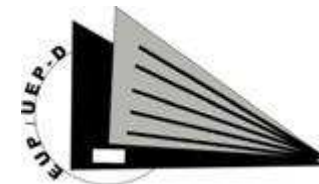
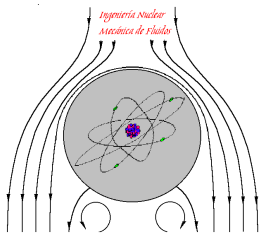


eman ta zabal zazu

# Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.



Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

## **INTRODUCCIÓN**

### **GOLPE DE ARIETE**

“Sobrepresión producida en una tubería cuando se interrumpe bruscamente la circulación del fluido, por medio de una válvula, por ejemplo.”

Golpe de ariete = coup de belier = water hammer

- La energía cinética se transforma en energía de presión.
- Dicha sobrepresión puede romper la tubería.

## Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

### INTRODUCCIÓN

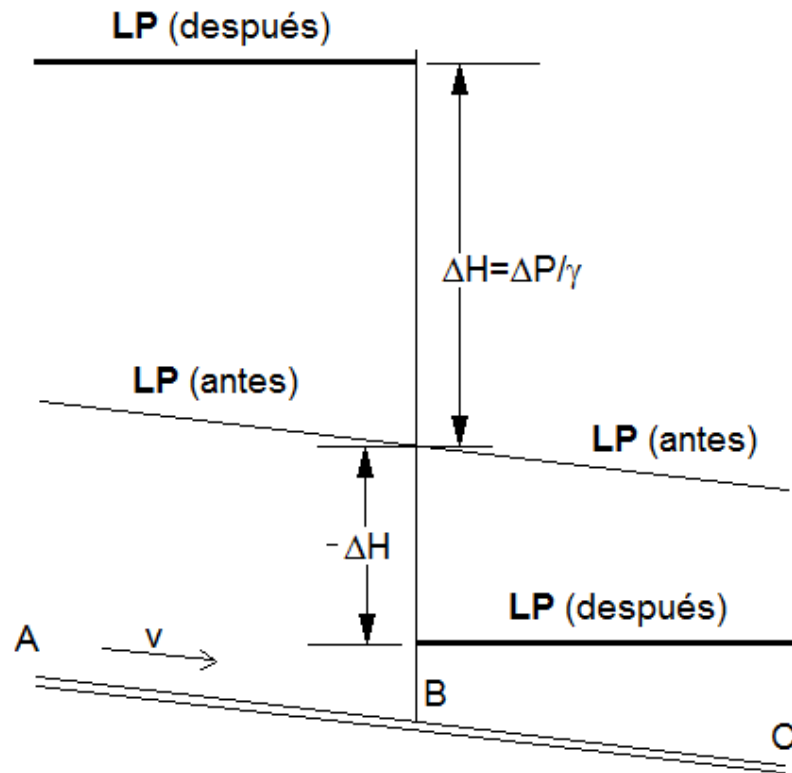


Fig. 18.1 Líneas piezométricas (antes y después del cierre de válvula) en conducción

- Si anulamos el caudal en B, la primera rodaja de flujo aguas arriba de B queda parada en seco, a continuación, se para la segunda comprimiendo la primera, la tercera a la segunda, y así sucesivamente hasta llegar a A.
- En definitiva, aparece en B un aumento de presión  $\Delta P$ , que como una onda se propaga aguas arriba a una velocidad  $a$ .
- Este aumento de presión es como un golpe que sufre la conducción en su interior, y que se conoce como golpe de ariete o transitorio.

Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

***CELERIDAD DE LA ONDA DE PRESIÓN***

**a** : velocidad de la onda de presión.

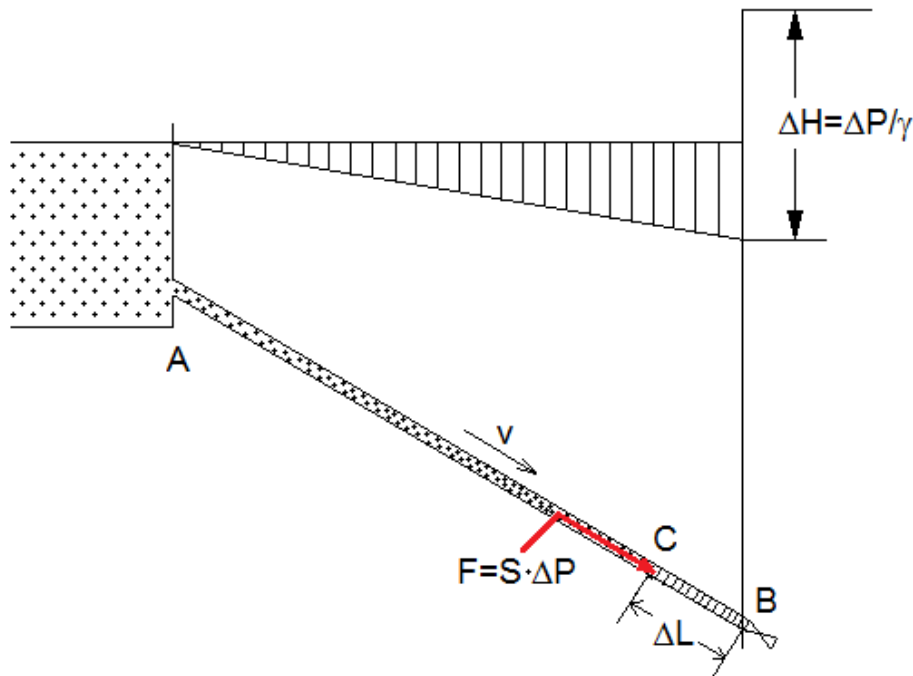
**c** : velocidad del sonido en el seno del fluido.

<b>Fluido incompresible Tubería inelástica</b>	<b><math>a = \infty</math></b>
<b>Fluido compresible Tubería inelástica</b>	<b><math>a = c</math></b>
<b>Fluido compresible Tubería elástica</b>	<b><math>a &lt; c</math></b>

Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

**VALOR MÁXIMO DEL GOLPE DE ARIETE.  
FÓRMULA DE ALLIEVI**

**Golpe de ariete máximo: Fórmula de Allievi**



$$F = S \cdot \Delta P$$
$$m = \rho \cdot S \cdot \Delta L$$
$$F \cdot t = m \cdot \Delta V$$
$$S \cdot \Delta P \cdot \Delta L / a = \rho \cdot S \cdot \Delta L \cdot \Delta V$$
$$\Delta V = V \quad (\text{cierre total})$$
$$\Delta V = V - V' \quad (\text{cierre parcial})$$

$$\Delta P = \rho \cdot a \cdot V \quad (\text{Pa})$$
$$\Delta H = a \cdot V / g \quad (\text{mcl})$$

Fig. 18.2 Visualización de la compresión progresiva del fluido

Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

## ***CIERRE GRADUAL***

- Si  $T_c < 2L/a$ , cierre rápido. Fórmula de Allievi.
- Si  $T_c > 2L/a$ , cierre lento. Fórmula de Micheaud.

Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

## ***GOLPE DE ARIETE EN CONDUCCIONES CORTAS. FÓRMULA DE MICHEAUD***

Si  $T_c > 2L/a$ , cierre lento: Fórmula de Micheaud

$$\Delta P = 2 \cdot L \cdot V \cdot \rho / T$$

$$\Delta H = 2 \cdot L \cdot V / g \cdot T_c$$

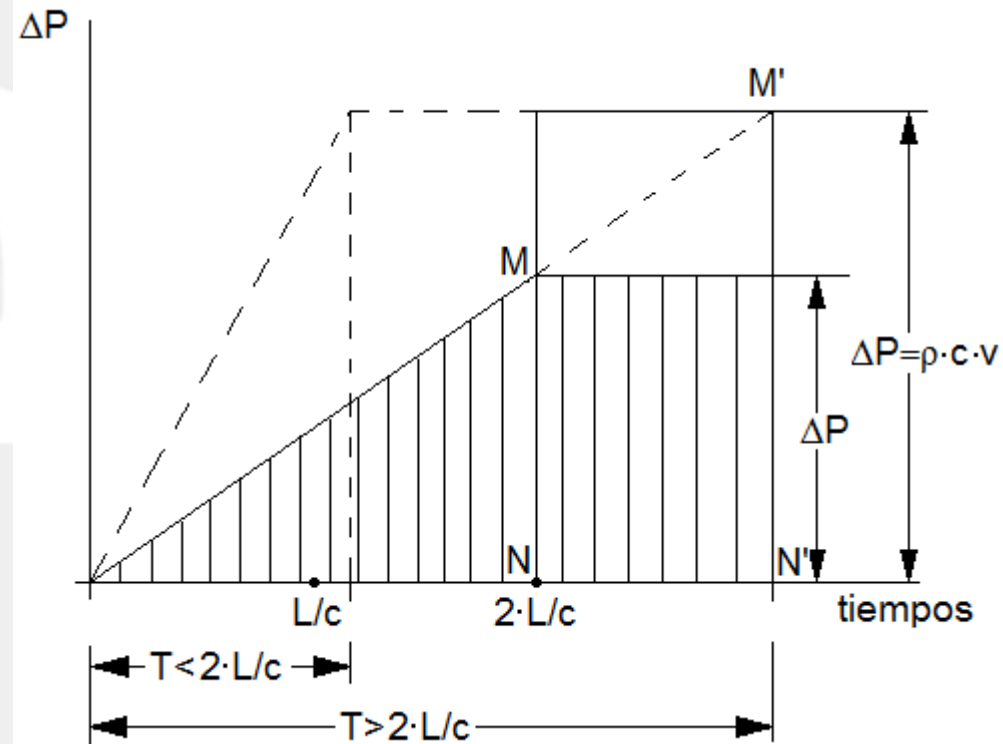


Fig. 18.3 Representación de la sobrepresión para el caso de cierre lento

Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

**VELOCIDAD DEL SONIDO EN EL SENO DE UN FLUIDO  
(fl. compresible y tubería inelástica)**

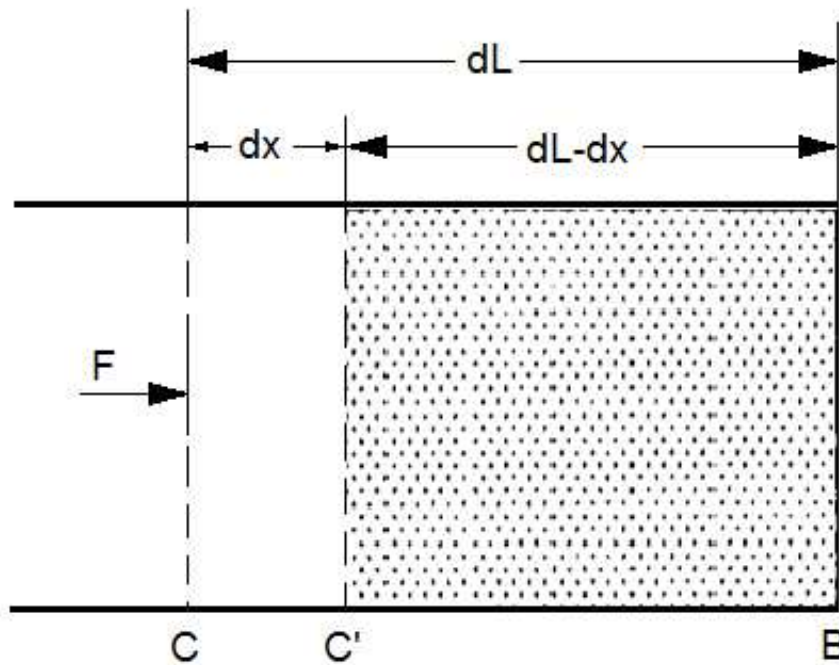


Fig. 18.4 Compresión del fluido sin dilatación del conducto

$$dW = F \cdot dx = (S \cdot \Delta P / 2) \cdot dx$$

$$\Delta P = \rho \cdot a \cdot v ; a = c$$

$$dW = (S \cdot \rho \cdot c \cdot v / 2) \cdot dx$$

$$(1/2) \cdot dm \cdot v^2 = (1/2) \rho \cdot S \cdot dL \cdot v^2$$

$$(S \cdot \rho \cdot c \cdot v / 2) \cdot dx = (1/2) \rho \cdot S \cdot dL \cdot v^2$$

$$v/c = S \cdot dx / S \cdot dL$$

$$K = - \Delta P / (\Delta V / V)$$

$$S \cdot dx / S \cdot dL = \Delta V / V = \Delta P / K$$

$$v/c = \Delta P / K = \rho \cdot c \cdot v / K$$

$$c = (K/\rho)^{1/2}$$



Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

***VELOCIDAD DEL SONIDO EN EL SENO DE UN FLUIDO  
(fl. compresible y tubería elástica)***

**Fórmula de Joukowski**

$$a = (K/\rho)^{1/2} / (1 + (K/E)(D/e))^{1/2}$$

**Para el agua (Allievi):**

$$a = 9900 / (48,3 + k \cdot D/e)^{1/2}$$

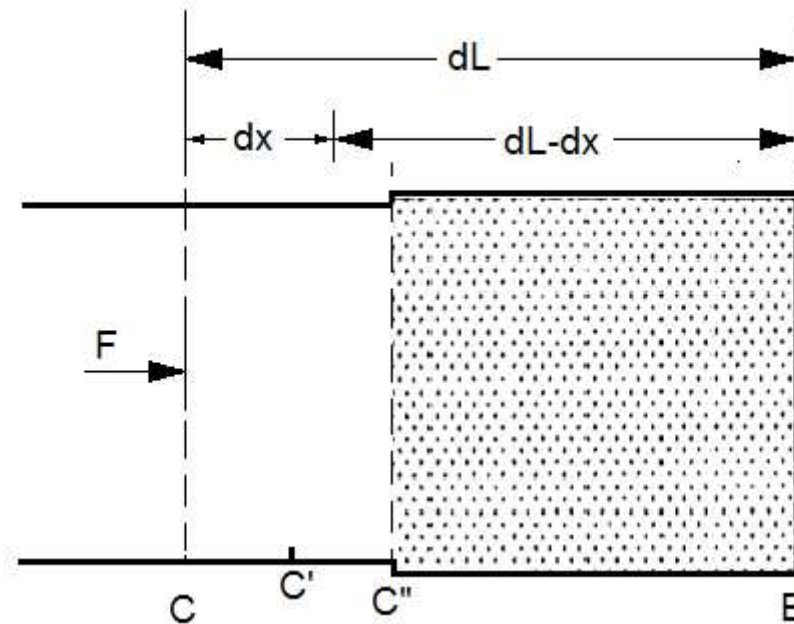


Fig. 18.5 Compresión del fluido con dilatación del conducto

Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

**VALORES ORIENTATIVOS DE  $k$  PARA LA FÓRMULA DE ALLIEVI**

---

Hierro y acero.....	0,5
Hormigón.....	5
Hormigón armado.....	5
Fundición.....	1
Fibro cemento.....	5,4 (5 ÷ 6)
Poliéster.....	6,6
Plomo.....	5
PVC.....	33 ( 20 ÷ 50)

Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

### ***FORMAS DE ATENUAR EL GOLPE DE ARIETE***

- Chimenea de equilibrio.
- Calderín de aire.
- Amortiguador de aire con vejiga.
- Válvula de seguridad.

## Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

### **CHIMENEA DE EQUILIBRIO**

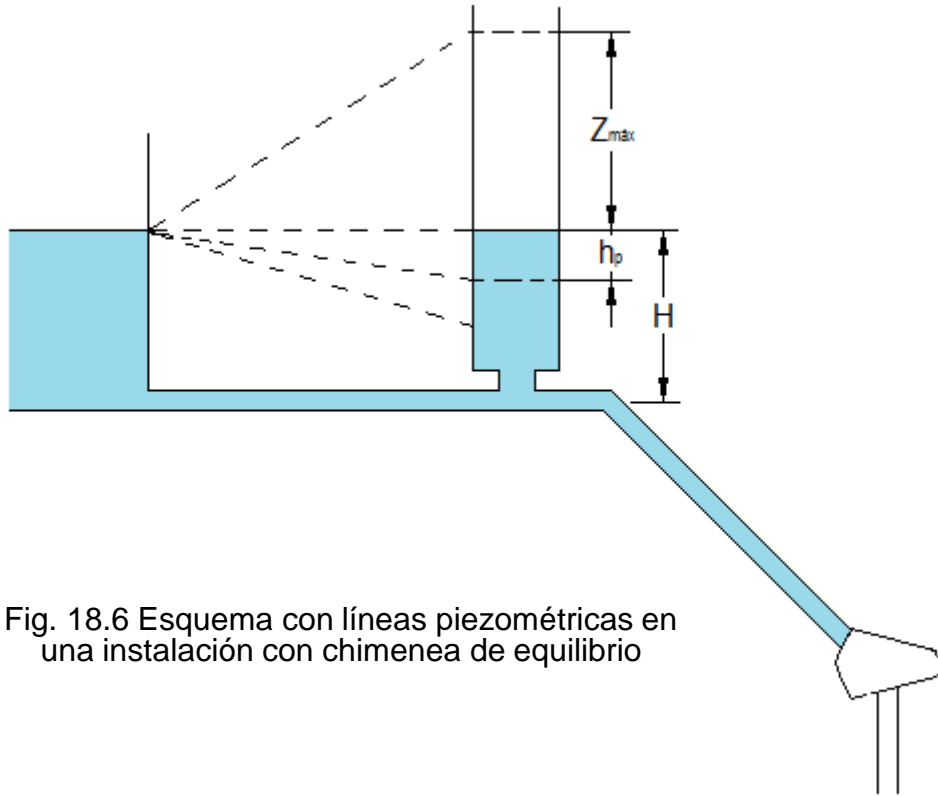


Fig. 18.6 Esquema con líneas piezométricas en una instalación con chimenea de equilibrio

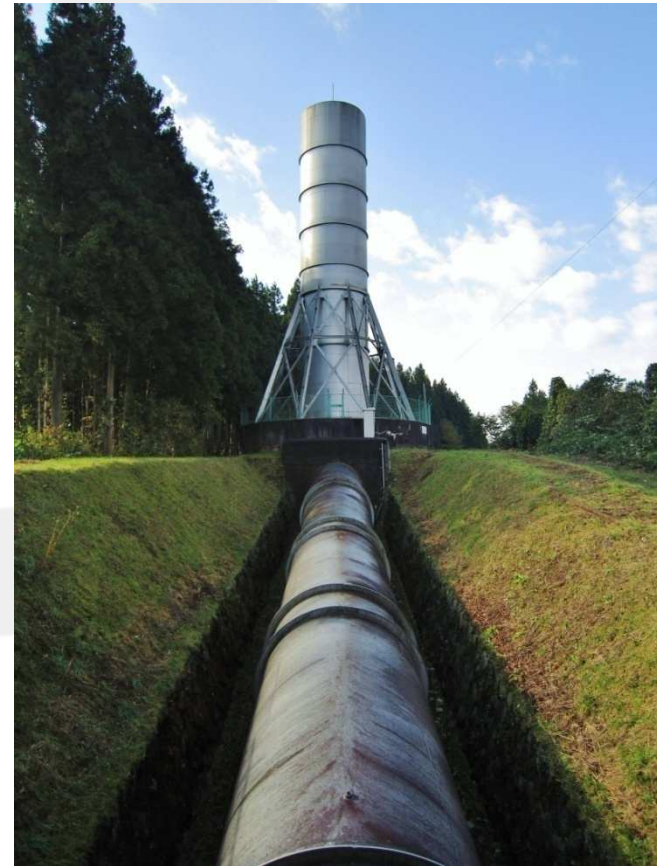


Fig. 18.7 Instalación con chimenea de equilibrio

## Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

### **CALDERÍN DE AIRE**

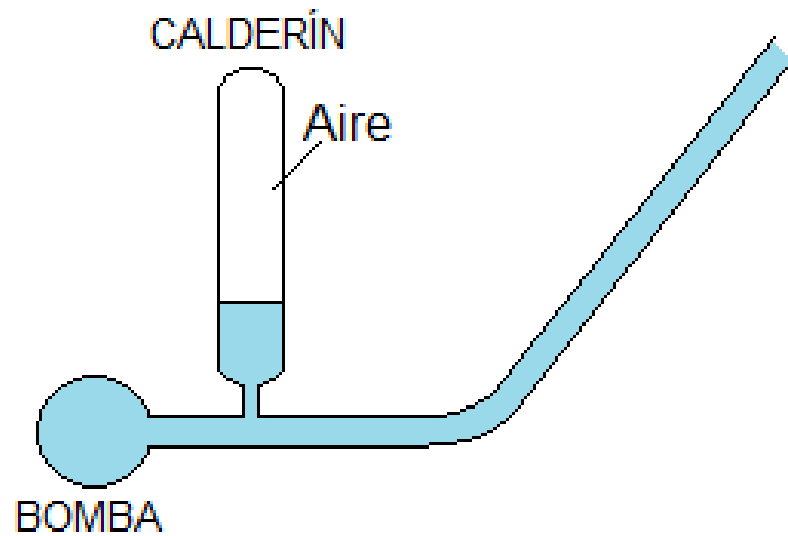


Fig. 18.8 Esquema de una instalación con calderín de aire

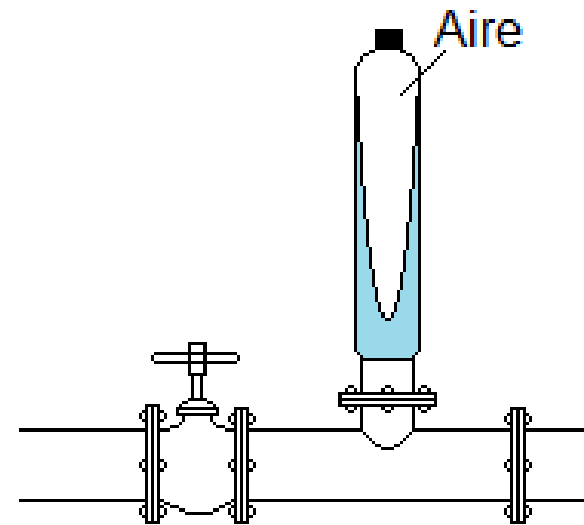


Fig. 18.9 Esquema de una instalación con amortiguador de aire con vejiga

Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

## *VÁLVULAS DE SEGURIDAD*

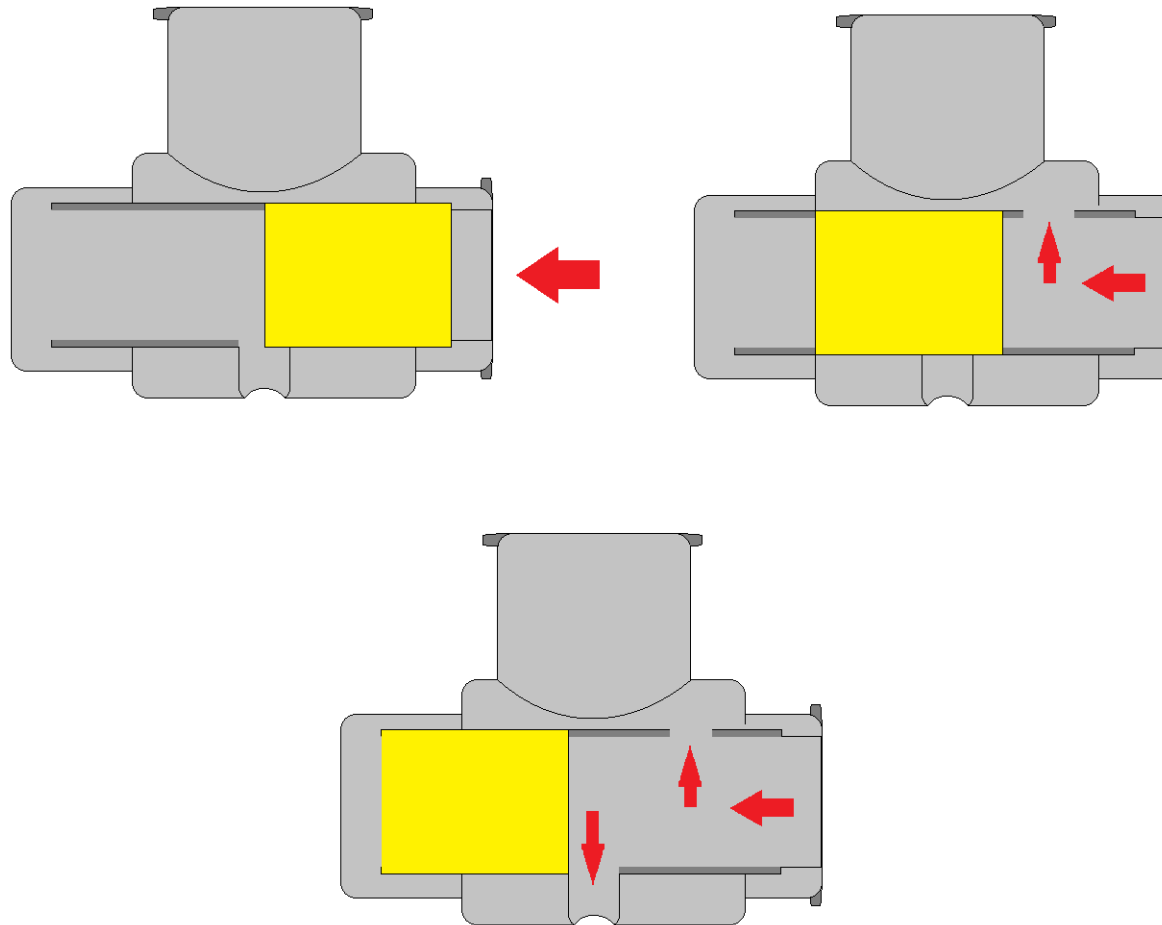


Fig. 18.10 Esquema de funcionamiento de una válvula de seguridad

Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

### ***INFLUENCIA EN EL ESPESOR DE LA TUBERÍA***

Un cierre instantáneo de una válvula de la tubería genera una sobrepresión  $\Delta P$  (Pa) ó  $\Delta H$  (mcl) que viaja a una celeridad  $a$  (m/s).

$$e = \left( \frac{(P + \Delta P)_{\max} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{admisible}}} + \Delta e_{\text{corrosión}} \right) \cdot \text{Coef. seguridad}$$

$$e_{\text{minimo}} = \frac{(P + \Delta P) \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{admisible}}}$$

Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

## ***INFLUENCIA EN EL ANCLAJE DE LA TUBERÍA***

Fuerzas hidrodinámicas  $\ll$   
Fuerzas hidroestáticas:  
 $F_3 \approx 2 (p + \Delta p) A \text{ sen } (\alpha/2)$

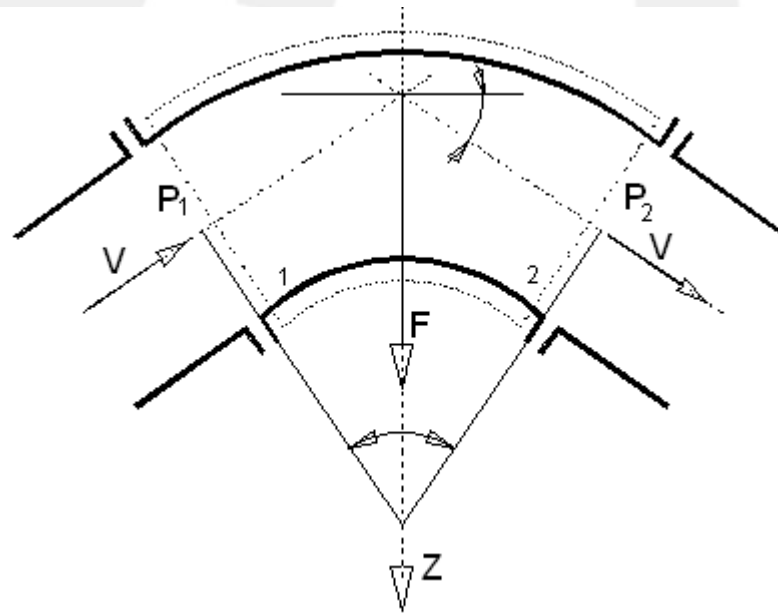


Fig. 18.11 Anclaje de tubería (la sobrepresión juega un papel muy importante)



## Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

### RESUMEN

Fórmula de Allievi (cierre brusco):  $T_{cv} < 2 \cdot L/a$

$$\Delta H = \frac{a \cdot \Delta v}{g} \neq f(T_{cv})$$

Fórmula de Micheaud (cierre lento):  $T_{cv} > 2 \cdot L/a$

$$\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot \Delta v}{g \cdot T_{cv}}$$

Celeridad de la onda de presión:

$$a \text{ (m/s)} = \frac{\sqrt{\frac{K_{\text{fluido}}}{\rho_{\text{fluido}}}}}{\sqrt{1 + \frac{K_{\text{fluido}}}{E_{\text{material}}} \cdot \frac{D}{e}}}$$

$$K = 2100 \text{ MPa (agua)}$$
$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (agua)}$$

Celeridad de la onda de presión (agua):

$$a \text{ (m/s)} = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + C_{\text{material}} \cdot \frac{D}{e}}}$$

**Valores de  $C_{\text{material}}$  (adimensional):**

Acero: 0,5

Fundición gris: 1

Fibrocemento: 5 ÷ 6

PVC: 20 ÷ 25

## Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

### **EJERCICIO**

#### **Datos:**

- Agua y tubería de acero
- Diámetro conocido (800 mm), la velocidad del fluido es  $v=1,5$  m/s y el espesor del conducto  $e=4$  mm.
- Longitud de la conducción  $L=2500$  m.
- Tiempo de cierre en dos casos: a) 5 s y b) 8 s.
- **Calcular si el cierre es rápido o lento, el caudal  $Q$  (l/s) y la sobrepresión generada (mca).**

## Tema 18: Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.

### **EJERCICIO**

#### **Datos:**

- Agua y tubería de acero
- Diámetro conocido (800 mm), la velocidad del fluido es  $v=1,5$  m/s y el espesor del conducto  $e=4$  mm.
- Longitud de la conducción  $L=2500$  m.
- Tiempo de cierre en dos casos: a) 5 s y b) 8 s.
- **Calcular si el cierre es rápido o lento, el caudal  $Q$  (l/s) y la sobrepresión generada (mca).**

#### **Soluciones:**

a) Cierre de 5 s es rápido;  $Q=754$  l/s;  $\Delta H=124,4$  mca.

b) Cierre de 8 s es lento;  $Q=754$  l/s;  $\Delta H=95,7$  mca.