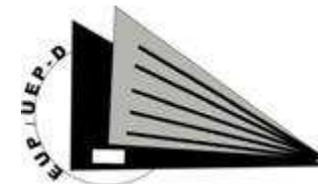
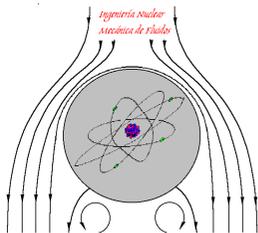


eman ta zabal zazu

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

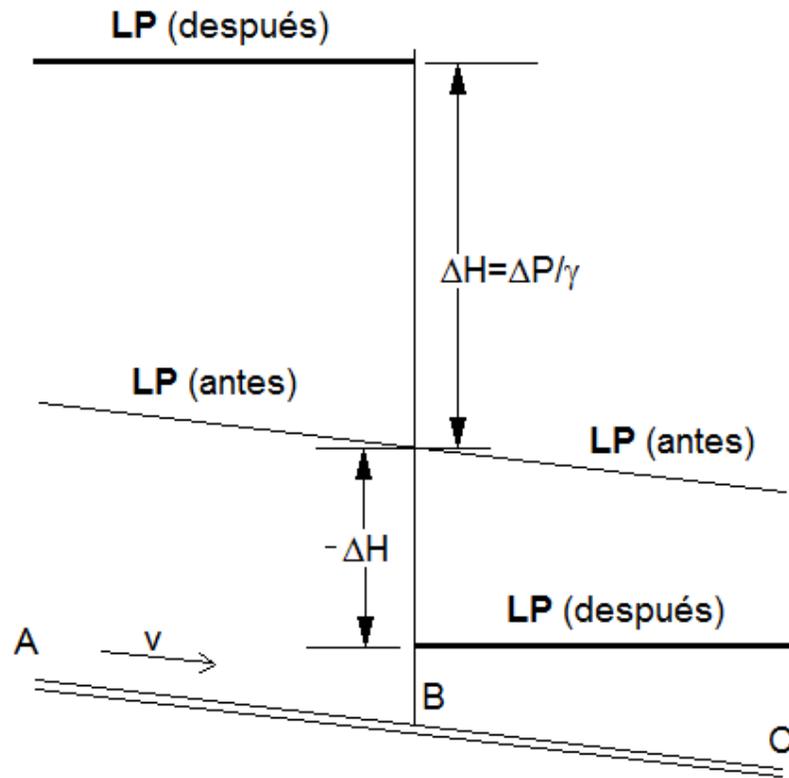


Fig. 18.1 Líneas piezométricas (antes y después del cierre de válvula) en conducción

- 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 ΔP , 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.

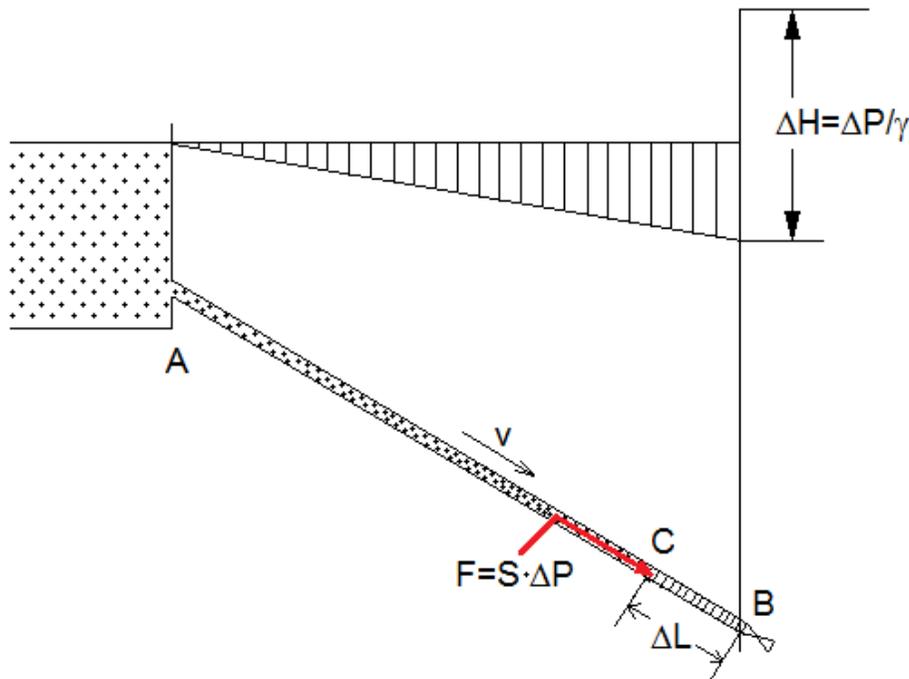
c : velocidad del sonido en el seno del fluido.

Fluido incompresible Tubería inelástica	$a = \infty$
Fluido compresible Tubería inelástica	$a = c$
Fluido compresible Tubería elástica	$a < c$

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

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

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

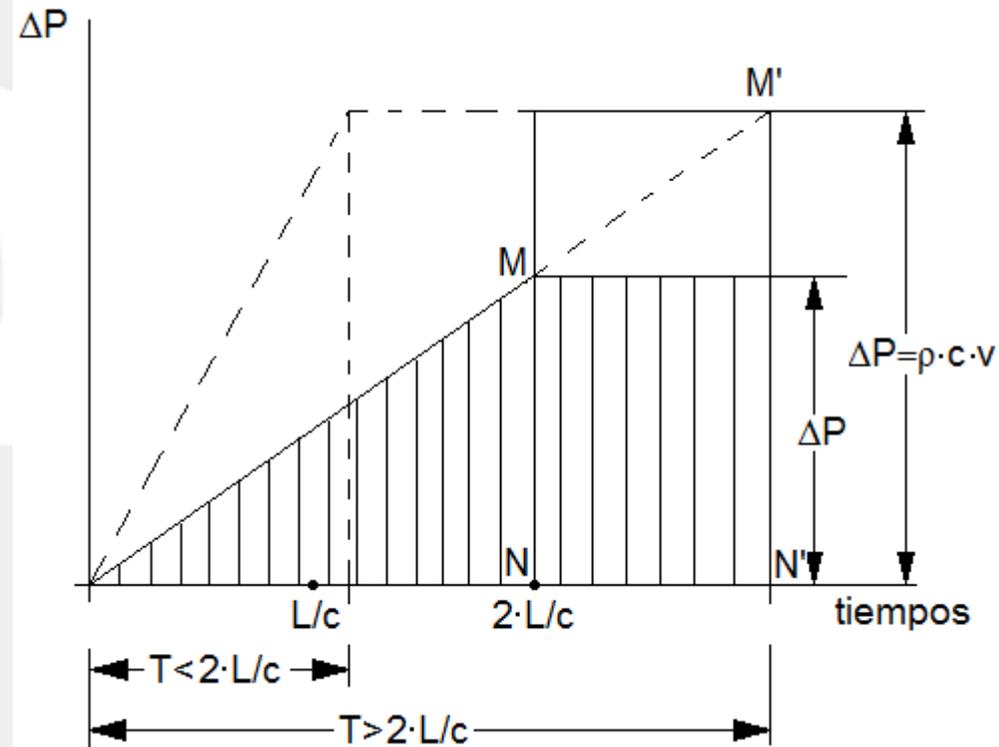


Fig. 18.3 Representación de la sobrepresión para el caso de cierre lento

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

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

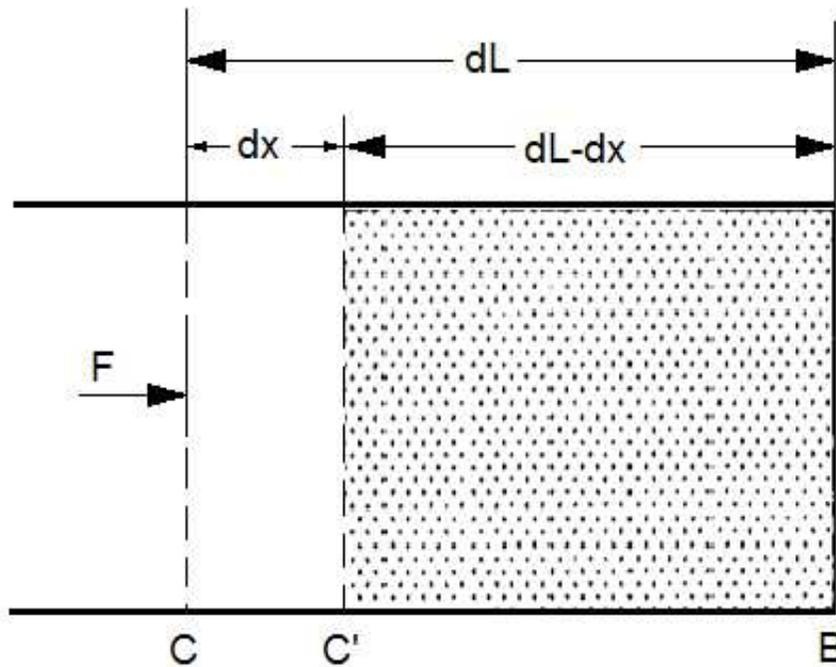


Fig. 18.4 Compresión del fluido sin dilatación del conducto

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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):

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

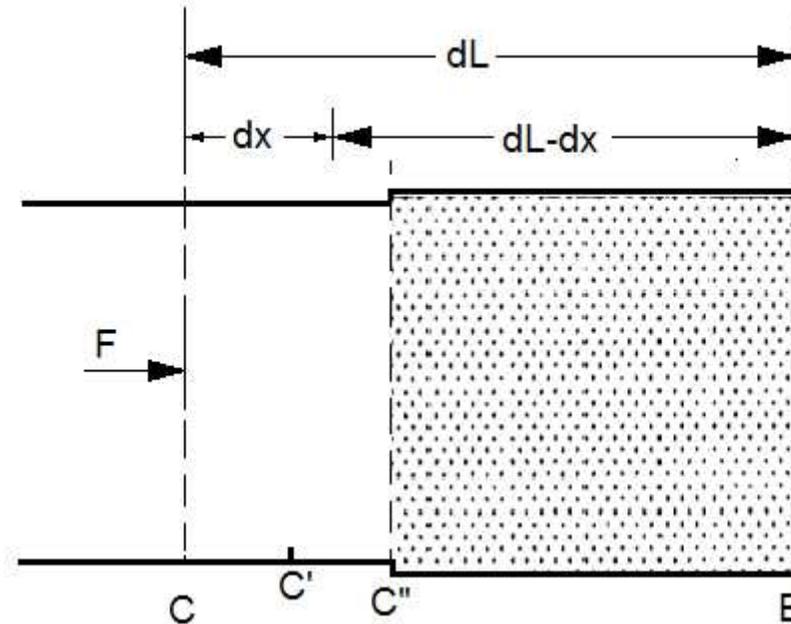


Fig. 18.5 Compresión del fluido con dilatación del conducto

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

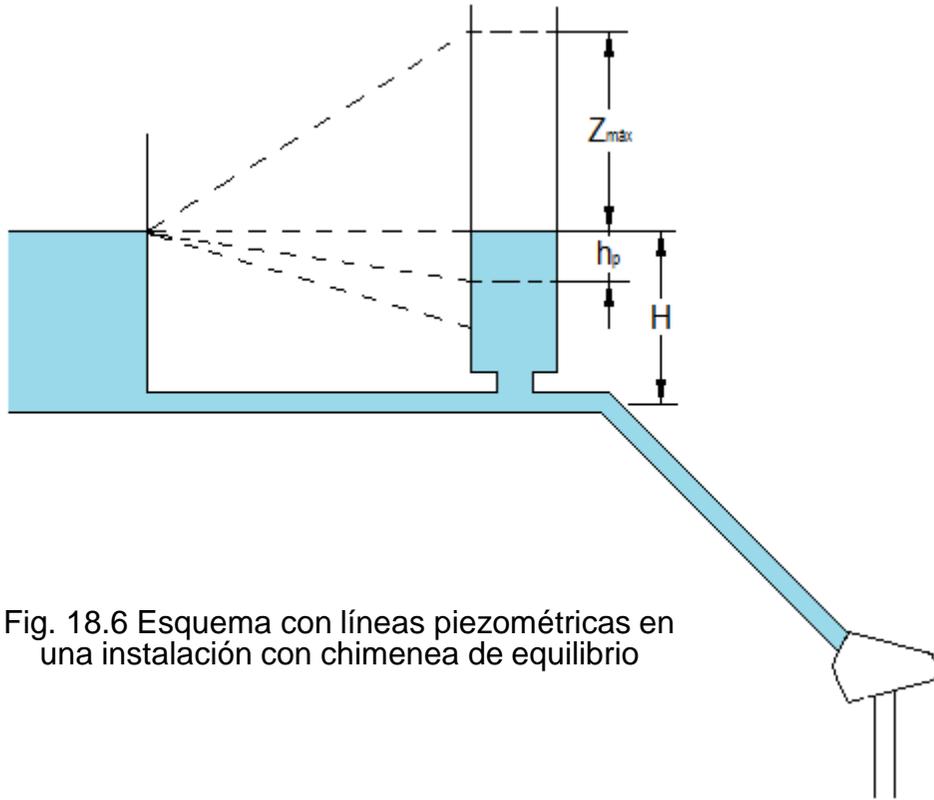


Fig. 18.6 Esquema con líneas piezométricas en una instalación con chimenea de equilibrio

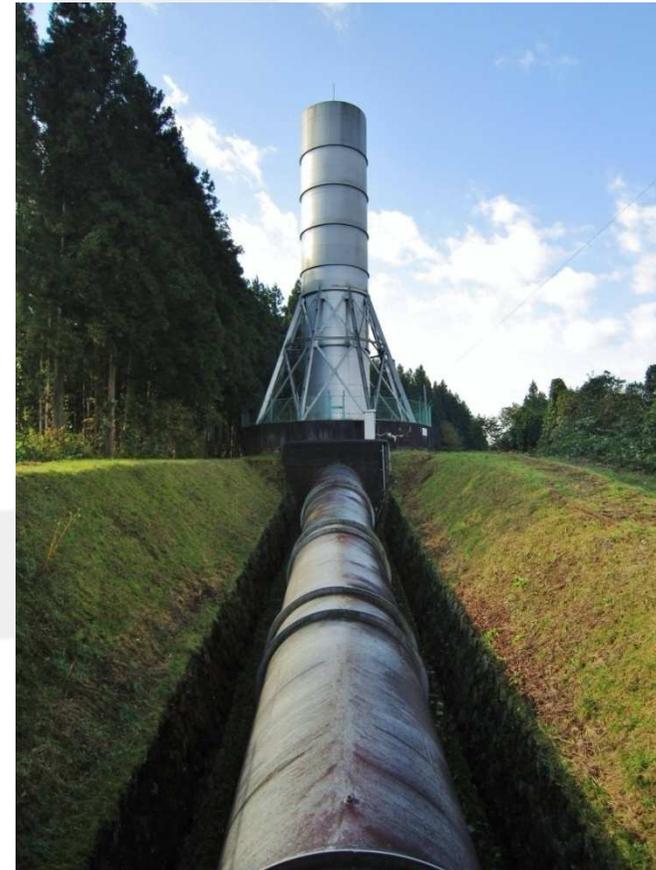


Fig. 18.7 Instalación con chimenea de equilibrio

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

CALDERÍN DE AIRE

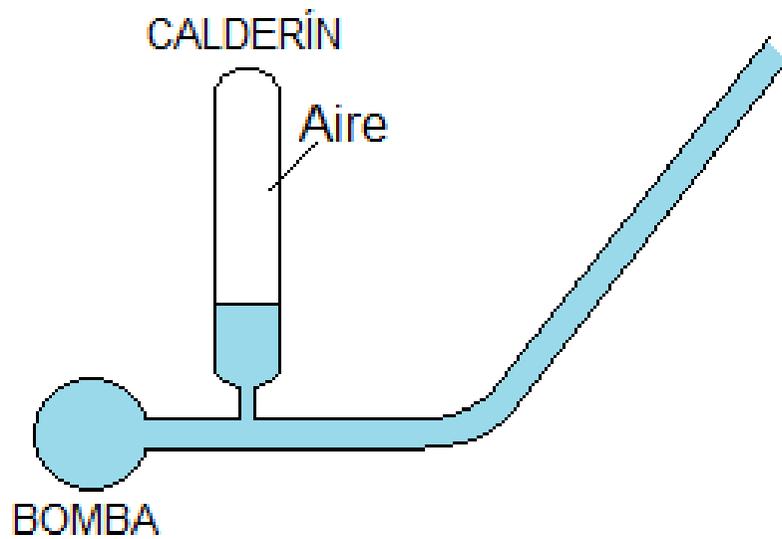


Fig. 18.8 Esquema de una instalación con calderín de aire

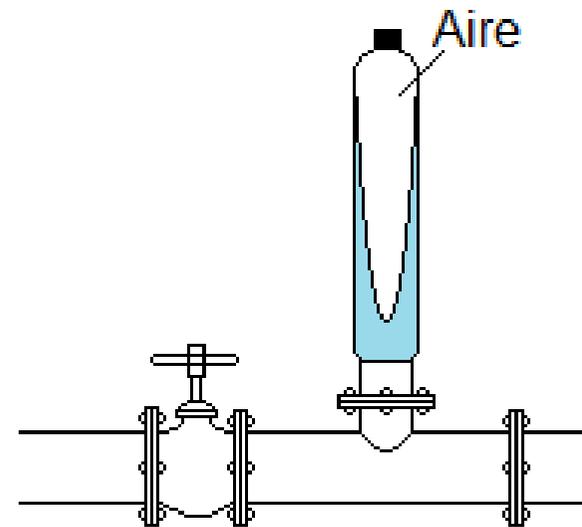


Fig. 18.9 Esquema de una instalación con amortiguador de aire con vejiga

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

VÁLVULAS DE SEGURIDAD

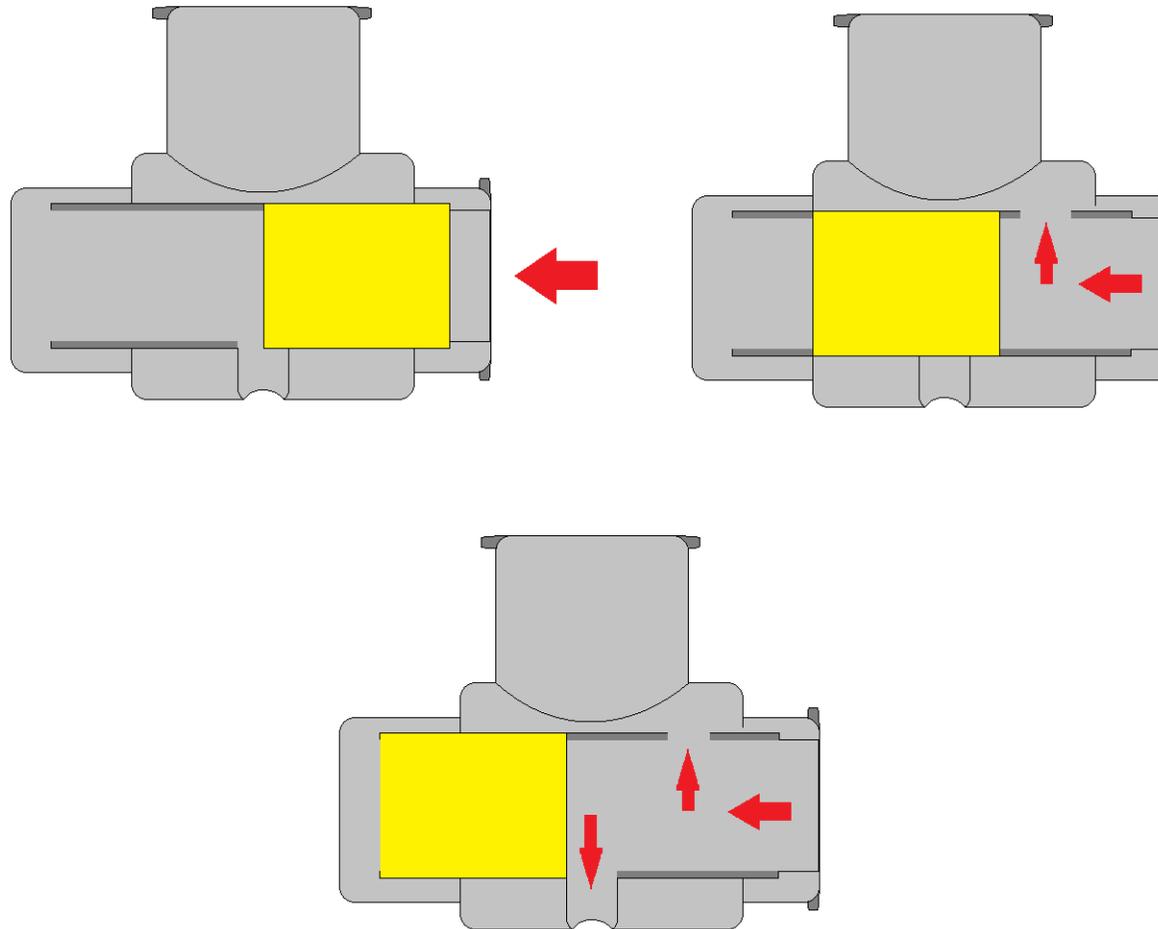


Fig. 18.10 Esquema de funcionamiento de una válvula de seguridad

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 ΔP (Pa) ó ΔH (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:
 $F_3 \approx 2 (p + \Delta p) A \text{ sen } (\alpha/2)$

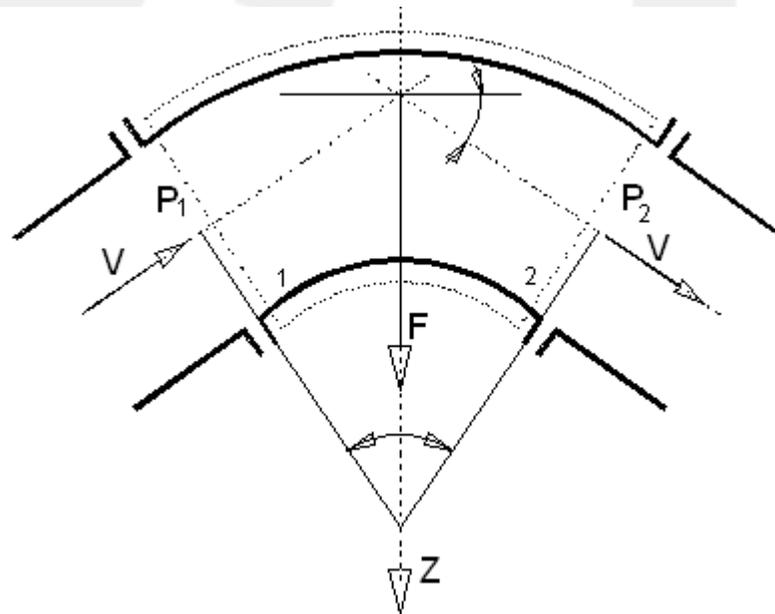


Fig. 18.11 Anclaje de tubería (la sobrepresión juega un papel muy importante)

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_{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.