



# APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS

---

## *UNIDAD TUBERIA FORZADA*

JUAN CARLOS .C.CACCIAVILLANI

# TUBERÍA FORZADA

# TUBERÍA FORZADA

Suponiendo solo sollicitación por presión interior el espesor de la tubería viene definido por la siguiente expresión:

$$e = P * D / (2 * \delta)$$

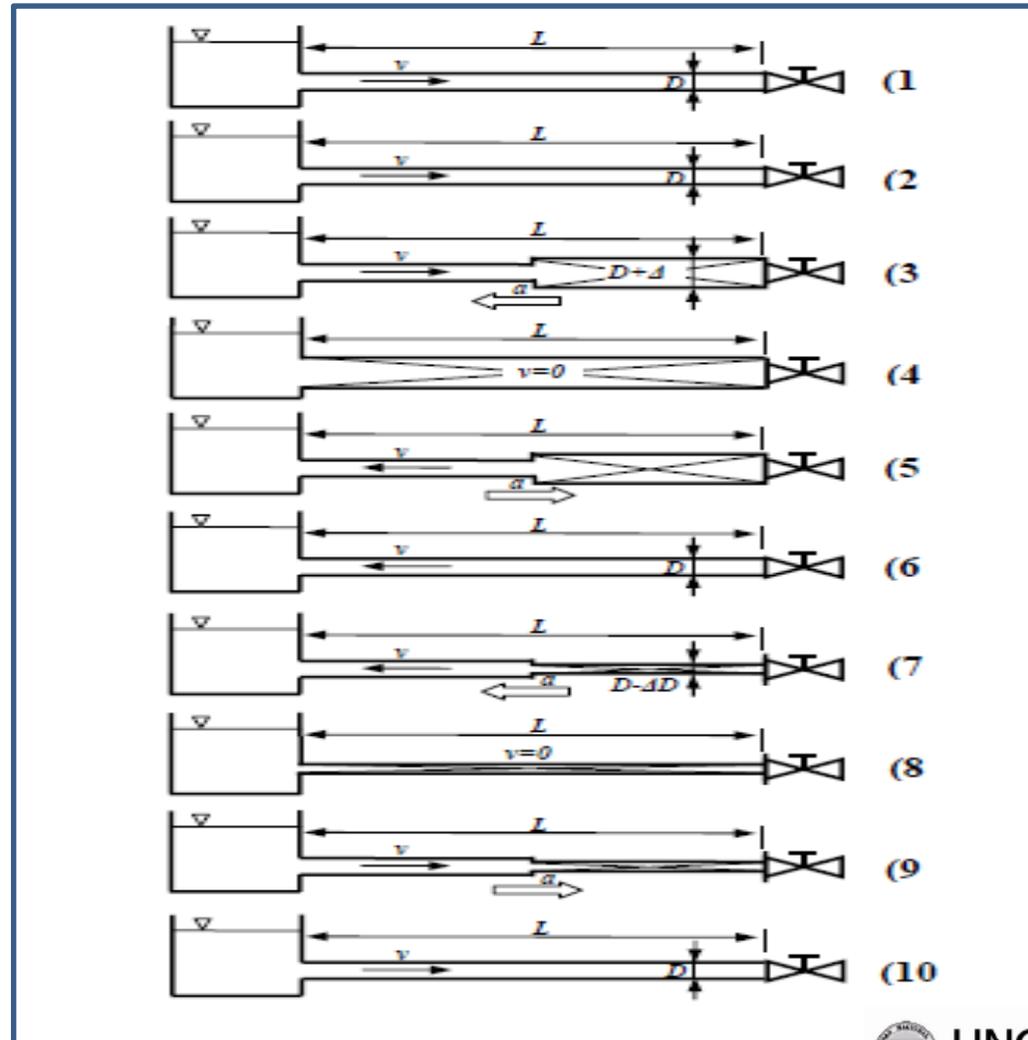
Donde:

- ✓ e - Espesor de la tubería [m/s].
- ✓ P - Presión interna dimensionante [kg/m<sup>2</sup>]
- ✓ D - Diámetro interior del conducto [m].
- ✓  $\delta$  - Tensión circunferencial [kg/m<sup>2</sup>]

Válido para tubos de pared delgada  $\sim \frac{e}{D} < \frac{1}{20}$  y  $L \gg D$

La presión interna dimensionante esta dada por la presión normal de trabajo adicionada las condiciones mas desfavorables de sobre-presión originada por fenómenos transitorios. El espesor mínimo para tuberías de grandes tamaños puede estar dado por condiciones mínimas constructivas.

# TUBERÍA FORZADA – SOBREPRESIÓN. CIERRE INSTANTÁNEO



# TUBERÍA FORZADA- SOBREPRESIÓN

Teoría de la columna rígida de agua: Paredes rígidas. Perdida por fricción despreciable. Velocidad y presión de fluido uniforme en cualquier sección transversal. Tubería de diámetro y nivel de reservorios constante.

En un cierre instantáneo el fluido sufre una brusca desaceleración con lo que en una tubería rígida y con un cierre uniforme se genera una fuerza y correspondiente presión:

$$F = -mDv/Dt$$

$$m = \rho LA$$

$$Dp = F/A$$

$$Dp = \rho * L * v/tc$$

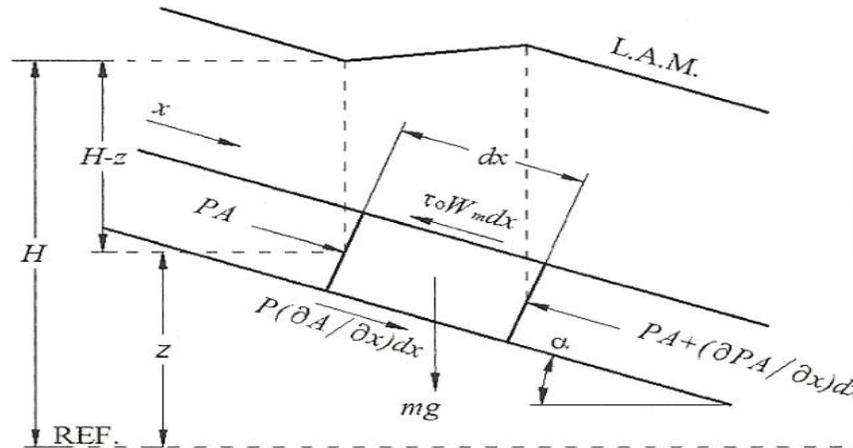
- ✓ Dp = Incremento de presión
- ✓ L= Longitud de tubería
- ✓ A= Sección transversal de tubería



# TUBERÍA FORZADA- SOBREPRESIÓN

Teoría de la columna elástica del agua: considera la fricción y la deformación de las paredes de la tubería.

Condición de equilibrio dinámico: Las fuerzas de un segmento de agua en dirección  $x$  son las producidas por la presión en ambas caras transversales, el peso del elemento, la resistencia producida por la viscosidad ( esfuerzo cortante por el perímetro mojado  $W_m$ ) y la presión del fluido en la periferia del elemento debida al cambio de sección.



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

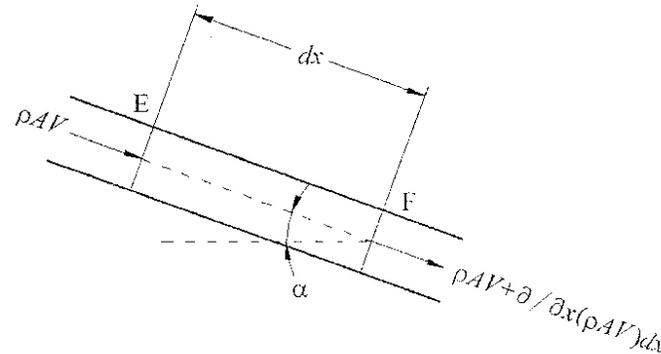


FACULTAD  
DE INGENIERÍA

$$PA - \left( PA + \frac{\delta(PA)}{\delta x} * dx \right) + \frac{P\delta A}{\delta x} * dx + mg \sin \alpha - \zeta Wm dx = m dv/dt$$

# TUBERÍA FORZADA- SOBREPRESIÓN

Condición de continuidad: Principio de conservación de la masa



$$\rho AV - \left( \rho AV + \frac{\delta(\rho AV)}{\delta x} * dx \right) = \frac{\delta m}{\delta t} = \delta(\rho A dx) / \delta t$$

El tratamiento de estas ecuaciones puede ser resuelto con diferentes metodologías, entre ellas el método de las características hoy día el utilizado para programas de resolución de fenómenos transitorios y que consiste en transformar las ecuaciones en derivadas parciales en un par de ecuaciones diferenciales totales que puedan ser resueltas numéricamente.

# TUBERÍA FORZADA - SECCIÓN TRANSVERSAL



Ecuación de Micheaud: Presión máxima en cierre lento uniforme ( $t_c > 2 L/a$ ) total del obturador.

$$Dp = 2 * L * v / (t_c * g)$$

- ✓  $Dp$  = Incremento de presión [ m ]
- ✓  $L$  = Longitud de tubería forzada entre toma y obturador [ m ]
- ✓  $v$  = Velocidad del flujo en la tubería [ m/s ]
- ✓  $g$  = aceleración de la gravedad [ m/s<sup>2</sup> ]
- ✓  $T_c$  = Tiempo de cierre [ s ]



# TUBERÍA FORZADA - CELERIDAD

$$a = \left( \frac{K}{\rho} \right) / \left( 1 + \frac{K \cdot D}{E \cdot \delta} \right)^{0,5}$$

Donde:

- ✓  $a$  es la celeridad de la onda elástica del fluido en la tubería, [m/s].
- ✓  $K$  es el módulo de elasticidad del fluido (módulo de Bulk), [N/m<sup>2</sup>]
- ✓  $\rho$  es la densidad del líquido, [kg/m<sup>3</sup>].
- ✓  $D$  es el diámetro de la tubería, [m]
- ✓  $E$  es el módulo de elasticidad de la tubería, [N/m<sup>2</sup>].
- ✓  $\delta$  es el espesor de la tubería, [m]

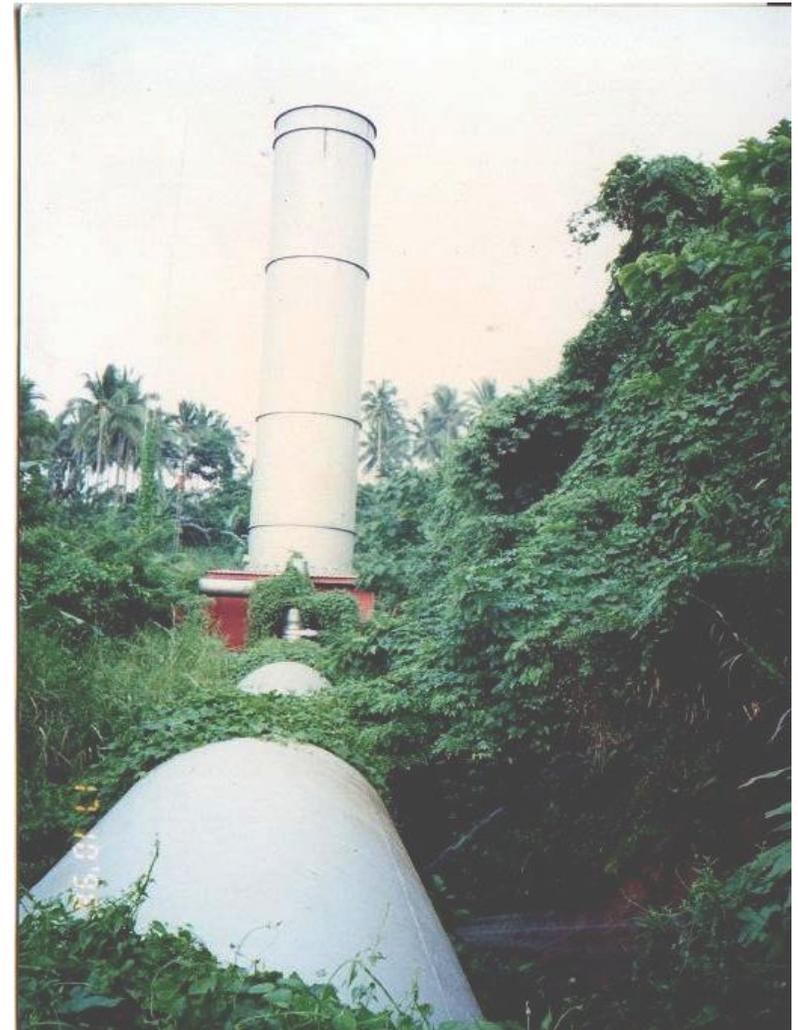
Si  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  y  $K = 2,03 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$  la celeridad de una onda elástica en el agua viene determinada por:

$$a_0 = \left( \frac{K}{\rho} \right) = 1425 \text{ m/s}$$

# PROTECCIONES

Como acciones básicas para control de incrementos de presión se mencionan:

- ✓ Incrementar la magnitud de los conductos.
- ✓ Incorporar una chimenea de equilibrio.
- ✓ Regular la tasa de incremento de apertura o cierre de las válvulas o distribuidor.

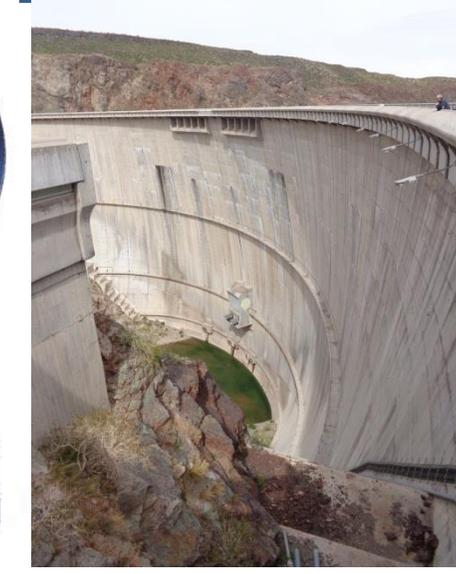


# PROTECCIONES

- ✓ Disminuir la aceleración de la unidad por incremento del momento de inercia de las partes rotantes, principalmente del generador a los fines de incrementar el tiempo de cierre.
- ✓ Adicionar o sustraer cantidad de agua proveyendo válvulas reguladoras o válvulas.

La mejor solución puede ser una combinación de alternativas, pero debe tenerse en cuenta que las variaciones efectuadas (chimenea de equilibrio, la variación del diámetro de los conductos o re-dimensionamiento de la conducción) pueden cambiar la frecuencia natural del sistema por lo que deben reestudiarse posibles efectos de resonancia.





# APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS

## *UNIDAD* *TUBERIA FORZADA*