

## Lección 35.

- Funciones generales del aparato respiratorio.
- Estructura funcional: vías aéreas y unidades respiratorias.
- Espacio pleural.
- Mecánica de los movimientos respiratorios. Músculos respiratorios.
- Ciclo respiratorio normal
- Medida de volúmenes y capacidades pulmonares.

# Funciones del Apto Respiratorio

Principal: Intercambio de gases entre M int y M ext

- Aparece organismos evolucionados
- Estrecha relación con Apto Circulatorio

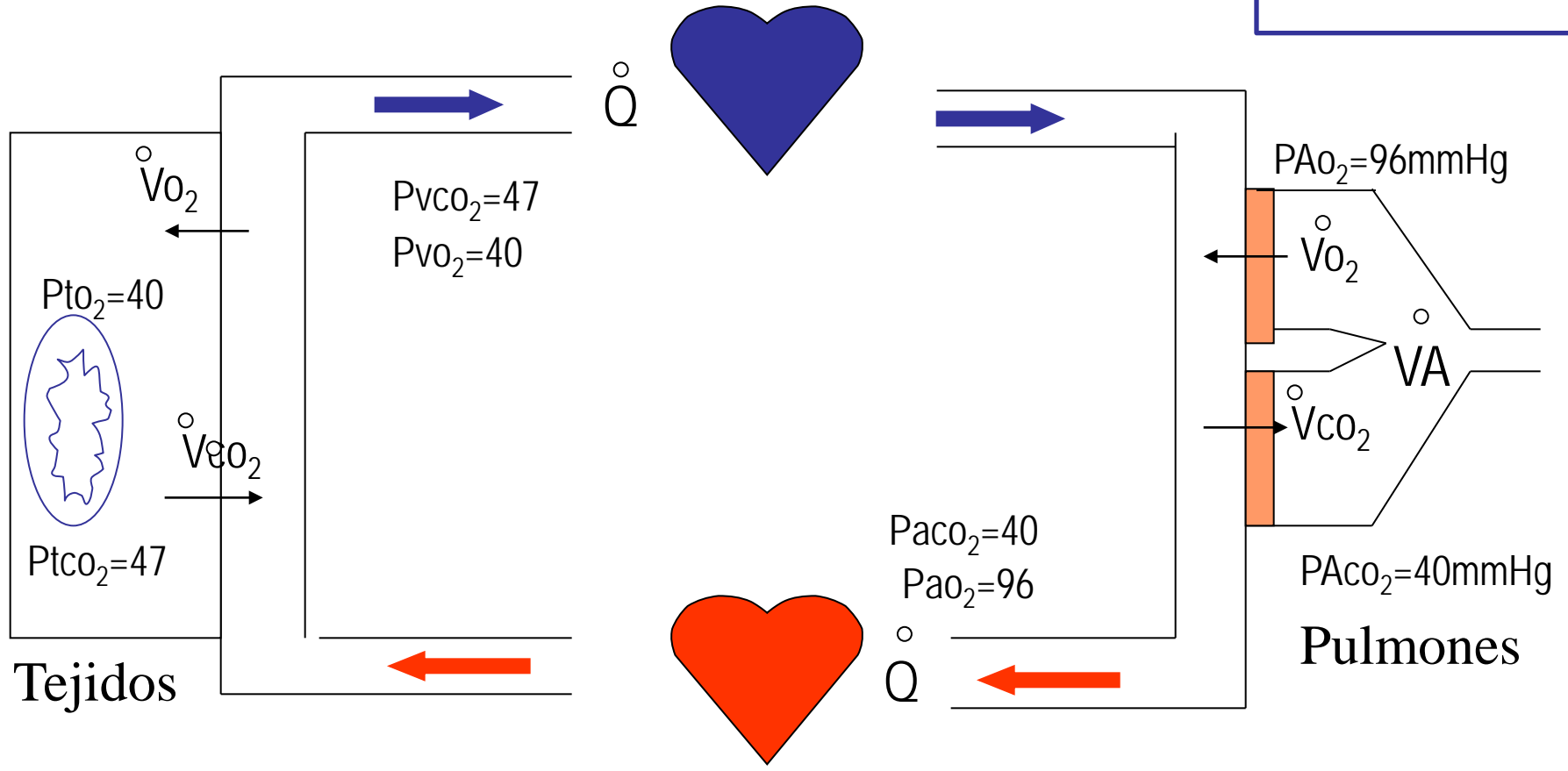
Otras:

- Mantenimiento de Equilibrio ácido-base
- Fonación
- Olfación
- Metabólica
- Filtro y reservorio de Sangre
- Vía de absorción al M int
- Acondiciona aire para intercambio
- Defensiva : necesaria
  - retirada
  - Expulsión: estornudo, tos
  - filtración
  - depósito:moco

# Acoplamiento Apto Respiratorio y Circulatorio

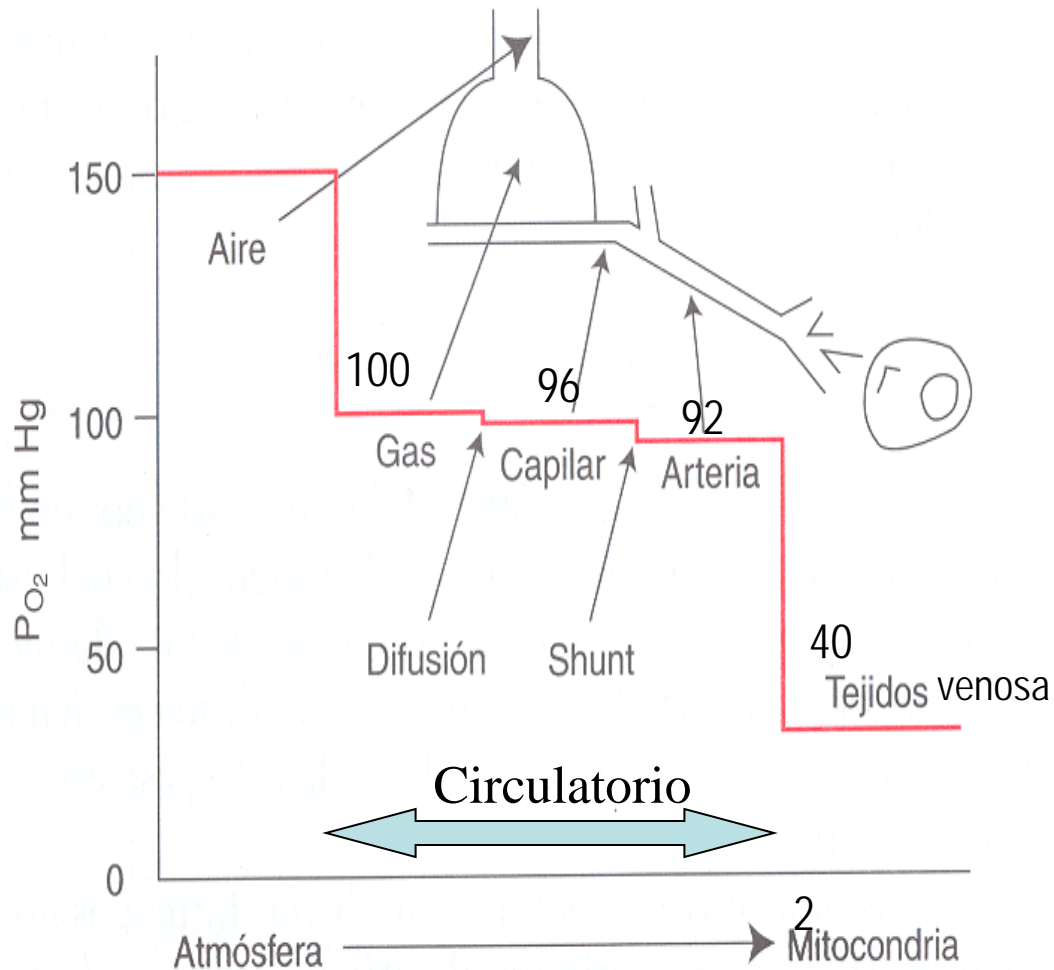
- Intercambio Mint/ Mext
- Distribución M int

$$\begin{aligned} &\dot{V}_A, \dot{Q}, PA, Pa \\ &\dot{V}_{O_2}, \dot{V}_{CO_2} \\ &P_{px} = P_t (F_x) \end{aligned}$$



# Cascada de la $P_{O_2}$ en el organismo (circulatorio y respiratorio)

$$P_{BO_2} = P_t (F_x) = 760 \times 0,21 = 159 \text{ mm Hg} \quad \text{Aire seco}$$



# Estructura Funcional: Vías aéreas y unidades respiratorias

Zona conductora : 23 generaciones

- . Constituye EMA
- . Función: calienta y humidifica
- . Estructura histológica

	Generation	Diameter, cm	Length, cm	Number	Total cross sectional area, cm <sup>2</sup>		
conducting zone	trachea	0	1.80	12.0	1	2.54	
	bronchi	1	1.22	4.8	2	2.33	
		2	0.83	1.9	4	2.13	
	bronchioles	3	0.56	0.8	8	2.00	
		4	0.45	1.3	16	2.48	
		5	0.35	1.07	32	3.11	
	terminal bronchioles	16	0.06	0.17	$6 \times 10^4$	180.0	
transitional and respiratory zones	respiratory bronchioles	17	↓	↓	↓	↓	
		18	↓	↓	↓	↓	
		19	0.05	0.10	$5 \times 10^5$	$10^3$	
	alveolar ducts	T <sub>3</sub>	20	↓	↓	↓	↓
		T <sub>2</sub>	21	↓	↓	↓	↓
		T <sub>1</sub>	22	↓	↓	↓	↓
	alveolar sacs	T	23	0.04	0.05	$8 \times 10^6$	$10^4$

Zona intercambiadora

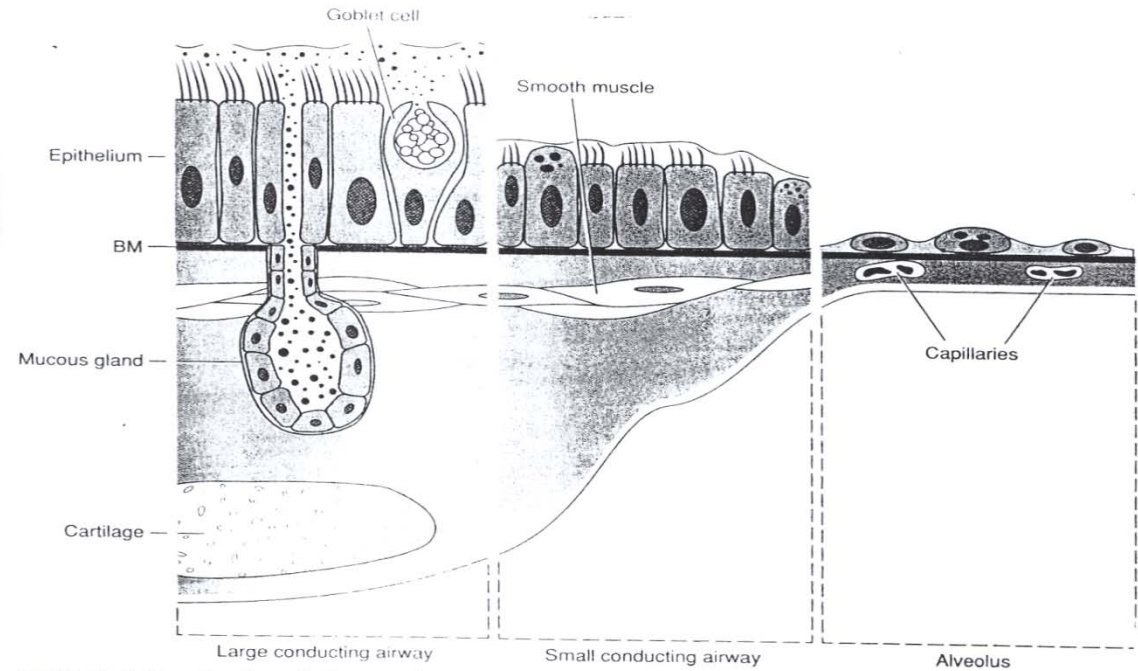
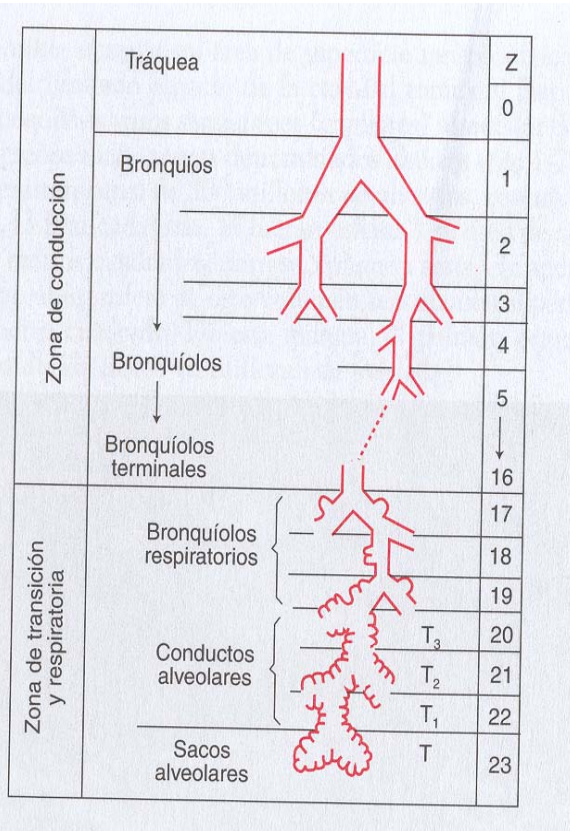


Figure 12-8. Transition from the large conducting airways of the lung to the gas exchange site.

## Estructura de la membrana respiratoria:

-Área 70 m<sup>2</sup>, alveolos 6 x10<sup>6</sup>

-Espesor 1um

-Capas : líquido

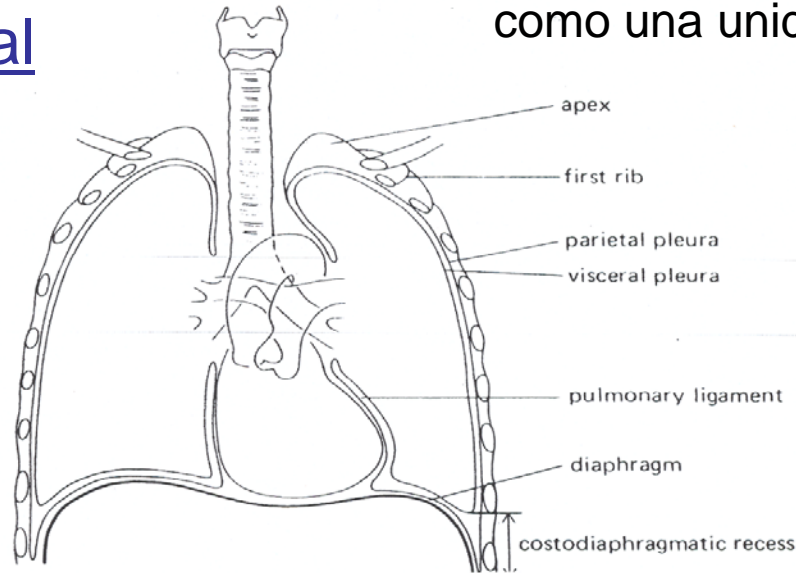
-Epitelio

-Membrana basal

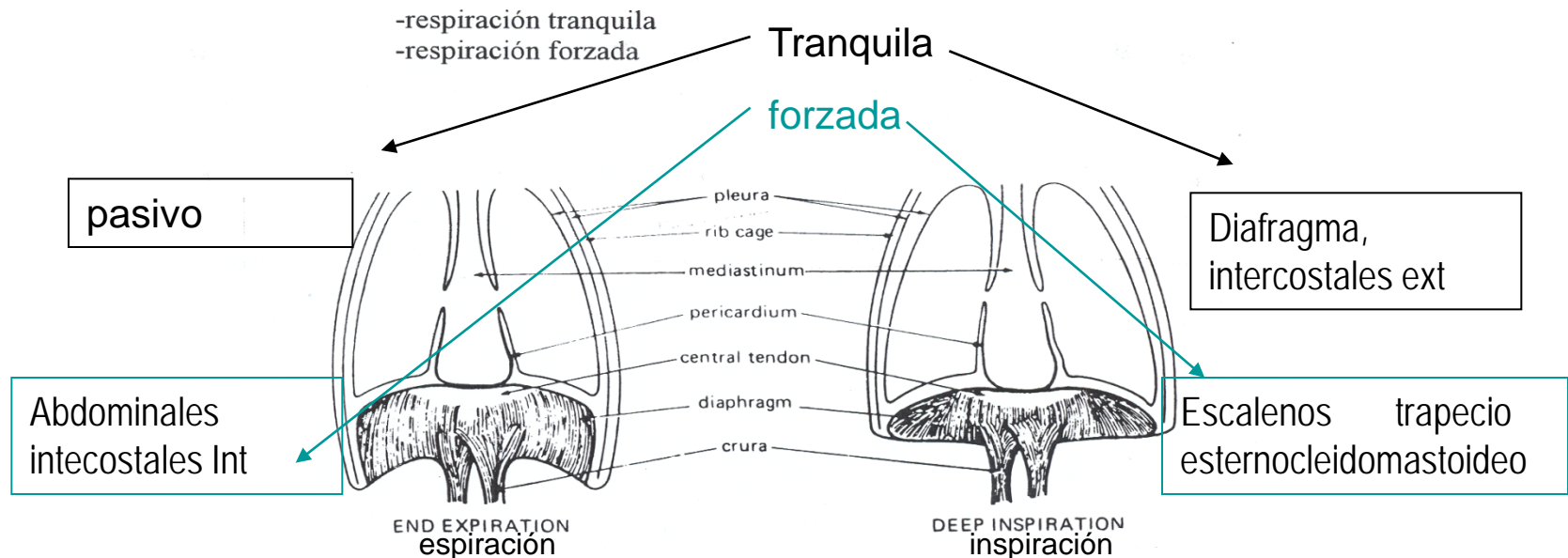
-Endotelio capilar

# Función pulmón / caja torácica como una unidad

## Espacio Pleural



## Músculos Respiratorios: movimientos



# Pulmón / caja Torácica y movimientos respiratorios

Pulmón → contracción

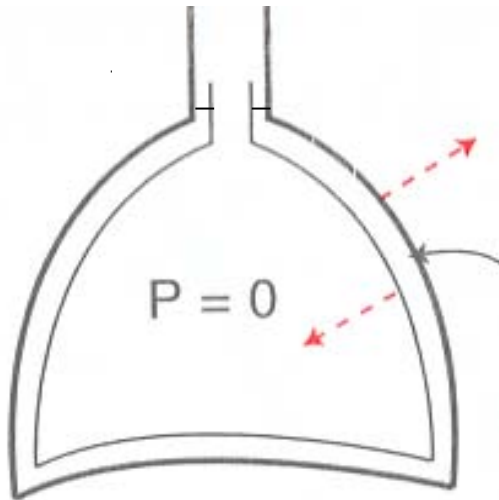
Caja torácica → expansión

$P_B = P_A$

○

$V = 0$

**Final espiración**

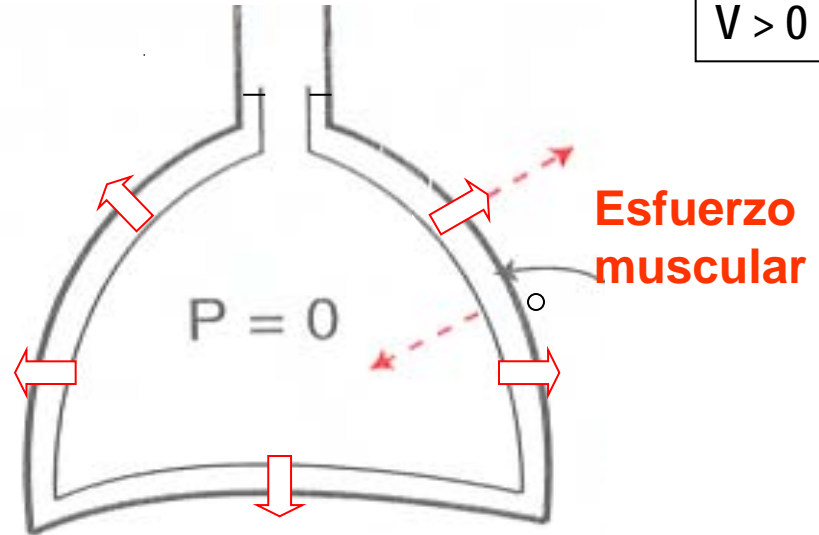


**Durante inspiración**

$P_B > P_A$

○

$V > 0$



**Esfuerzo muscular**

CRF

Tendencia a la expansión  
Caja torácica

=

Tendencia a la retracción del pulmón

**Final inspiración**

CRF + 0,5- 1l

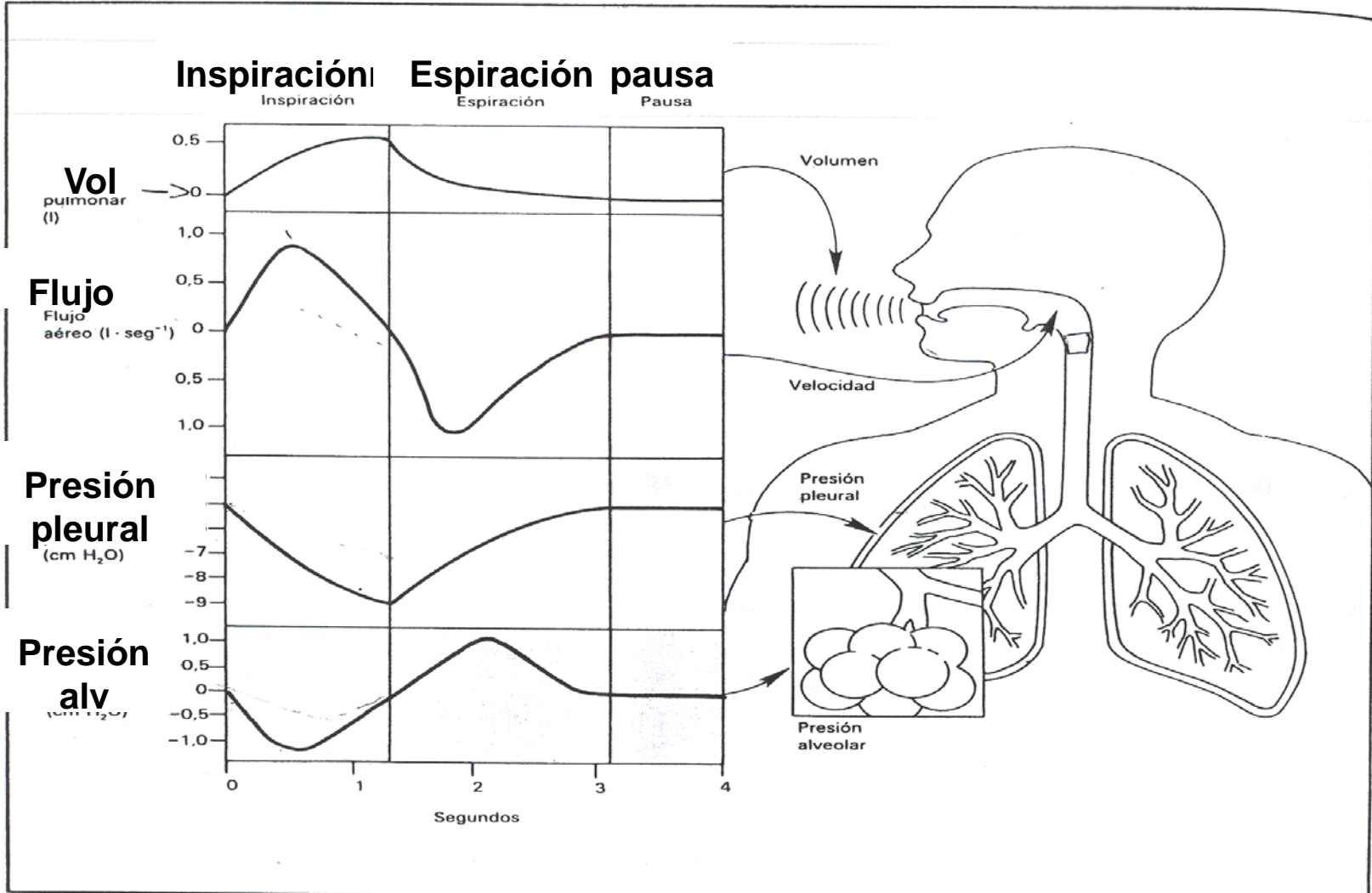
Tendencia a la expansión  
Caja torácica

<

Tendencia a la retracción del pulmón



# Ciclo respiratorio normal



# Medida de volúmenes y capacidades pulmonares

Utilidad clínica

Espirometría estática y dinámica

Espirómetros : - campana

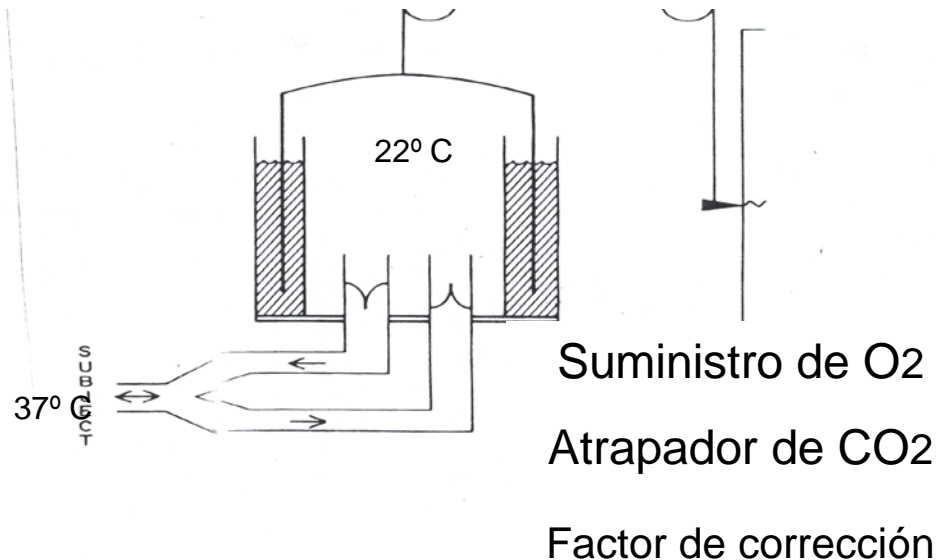
- turbina

-neumotacómetro

ATPS- temperatura y presión ambiental saturado

BTPS- temperatura y presión corporal saturado

STPD- temperatura y presión STD seco



**El volumen que ocupa un gas depende del n° de moléculas, temperatura y presión**

$$V = \frac{nRT}{p}$$

N=n° moléculas

R=Cte gases

**Conversión de un gas a diferentes temperaturas**

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

**Problema: Interconversión de Volúmenes saturados de vapor de H<sub>2</sub>O a diferentes temperaturas,**

$$\frac{(P_1 - P_{H_2O}) V_1}{T_1} = \frac{(P_2 - P_{H_2O}) V_2}{T_2}$$

22°C- PH<sub>2</sub>O= 19,83mmHg ATPS-Campana

37°C- PH<sub>2</sub>O= 47,07mmHg BTPS- pulmón

TABLE 2. Saturated PH<sub>2</sub>O at temperatures from 1° to 40°C

Temperature (°C)	PH <sub>2</sub> O (mm Hg)	Temperature (°C)	PH <sub>2</sub> O (mm Hg)
1	4.93	21	18.65
2	5.29	22	19.83
3	5.69	23	21.07
4	6.10	24	22.38
5	6.54	25	23.76
6	7.01	26	25.21
7	7.51	27	26.74
8	8.05	28	28.35
9	8.61	29	30.04
10	9.21	30	31.82
11	9.84	31	33.70
12	10.52	32	35.66
13	11.23	33	37.73
14	11.99	34	39.90
15	12.79	35	42.18
16	13.63	36	44.56
17	14.53	37	47.07
18	15.48	38	49.69
19	16.48	39	52.44
20	17.54	40	55.32

$$(760-19,83) V1 / (273+22) = (760-47) V2 / (273+37)$$

$$740 V1 / 295 = 713V1 / 310$$

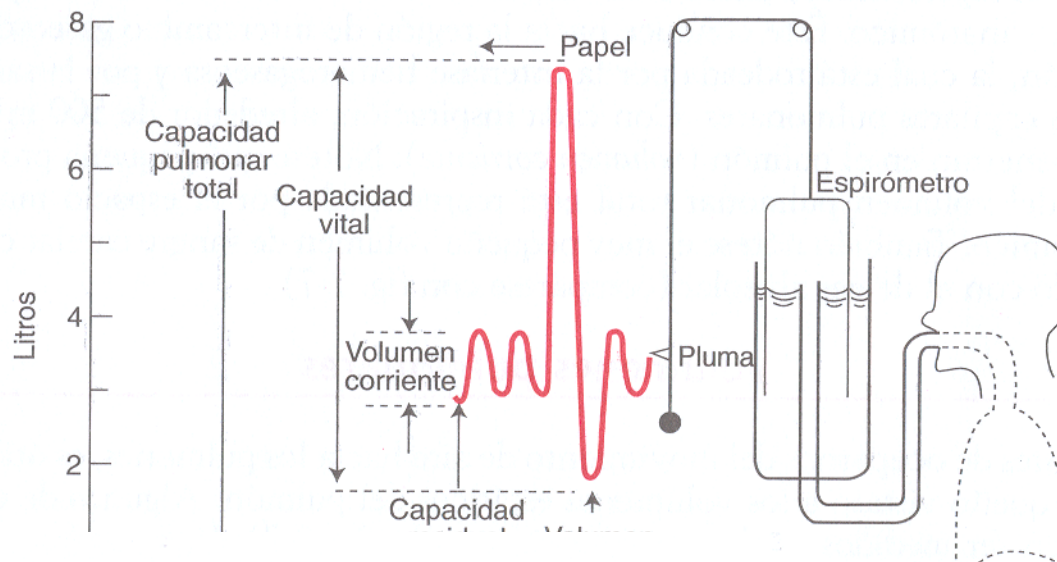
$$2,5 V1 = 2,3 V2$$

$$V2=2,5 V1 / 2,3$$

IL aire pulmona r=1,09 L aire de campana

1lbtps=1,09ATPS

8+32 = °F



Valores normales:

VC=500-800ml

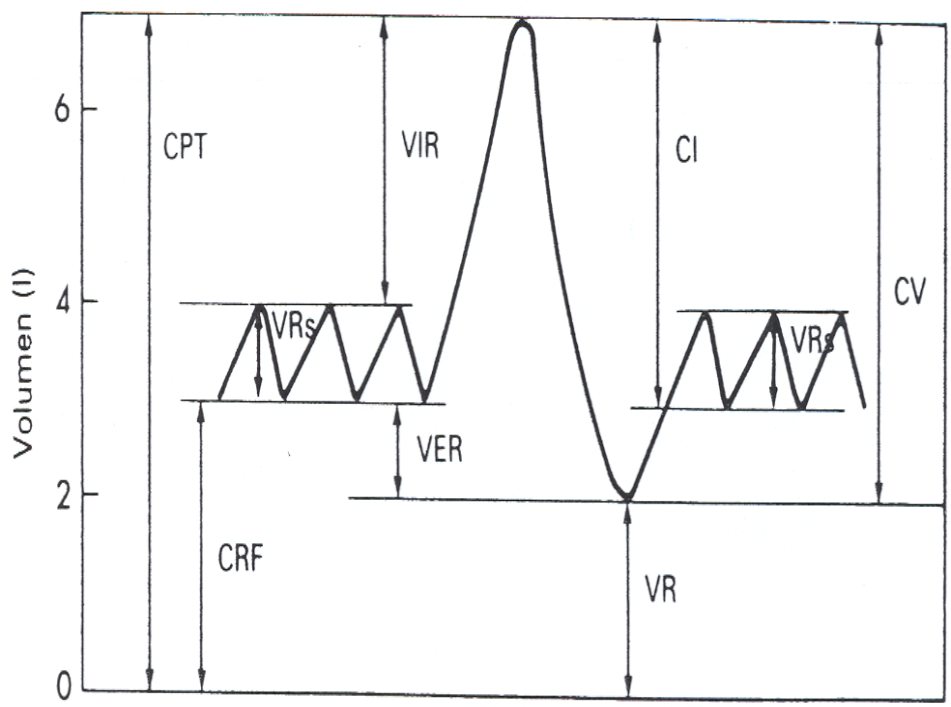
VRI=2,5-3l

VRE=1,5l

CI (VC+VRI)= 3l

CV (VC+VRE+VRI)= 4,5l

CPT (VC+VRE+VRI+VR)= 6l



Diferencias en  
espirometrías:

-Posturas

-talla

-Clínicas

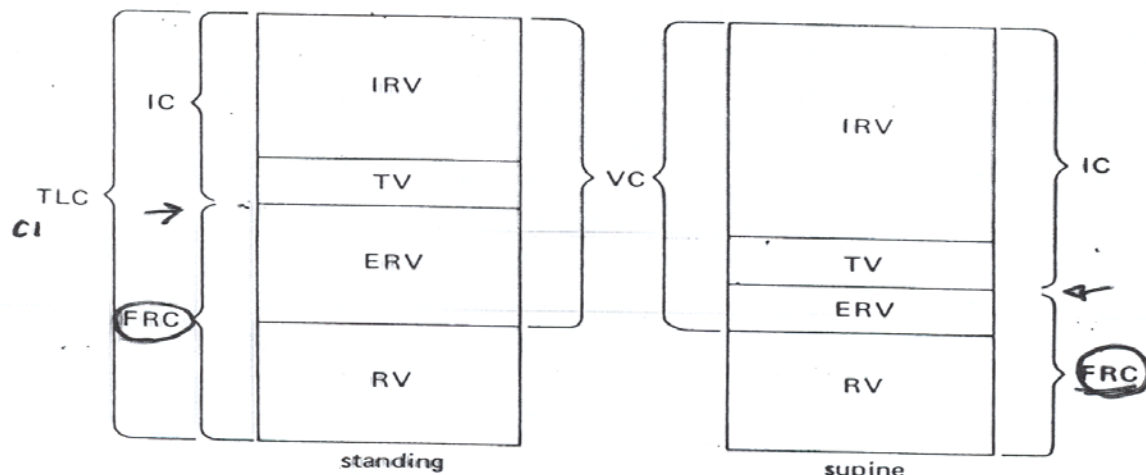


Figure 3-2 Illustration of alterations in the lung volumes and capacities that occur when a subject changes from the standing to the supine position.

Enfisema

Fibrosis

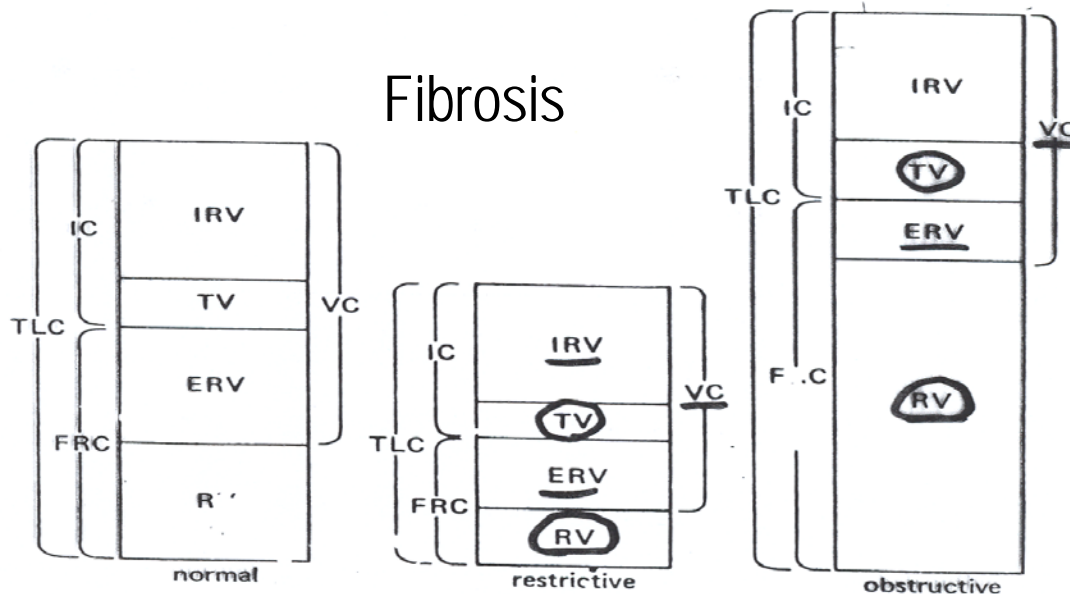
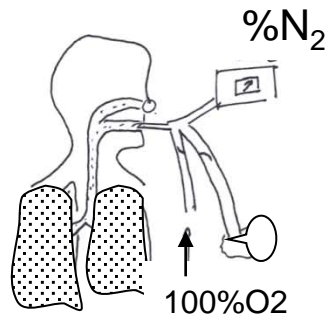


Figure 3-3 Illustration of typical alterations in the lung volumes and capacities in restrictive and obstructive diseases.

# Técnicas para medir el Volumen residual (VR)

- 1.-Lavado de N<sub>2</sub>
- 2.-Dilución de un gas noble
- 3.-Pletismografía

## 1. Lavado de N<sub>2</sub>

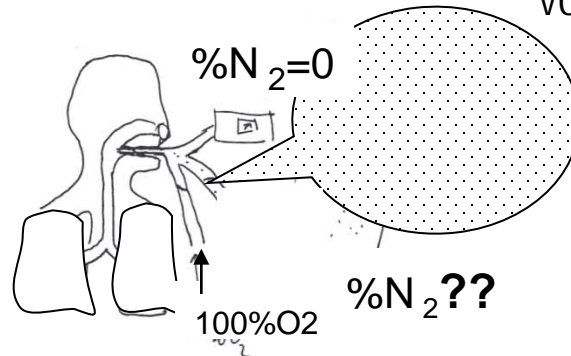


-a CRF respira 100%O<sub>2</sub>

Se mide % N<sub>2</sub> en aire espirado

- sistema de válvulas y bolsa que recoge volumen espirado

- cuando % N<sub>2</sub> en aire que espiramos = 0, se mide volumen espirado y % N<sub>2</sub> en aire espirado (bolsa)



Cantidad = V x Concentración

volumen N<sub>2</sub> = V total x %N<sub>2</sub>

Vol original N<sub>2</sub> en resp = V<sub>espirado (bolsa)</sub> x % N<sub>2</sub>

Vol original N<sub>2</sub> en resp x 1,25 = V<sub>original aire</sub> = CRF

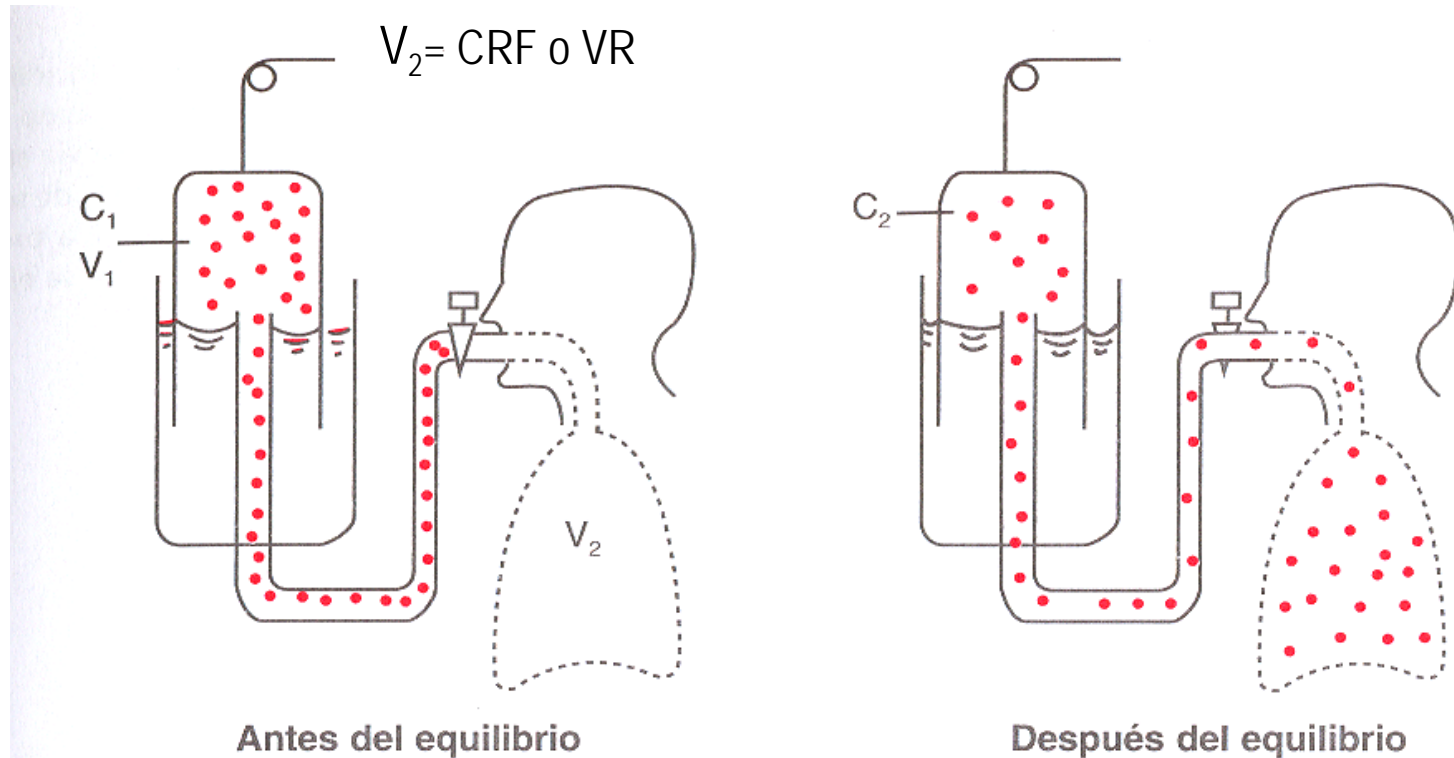
VR = CRF - VRE

## 2) Dilución de un gas noble

Vol de He es cte

$$V [\text{He}] = C_1 \times V_1 = \text{cte}$$

$$V_2 = \text{CRF o VR}$$



Antes del equilibrio

Después del equilibrio

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times (V_1 + V_2)$$

- propiedades de gas noble
- conectar cuando  $V_{\text{pulmonar}} = \text{VR}$  o CRF

- lograr el equilibrio de  $[\text{He}]$  entre campana y pulmón

- Medir  $[\text{He}]$

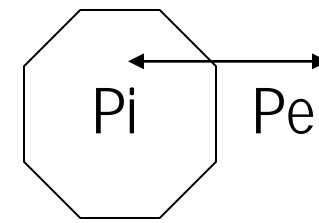


## Lección 36.

- Propiedades mecánicas estáticas del pulmón y caja torácica.
- Propiedades elásticas del pulmón: relaciones presión-volumen en pulmón aislado.
- Tensión superficial en alvéolos: surfactante pulmonar.
- Propiedades elásticas de la pared torácica.
- Propiedades elásticas del sistema pulmón-pared torácica.
- Estudio de las curvas de complianza pulmonar, de la caja torácica y del sistema pulmón-caja torácica: posición de reposo del sistema

# Mecánica ventilatoria: propiedades estáticas

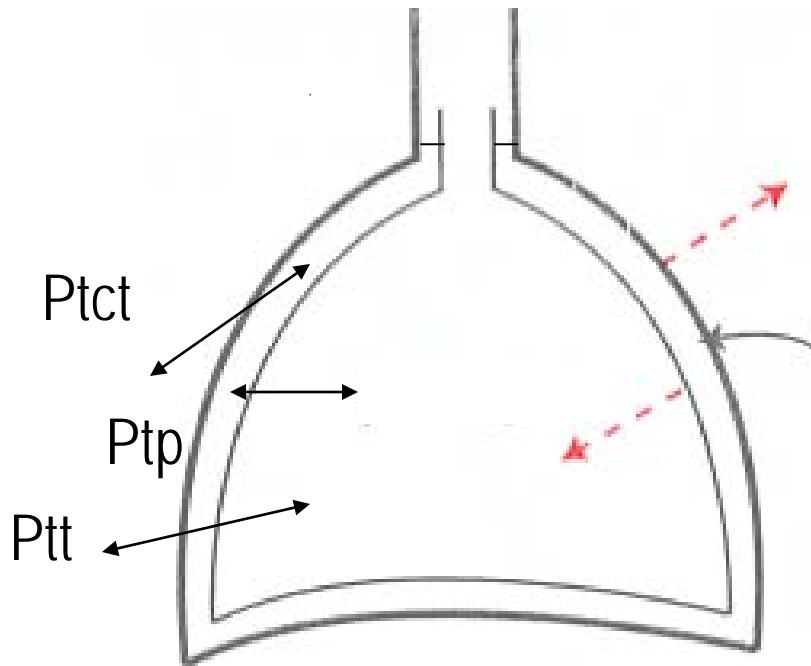
- Compleja, simplificación modelo dos balones
- Volumen cada balón: 1) presión transmural  
2) características material



$$P_{tm} = P_i - P_{ext}$$

$$\uparrow P_{tm} \rightarrow \uparrow V$$

## 1) Presiones transmurales en sist pulmón-caja torácica:



$$P_{tp} = P_p - P_{pl} \rightarrow V_p$$

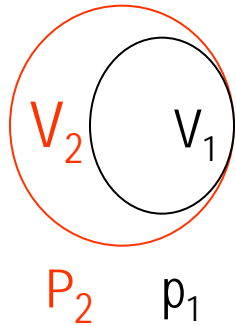
$$P_{tct} = P_{pl} - P_b \rightarrow V_{ct}$$

$$P_{tt} = P_p - P_b \rightarrow V_{sistema}$$

Unidades:  $1 \text{ mm Hg} = 0,74 \text{ cm H}_2\text{O}$

$1 \text{ cm H}_2\text{O} = 1,36 \text{ mmHg}$

## 2) Características del material (relaciones V/P):



Complianza =  $V_2 - V_1 / P_2 - P_1 \rightarrow$  (distensibilidad)

Elastancia =  $1 / \text{Complianza} \rightarrow$  (retracción)

Tejidos muy distensibles son poco elásticos (bola de billar)

Propiedades mecánicas estáticas o elásticas ( $\dot{V}=0$ )

.P/V a  $\dot{V}=0$

. Propiedades elásticas

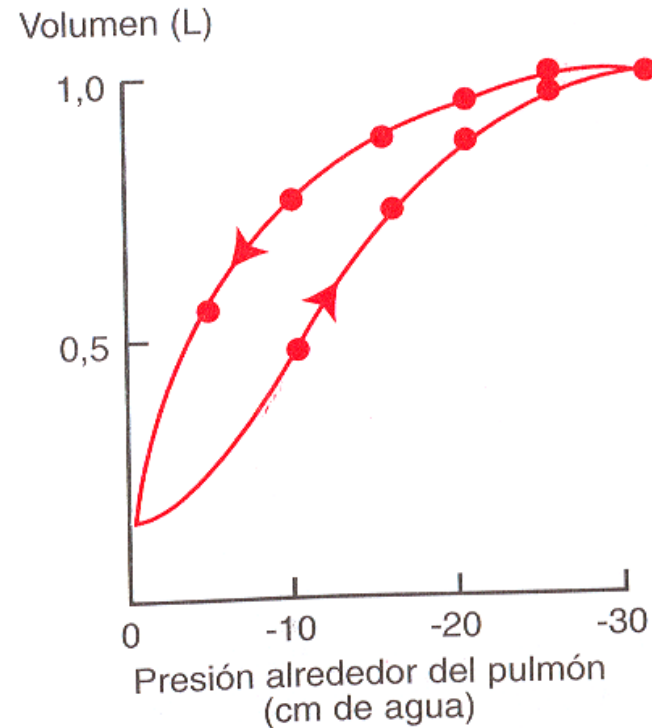
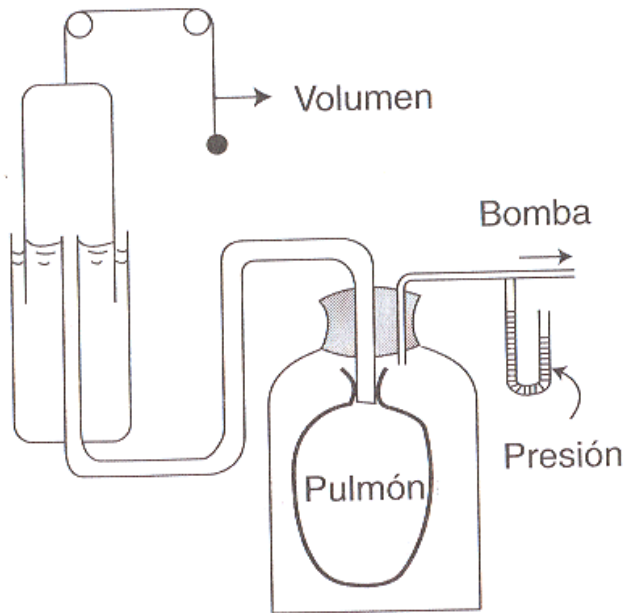
- pulmón
- caja torácica
- sistema (pulmón/caja torácica)

# Propiedades elásticas del pulmón

$$P_{tm} = P_{tp} = P_A - P_{pl}$$

- Complianza: 1) pulmón aislado  
2) pulmón intacto

## 1) pulmón aislado

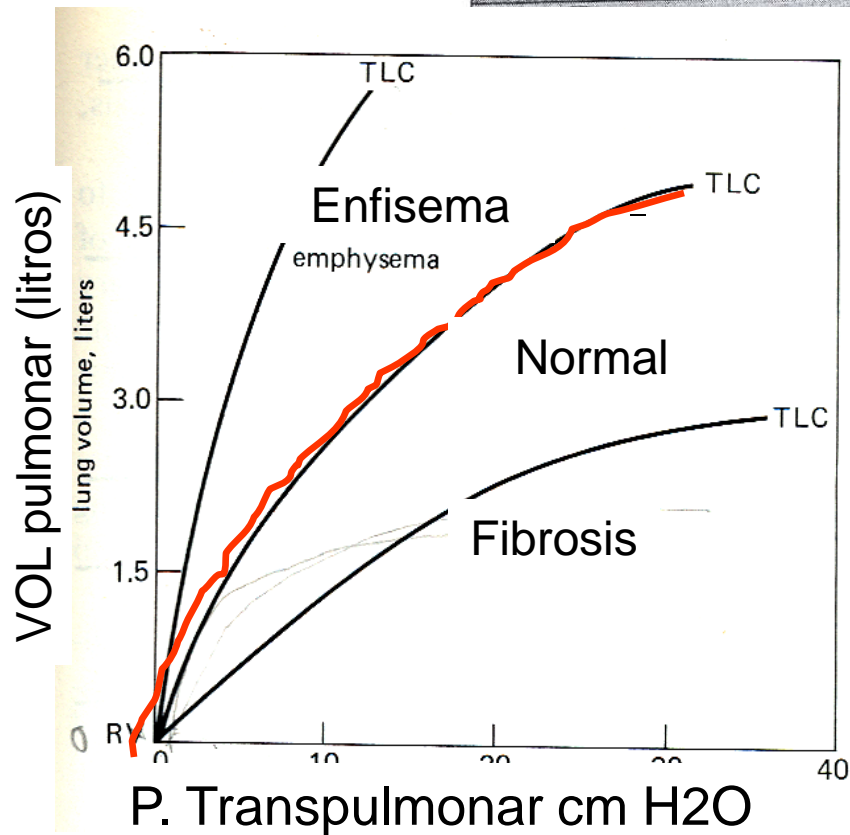
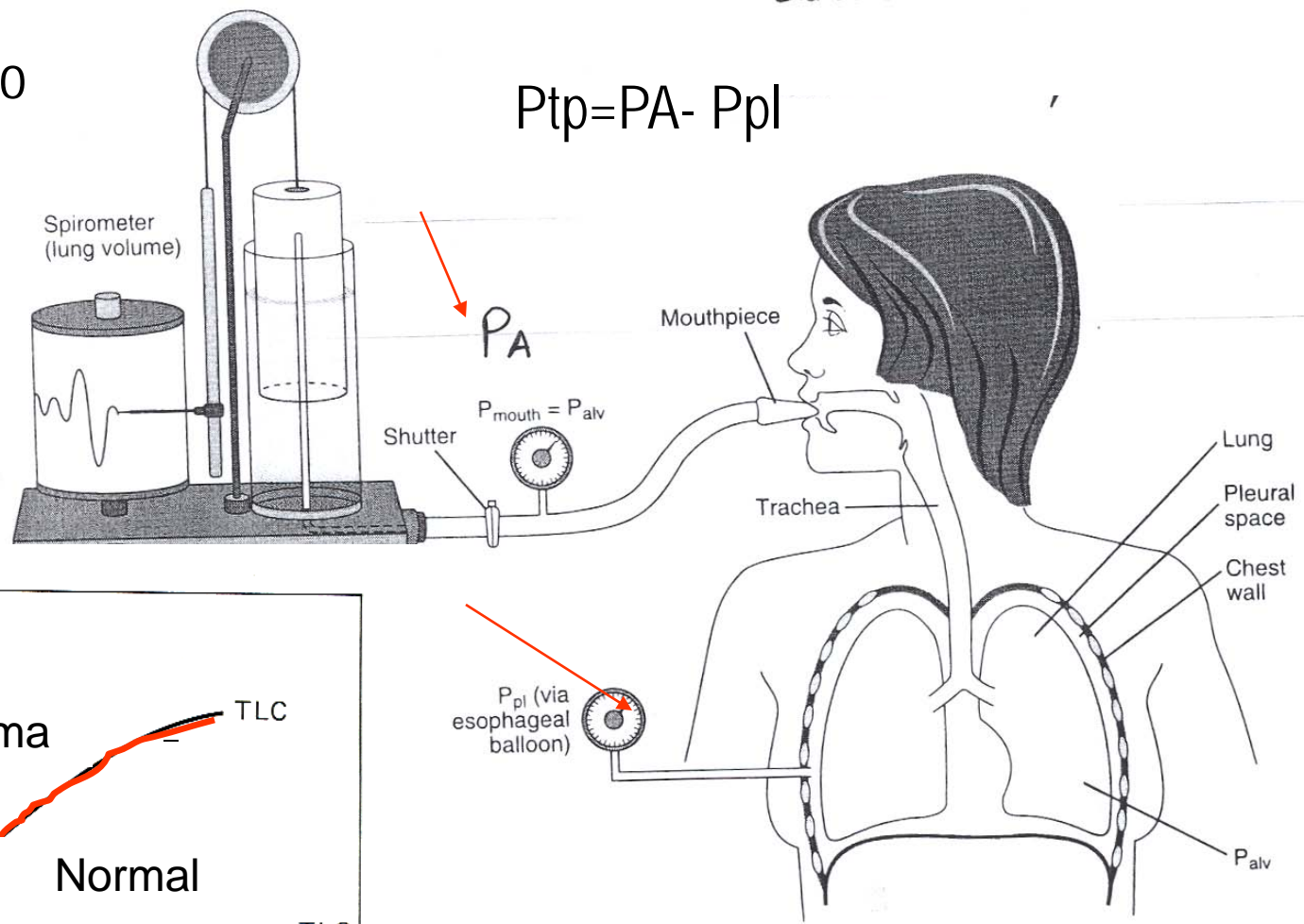


Método: modif. P<sub>ext</sub>, med. V<sub>p</sub> a ( $\dot{V}=0$ )

- no lineal
- histéresis

## 2) Pulmón Intacto

$$P_{tp} = P_A - P_{pl}$$

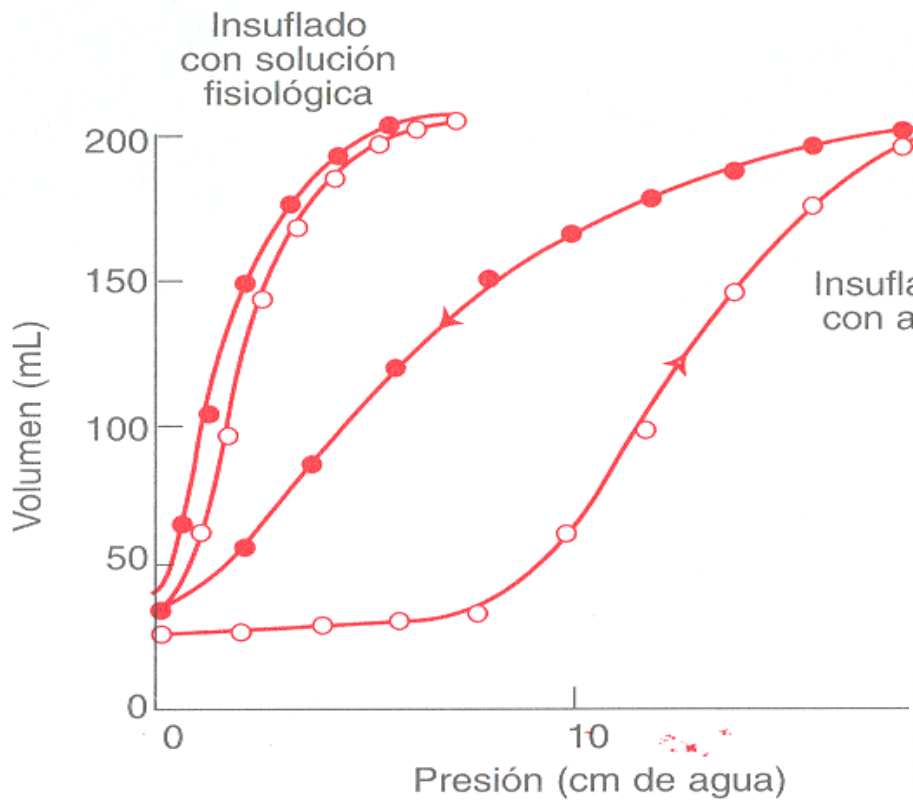


- No lineal
  - 200 ml/cmH<sub>2</sub>O (CRF)
  - utilidad clínica
- } Fibrosis y enfisema

Complianza específica

$$C/V_i = 0,081/cm$$

# Factores que determinan Complianza pulmonar ( $\Delta V / \Delta P$ )



1-Capacidad retráctil tejidos (1/3)

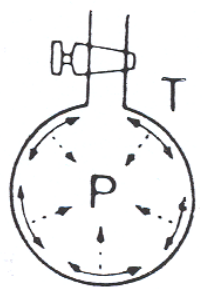
Elastina, colágena, disposición

2-Tensión superficial líquido alveolar(2/3)

Aire → Histéresis

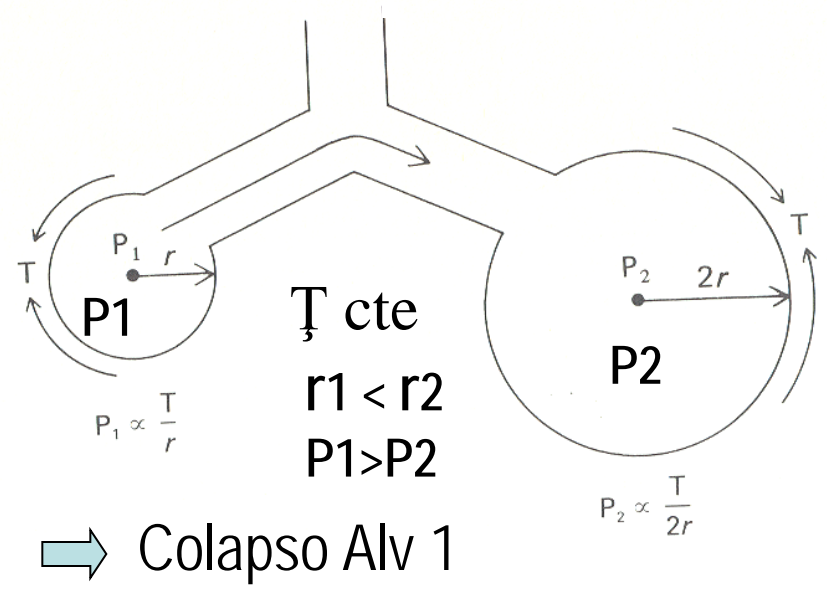
Líquido { -No histéresis  
-Izda

## Modelo alveolo- burbuja:



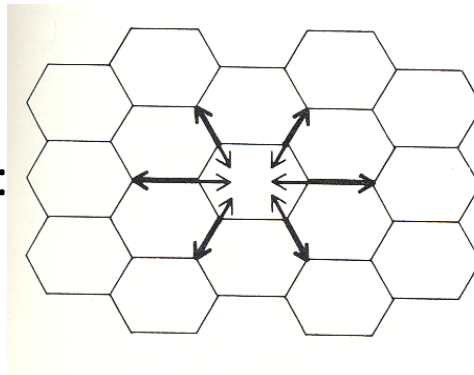
$$T = \frac{P \times r}{2}$$

$$P = \frac{2T}{r}$$

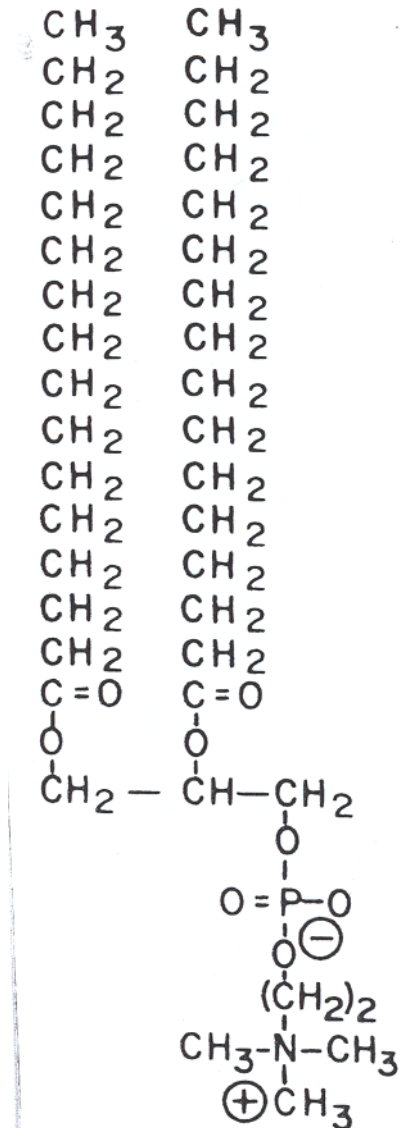
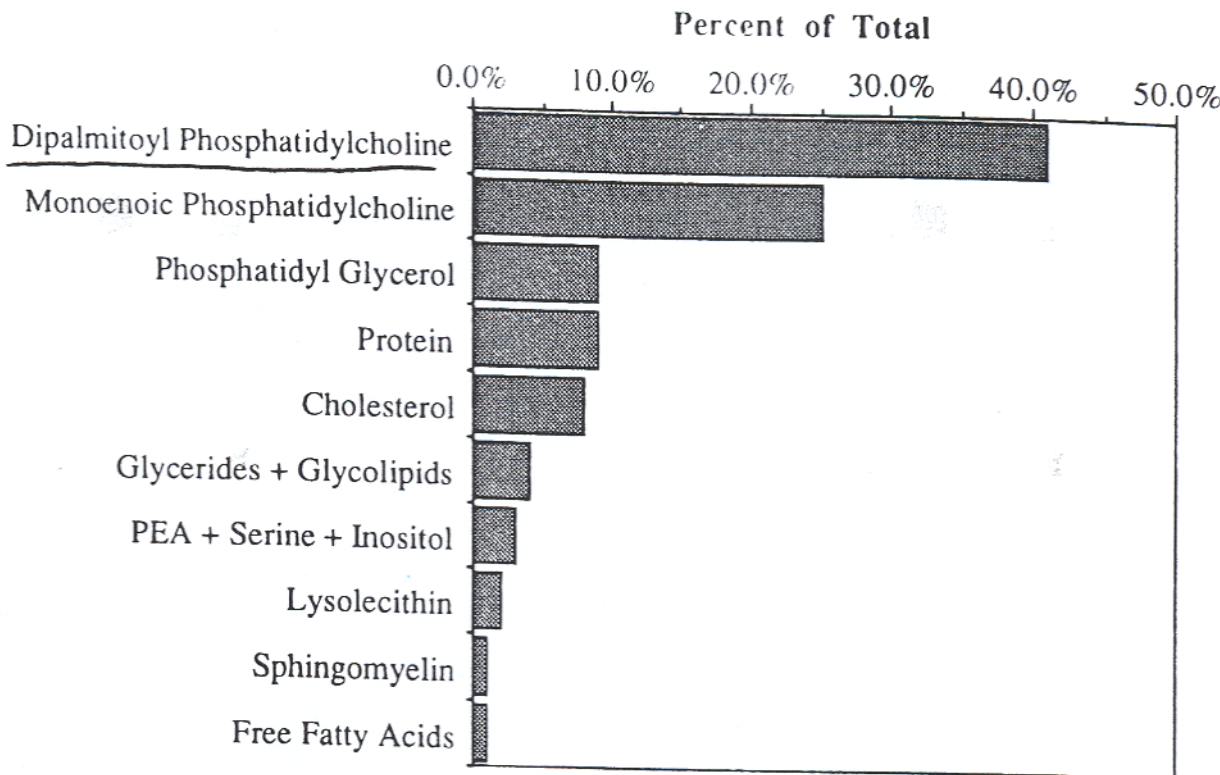


# Factores que impiden colapso o favorecen estabilidad alveolar

- 1. Interdependencia alveolar
- 2. Propiedades especiales del surfactante:

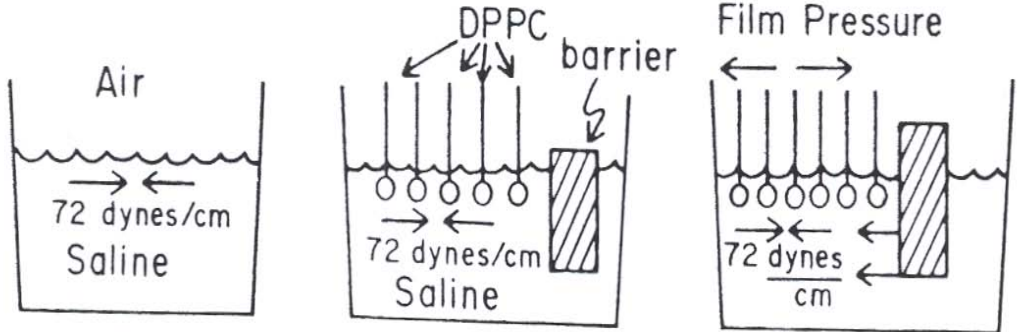
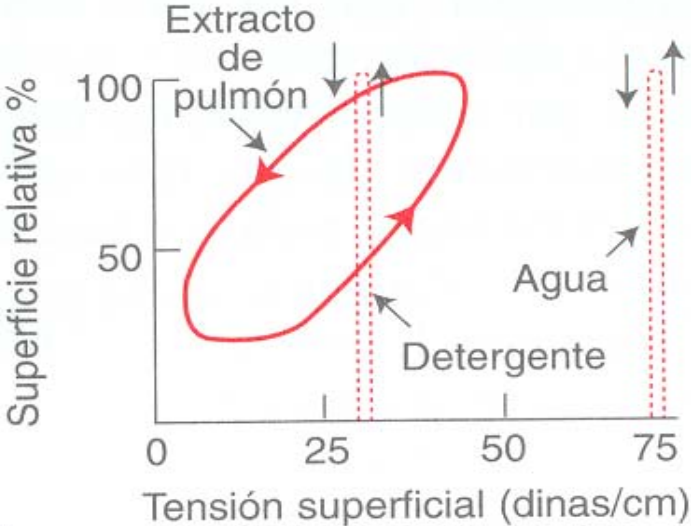
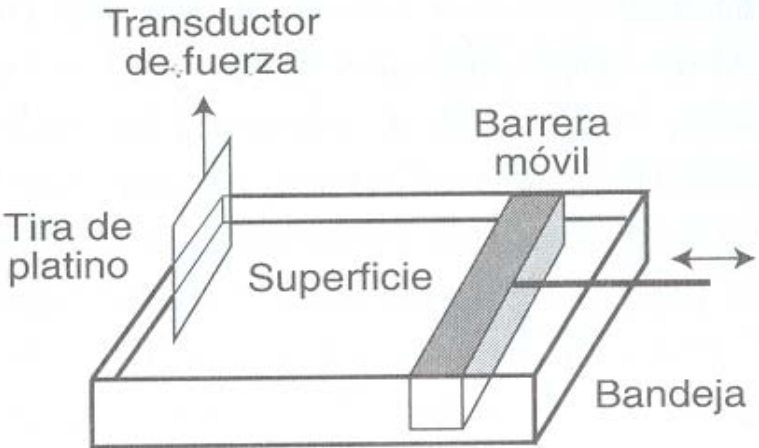


- Producto de secreción neumocito II
- recambio rápido (ventilación)
- último periodo prenatal
- composición:



# Estudio de la tensión superficial del surfactante

## Balanza de superficie



- Hileras de carácter anfipático
- Al comprimirse > fuerzas de repulsión

### Extracto de pulmón

↓ Tensión superficial  
Dependiente de área  
Presenta histéresis



## Importancia de las propiedades del surfactante en la ventilación alveolar

1. ↑ Complianza pulmonar ( ↓ resistencias elásticas)
2. ↑ Estabilidad alveolar (evita colapso alveolar)
3. Responsable de histéresis pulmonar
4. Previene edema pulmonar

# Situaciones patológicas del surfactante

## 1. Desorganización al $\downarrow V_p$ y $\downarrow$ producción surfactante (distress)

- \* Hipoventilación  $\longrightarrow$   $\downarrow$  producción surfactante

- hipoventilación voluntaria- reacción  $\rightarrow$  bostezo

- hipoventilación por dolor quirúrgico: colapso alveolar, atelectasias

## 2. Defectos de producción: distress del recién nacido

1. Pulmones rígidos

2. Tendencia al colapso atelectásias

3. Edemas pulmonares

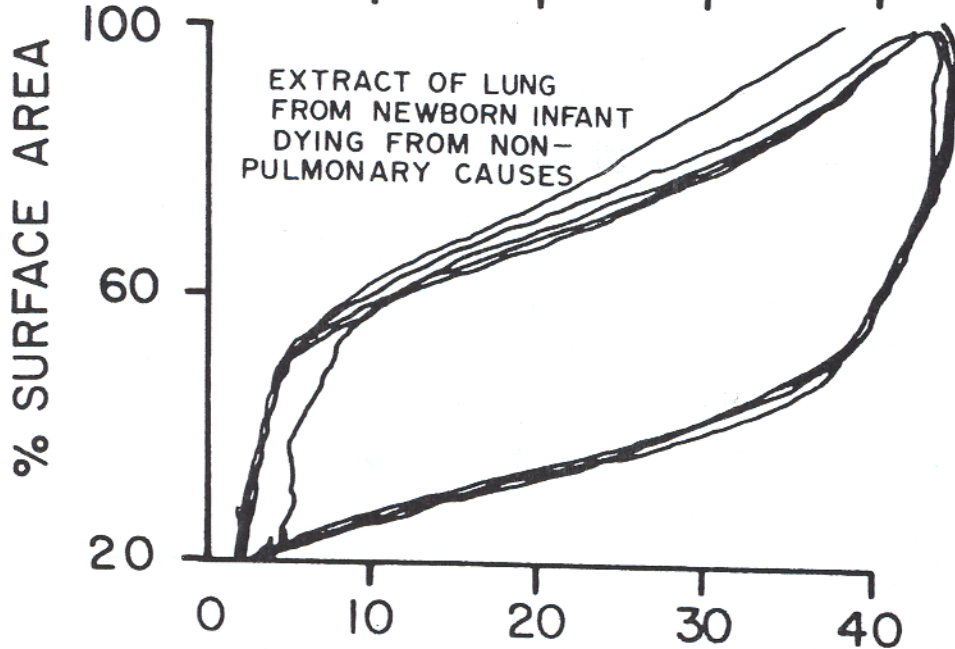
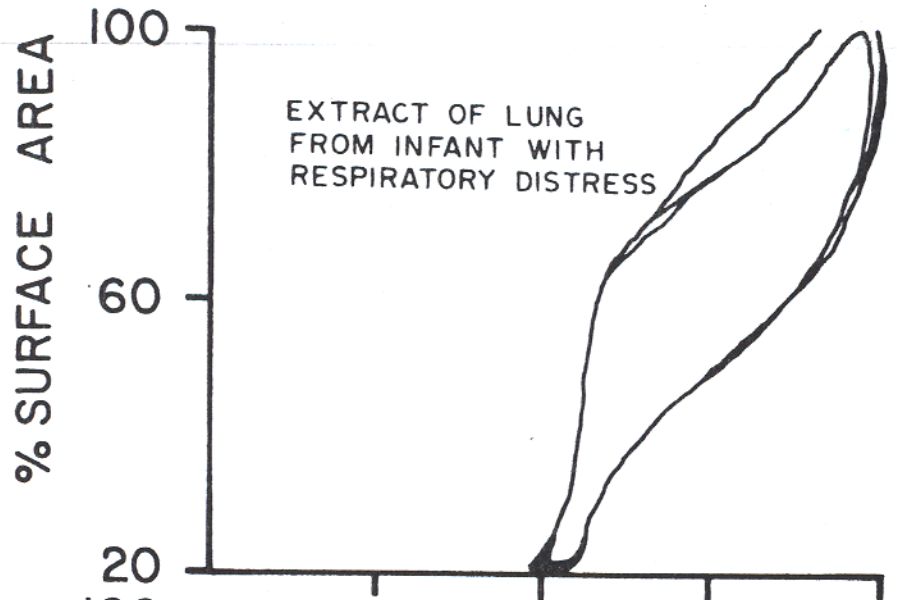
# Tratamiento

- ↑ producción (corticoides, Catecolaminas)

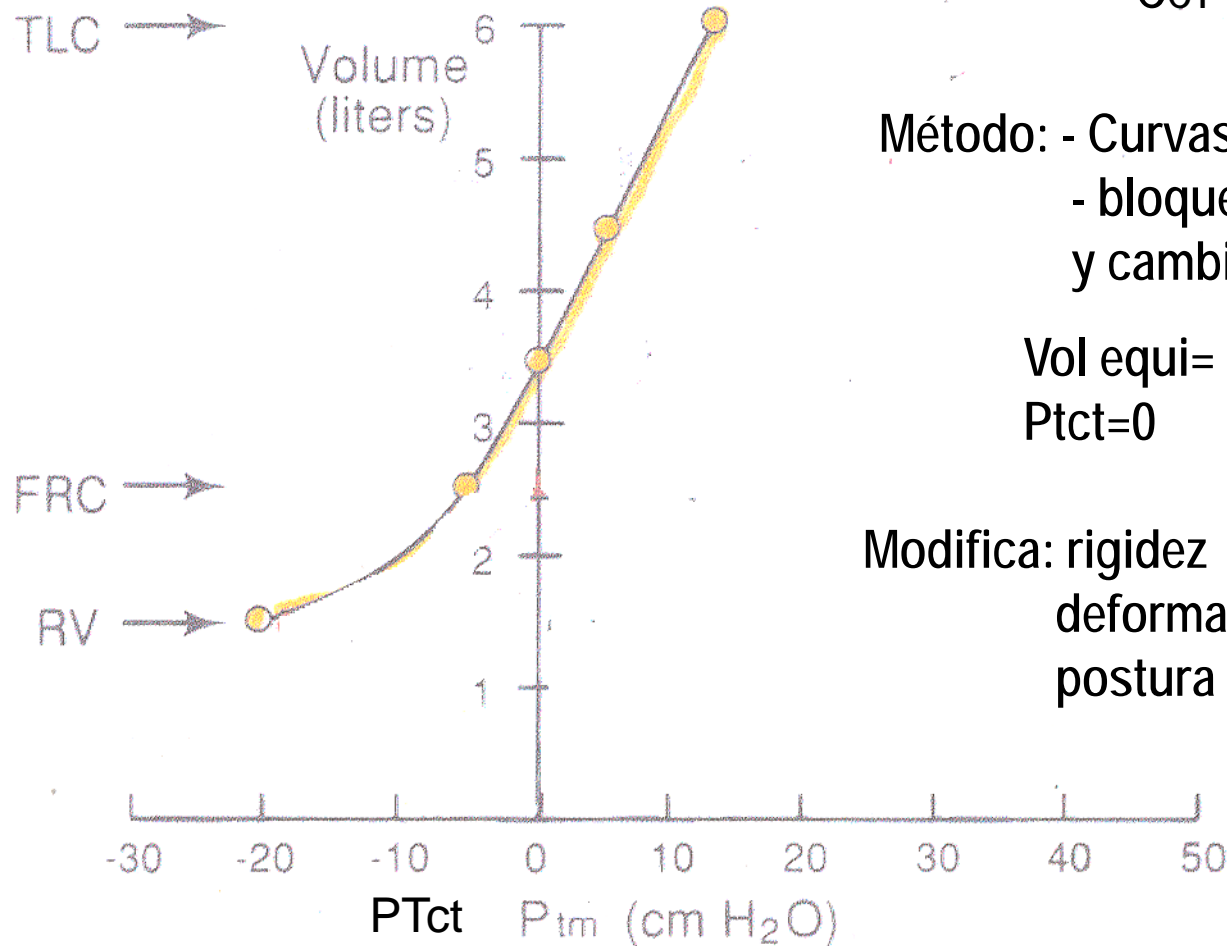
- ventilar a presión positiva

- respirar ambiente hiperóxico

- aplicación de surfactantes artificiales



# Propiedades elásticas de la caja Torácica



$$P_{TCT} = P_{pl} - P_B$$

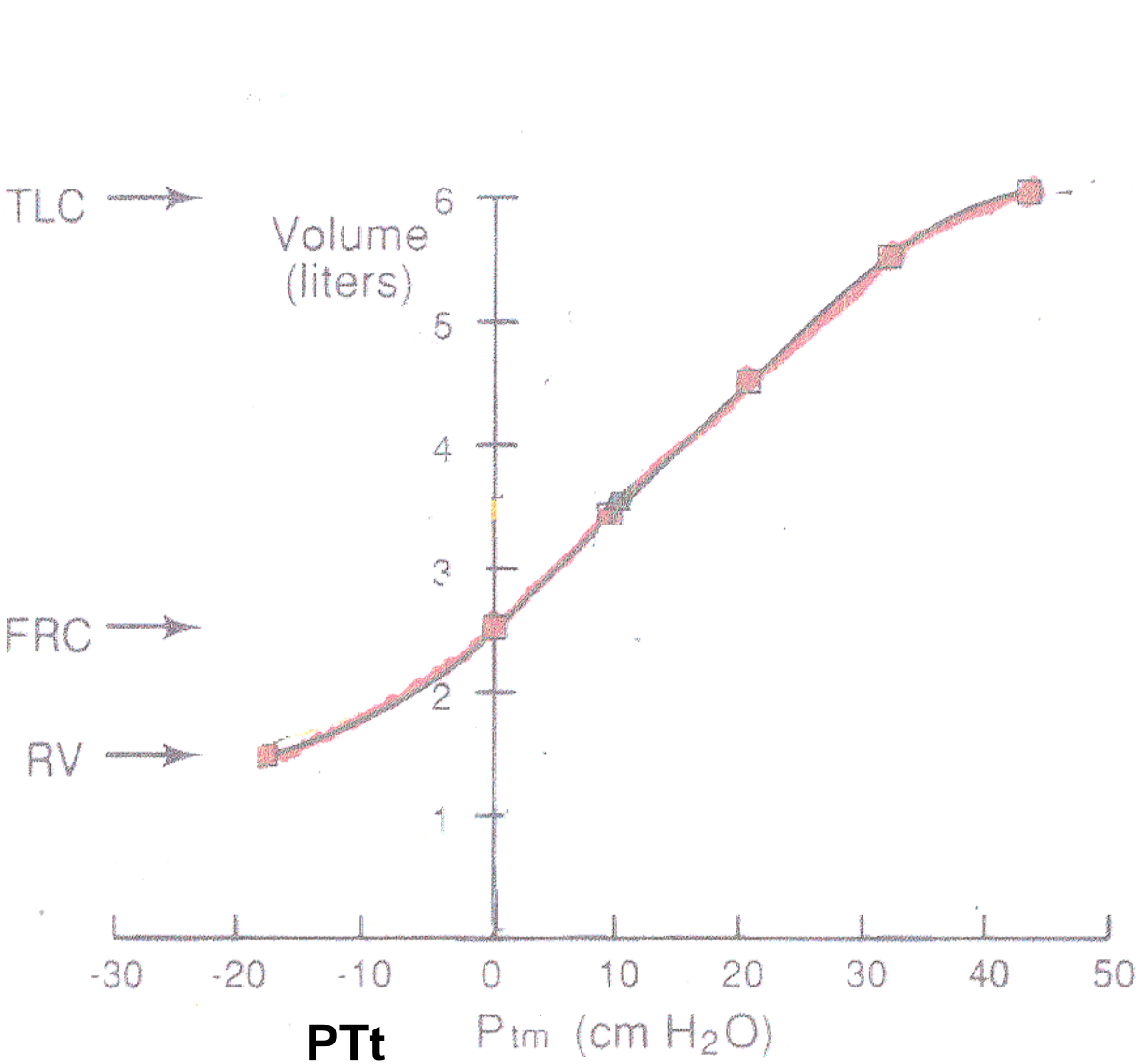
$$C_{CT} = \frac{\Delta V_p}{\Delta P_{tct}}$$

Método: - Curvas de relajación  
- bloqueantes musculares  
y cambios de volumen

Vol equi = CRF + 1l  
P<sub>tct</sub> = 0

Modifica: rigidez  
deformación caja torácica  
postura

# Propiedades elásticas del sistema Pulmón/Caja torácica



$$P_{tm} = P_{tt} = P_A - P_B$$

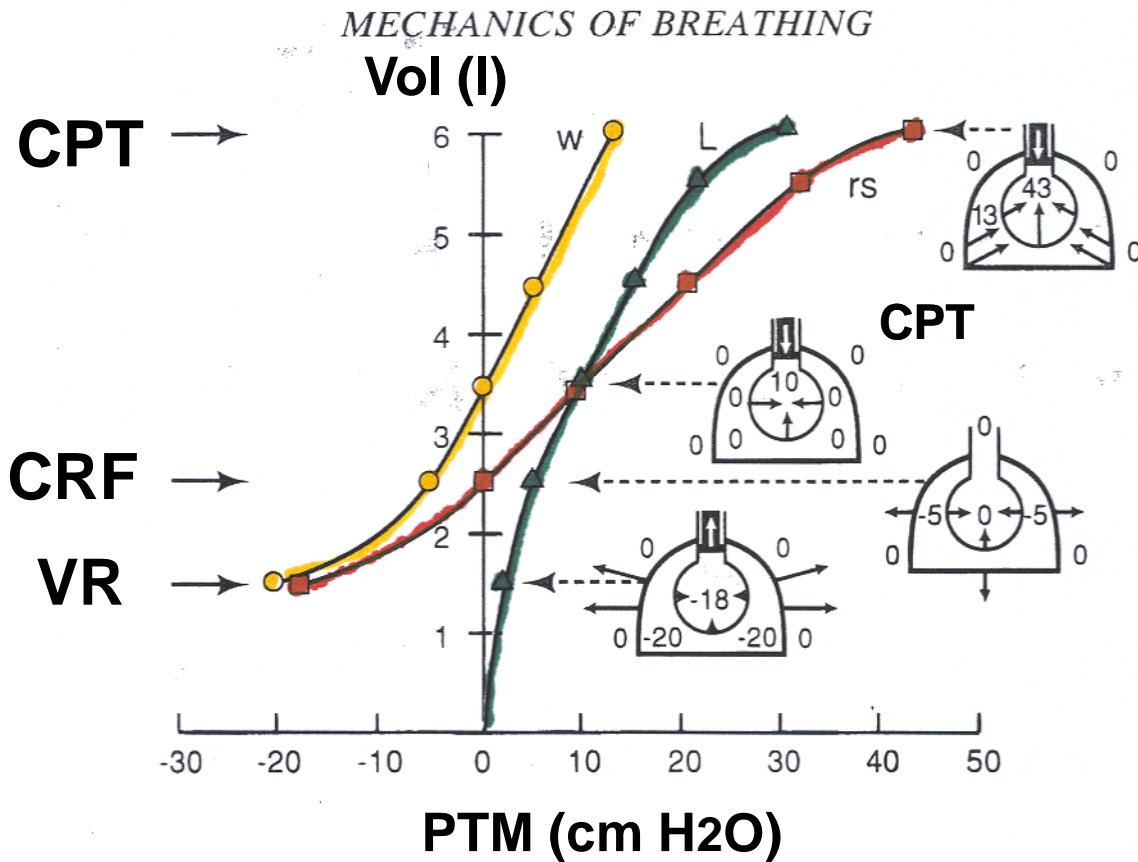
$$C_T = \frac{\Delta V_p}{\Delta P_{tt}}$$

Método

$$\text{Vol. Equi} = \text{CRF } P_{tt} = 0$$

# Curvas de complianza estática

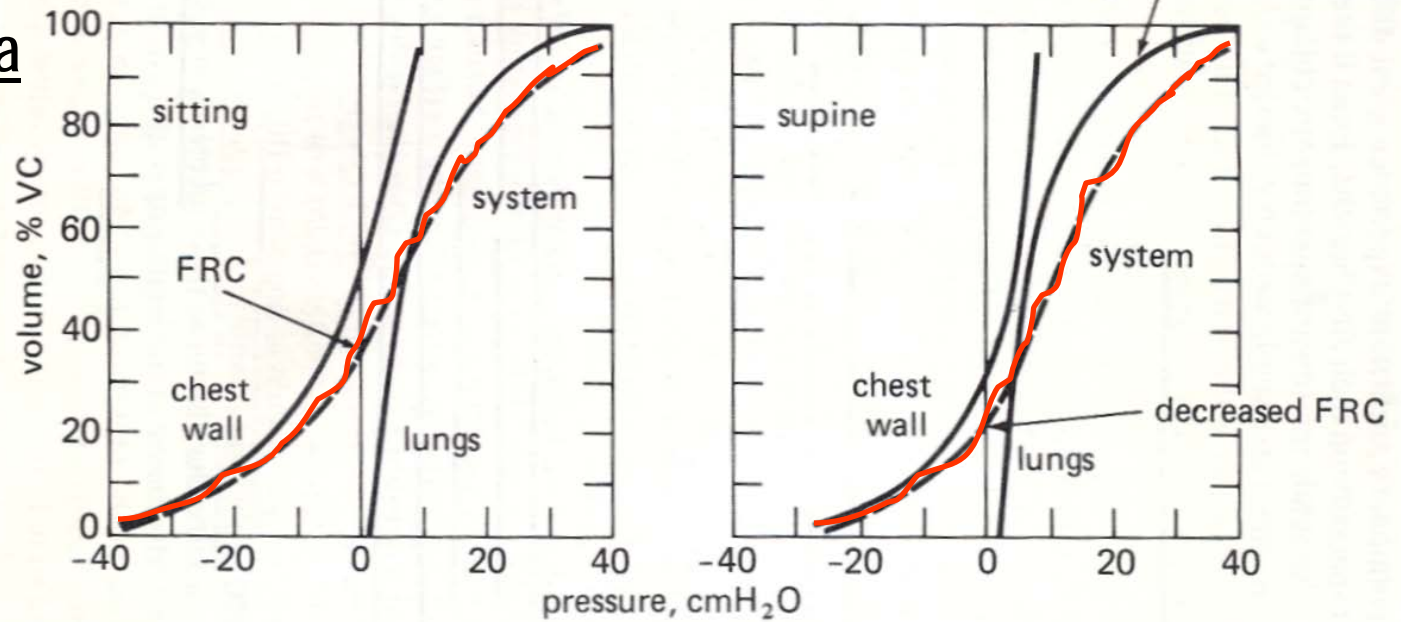
Curva de complianza pulmonar:  $V_p$  de equilibrio = VR



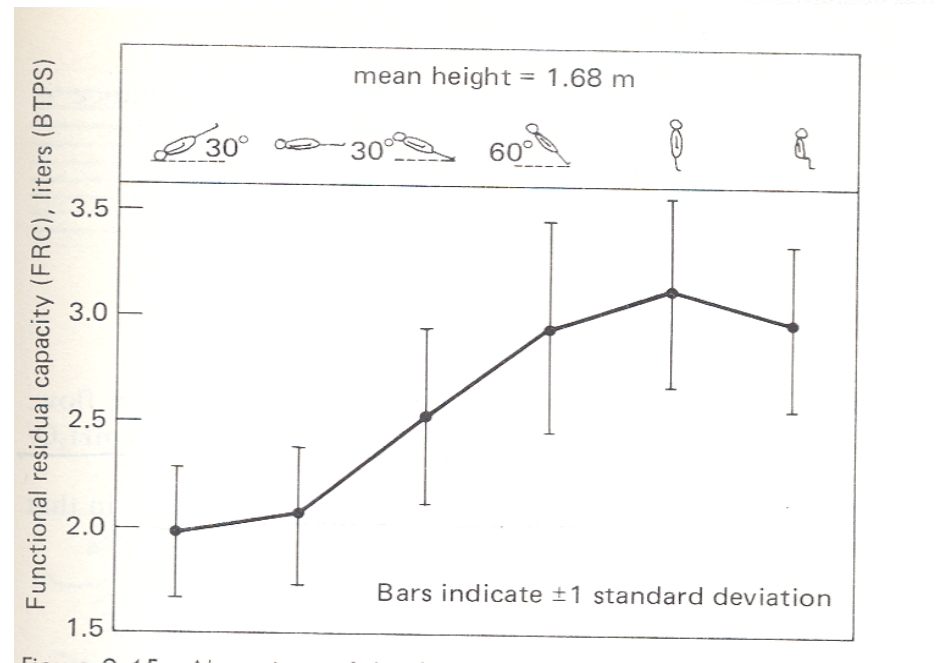
$$1/Ct = 1/Cp + 1/Cct$$

ciclo normal	insp	↑ CRF
	esp	CRF
ciclo forzado	insp	↑ CRF
	esp	↓ CRF

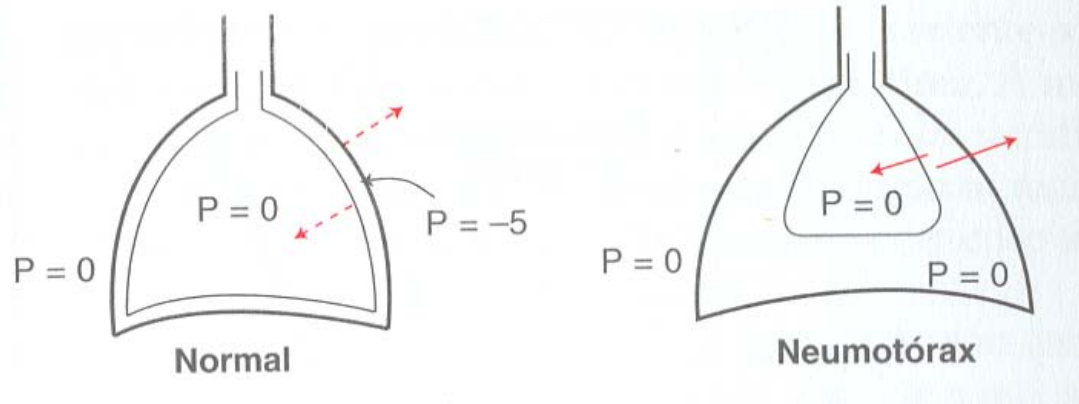
# Curvas y Postura



# Modificación de CRF y postura



# neumotorax



Ct/P no unitario