

# Transitorios Hidráulicos en Tuberías a Presión

Curso posgrado y educación permanente  
**2023**

Docentes: Dr. Ing. Rodolfo Pienika [rpienika@fing.edu.uy](mailto:rpienika@fing.edu.uy)  
MSc. Ing. Laura Rovira [lrovira@ose.com.uy](mailto:lrovira@ose.com.uy)

# DIMENSIONADO DE VÁLVULAS DE AIRE

**Transitorios Hidráulicos en Tuberías a Presión  
2023**

# Aire en sistemas hidráulicos a presión

- Puesta en servicio de la tubería.
- Vaciado:  
Se detienen las bombas, se rompe la tubería, mantenimiento o reparación.
- Agua en condiciones estándar contiene 2% de aire disuelto.

# Problemas del aire atrapado

- ❑ Reducir sección de pasaje
- ❑ Reducir el caudal
- ❑ Generar pérdida de carga adicional
- ❑ Incrementar el consumo de potencia
- ❑ Mala operación de válvulas de control, equipos e instrumentos de medición
- ❑ Corrosión
- ❑ Picos de presión durante un transitorio debido a su compresión dinámica
- ❑ **Reduce eficiencia general del sistema hidráulico a presión**

# Válvulas de aire

## *Elementos hidromecánicos automáticos*

- **Funciones:**
  - Evacuación y admisión de aire durante llenado y vaciado de la tubería, respectivamente.
  - Evacuación de aire liberado durante régimen estacionario: continua.
  - Disminuir caídas de presión durante un transitorio.
  
- **Tipos:**
  - Válvulas de llenado y vaciado.
  - Válvulas de purga de aire.
  - Válvulas de aire combinadas.
  - Válvulas antislam



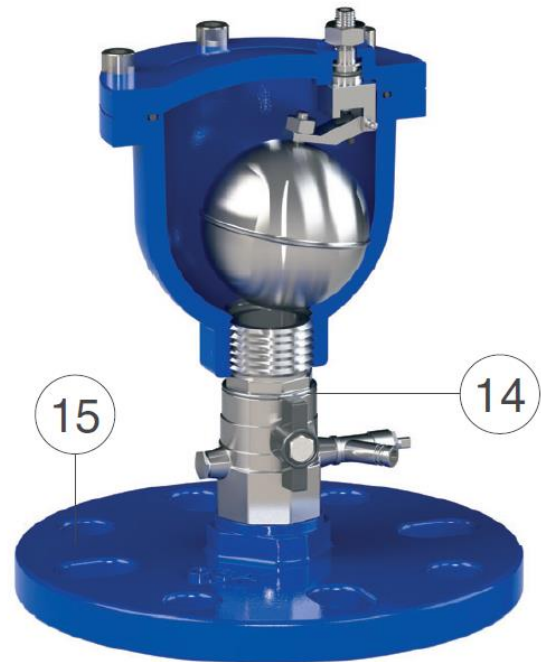
# Válvulas de llenado y vaciado

- ❑ Doble función: expulsión y admisión de aire.
- ❑ Ubicadas en todos los puntos altos de la tubería y en tramos largos.
- ❑ Las dimensiones deben permitir su adecuado comportamiento en ambos casos.



# Válvulas de purga continua

- ❑ Permiten descargar pequeñas cantidades de aire que se generan en la operación continua (orificio pequeño)



# Válvulas de aire combinadas





# Válvulas de aire combinadas

Llenado



Purga continua



Vaciado

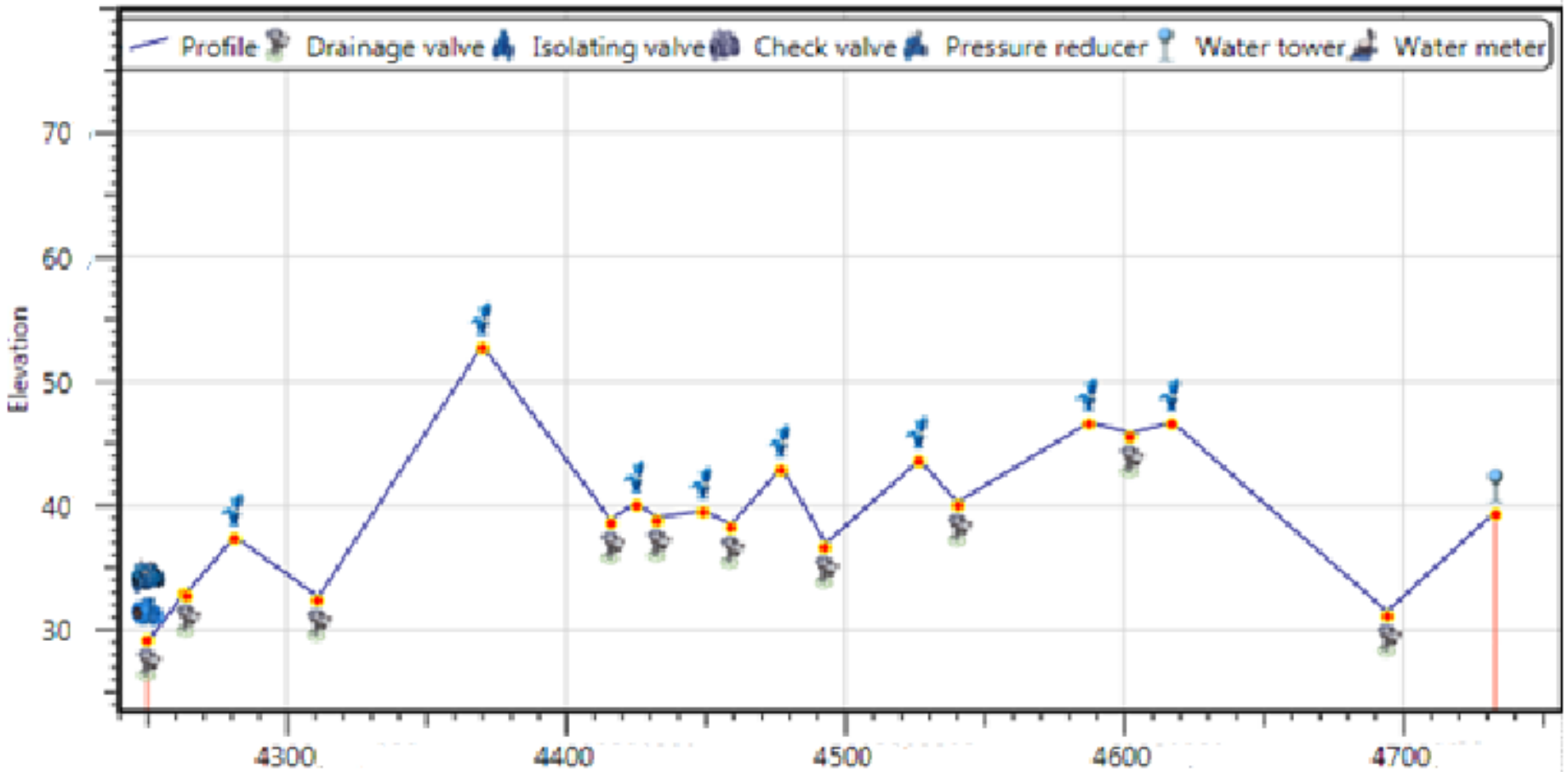


# Válvula de aire con cierre gradual o antislam

- ❑ Separación de columna líquida
- ❑ Posibles llenados a caudal elevado



# Válvulas de aire ubicación

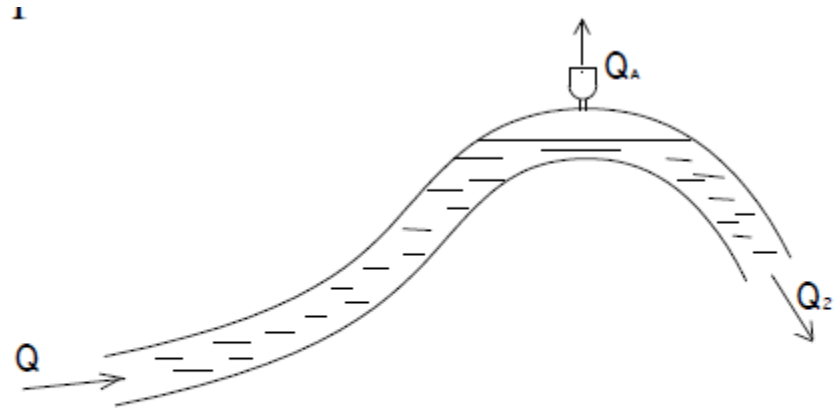


# Válvulas de aire durante el llenado

- **Objetivo:** eliminar el aire contenido en la tubería en forma segura.

■ Se supone  $Q = Q_A$ ;  $Q_2 = 0$

Al cerrarse: 
$$\Delta h = \frac{a}{gA} Q$$



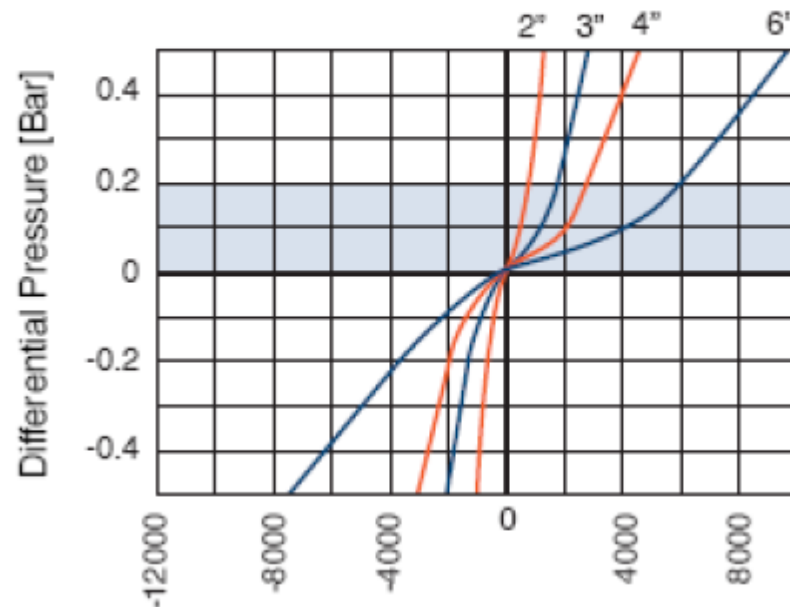
**Debe limitarse el caudal de llenado, de forma que en ningún punto de la tubería la presión supere la presión máxima admisible.**

# Válvulas de aire durante el llenado

- Diferencia de presiones  $< 1.5 \text{ m}$
- $Q_{LL}$  tal que  $v_{LL} = 0.2 - 0.5 \text{ m/s}$

Asegurar velocidades pequeñas para evitar cierre prematuro por fuerza de arrastre.

AIR AND VACUUM FLOW RATE



# Válvulas de aire durante el vaciado

Para:

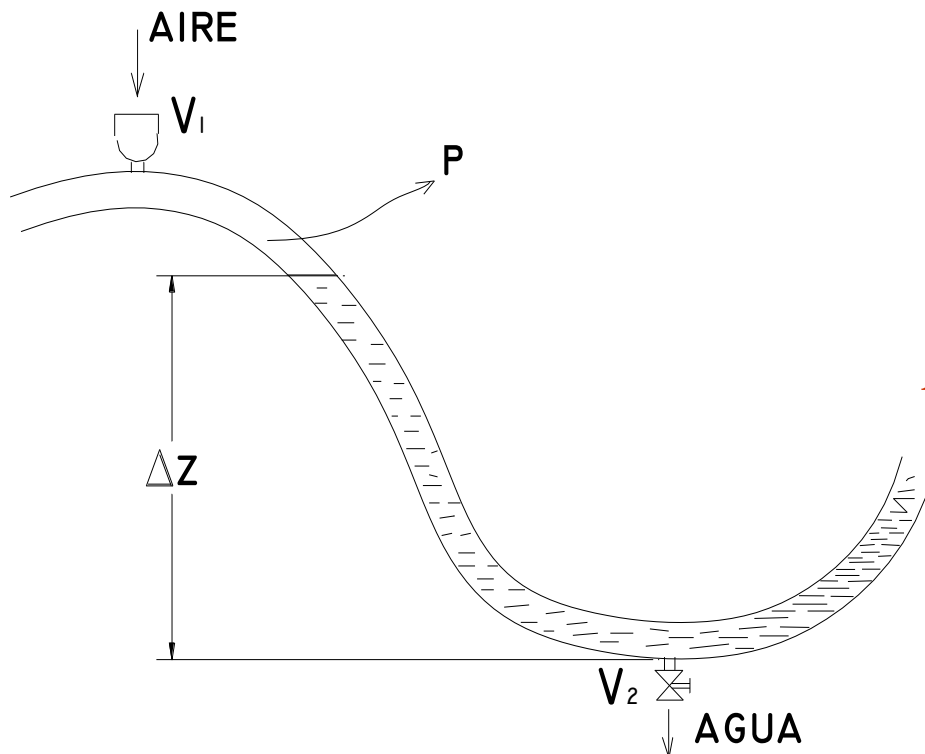
1. Mantener presión interna sobre valores inadmisibles.
2. El vaciado pueda realizarse en tiempo razonable.

$$Q_{\text{vaciado}} = Q_{\text{aire}}$$

Se define de acuerdo al tiempo de vaciado del acueducto que se estime conveniente, teniendo en cuenta el máximo caudal que puede fluir por gravedad hacia la válvula de vaciado completamente abierta.

Se recomienda una diferencia de presiones entre la entrada y salida de la válvula de aire no mayor a 3m.c.a.

# Válvulas de aire durante el vaciado



$$\frac{P}{\gamma_{agua}} = \frac{P_{atm}}{\gamma_{agua}} + k_2 \cdot Q^2 - \Delta Z$$

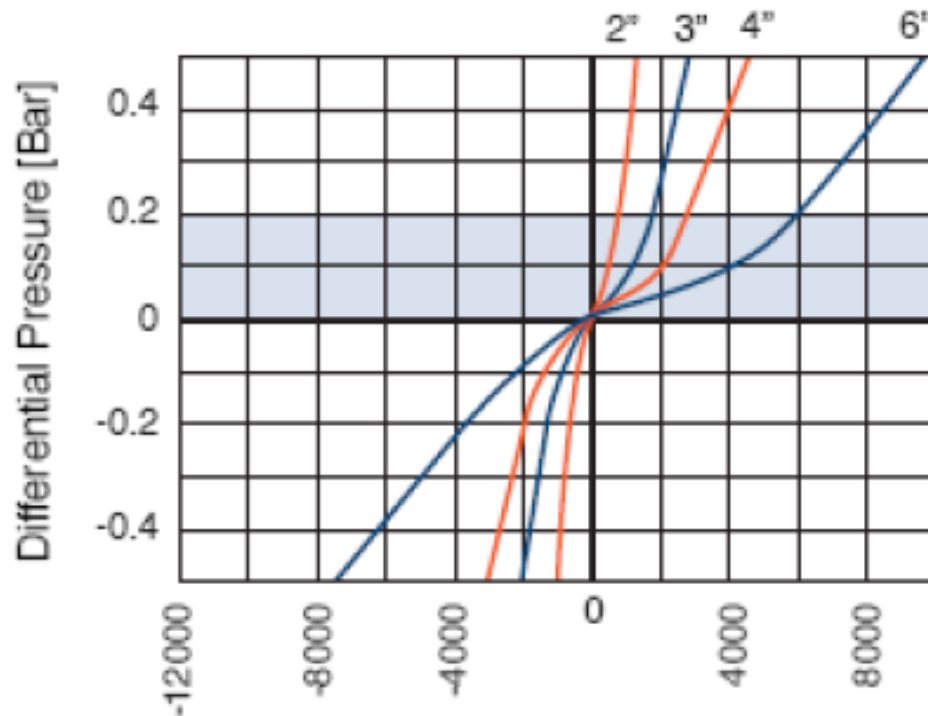
$$\frac{P}{\gamma_{aire}} = \frac{P_{atm}}{\gamma_{aire}} - k_1 Q^2$$

$$P - P_{atm} = - \frac{\gamma_{agua} \Delta z}{\frac{\gamma_{agua} k_2}{\gamma_{aire} k_1} + 1}$$

# Válvulas de aire durante el vaciado

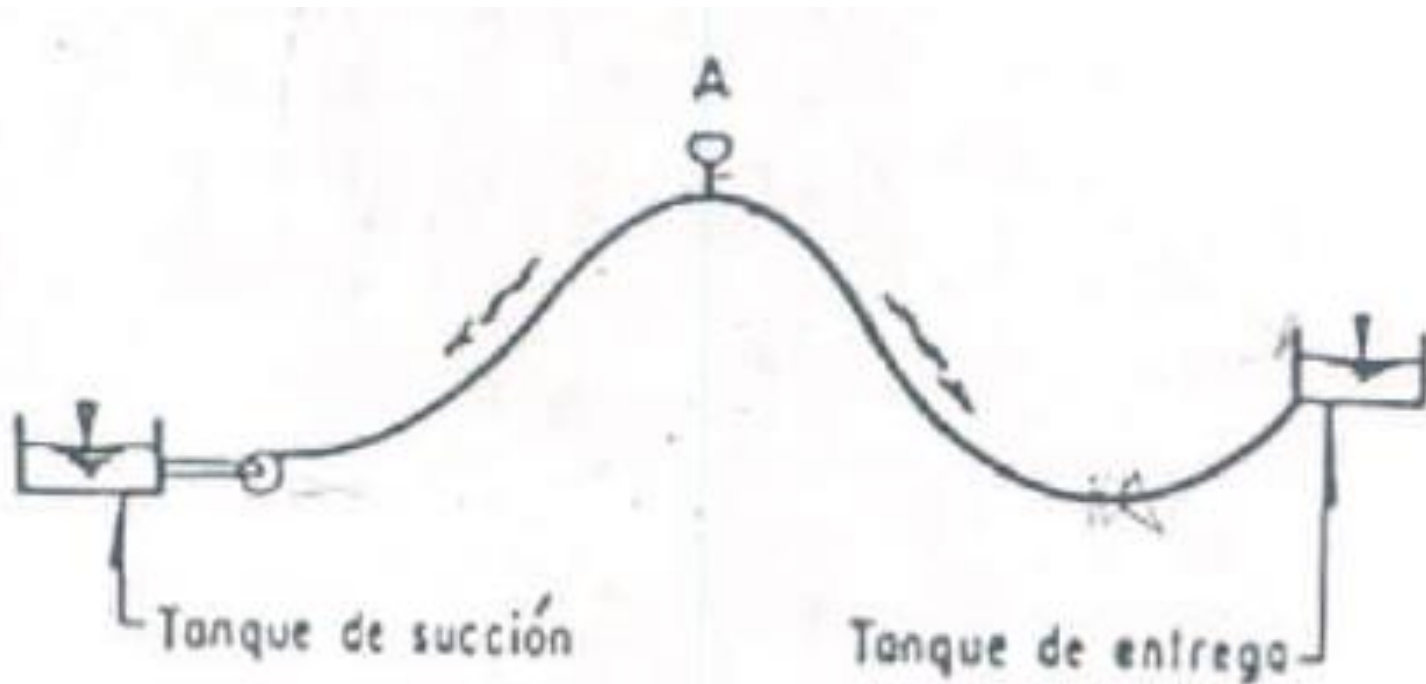
- En general se recomienda una diferencia de presiones entre la entrada y salida de la válvula no mayor a 3m.c.a.

**AIR AND VACUUM FLOW RATE**

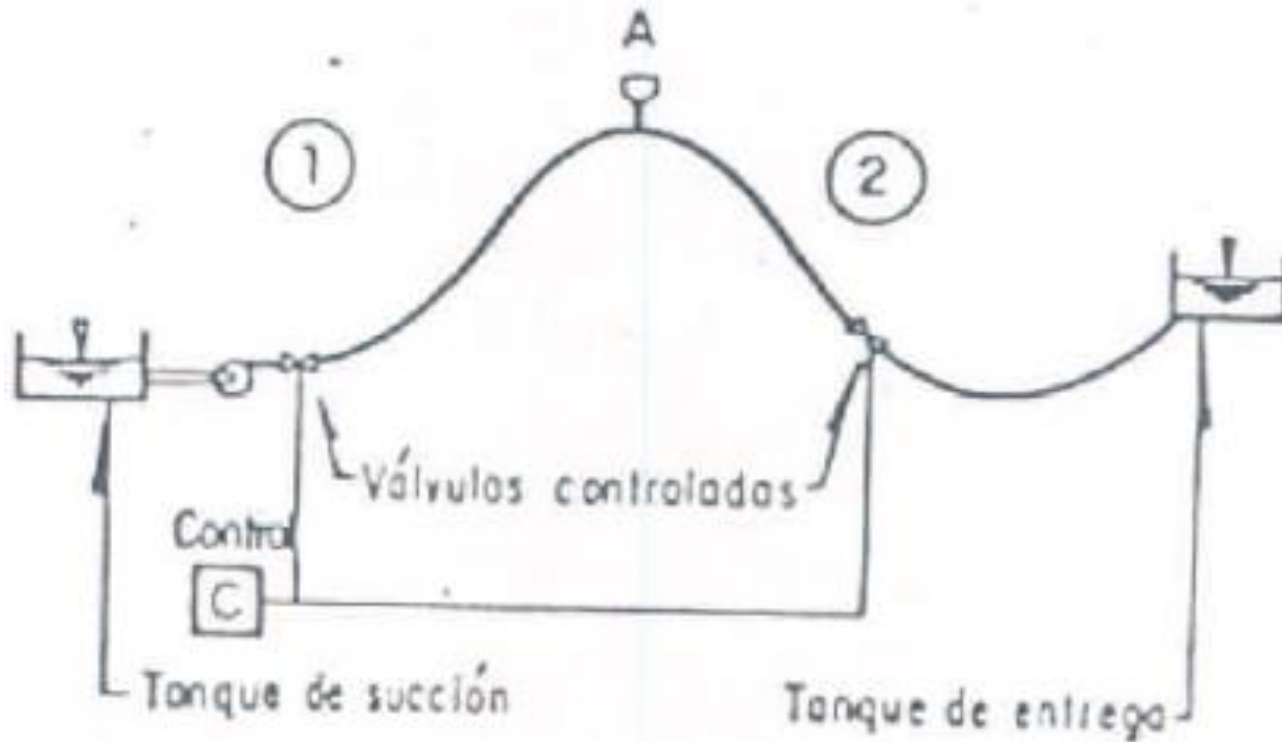




# Puntos altos absolutos del sistema



# Puntos altos absolutos del sistema



# Puntos de separación y acumulación de aire en operación estacionaria

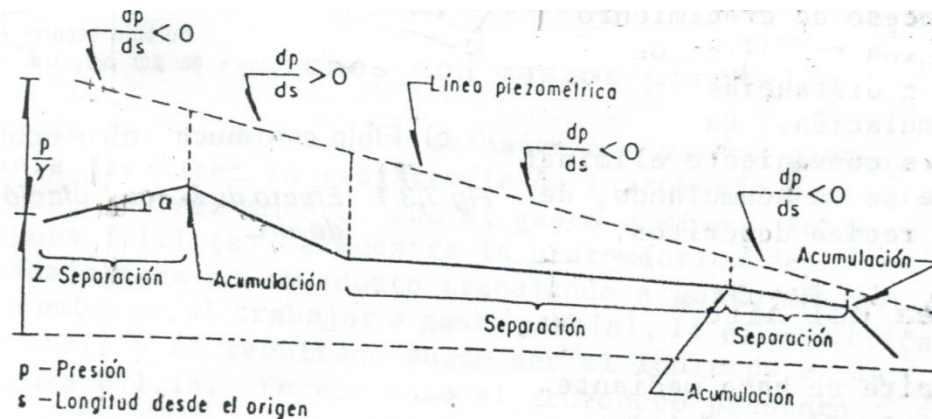
- Contenido de aire disuelto depende de la presión:

Presión absoluta (en atm)	Kg de aire en 1 Kg de agua a 20°
0.025	$0.029 \times 10^{-5}$
1	$1.17 \times 10^{-5}$
5	$5.86 \times 10^{-5}$
10	$11.71 \times 10^{-5}$
15	$17.57 \times 10^{-5}$
20	$23.43 \times 10^{-5}$
25	$29.28 \times 10^{-5}$
30	$35.14 \times 10^{-5}$

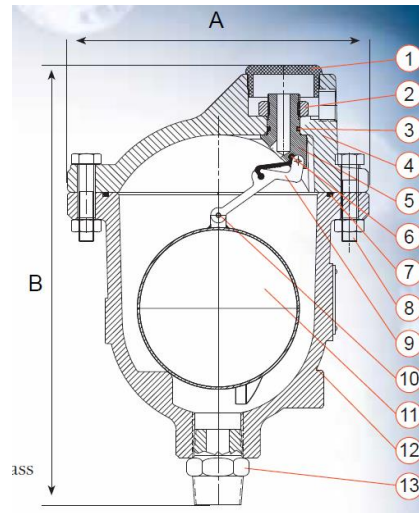
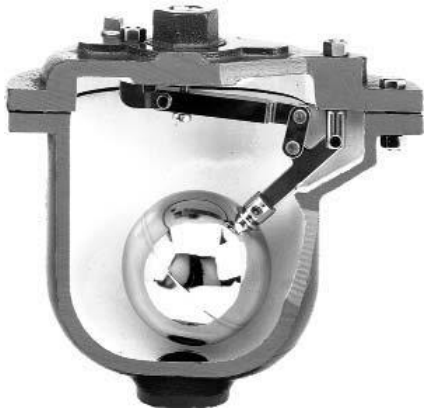
- Puntos de separación y acumulación de aire:

$$\frac{\partial p}{\partial s} = - \frac{\partial z}{\partial s} - \frac{f}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$\frac{\partial p}{\partial s} < 0 \quad \text{si} \quad \frac{\partial z}{\partial s} > - \frac{f}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$



# Válvulas de purga continua



- Durante operación estacionaria:  $p_{\text{int}} \times A_{\text{orif}} \gg m_{\text{bocha}} \times g$
- ⇒ Válvula de llenado y vaciado cerrada.
- Segundo orificio tal que  $A_{\text{orif}_2} < A_{\text{orif}}$
- ⇒ Segundo orificio puede abrir.

# Dimensionado válvulas de purga continua

- ❑ El caudal de aire a liberar se obtiene estimando el caudal de aire liberado en el tramo previo a la válvula con  $\frac{dp}{ds} < 0$
- ❑ Con  $dp$  se estima  $\Delta(\text{kg}_{\text{aire}}/\text{kg}_{\text{agua}})$
- ❑  $Q_{\text{aire}} \times \rho_{\text{aire}} = \Delta(\text{kg}_{\text{aire}}/\text{kg}_{\text{agua}}) \times Q_{\text{agua}} \times \rho_{\text{agua}}$
- ❑ En condiciones estandar:  $Q_{\text{aire\_sc}} = Q_{\text{aire}} \times \rho_{\text{aire}} / \rho_{\text{aire\_sc}}$

# Dimensionado válvulas de purga continua

## AUTOMATIC AIR DISCHARGE

