

Lección 35. Funciones generales del aparato respiratorio. Estructura funcional: vías aéreas y unidades respiratorias. Espacio pleural. Mecánica de los movimientos respiratorios. Músculos respiratorios. Medida de volúmenes y capacidades pulmonares. Funciones de defensa y metabólicas del aparato respiratorio

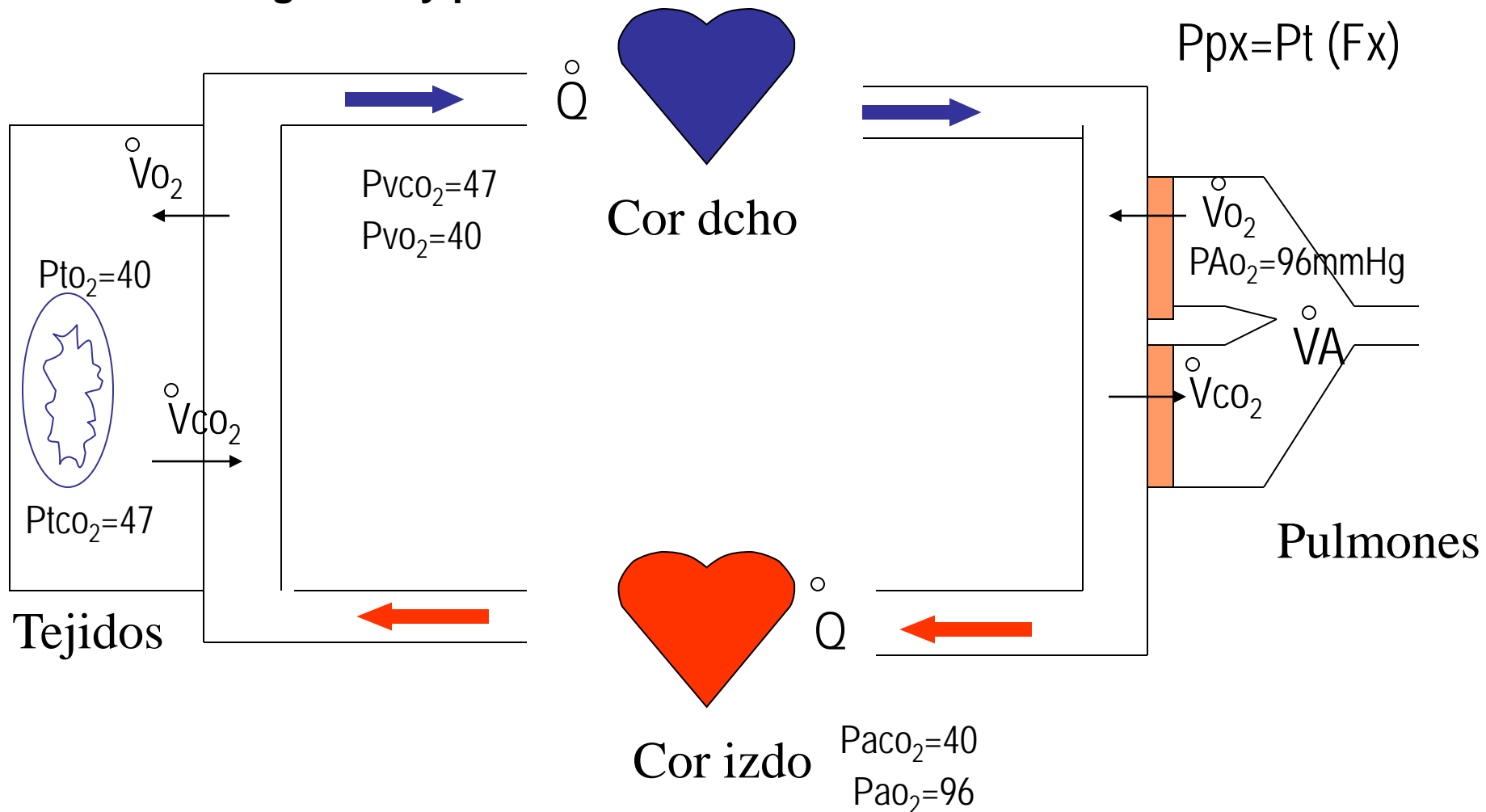
# FUNCIONES GENERALES DEL APARATO RESPIRATORIO

Principal: - Intercambio de gases MI/ME  
Aparición en organismos evolucionados  
Relación con Apto. Circulatorio (distribución y equilibrio)

- Otras:
- mantenimiento de equilibrio ácido/base
  - órgano fonación
  - órgano olfatorio
  - Función metabólica
  - Acondicionador del aire para intercambio (calienta y humidifica)
  - Filtro y reservorio sanguíneo
  - Vía de absorción al medio interno
  - Función defensiva: - necesaria ( $70 \text{ m}^2$ ; 20000 l/día)
    - filtración: barrera olfatoria
    - Otros (partículas)

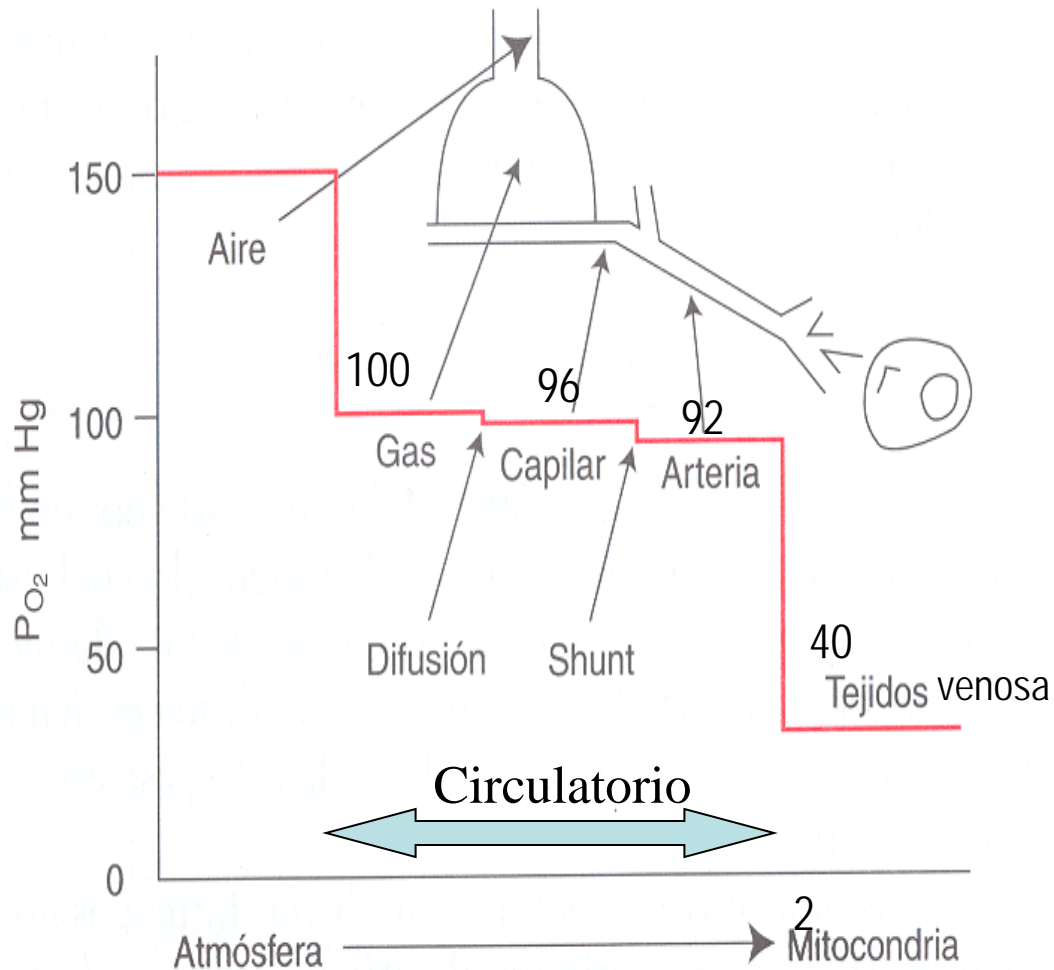
# Esquema del intercambio gaseoso

- Circulatorio y respiratorio acoplados
- Circulación general y pulmonar en serie



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

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



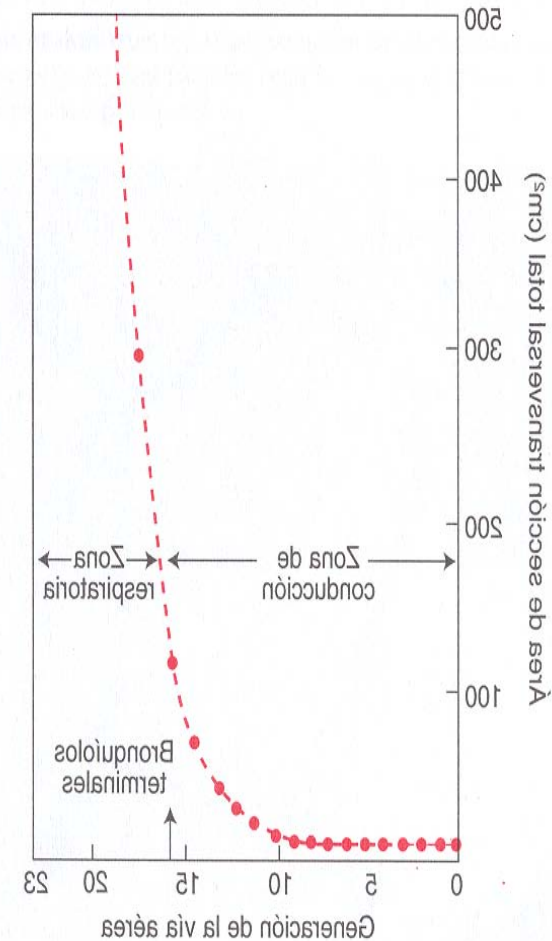
# Estructura Funcional

## Vías aéreas y unidades respiratorias

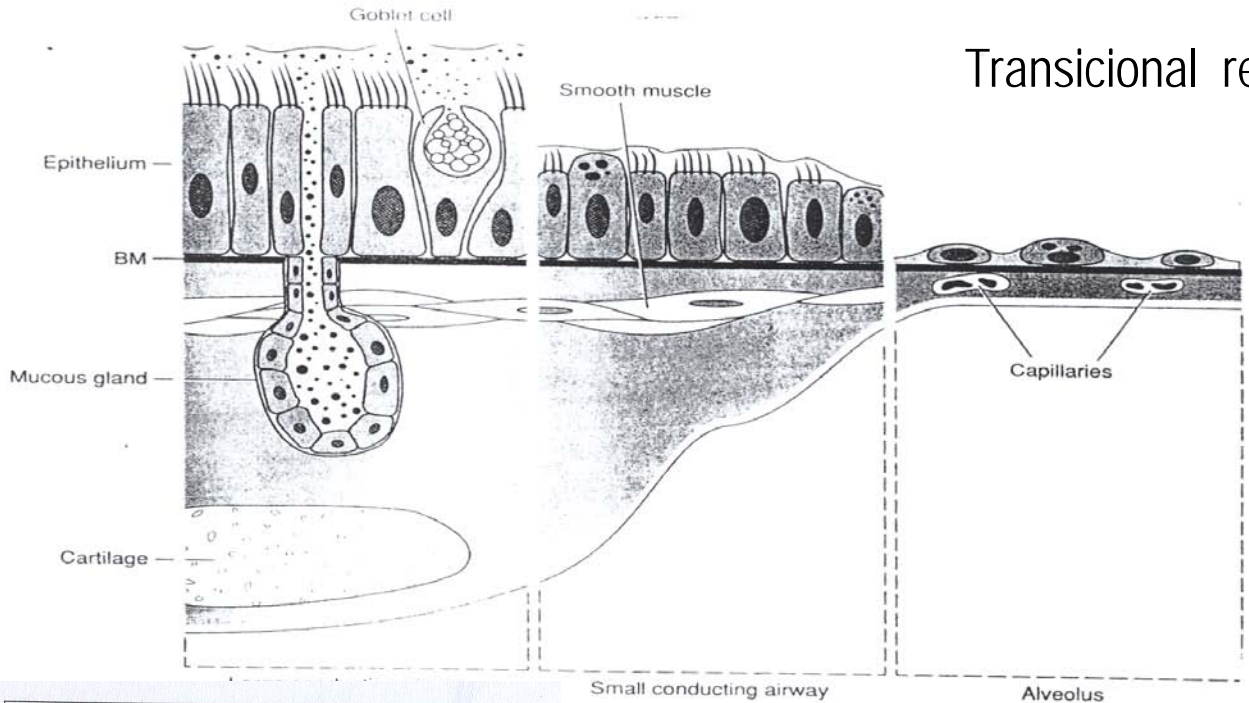
- Sistema de conducciones de 23 generaciones  $\Rightarrow$  sacos ciegos
- Zona conductora
- Zona intercambiadora

- Zona Conductora: - constitución (EMA =150ml)
- función (Ver diapositiva 1)
- 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	
	17					
transitional and respiratory zones	respiratory bronchioles	18				
		19	0.05	0.10	$5 \times 10^5$	$10^3$
		$T_3$				
	alveolar ducts	$T_2$				
		$T_1$				
		T				
	alveolar sacs	T	23	0.04	0.05	$8 \times 10^6$



# Transicional respiratoria



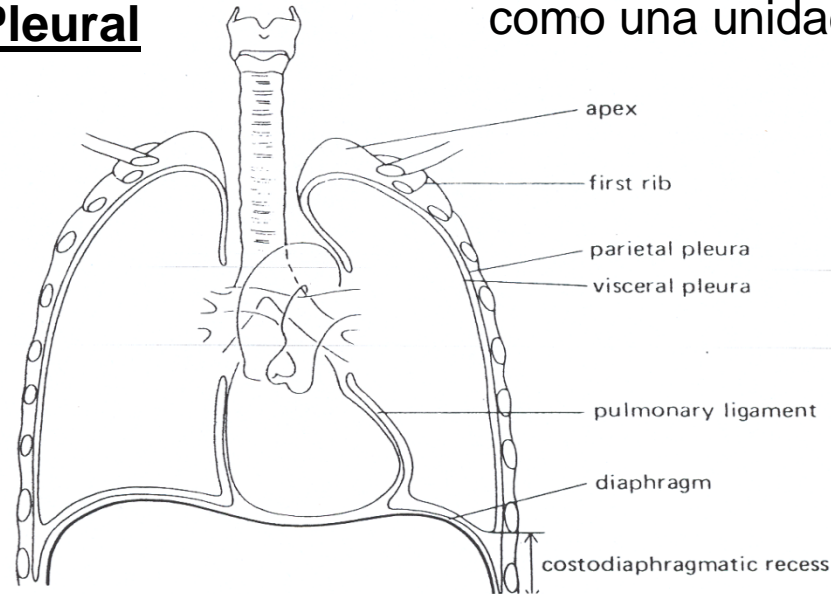
Zona de conducción	Tráquea		Z
			0
	Bronquios		1
			2
			3
	Bronquiólos	4	
	Bronquiólos terminales	5	
Zona de transición y respiratoria		16	
	Bronquiólos respiratorios	17	
		18	
		19	
	Conductos alveolares	T <sub>3</sub>	
		T <sub>2</sub>	
		T <sub>1</sub>	
	Sacos alveolares	T	
	23		

## Zona transicional e intercambiadora

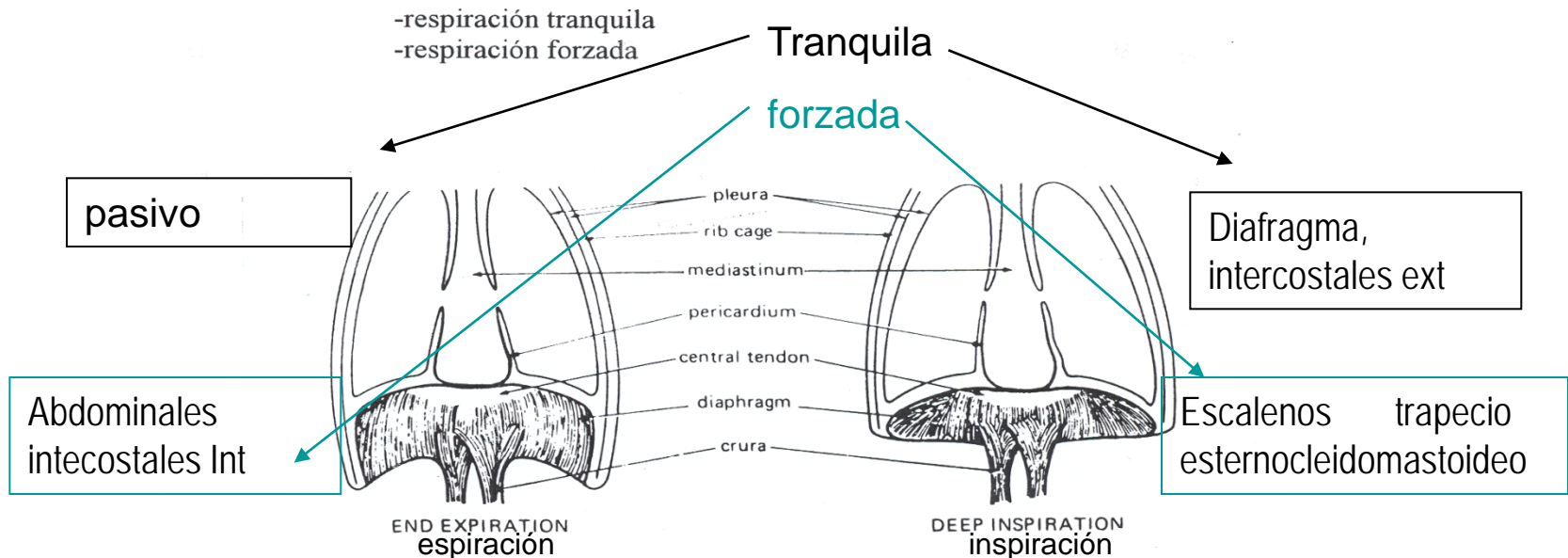
- estructura de la membrana respiratoria
  - 70 m<sup>2</sup>
  - delgada (1um)
  - capas: líquido  
epitelio alveolar  
membrana basal  
endotelio capilar
- Alvéolos (3x10<sup>3</sup>)/capilares (1/1000)
- Intercambio por difusión simple (velocidad)

# Función pulmón / caja torácica como una unidad

## Espacio Pleural



## MECÁNICA DE LOS MOVIMIENTOS RESPIRATORIOS



Pulmón → contracción

Caja torácica → expansión

# Pulmón / caja Torácica y movimientos respiratorios

## CRF (final espiración)

Tendencia a la expansión = Tendencia a la retracción del pulmón  
Caja torácica

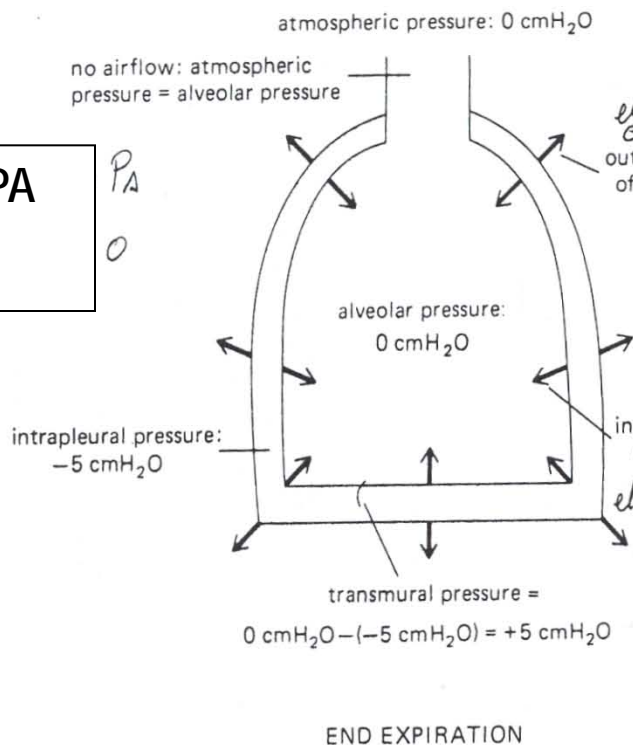
## CRF +0,5- 1l

Tendencia a la expansión < Tendencia a la retracción del pulmón  
Caja torácica

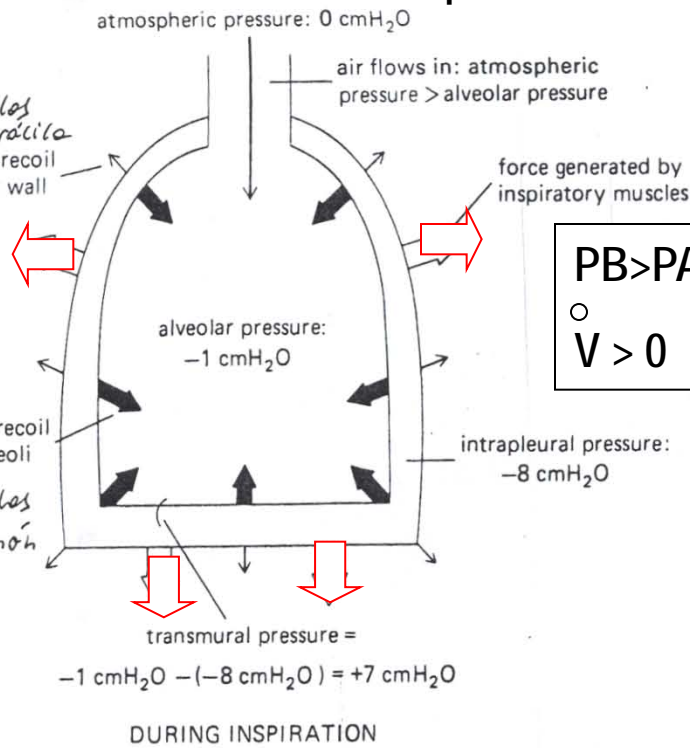
(antes final inspiración) **Esfuerzo muscular**



$$P_B = P_A$$
$$V = 0$$



**Final espiración**

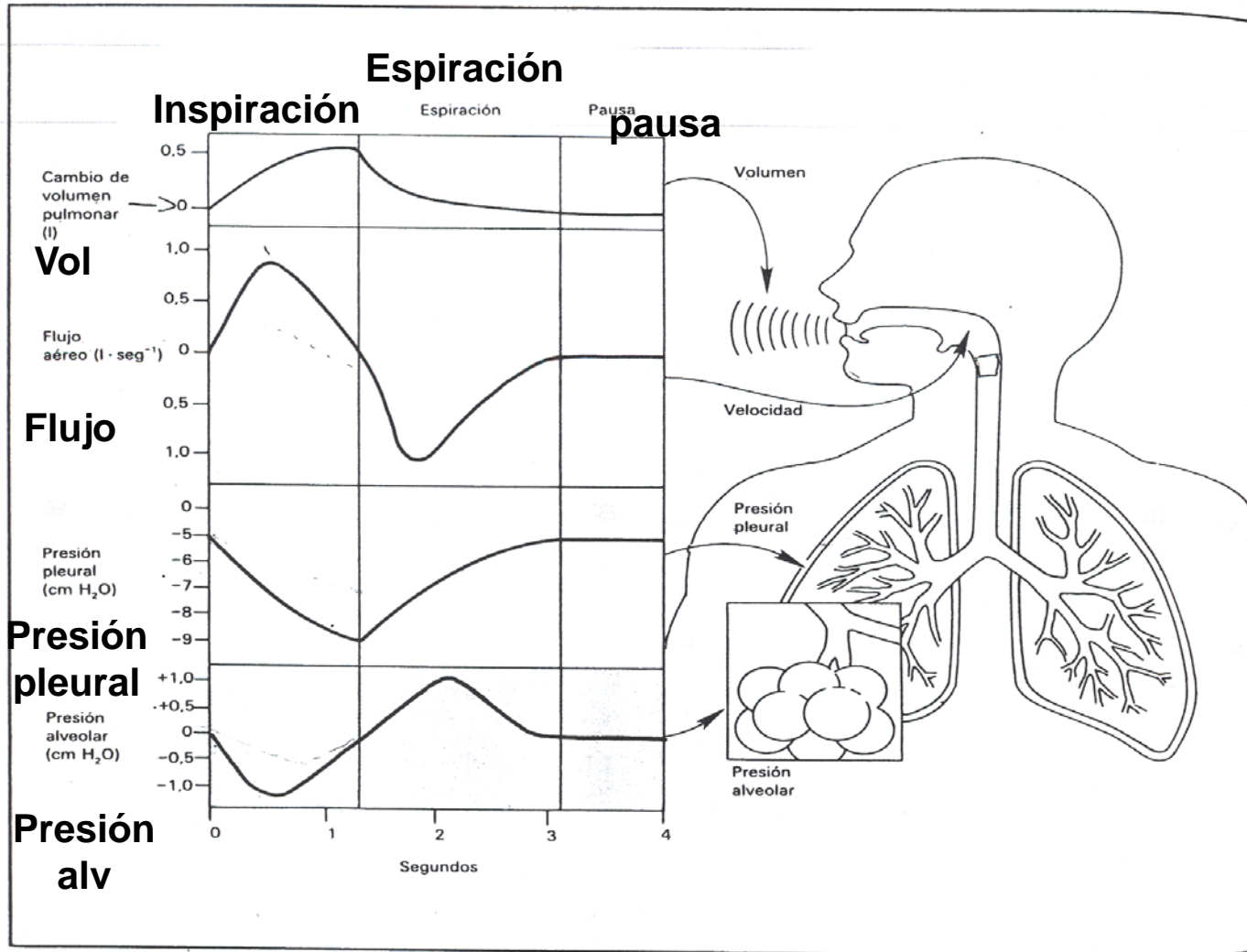


**Durante inspiración**

$$P_B > P_A$$
$$V > 0$$



# Ciclo respiratorio normal



# Medida de volúmenes y capacidades pulmonares

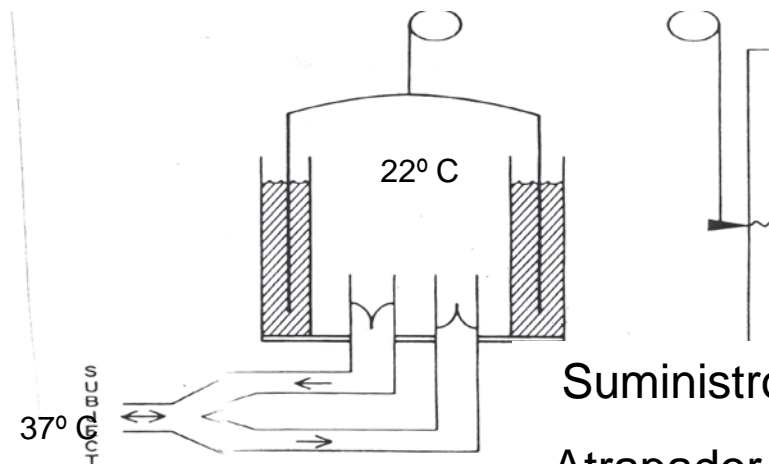
Utilidad clínica

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

Suministro de O2

Atrapador de CO2

Factor de corrección

**El volumen que ocupa un gas depende del nº de moléculas, temperatura y presión**

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

$N = n^\circ$  moléculas

$R = \text{Cte gases}$

**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  $\text{H}_2\text{O}$  a diferentes temperaturas,**

$$\frac{(P_1 - P_{\text{H}_2\text{O}}) V_1}{T_1} = \frac{(P_2 - P_{\text{H}_2\text{O}}) V_2}{T_2}$$

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

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

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

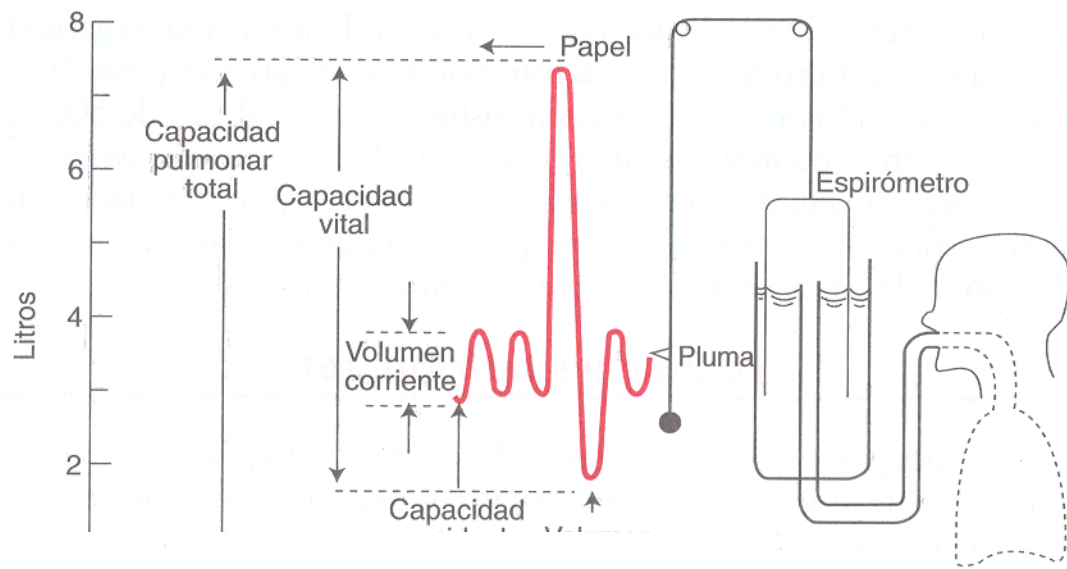
$$2,5 V1 = 2,3 V2$$

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

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

1lbtps=1,09ATPS

8+32 = °F



Valores normales:

VC=500-800ml

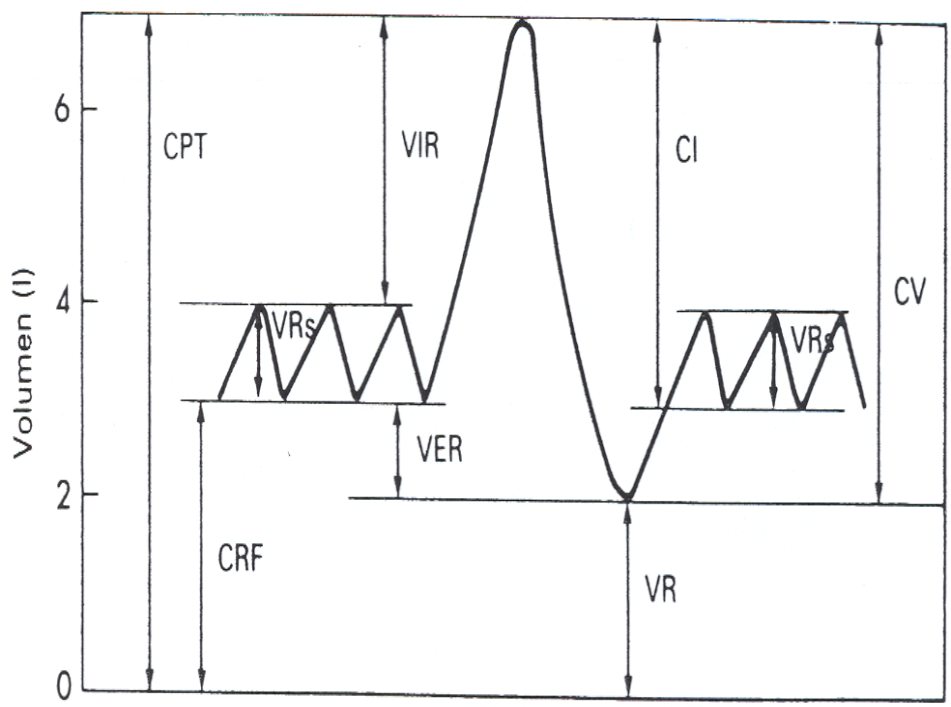
VRI=2,5-3l

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

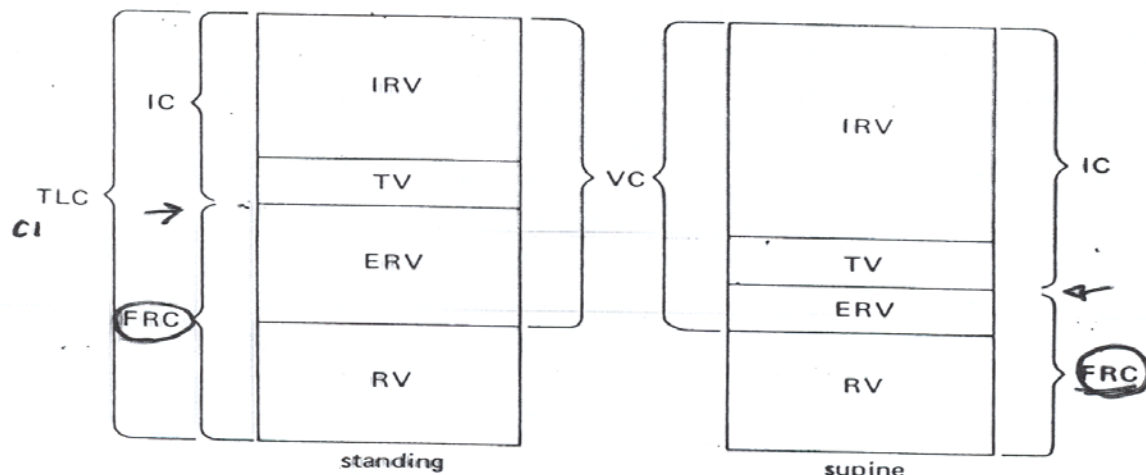


Figure 3-2 Illustration of alterations in the lung volumes and capacities that occur when a subject changes from the standing to the supine position.

Enfisema

Fibrosis

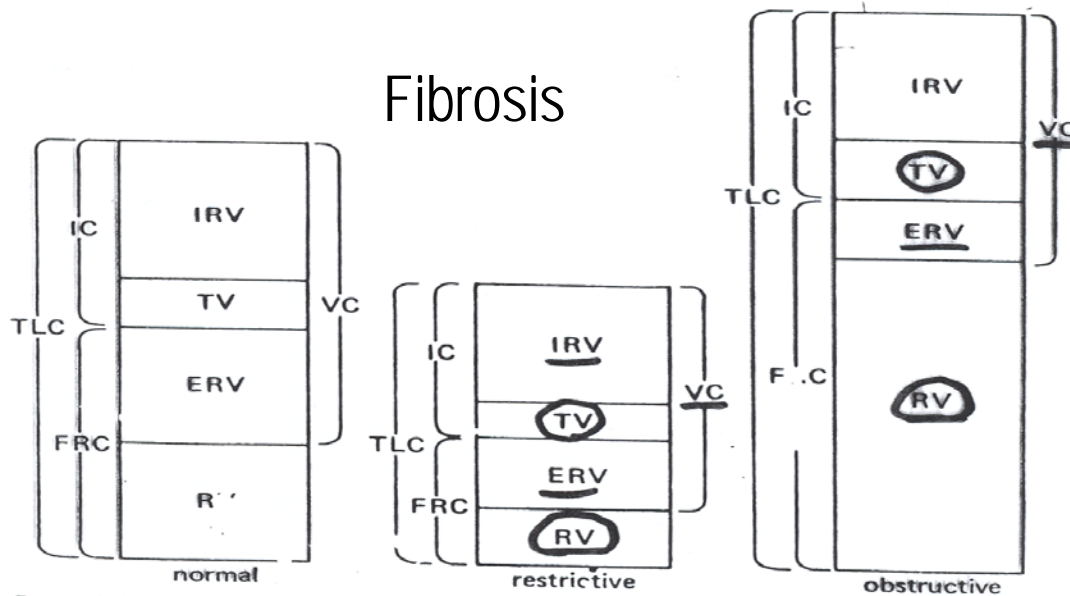
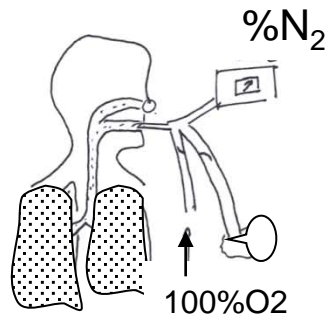


Figure 3-3 Illustration of typical alterations in the lung volumes and capacities in restrictive and obstructive diseases.

# 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>

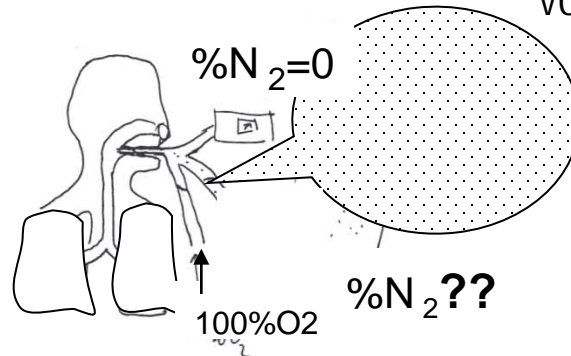


-a CRF respira 100%O<sub>2</sub>

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

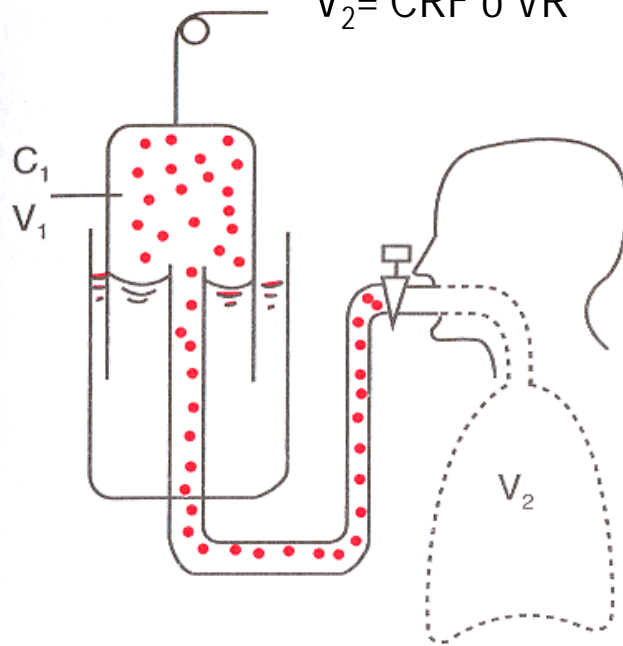
VR = CRF - VRE

## 2) Dilución de un gas noble

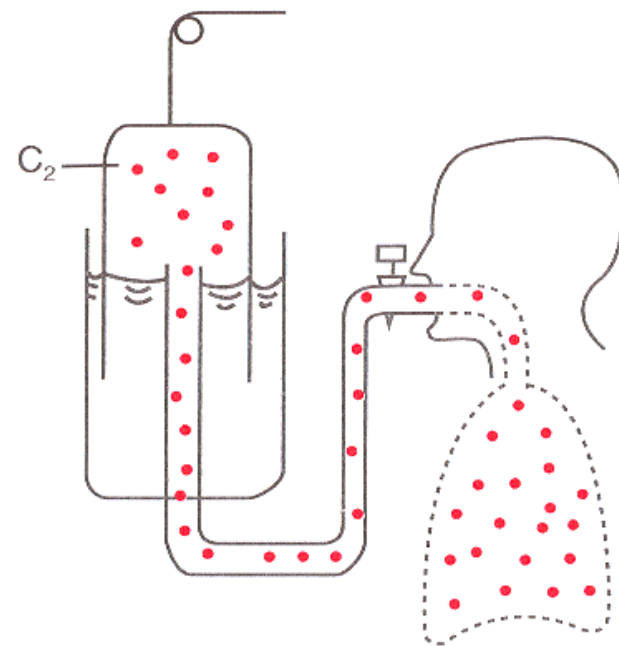
Vol de He es cte

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

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



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

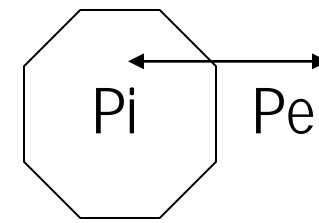
- Medir  $[\text{He}]$



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

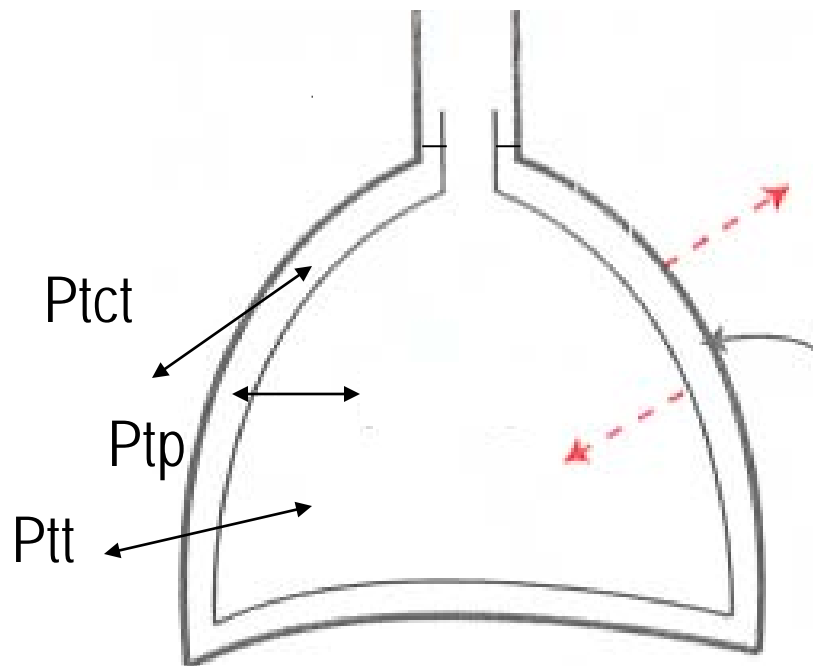
- Compleja, simplificación modelo dos balones
- Volumen cada balón: 1) presión transmural  
2) características material



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

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

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



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

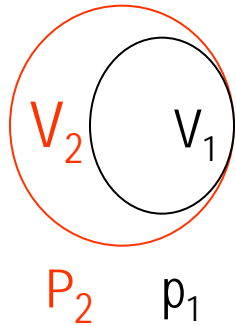
$$P_{tct} = P_{pl} - P_b \rightarrow V_{ct}$$

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

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

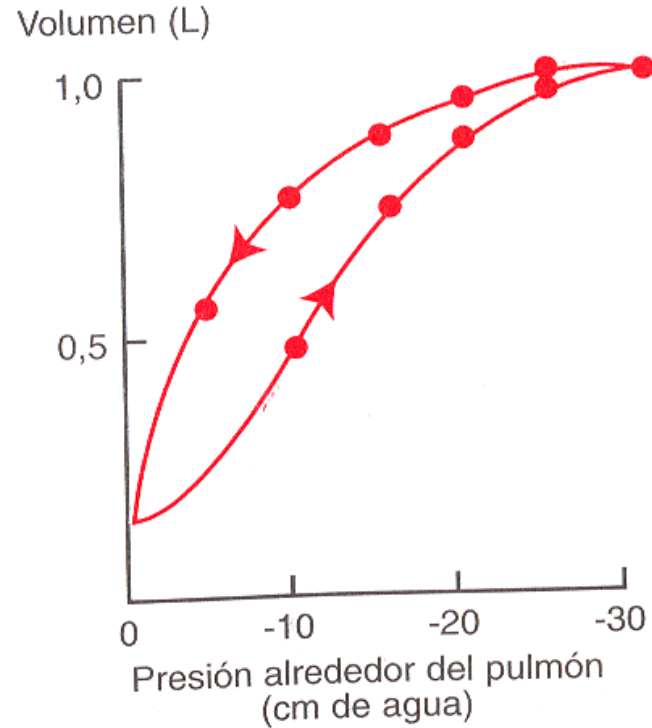
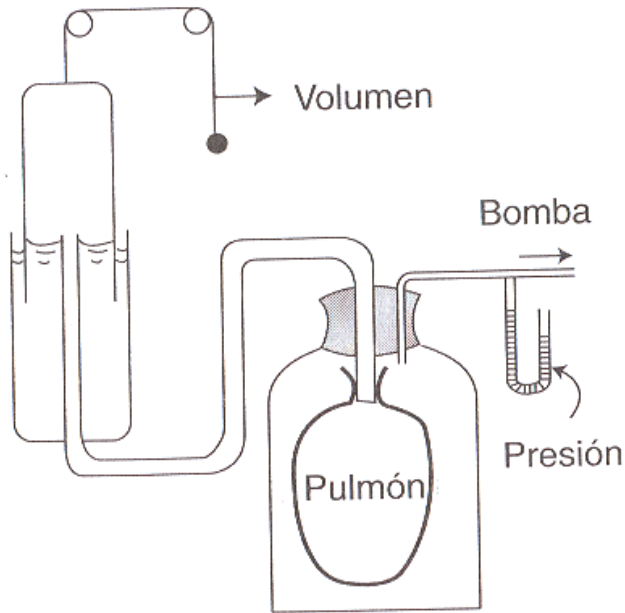
- pulmón
- caja torácica
- sistema (pulmón/caja torácica)

# Propiedades elásticas del pulmón

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

Complianza: 1) pulmón aislado  
2) pulmón intacto

## 1) pulmón aislado

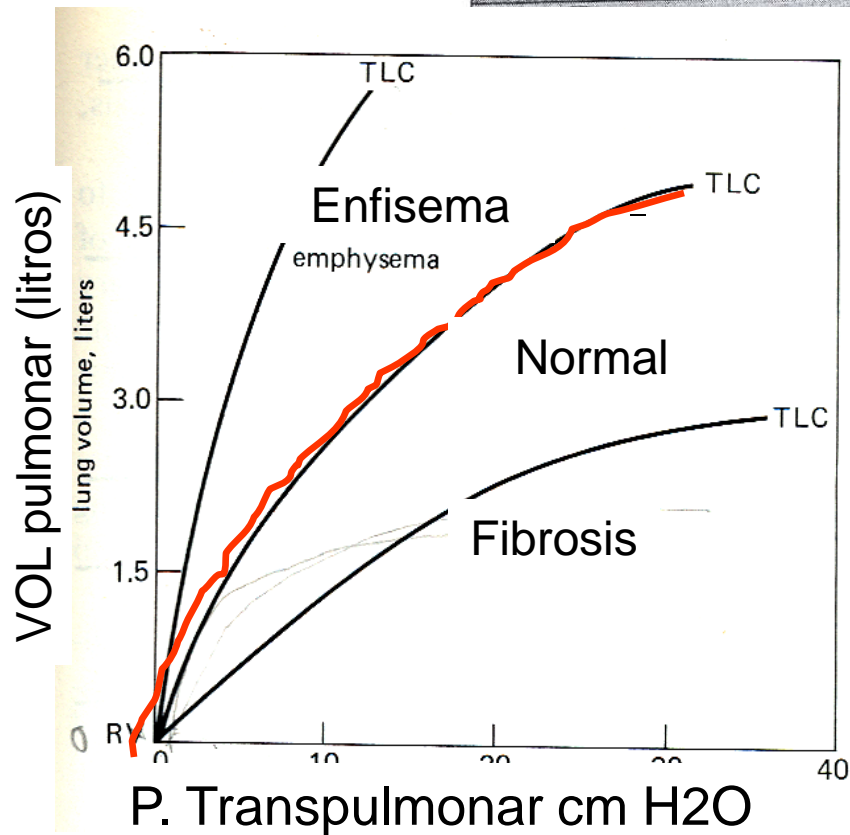
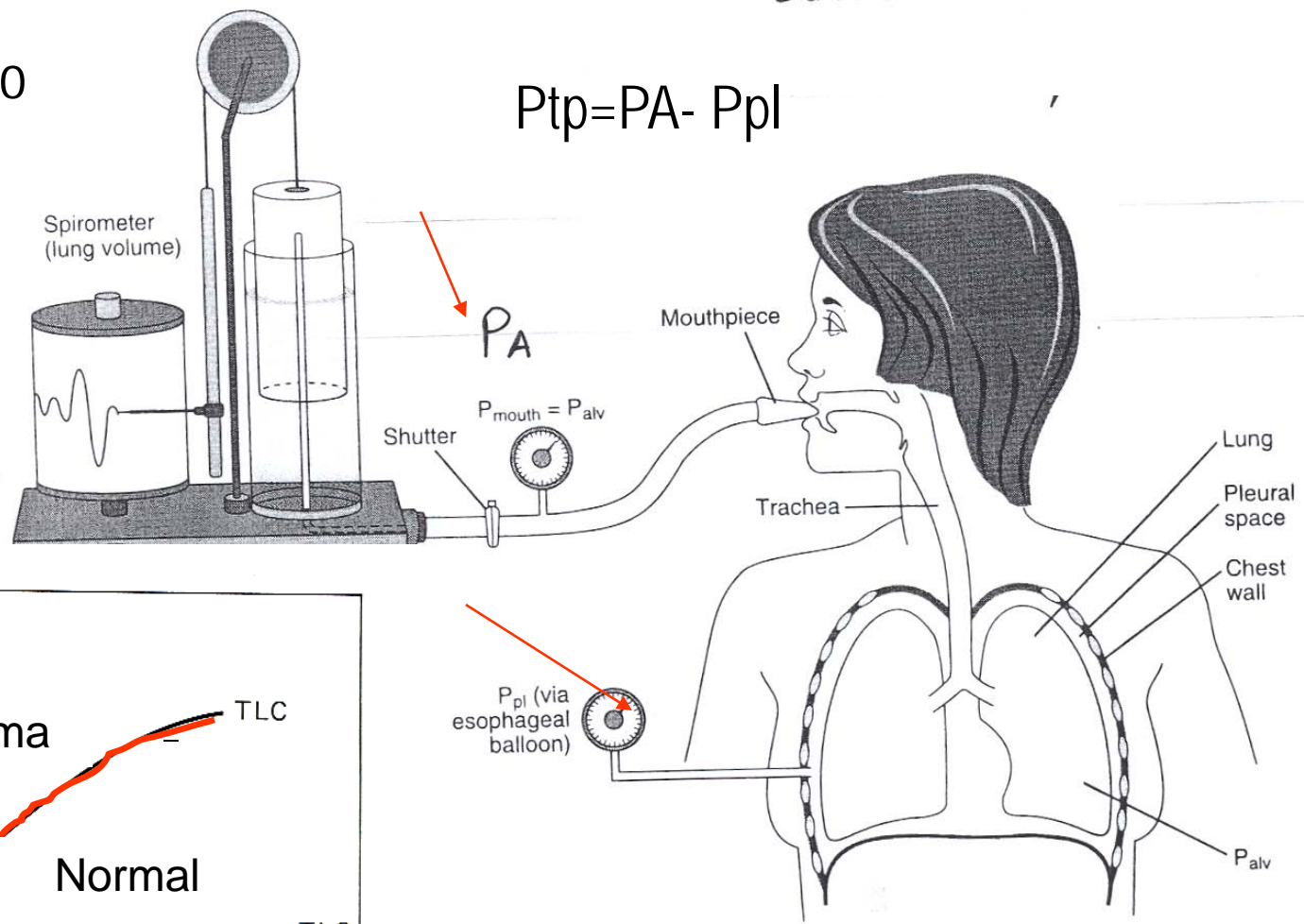


Método: modif. P<sub>ext</sub>, med. V<sub>p</sub> a ( $\dot{V}=0$ )

- no lineal
- histéresis

## 2) Pulmón Intacto

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

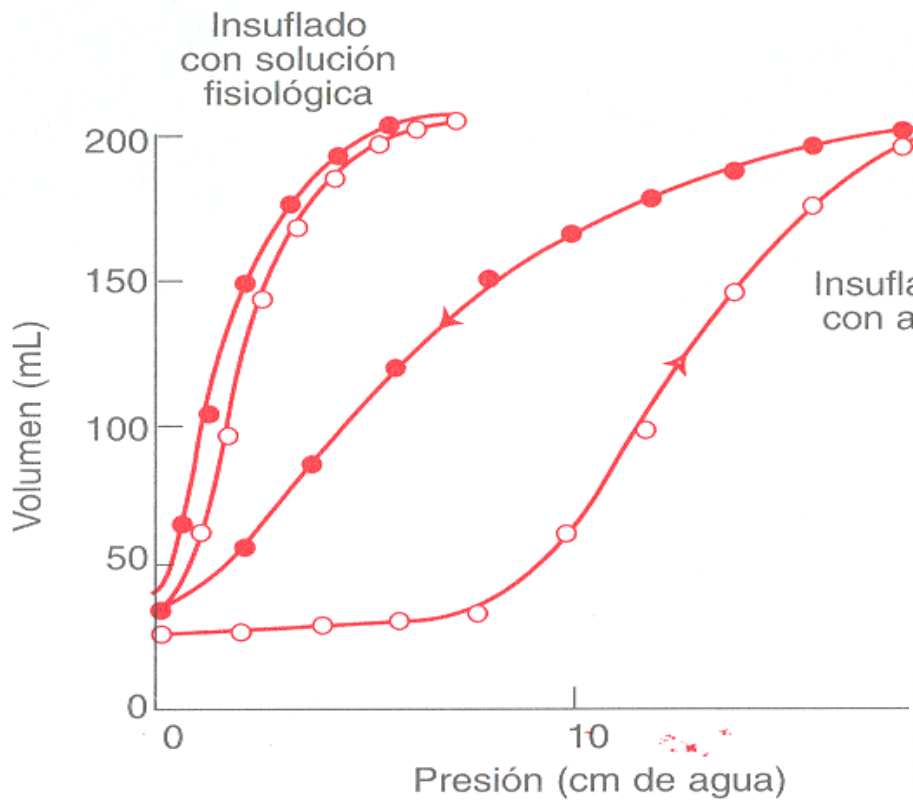


- No lineal
  - 200ml/cmH<sub>2</sub>O (CRF)
  - utilidad clínica
- } Fibrosis y enfisema

Complianza específica

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

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



1-Capacidad retráctil tejidos (1/3)

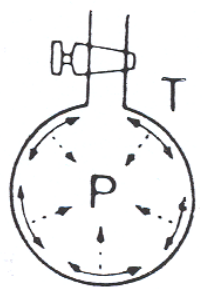
Elastina, colágena, disposición

2-Tensión superficial líquido alveolar(2/3)

Aire → Histéresis

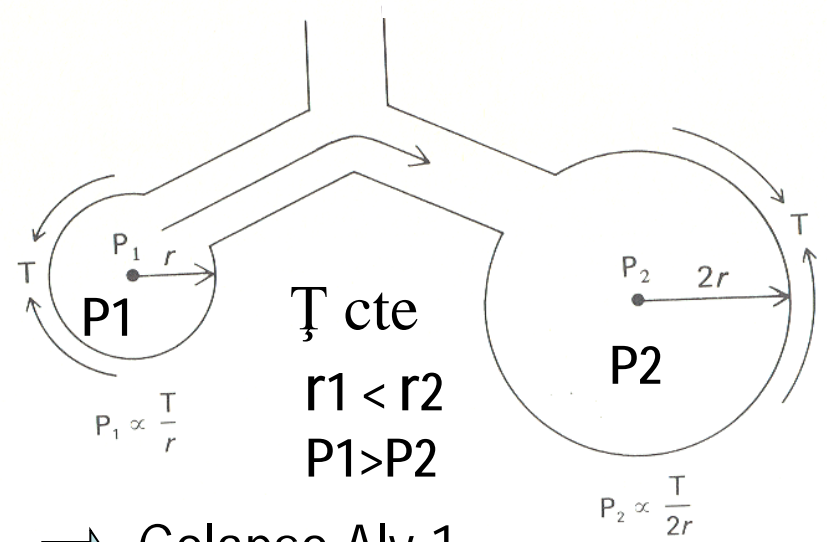
Líquido { -No histéresis  
-Izda

## Modelo alveolo- burbuja:



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

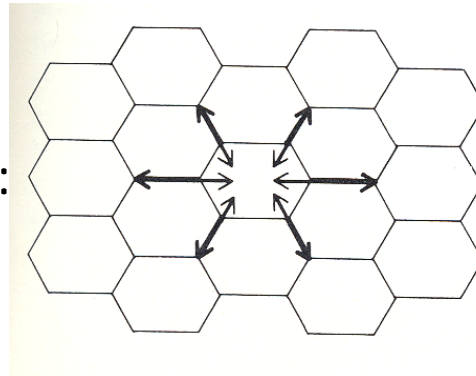
$$P = \frac{2T}{r}$$



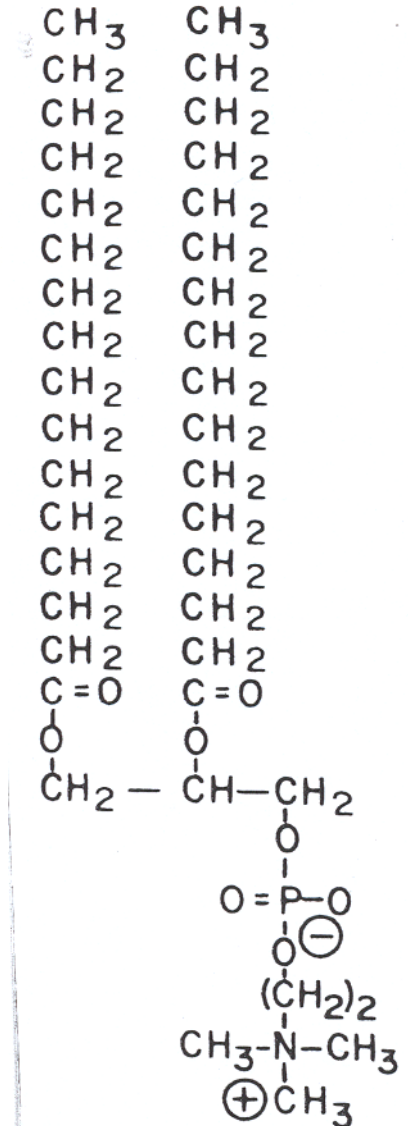
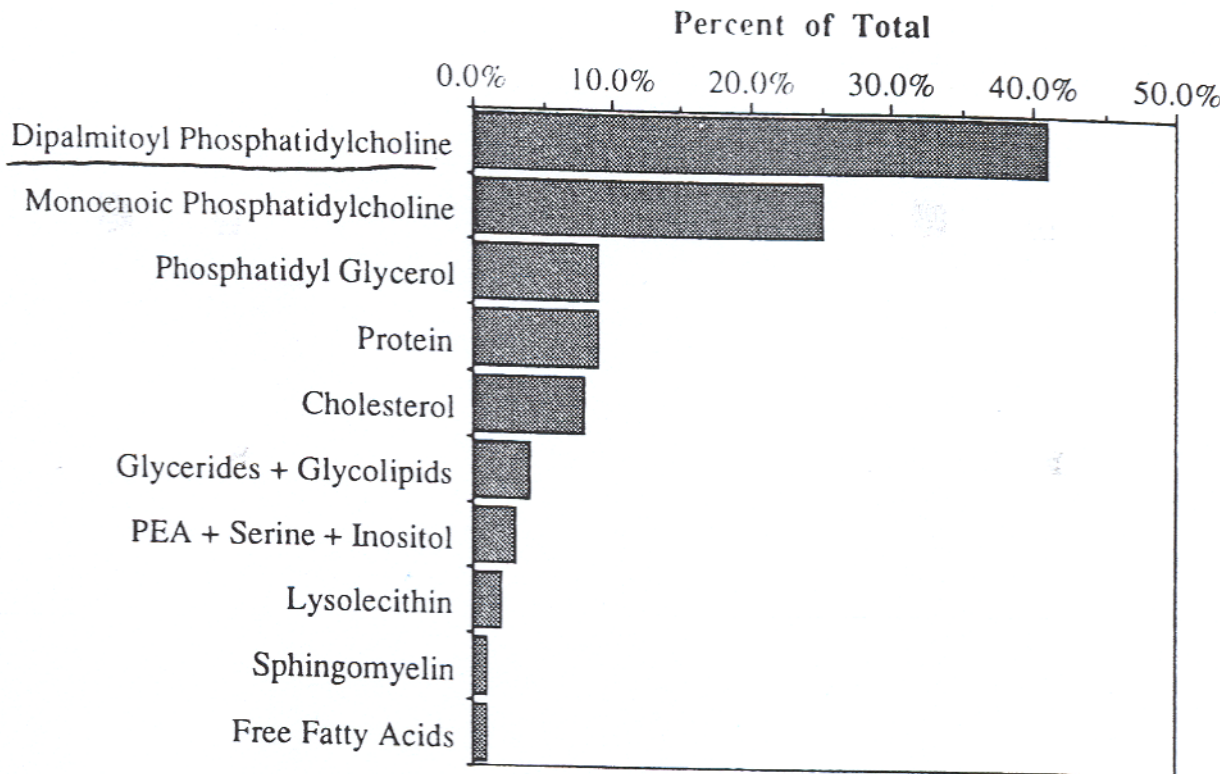
→ Colapso Alv 1

# Factores que impiden colapso o favorecen estabilidad alveolar

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

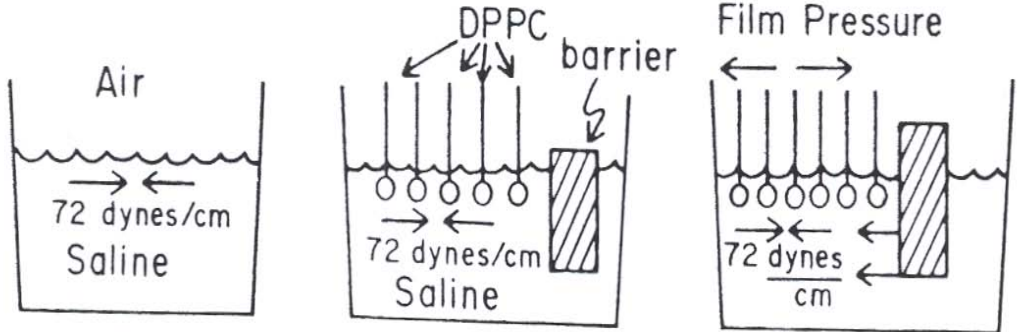
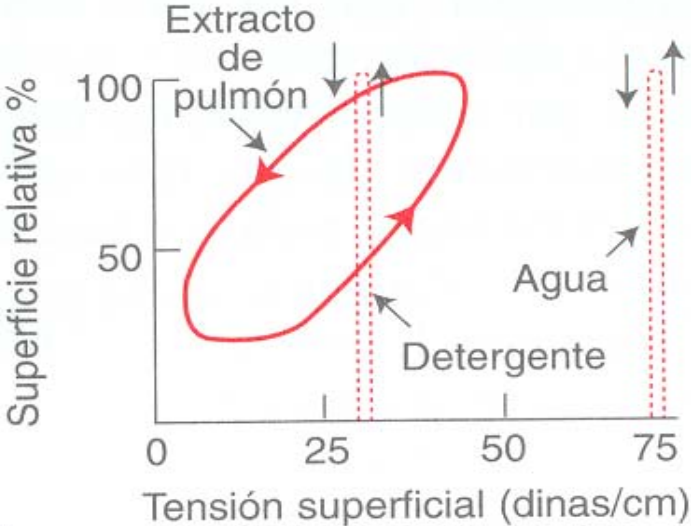
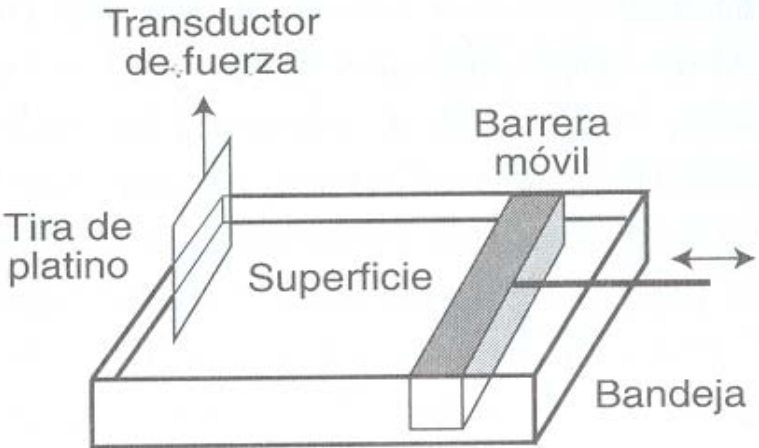


- Producto de secreción neumocito II
- recambio rápido (ventilación)
- último periodo prenatal
- composición:



# 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 ↓ V p y ↓ producción surfactante (distress)

- \* Hipoventilación → ↓ producción surfactante

- hipoventilación voluntaria- reacción → bostezo

- hipoventilación por dolor quirúrgico: colapso alveolar, atelectasias

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

1. Pulmones rígidos

2. Tendencia al colapso atelectásias

3. Edemas pulmonares

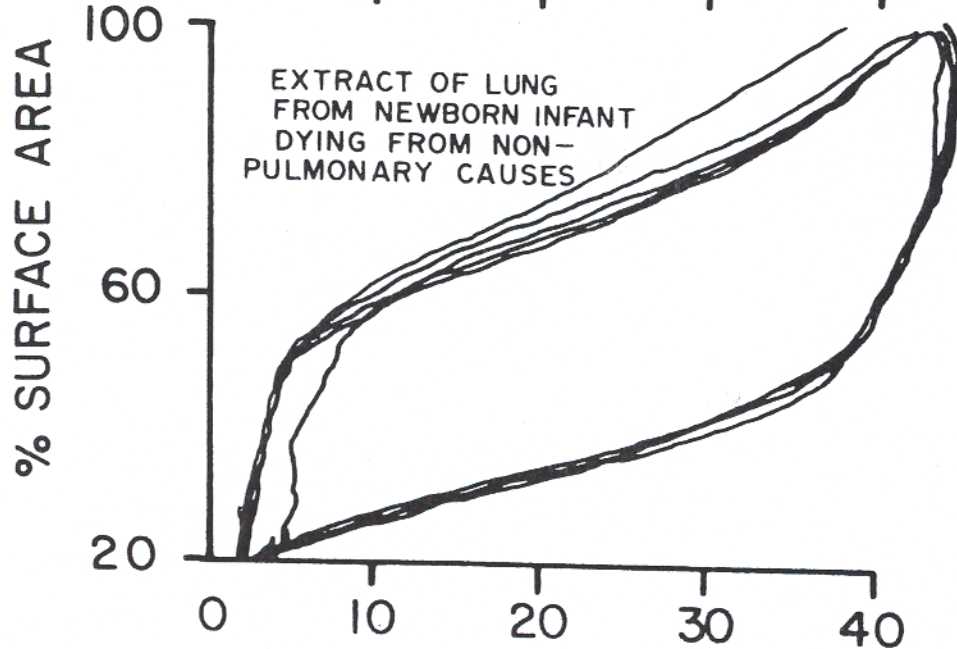
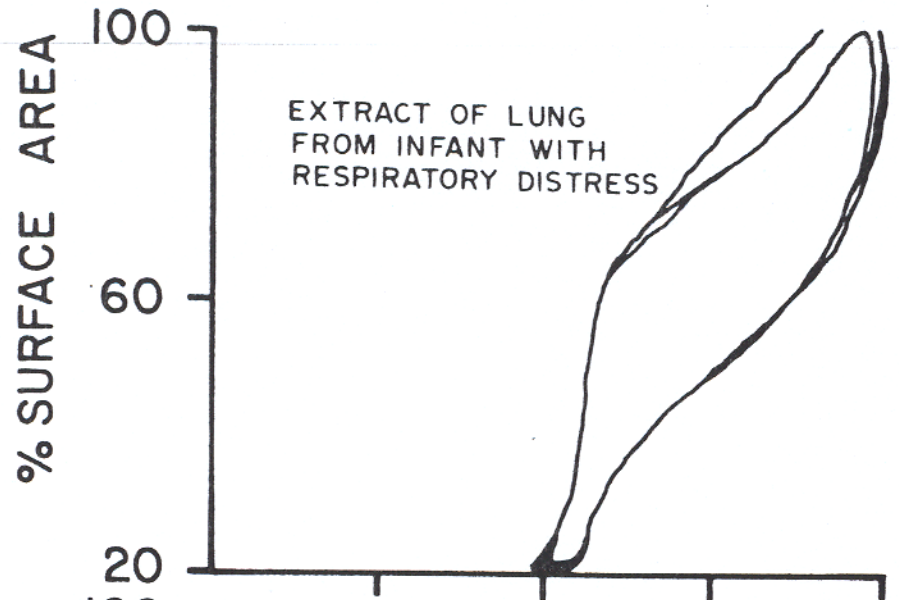
# Tratamiento

- ↑ producción (corticoides, Catecolaminas)

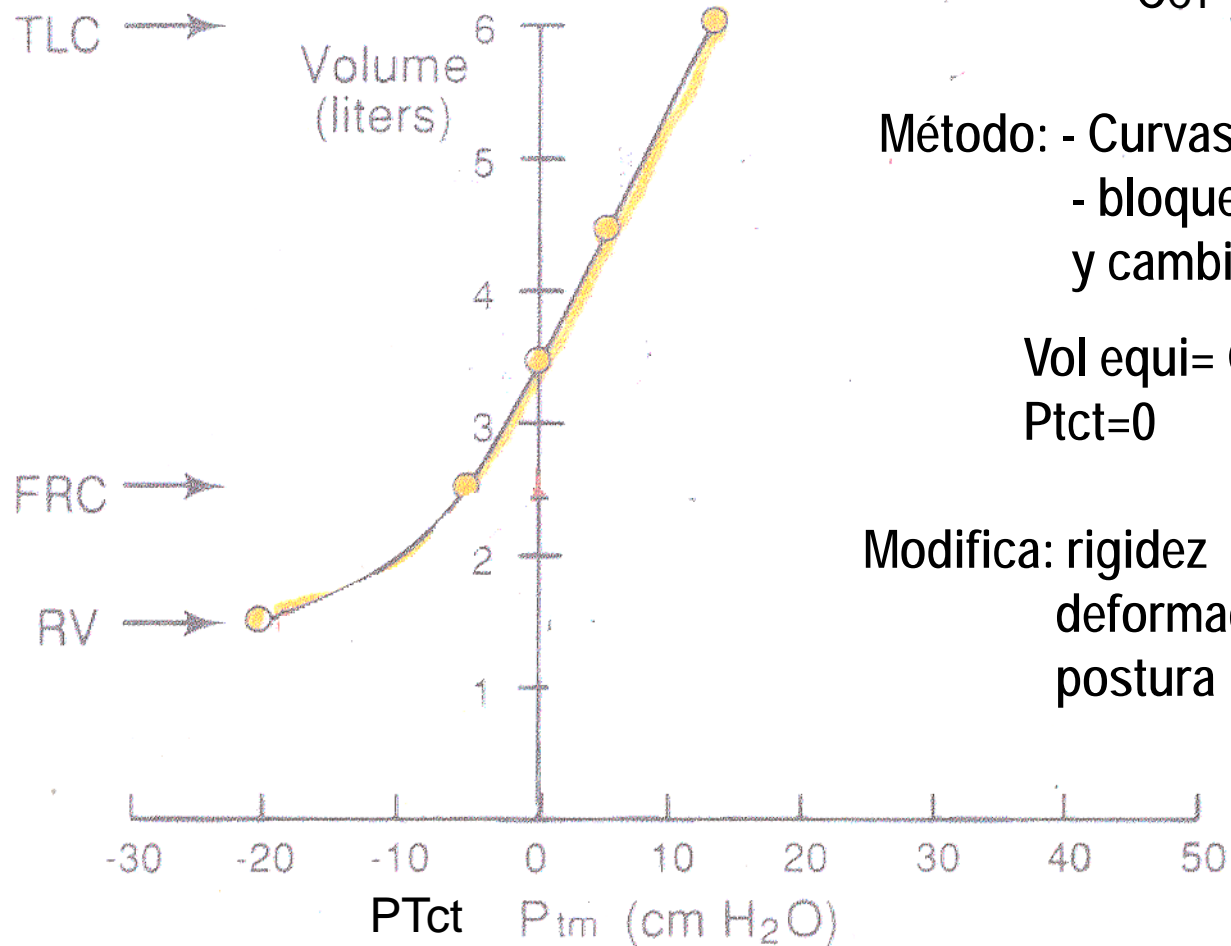
- ventilar a presión positiva

- respirar ambiente hiperóxico

- aplicación de surfactantes artificiales



# Propiedades elásticas de la caja Torácica



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

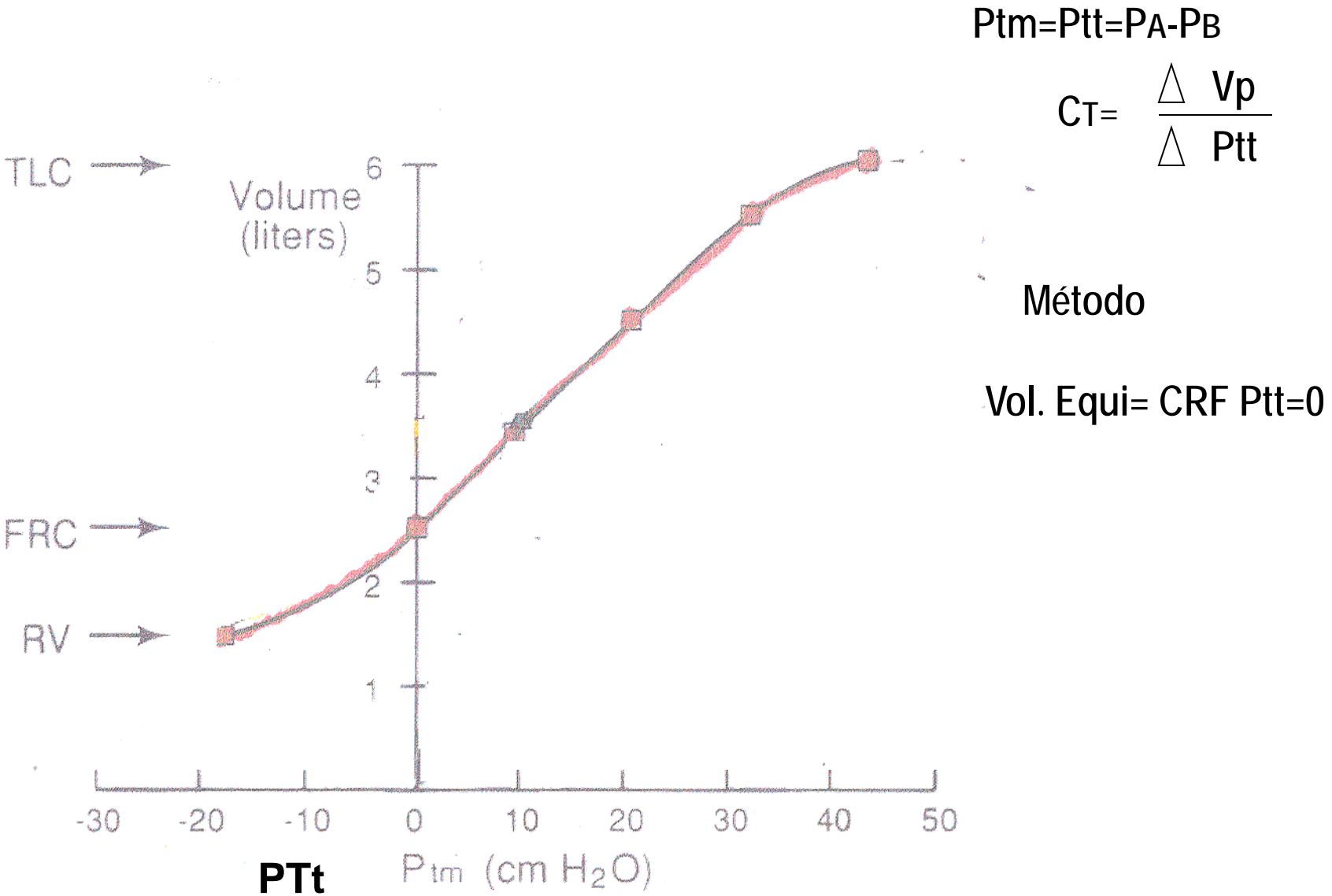
$$C_{CT} = \frac{\Delta V_p}{\Delta P_{tct}}$$

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

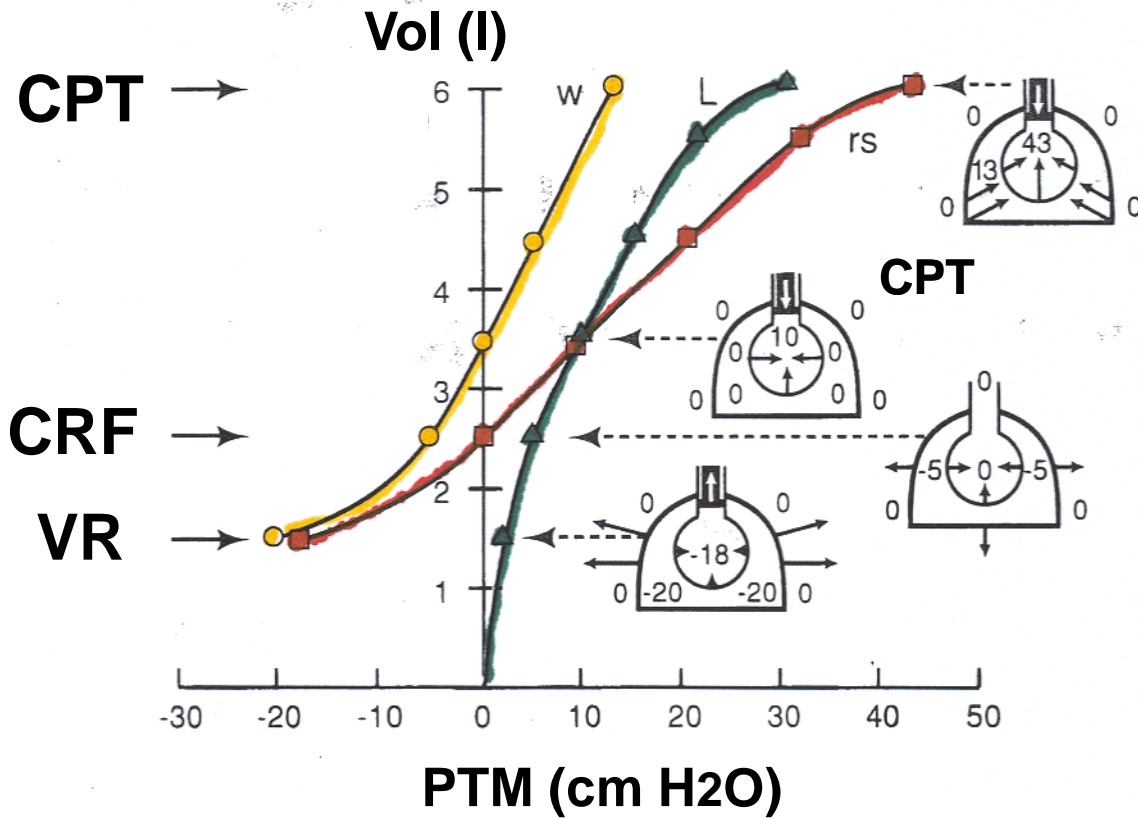
# Propiedades elásticas del sistema Pulmón/Caja torácica



# Curvas de complianza estática

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

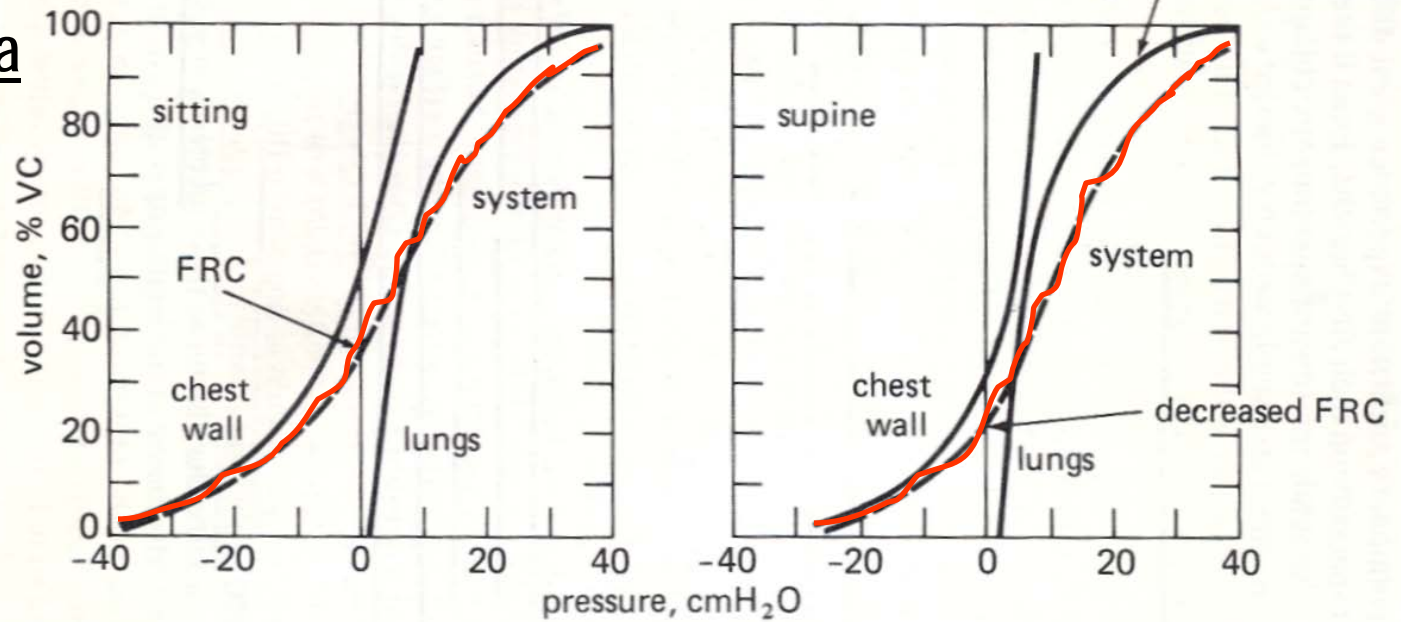
MECHANICS OF BREATHING



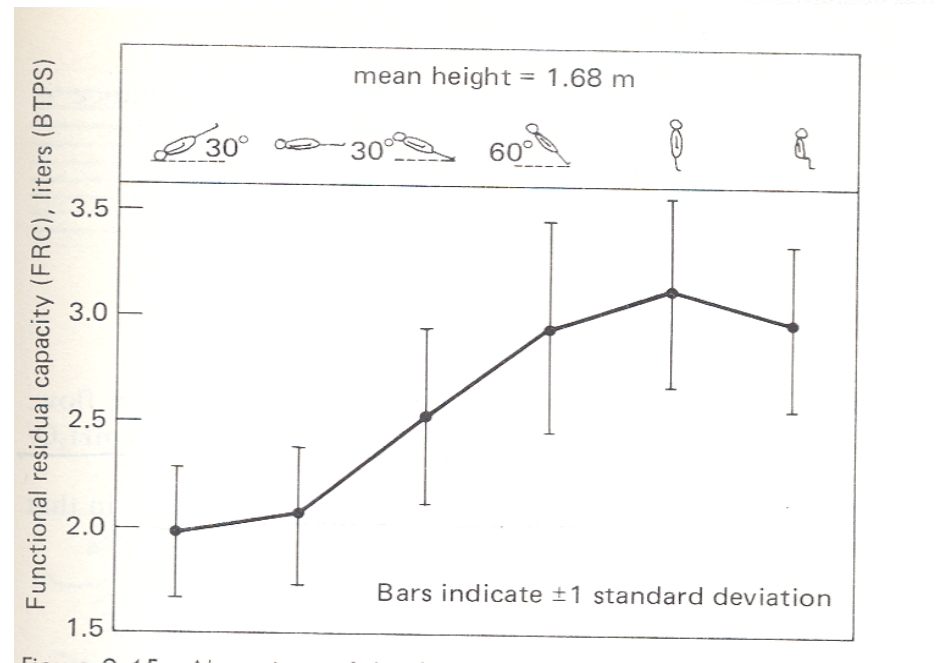
$$1/Ct = 1/Cp + 1/Cct$$

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

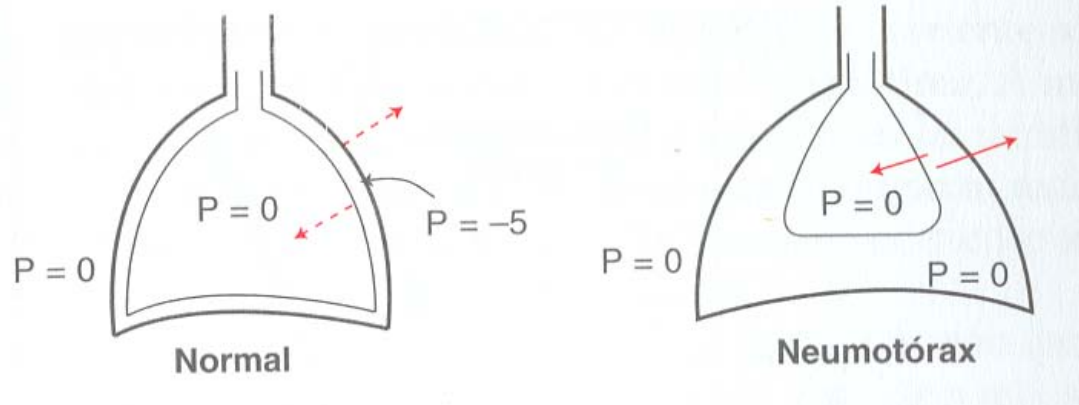
# Curvas y Postura



## Modificación de CRF y postura



# neumotorax



Ct/P no unitario



**Propiedades mecánicas dinámicas del pulmón y caja torácica. resistencias al flujo de aire: distribución a lo largo de la vía aérea. Efectos del volumen pulmonar y tono bronquial. Dinámica del ciclo ventilatorio. Medida de las resistencias en la vía aérea. Compresión dinámica de la vía aérea. Estudio de las curvas flujo respiratorio-volumen pulmonar y flujo respiratorio-presión pleural. Trabajo respiratorio. (x2)**

## Resistencias al llenado del pulmón

= R estáticas + R dinámicas

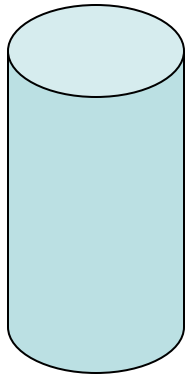
Retracción  
Tensión superficial

Fricción tisular (10-20%)  
Vía aérea (80-90%)

## Resistencias al Flujo de la vía aérea

$\dot{V} = \frac{\Delta P}{R}$

$R = \frac{\Delta P}{\dot{V}}$   
 $= \frac{P_1 - P_2}{\dot{V}}$



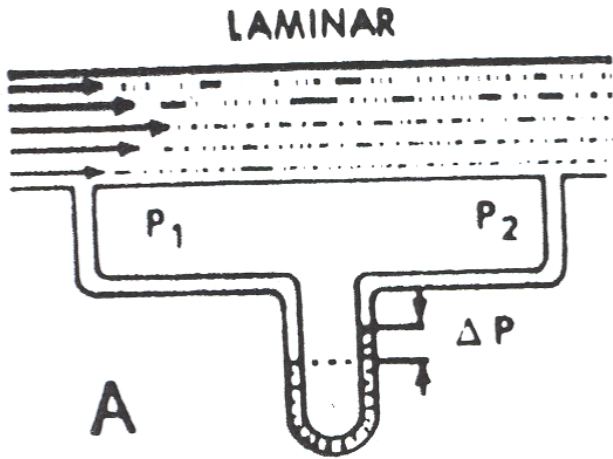
P1  
P2

En serie  $R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$

En paralelo  $\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$

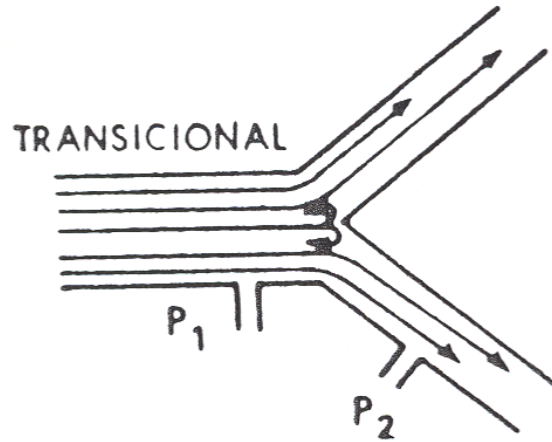
Ramificaciones  
Estrecheces  
Conductos no rígidos

# Tipos de flujo



$$\Delta P \propto R \dot{V}$$

$$R = \frac{8 \eta l}{\pi r^4}$$



$$\Delta P \propto R \dot{V} + k \dot{V}^2$$



$$\Delta P \propto k \dot{V}^2$$

$$Re > 2000$$

$$Re = \frac{\rho \times v_e \times D}{\eta}$$

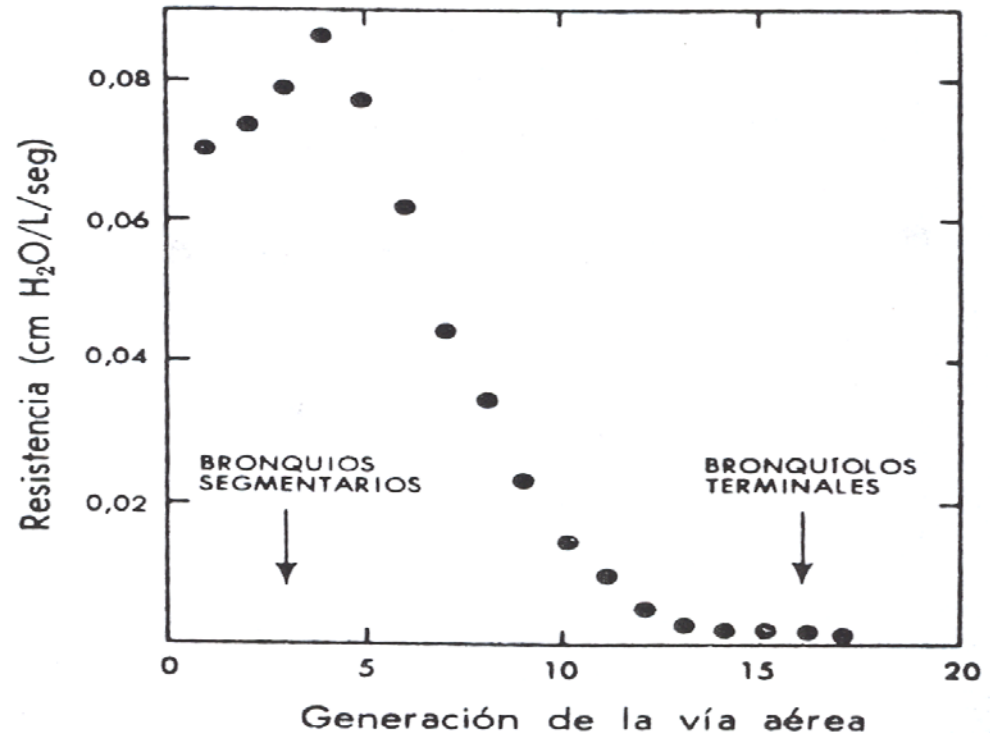
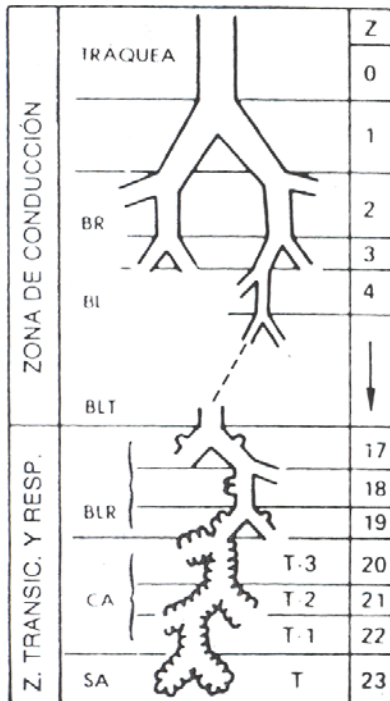
$$v_e = \frac{\dot{V}}{\text{Area total}}$$

# Distribución de tipos de flujo y resistencias en la vía aérea

Vías	altas	medias	distales
Flujo	turbulento	transicional	Laminar $\downarrow V_1$
Resistencias	40%	50%	10% **

$$V_1 = \dot{V} / A_t$$

\*\* regulable



# Factores que determinan las resistencias de las vías aéreas

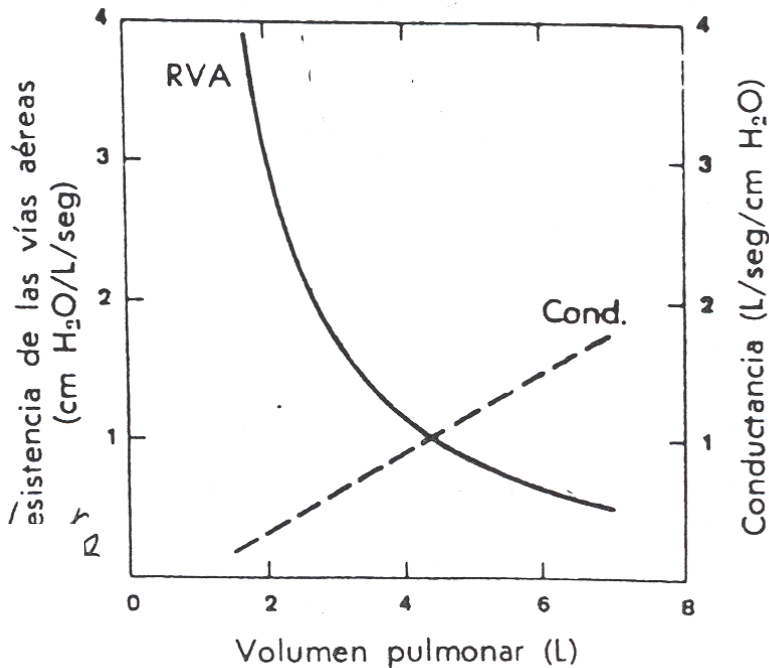
## 1. Modificando radio

- Contracción de musc bronquial
- Volumen pulmonar:

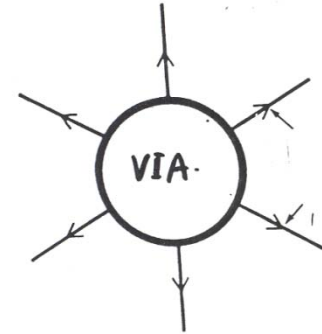
Psimpático: contracción, secreción

Simpático: dilatación

- sust. irritantes (reflejos locales)  
Histamina, PGE, etc.,



- Tracción alveolar  
- ↑ P<sub>tm</sub> (↓ P<sub>pl</sub>)



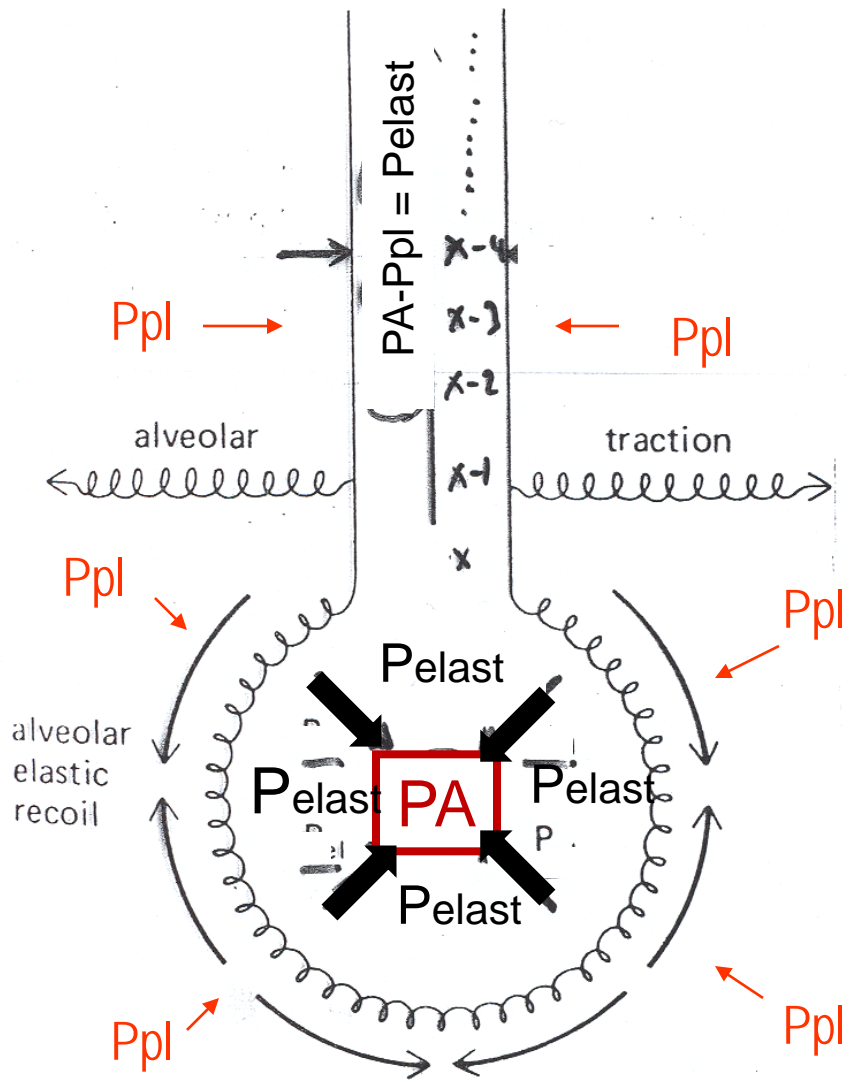
Afecta vías de pequeño calibre:

- no cartílagos
- más afectadas por tracción
- estiramiento ↓ Psimpático

## 2. Transformando $\dot{V}$ laminar en turbulento

Densidad, viscosidad y  $V_I$

Compresión dinámica de la vía aérea : RVA durante la espiración forzada

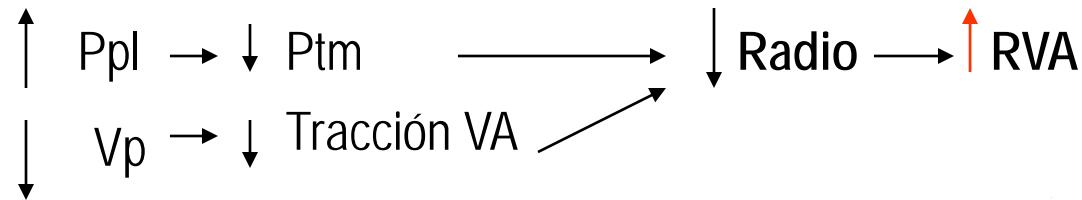


Modelo alveolo-vía aérea:

- 1.- Alveolo y vía aérea igual  $P_{pl}$
- 2.-  $PA = P_{pl} + P_{elástica}$ 
  - { complianza
  - $V_p$
- 3.-  $\downarrow P_{va}$
- 4.- Existe  $\dot{V}$ 
  - {  $-PA \neq PB$
  - {  $-\Delta P > RVA$
  - {  $-Vía permeable$
  - {  $P_{tm}$
  - {  $V_{pulm}$  (tracción vía aérea)

# Vía aérea y ciclo ventilatorio

## 1.- Espiración normal

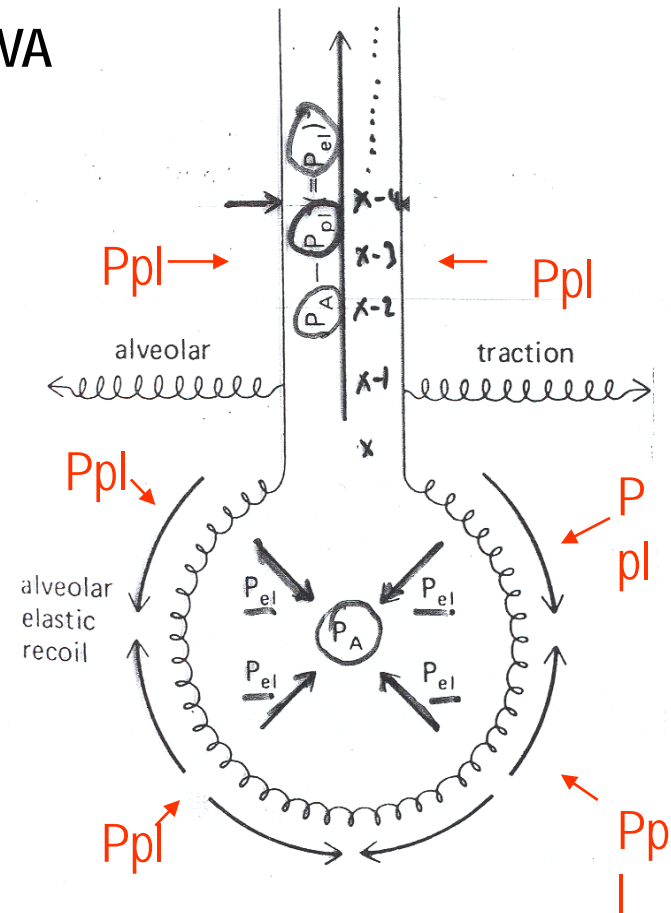


## 2.-Espiración Forzada



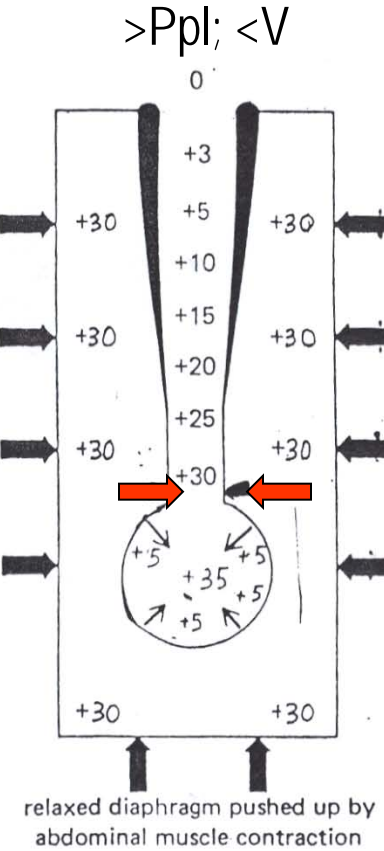
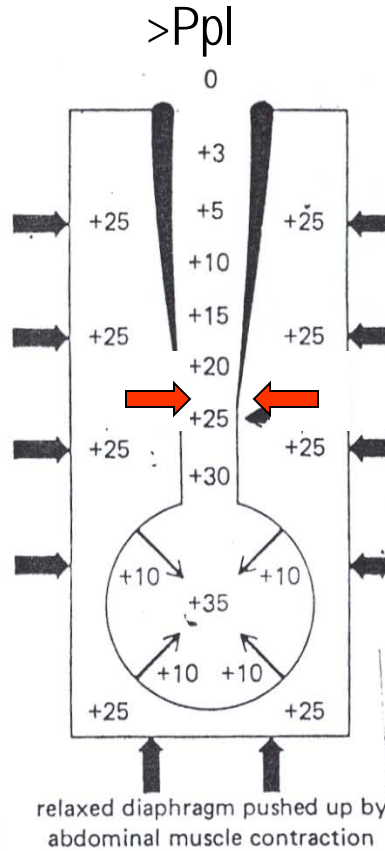
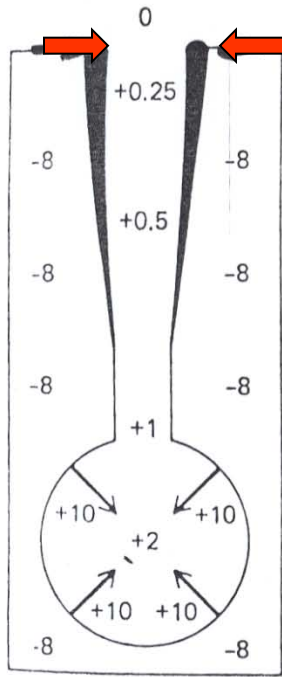
### Hipótesis del PIP (punto de igual presión)

$$\text{PIP}; P_{tm} \text{ vía aérea} = P_{va} - P_{pl} = 0$$



# Punto de igual presión (PIP); Ptm vía aérea = 0

$$PA = P_{pl} + P_{elástica} \quad (\text{compliance, } V_p)$$



Espiración pasiva

Espiración forzada

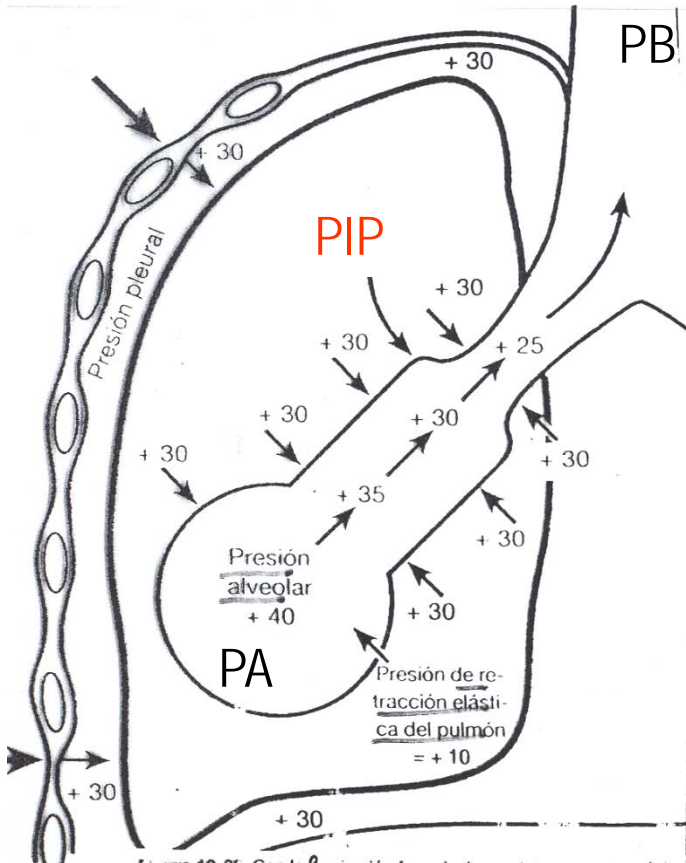
PIP en vías comprimibles  $\rightarrow$  **compresión dinámica**



# Factores que modifican la localización del PIP

- 1.- Resistencia de la vía aérea (caída de presión)1/ tracción alveolar
- 2.- Presión pleural
- 3.- Presión de retracción o elástica

{	-volumen pulmonar	{	- elasticidad tisular
	-compliance pulmonar		- tensión superficial



## Conclusiones:

- 1) Existe  $\dot{V}$  en espiración  $PA > PB$
- 2) Si PIP en vías comprimibles

**→ Compresión dinámica**

$$\dot{V} = \frac{PA - Ppl}{R} = \frac{\text{Pretracción}}{R}$$

{	Independiente Ppl
	dependiente Pretracción

- 3) Si P retracción ↓ , PIP ↓ → oclusión → VR

# Compresión dinámica y patrones patológicos

## Obstrucción

Enfisema { ↑ RVA  
destrucción  
tejido pulmonar

## Restricción

fibrosis

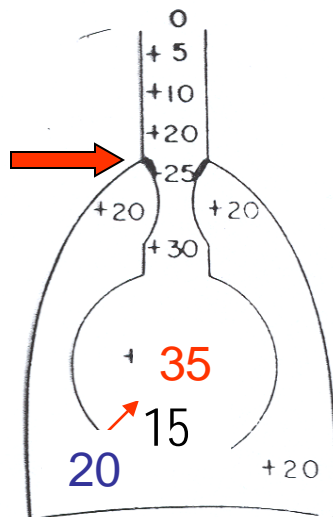
↑ Complianza pulmonar

{ ↓ PIP  
{ ↑ RVA  
↑ VR

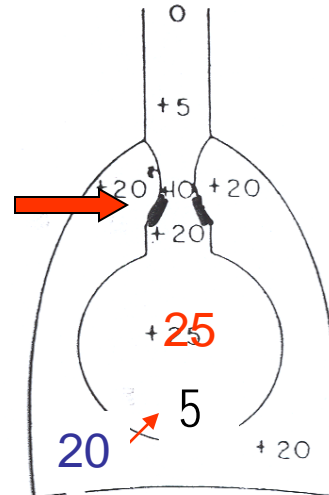
↓ Complianza pulmonar

{ ↑ PIP  
{ ↓ RVA  
↓ VR

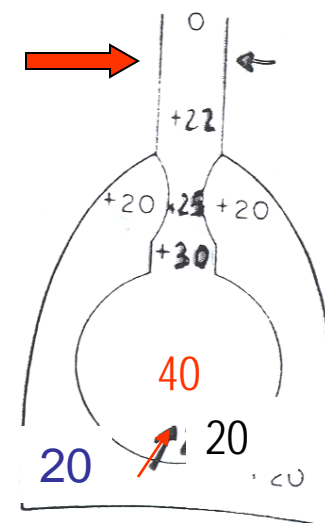
Normal



Obstrucción



Restricción



## Medida de la resistencia de la vía aérea

### 1. Métodos directos

$$R = \Delta P / \dot{V} = (PA - PB) / \dot{V}$$

PA – Presión Alveolar

PB - Presión Barométrica

	$\dot{V}$	PA - PB	R
½ insp	0,5 l/seg	-0,8 cm H <sub>2</sub> O	1,6 l/seg/cm H <sub>2</sub> O
½ esp	0,5 l/seg	1,2 8cm H <sub>2</sub> O	2,4 l/seg/cm H <sub>2</sub> O

## 2. Métodos indirectos (espirometría dinámica)

Capacidad vital forzada: estimaciones a partir de flujo espiratorio máximo

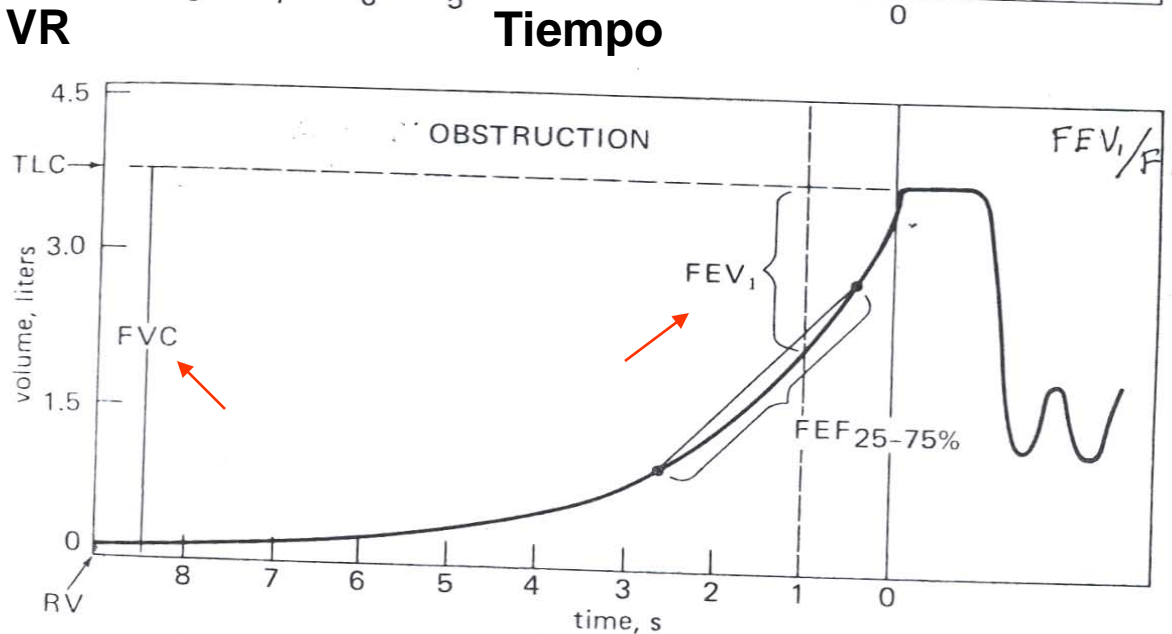
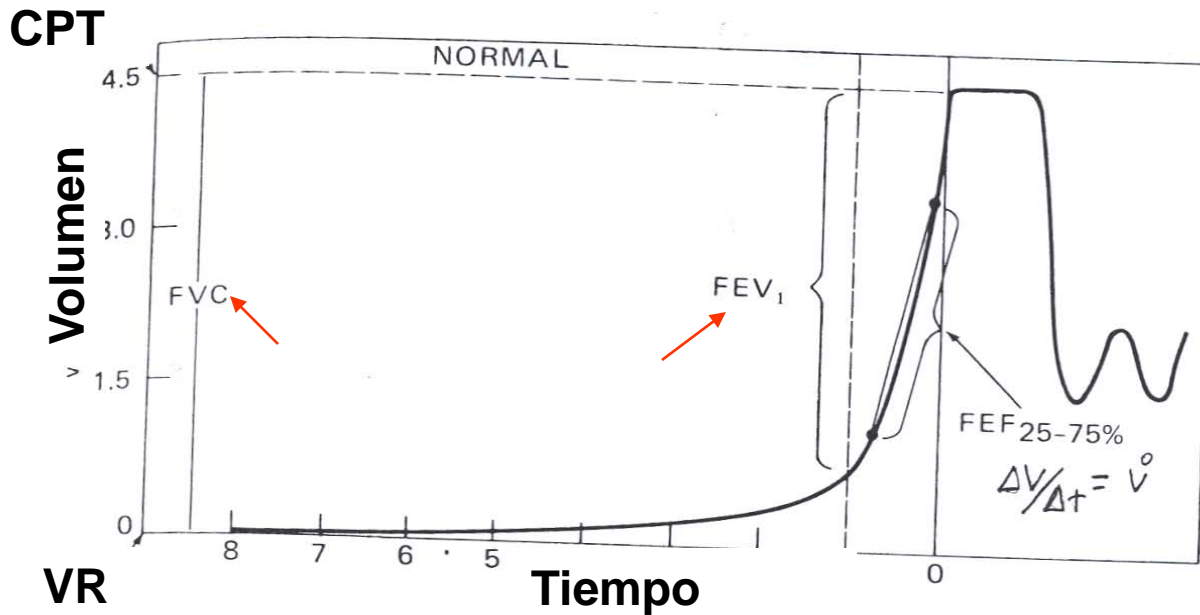
$$\dot{V} = V/T$$

$$\rightarrow Pte = \dot{V} \alpha RVA$$

Indices:

$$FEV_1/CVF = 0,8$$

$$FEF\ 25-75\% CVF$$



Obstrucción  $FEV_1/CVF < 0,8$

Restricción  $FEV_1/CVF > 0,8$

# Curvas flujo/volumen

.Registro directo

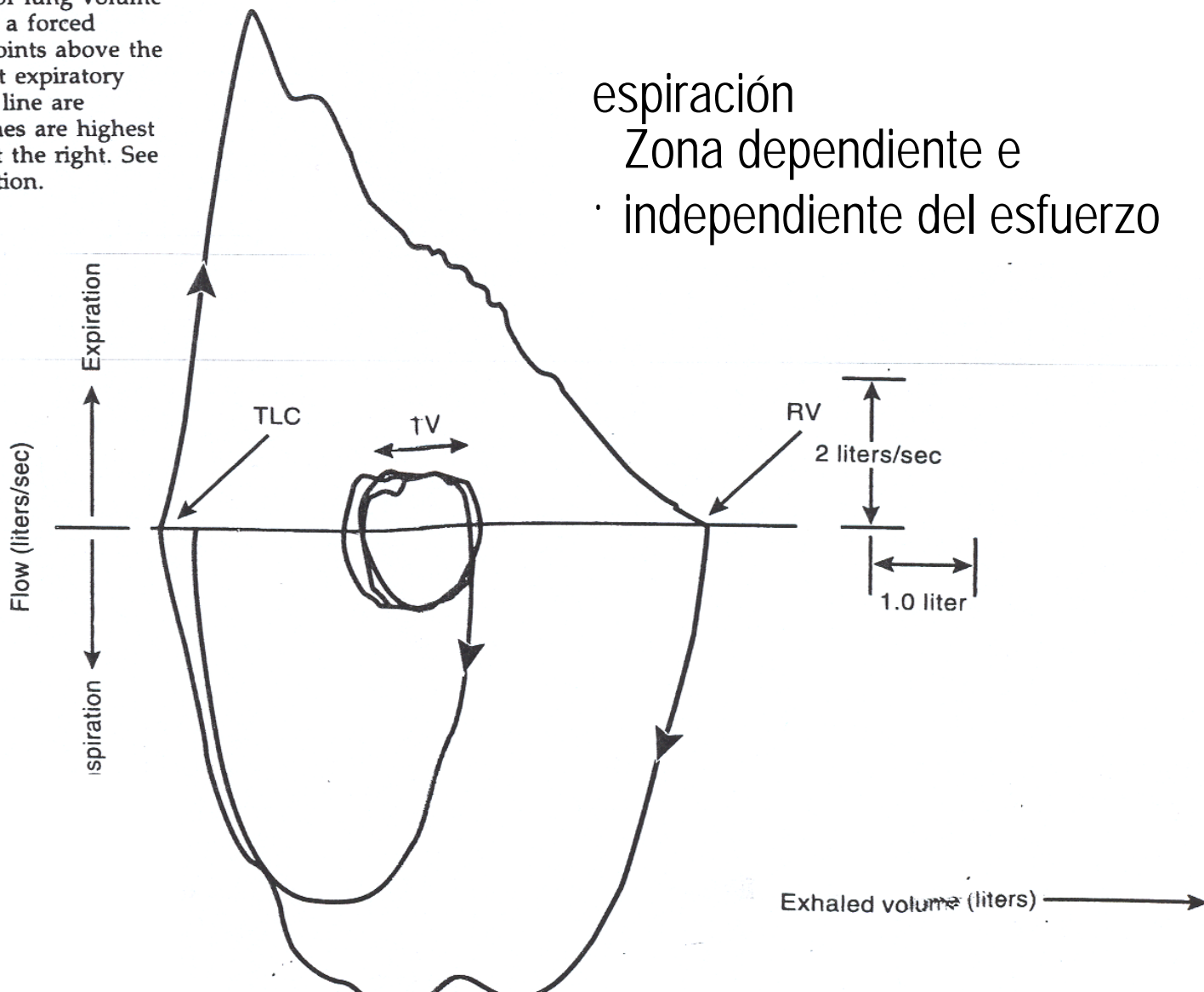
. Descripción: inspiración

espiración

Zona dependiente e

. independiente del esfuerzo

**Figure 2-13.** Air flow rate (on the ordinate) as a function of lung volume (on the abscissa) during a forced expiratory maneuver. Points above the horizontal axis represent expiratory flows; points below the line are inspiratory. Lung volumes are highest at the left and lowest at the right. See text for further explanation.



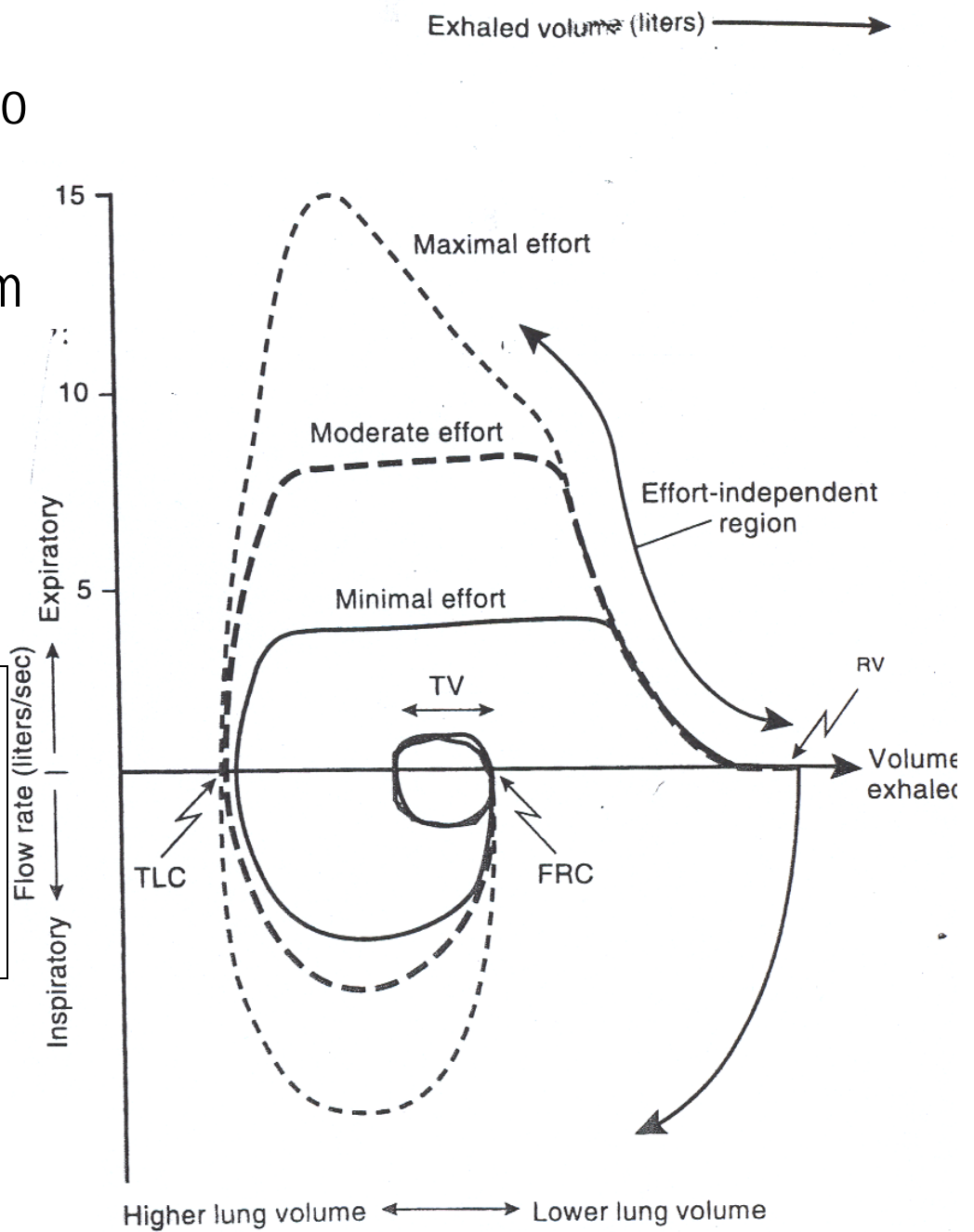
# Curvas V/V con distinto esfuerzo

Zona dependiente } de esfuerzo  
Zona independiente }

Dependiente P retracción o Vol pulm  
PIP en vías compresibles

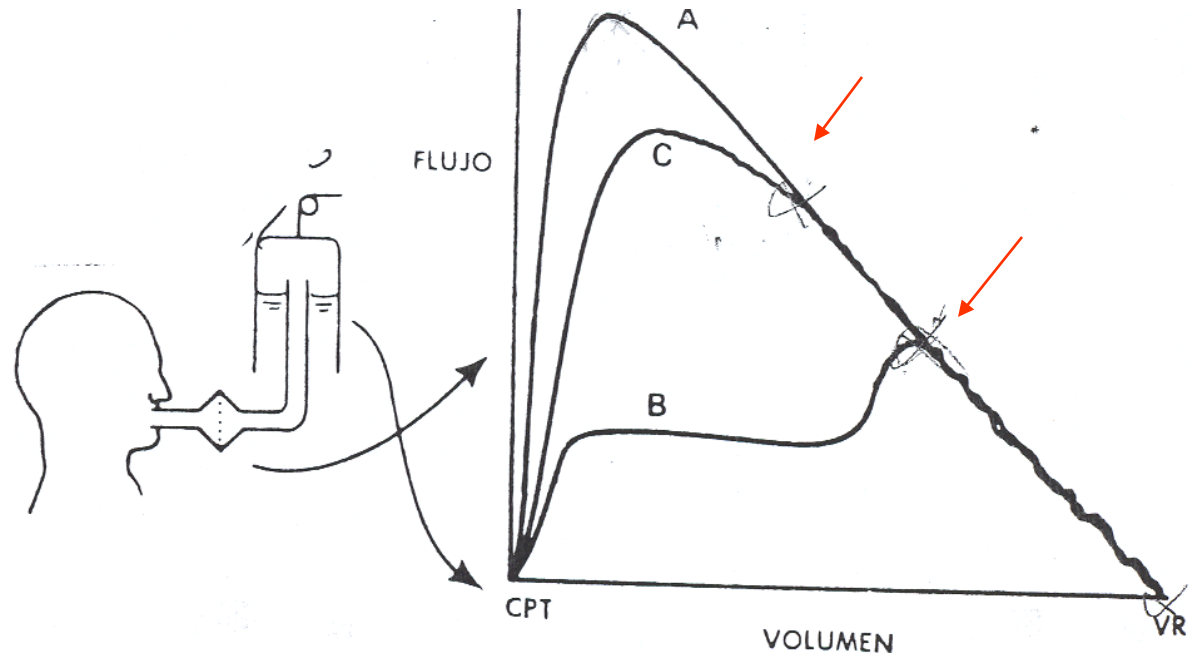
→ **compresión dinámica**

PIP alcanza vías compresibles a distintos volúmenes pulmonares dependiendo de la presión pleural o esfuerzo muscular



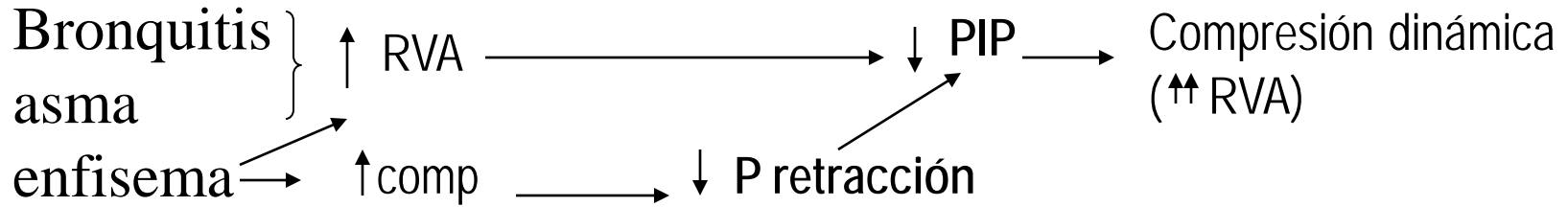
## Conclusiones

1. La zona independiente del esfuerzo se debe a la aparición de la compresión dinámica (PIP)
2. La compresión dinámica aparece a mayores  $V_p$  si aumenta la presión pleural (esfuerzo muscular)
3. El flujo espiratorio sigue disminuyendo hasta la oclusión  $-V$  residual

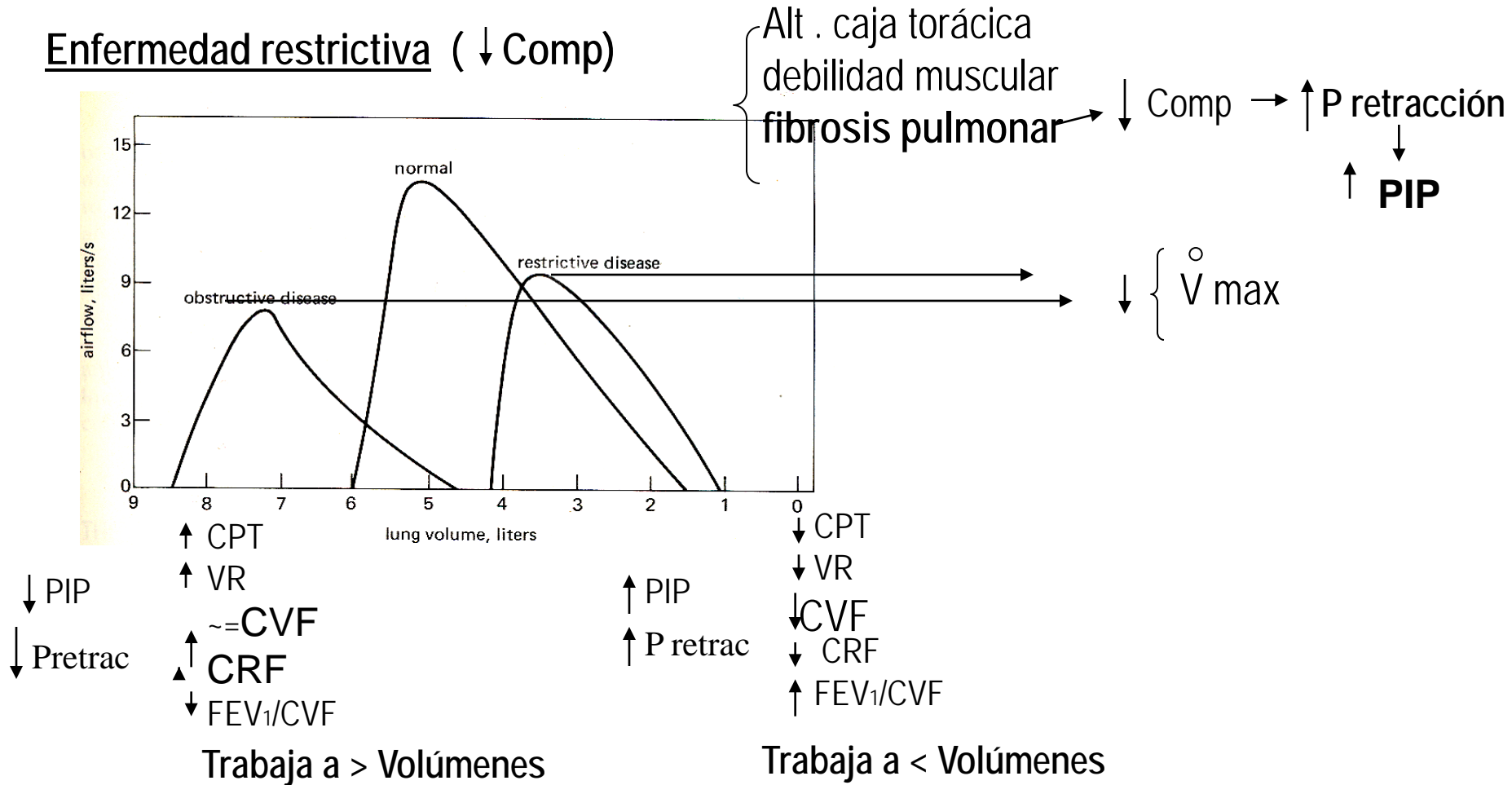


# Utilidad Clínica de la curva V/V

## Enfermedad obstructiva ( $\uparrow$ RVA)



## Enfermedad restrictiva ( $\downarrow$ Comp)





# Modificaciones de Ppl, PA, $\dot{V}$ y Vp en el ciclo ventilatorio

$\left\{ \begin{array}{l} \text{PA y } \dot{V} \\ \text{Ppl y Vp} \end{array} \right.$  Paralelos y  
 mismos máx

## Resistencias

### Supuestos teóricos

1.-  $\uparrow$  Resistencias dinámicas:

Ppl  $\rightarrow$  izda (A- B' - C)

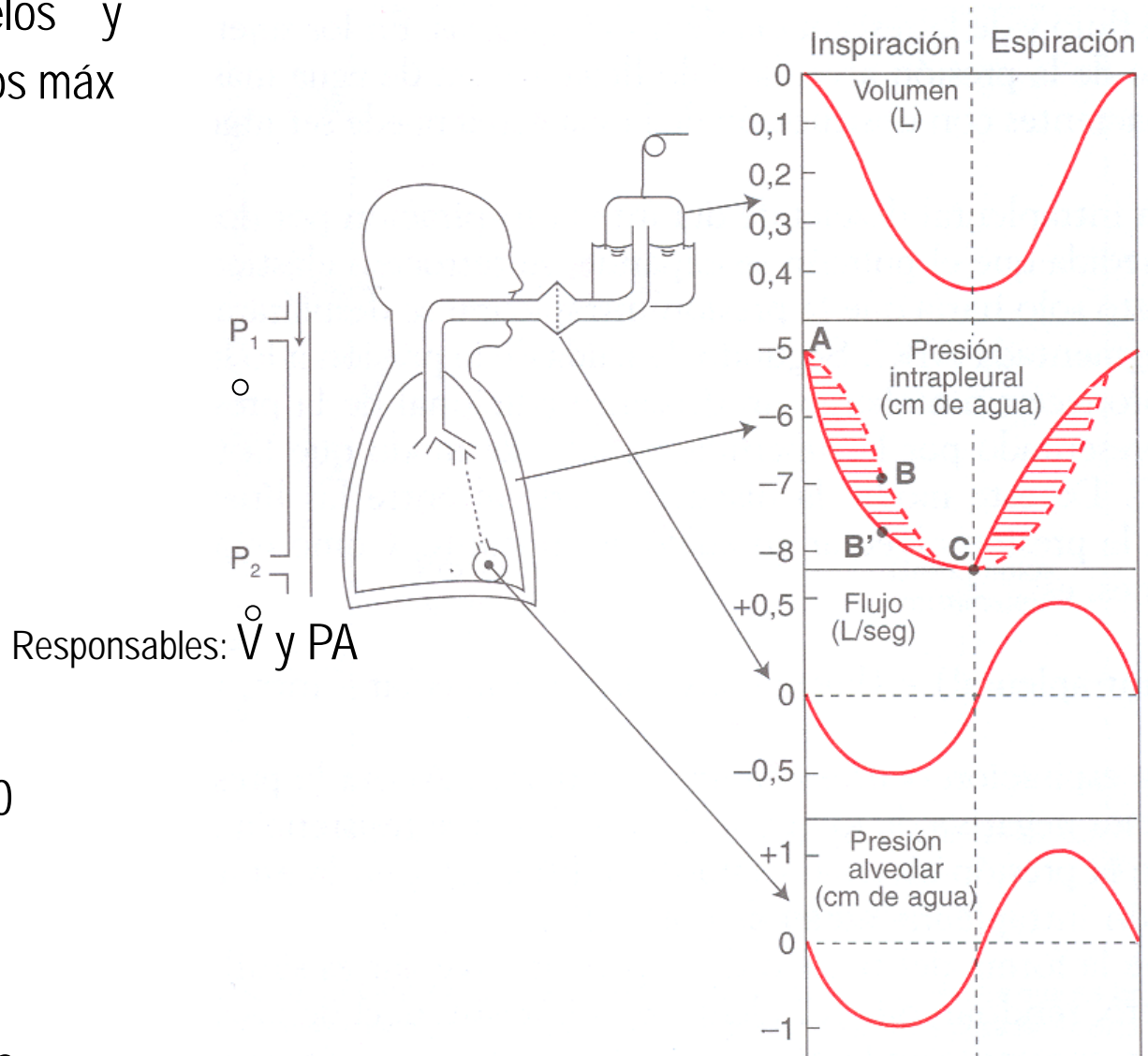
Vp  $\neq$  Ppl  
 PA agudo

2.- Resistencias dinámicas = 0

Ppl=A-B-C

Vp=Ppl

$\dot{V}$  y PA horizontales  
 instantáneos



# Trabajo respiratorio

$$T = \Delta P \times \Delta V$$

{  $\Delta V$  necesario  
# esfuerzo

{ Elástico  
dinámico

## Factores que determinan los diferentes trabajos

**Elástico (Complianza)**

**Dinámico (fricción tisular y  $\uparrow$  RVA)**

{ Obesos  
defectos pared  
fibrosis  
↓ surfactante

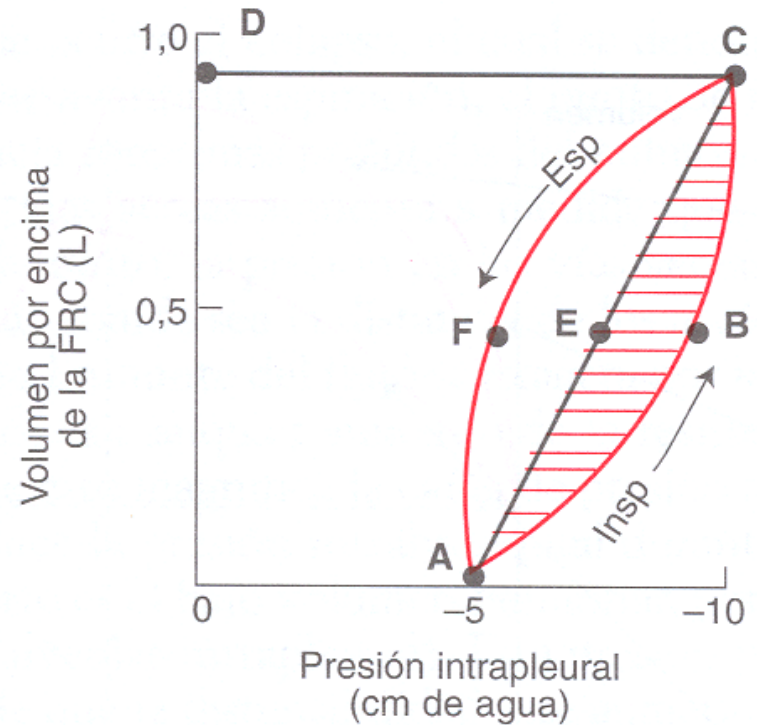
{ Bronquitis  
asma  
enfisema

## Medida del trabajo respiratorio

. Trabajo total (difícil)  $\rightarrow$  pulmonar

$$T_p = T_{\text{elast}} + T_{\text{diná}} = (P_A - P_{pl}) \Delta V + (P_B - P_A) \Delta V = (P_B - P_{pl}) \Delta V$$

Curva de trabajo pulmonar: área rayada (T dinámico)



## Situaciones que modifican el trabajo respiratorio

- 1)  $\uparrow$  fcia resp  $\rightarrow$   $\uparrow$  VL  $\rightarrow$   $\uparrow$  V turbulento  $\rightarrow$   $\uparrow$  T Dinámico
- 2)  $\uparrow$  Vc  $\rightarrow$   $\uparrow$  Pretracción (C no lineal)  $\rightarrow$   $\uparrow$  T Elástico

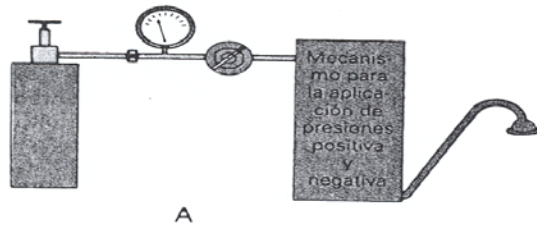
## Patrones ventilatorios en enfermedades respiratorias

Objetivo: minimizar el Trabajo incrementado (Vc, Fcia resp)

Enf. Obstruictiva ( $\uparrow$  T dinámico):  $\left\{ \begin{array}{l} \uparrow Vc \\ \downarrow Fcia\ resp. \end{array} \right. \rightarrow (\downarrow VL)$

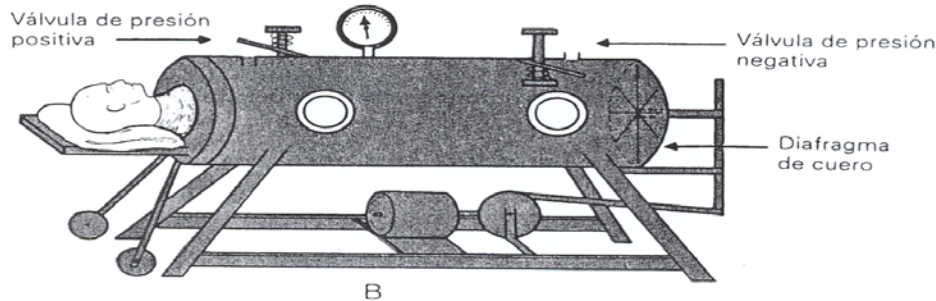
Enf Restrictiva ( $\uparrow$  T elástico):  $\left\{ \begin{array}{l} \downarrow Vc \\ \uparrow Fcia\ resp \end{array} \right. \rightarrow (\downarrow Pretracción)$

## Respiradores artificiales



A

②



B

Objetivo:  $\uparrow$  PTP  $\rightarrow$   $\uparrow$  VP

↳ Mecánicos a p + en inspiración

-Intermitentes

-P + en espiración atelectasia

pero Retorno venoso

Pulmón de acero

Presión - en exterior

Lección 38. Ventilación alveolar. Espacio muerto anatómico. Medida de la ventilación alveolar. Espacio pleural. Efectos de la gravedad y diferencias regionales en la ventilación. Composición del gas en vías aéreas y alvéolos. Factores que modifican la composición del gas alveolar. (x2)

# Ventilación alveolar

Renovación del aire alveolar (intercambio) y composición

VC o VT . Volumen corriente            VD

EMA. Espacio muerto anatómico VA .

Volumen alveolar                            EA.

Espacio alveolar

VD; EMA. Espacio muerto anatómico

$$VD = VC - VA = 500 - 350 \text{ ml} = 150 \text{ ml}$$

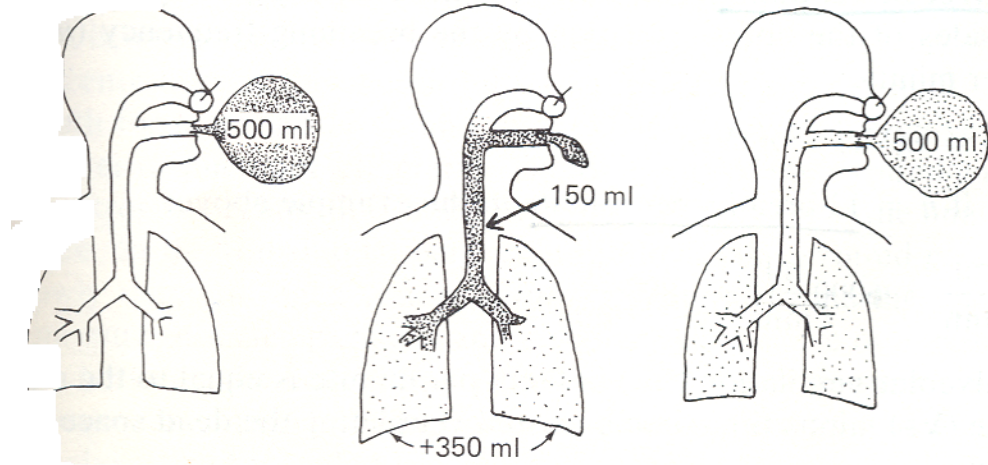
Modifica durante el ciclo ventilatorio

**Volumen alveolar:** aire del VC que ingresa en EA

$$VA = VC - VD = 350 \text{ ml}$$

**Espacio alveolar:** volumen de aire en alvéolos

$$EA \text{ a CRF} = CRF - VD$$



Último aire inspirado (ext) y espirado (EA) se aloja en VD

# Ventilación alveolar ( $\dot{V}_A$ )

$$\dot{V}_A = VA \times F_{ci} = 5250 \text{ ml/min}$$

$$VA = (VC - VD) \times 15$$

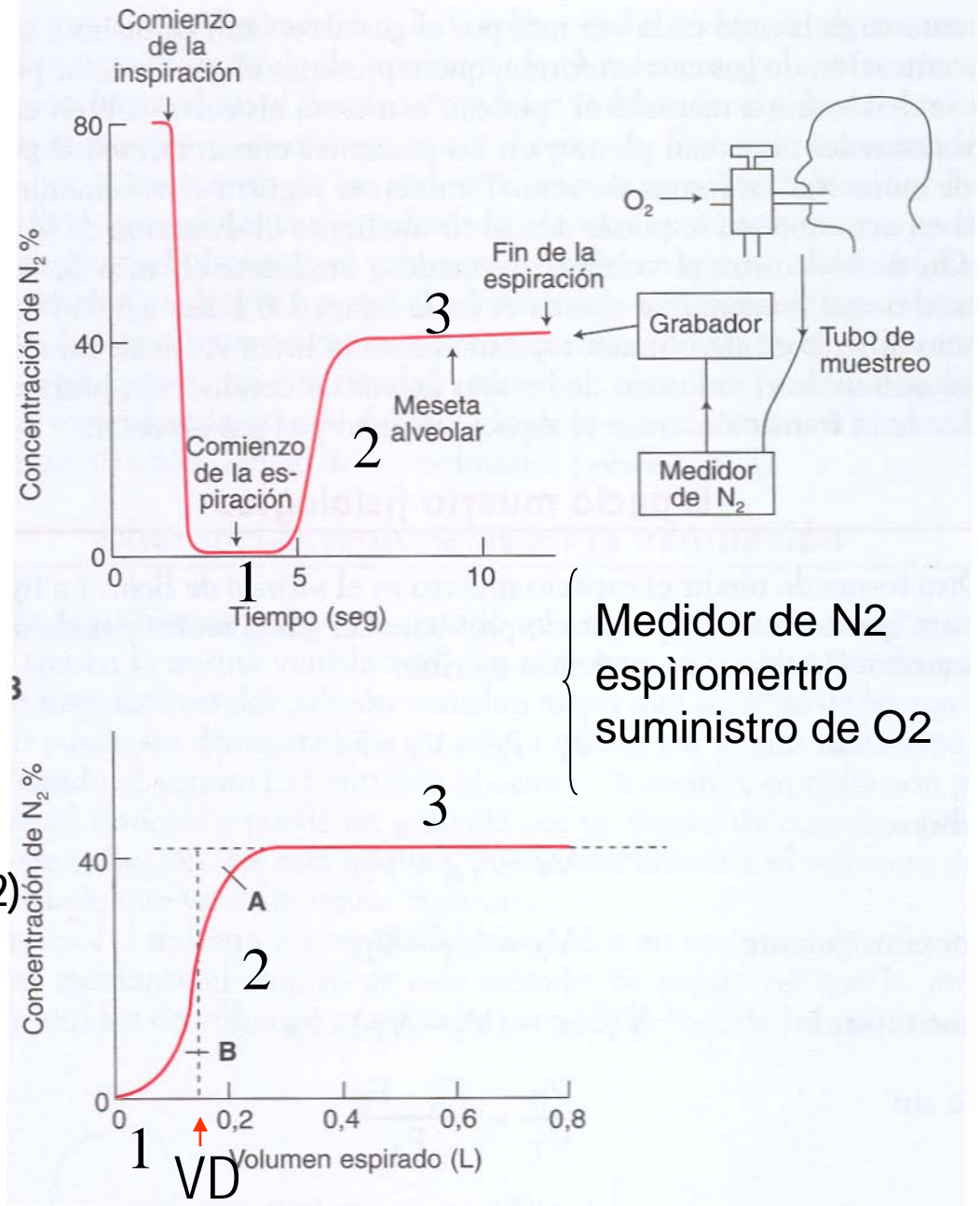
## Medida $\dot{V}_A$

VD? { Tablas  
método de Fowler

## Método de Fowler

- . Inspiración profunda 100% O<sub>2</sub>
- . Mantiene varios seg (equilibrio 60% O<sub>2</sub>)
- . Espiración profunda
- . Registro % N<sub>2</sub>: Fases 1, 2 y 3

VD = V<sub>esp</sub> a ½ fase 2  
o transicional



# Espacio muerto fisiológico

Concepto funcional: Volumen Corriente que no interviene en el intercambio gaseoso

→  $VC = VA_{\text{efect}} + EMF$  . . En cn →  $EMA = EMF$  (todos los alvéolos bien perfundidos)

→  $VMA_{lv} = 0$

Medida del EMF (espacio que no produce CO<sub>2</sub>)

- Sólo se produce CO<sub>2</sub> en los alvéolos que intercambian  $V_{e\text{CO}_2} = VA_{\text{efect}} \text{CO}_2$

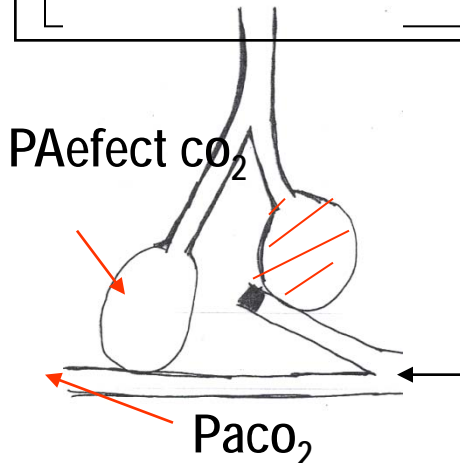
$$-F_{\text{CO}_2} = P_{\text{CO}_2} / Pt$$

$$-V_{\text{CO}_2} = V \times F_{\text{CO}_2}$$

$$\rightarrow VC \times F_{\text{esp CO}_2} = VA_{\text{efect}} \times FA_{\text{efect CO}_2}$$

$$VC = VA_{\text{efect}} + EMF$$

$$VA_{\text{efect}} = VC - EMF$$



$$PA_{\text{efect CO}_2} = Paco_2$$

$$F = P_p / Pt$$

Si  $Pt = cte$   
 $F \propto P_p$

$$VC \times F_{\text{esp CO}_2} = (VC - EMF) \times FA_{\text{efect CO}_2}$$

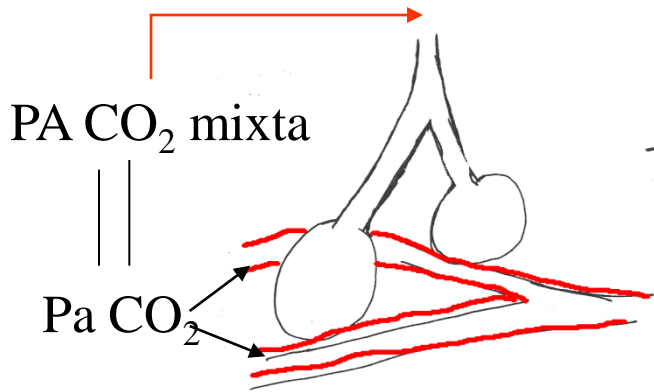
$$EMF / VC = (FA_{\text{efect CO}_2} - F_{\text{esp CO}_2}) / FA_{\text{efect CO}_2}$$

$$= (PA_{\text{efect CO}_2} - P_{\text{esp CO}_2}) / PA_{\text{efect CO}_2}$$

$$= (Pa_{\text{CO}_2} - P_{\text{esp CO}_2}) / Pa_{\text{CO}_2}$$

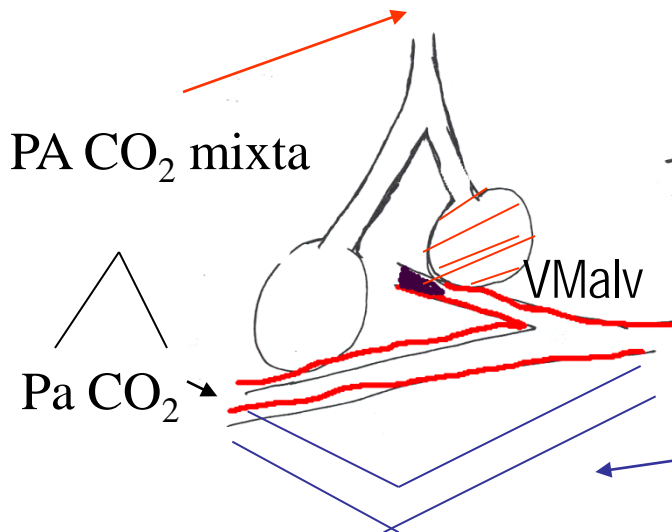
# Valoración del VMAlv: Comparación de Pa CO<sub>2</sub> y PA CO<sub>2</sub> mixta

a) PA CO<sub>2</sub> mixta = Pa CO<sub>2</sub> → VMalv = 0 → EMF = VD



b) PA CO<sub>2</sub> mixta < Pa CO<sub>2</sub> → VMalv > 0 → EMF > VD

→ SHUNT pulmonar



Pa CO<sub>2</sub> normal → VMalv

Pa CO<sub>2</sub> ↑↑ → SHUNT

Sangre venosa a art. pulmonar

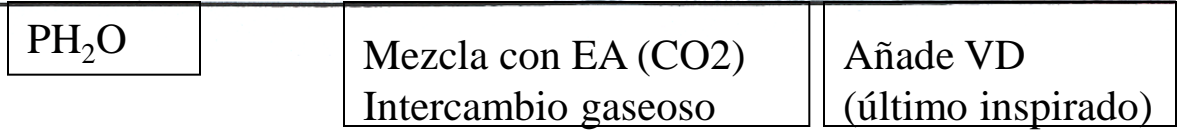


# Modificación de la composición del gas desde exterior a alvéolos

**Tabla 39-1.** PRESIONES PARCIALES DE LOS GASES RESPIRATORIOS SEGUN ENTRAN Y SALEN DE LOS PULMONES (A NIVEL DEL MAR)

$P_p$	Aire atmosférico * (mm Hg)	F	Aire humidificado (mm Hg)		Aire alveolar (mm Hg)		Aire espirado (mm Hg)	
$N_2$	597.0	(78.62 %)	563.4	(74.09 %)	569.0	(74.9 %)	566.0	(74.5 %)
$O_2$	159.0	(20.84 %)	149.3	(19.67 %)	104.0	(13.6 %)	120.0	(15.7 %)
$CO_2$	0.3	(0.04 %)	0.3	(0.04 %)	40.0	(5.3 %)	27.0	(3.6 %)
$H_2O$	3.7	(0.50 %)	47.0	(6.20 %)	47.0	(6.2 %)	47.0	(6.2 %)
TOTAL	760.0	(100.00 %)	760.0	(100.00 %)	760.0	(100.00 %)	760.0	(100.00 %)

Incorporación nuevos componentes  
modificación de proporciones



## Composición del gas alveolar

.depende de fase ciclo ventilatorio

.Otros factores:

- EA: volumen composición
  - $\dot{V}_A$
  - Composición aire inspirado
- $\left\{ \begin{array}{l} \circ \dot{V}_{CO_2} \\ \circ \dot{V}_{O_2} \end{array} \right.$

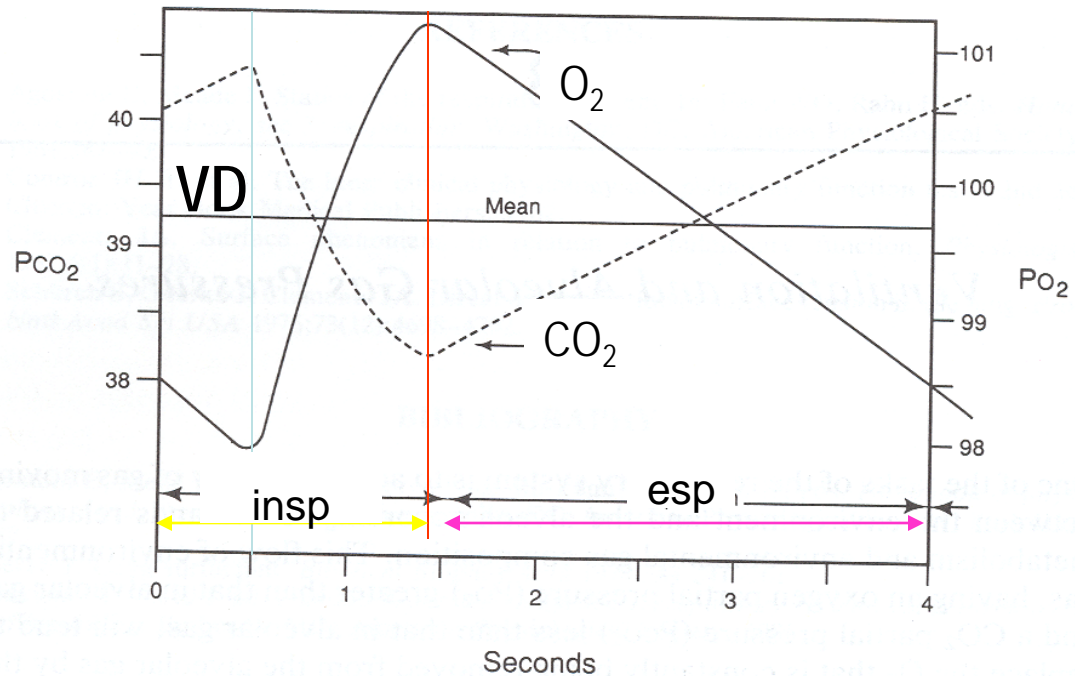


FIG. 1-9

## PACO<sub>2</sub>, V̇<sub>A</sub> y V̇<sub>CO<sub>2</sub></sub>

$$PACO_2 \propto \frac{V̇_{CO_2}}{V̇_A}$$

## PAO<sub>2</sub>, V̇<sub>A</sub> y V̇<sub>O<sub>2</sub></sub>

$$PAO_2 \propto \frac{V̇_A}{V̇_{O_2}} \quad \text{Limitante } PIO_2$$

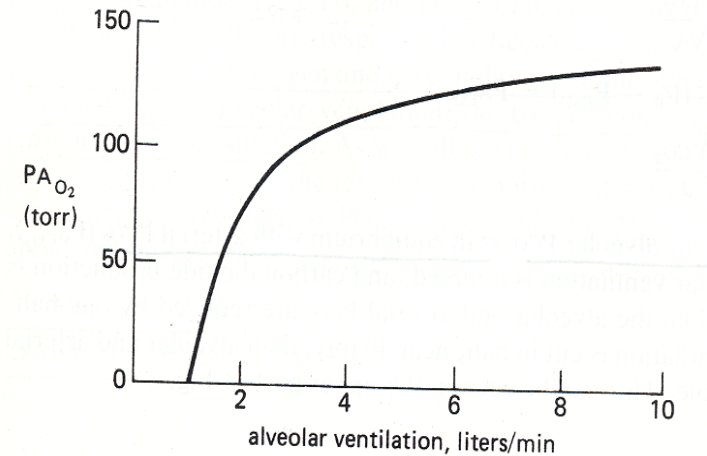
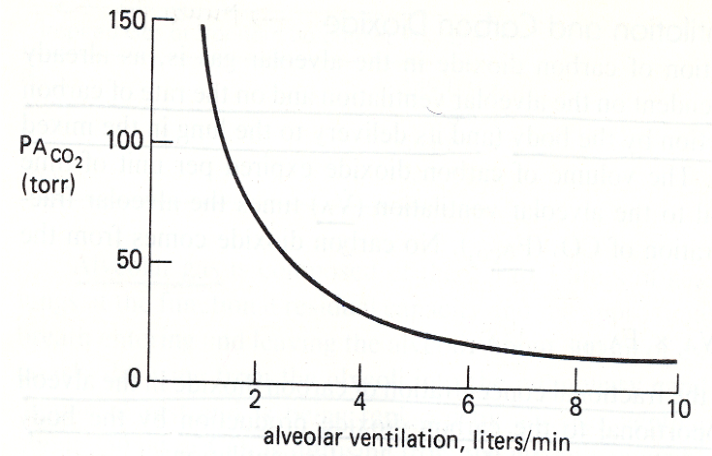
$$PAO_2 = PIO_2 - PACO_2 \left[ FiO_2 + \frac{1 - FiO_2}{R} \right] \quad R = \frac{V̇_{CO_2}}{V̇_{O_2}}$$

$$\text{Si } R = 1 \rightarrow \left[ FiO_2 + \frac{1 - FiO_2}{R} \right] = 1$$

$$\rightarrow PAO_2 = PIO_2 - PACO_2 \rightarrow PAO_2 < PIO_2$$

### Conclusiones:

$$\downarrow V̇_A \rightarrow \begin{cases} \downarrow PAO_2 \\ \uparrow PACO_2 \end{cases} \quad \uparrow V̇_A \rightarrow \begin{cases} \uparrow PAO_2 \\ \downarrow PACO_2 \end{cases}$$

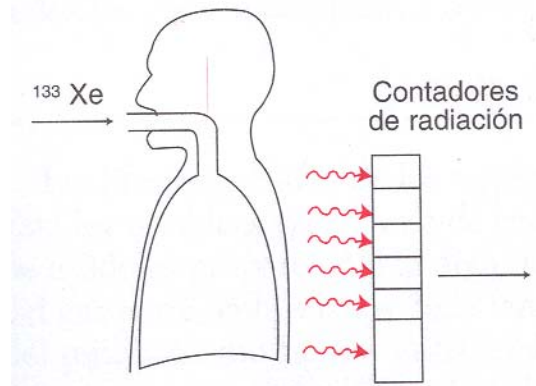


# Distribución regional de la VA

VA No homogénea

## Prueba del $^{133}\text{Xe}$

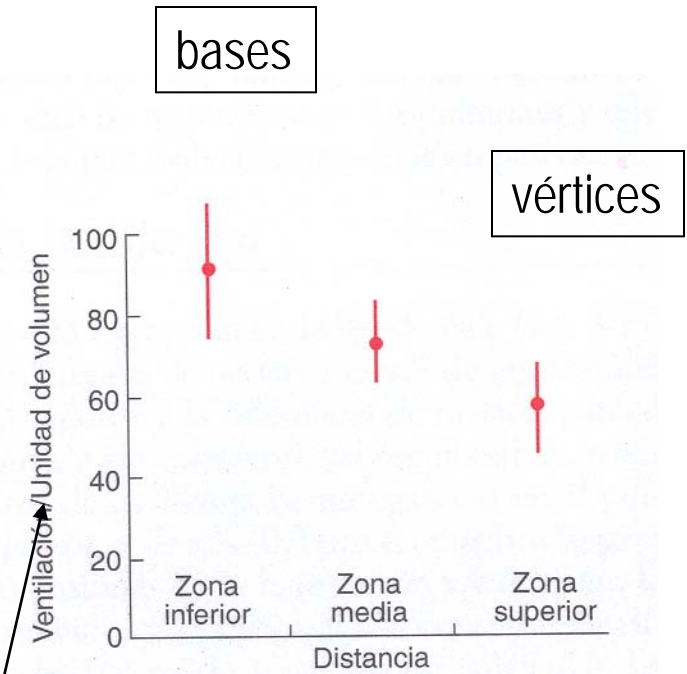
- Inspiración de pie
- pantallas



-Ppl distinta → dist PTM → dist Vol de alvéolos  
Gravedad (peso pulmón)

-  $\Delta V / \Delta \text{PTM}$  no lineal (compliance)

acumulación  $^{133}\text{Xe}$   
(ventilación relativa)



# Ventilación en distintas unidades alveolares a distintos volúmenes pulmonares

**VR**

Ppl      PTM      V. alvéolo

Vértices

Bases



Al inspirar

$\Delta P \rightarrow \Delta V$  distinto  $\rightarrow \Delta V / \Delta P$  (distinta pte)

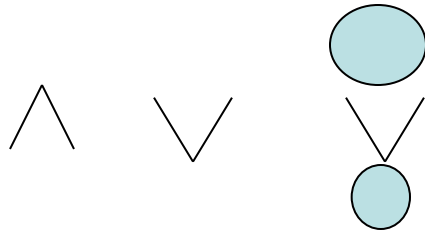
$\Delta V$  Vértice  $>$   $\Delta V$  bases

**CRF**

Ppl      PTM      V. alvéolo

Vértices

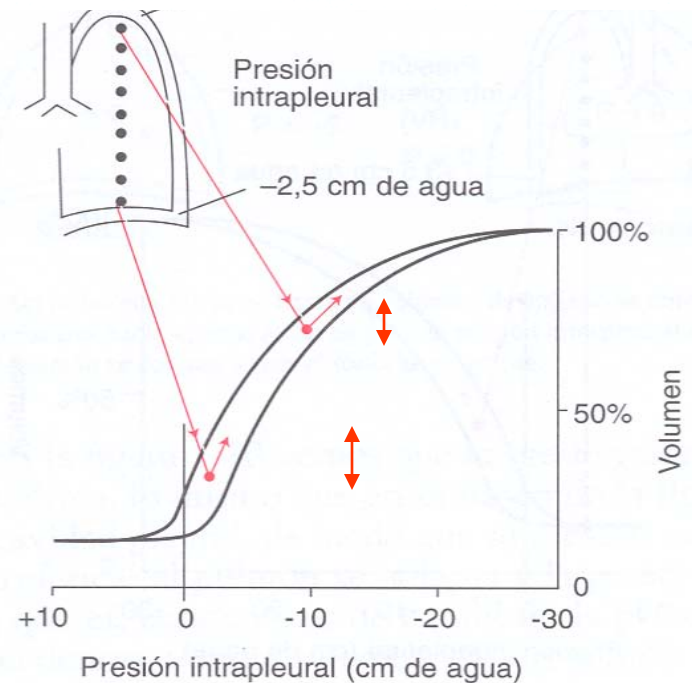
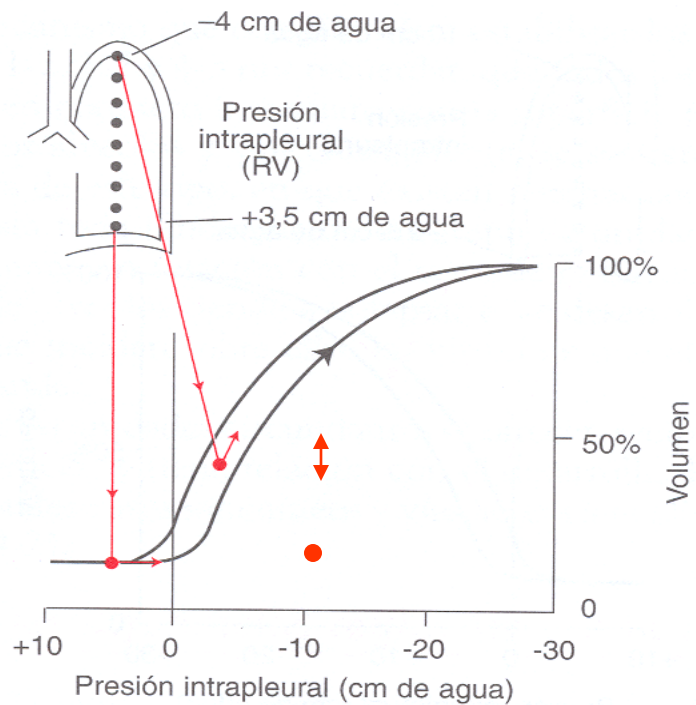
Bases



Al inspirar

$\Delta P \rightarrow \Delta V$  distinto  $\rightarrow \Delta V / \Delta P$  (distinta pte)

$\Delta V$  Vértice  $<$   $\Delta V$  bases



# Conclusiones VR → CPT

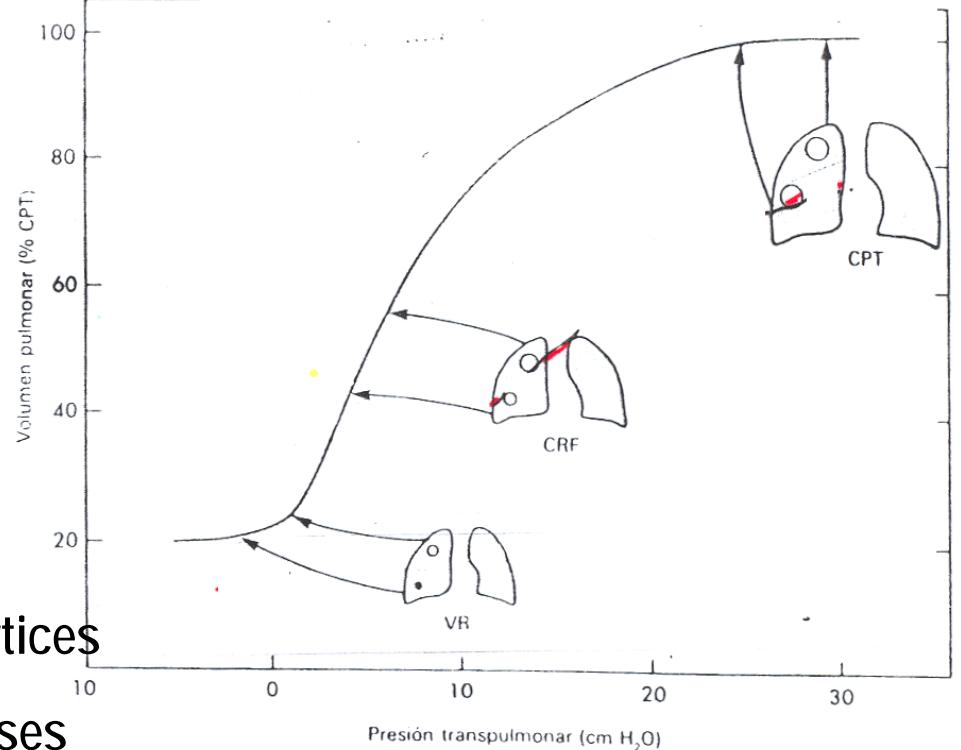
## 1.- Orden de llenado:

- 1) vértices y descolapso bases
- 2) bases > vértices ( CRF)
- 3) bases y vértices

## 2.- Renovación bases > vértices

3.- Enfisema → (↑ RVA) → vent vértices

Fibrosis → (↓ RVA) → vent bases



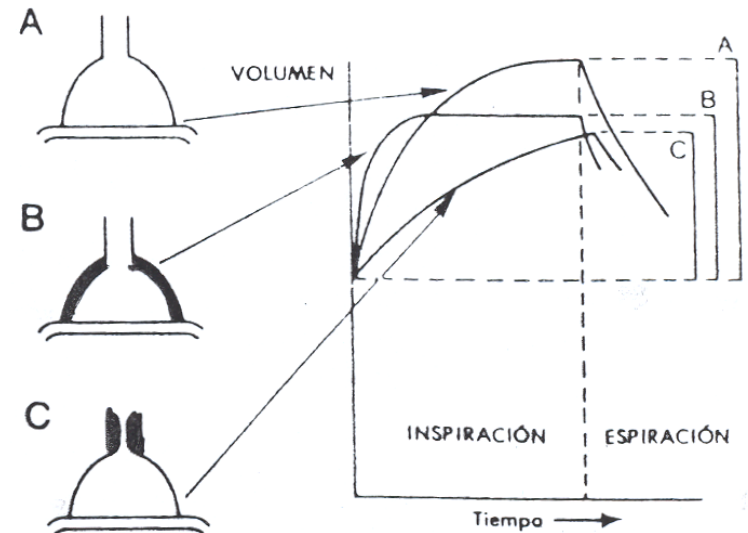
## Distribución regional en función de las características de las unidades respiratorias

**fibrosis**

{ Vías abiertas, llena fácil pero poco

**obstrucción**

{ Vías cerradas, llena pero lentamente



# Volumen de cierre

-Volumen pulmonar al que comienzan a cerrarse los alvéolos

-Método de Fowler:

-Inspiración con 100%O<sub>2</sub> desde VR

-Alvéolos de bases más renovados que vértices (>%O<sub>2</sub>)

-Fase meseta (III) sale aire alveolar de bases y vértices

-Fase pendiente (IV) comienza el cierre de bases y sigue saliendo aire de vértices (<%O<sub>2</sub>)

