Lemes



[llemes@cup.edu.uy](mailto:llemes@cup.edu.uy)