



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

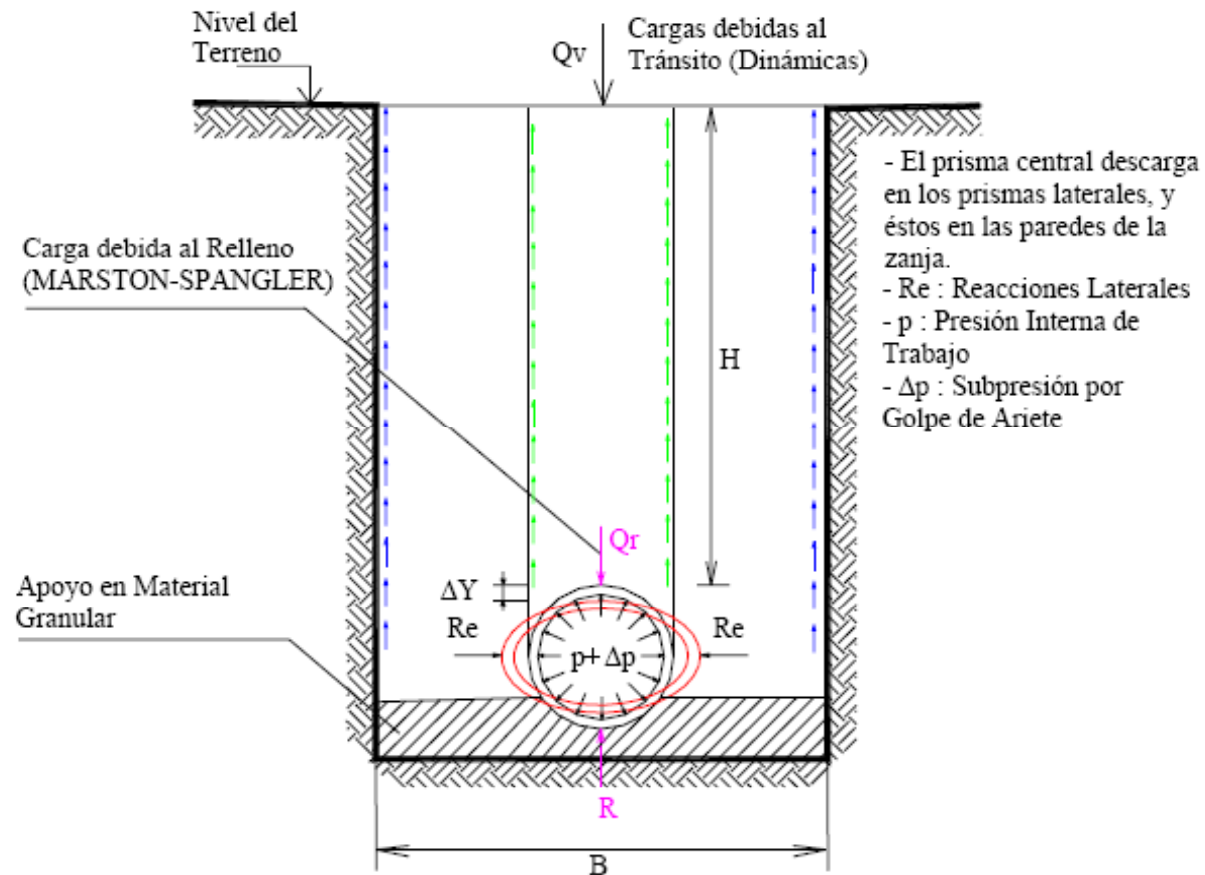
## **ABASTECIMIENTO DE AGUAS**

TEMA 16  
Cálculo  
mecánico  
de tuberías

Juan García Bermejo

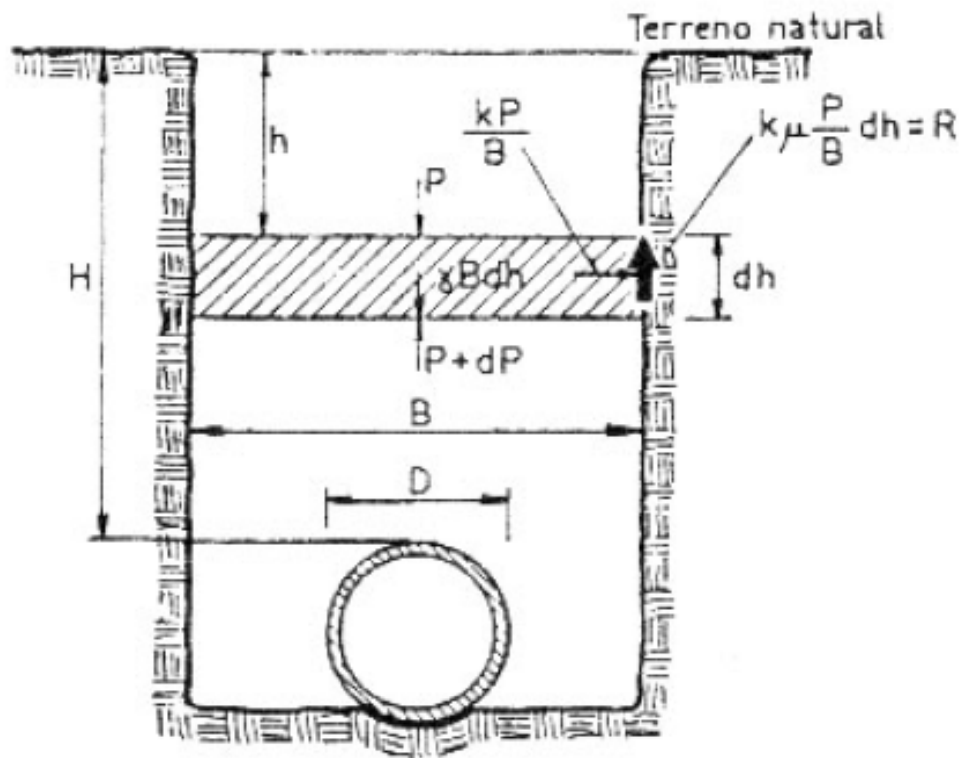
### TUBERÍAS ENTERRADAS

Las cargas actuantes sobre la tubería son las siguientes:



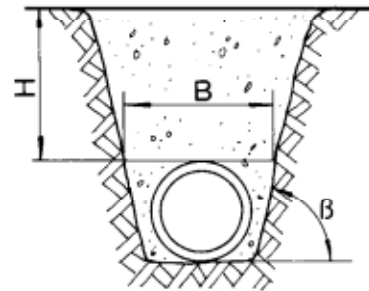
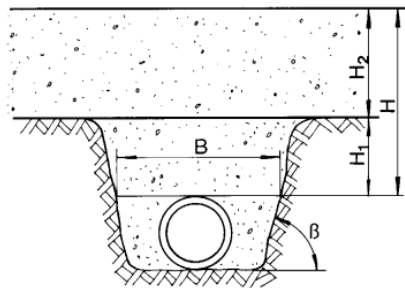
## Características de la instalación

Teoría de Marston → El terreno de la zanja encuentra la oposición del terreno natural consolidado existente, produciéndose un esfuerzo cortante.



$$C_Z = \left( \frac{1 - e^{-\frac{2k\mu H}{B}}}{\gamma \cdot B} \right)$$

$$P_V = C_Z \cdot \gamma \cdot B \cdot H$$

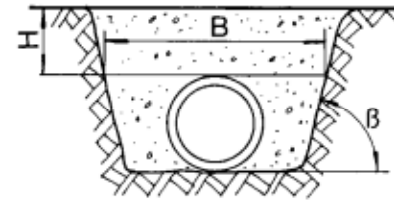


$$B \leq 2D_n \text{ y } H \geq 1,5 B \quad (1)$$

o

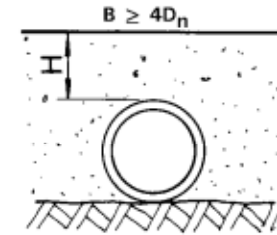
$$2D_n < B \leq 3D_n \text{ y } H \geq 3,5 B \quad (2)$$

a<sub>1</sub>) Zanja estrecha



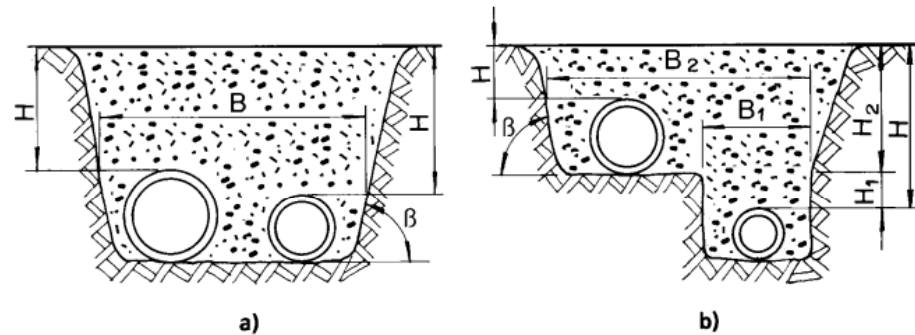
No cumple ninguna de las condiciones (1) y (2)

a<sub>2</sub>) Zanja media

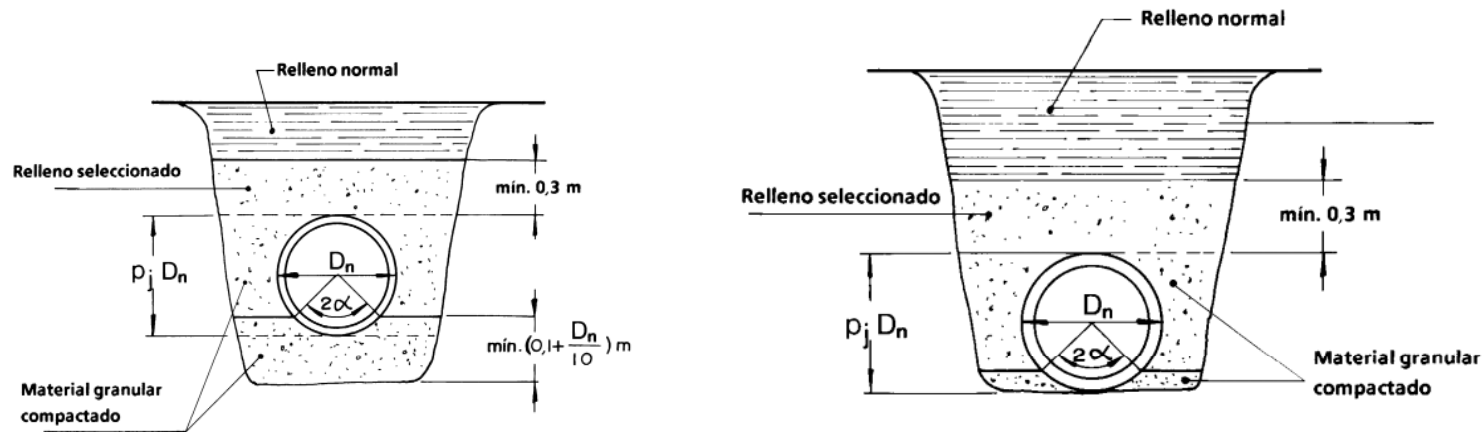


a<sub>3</sub>) Bajo terraplén

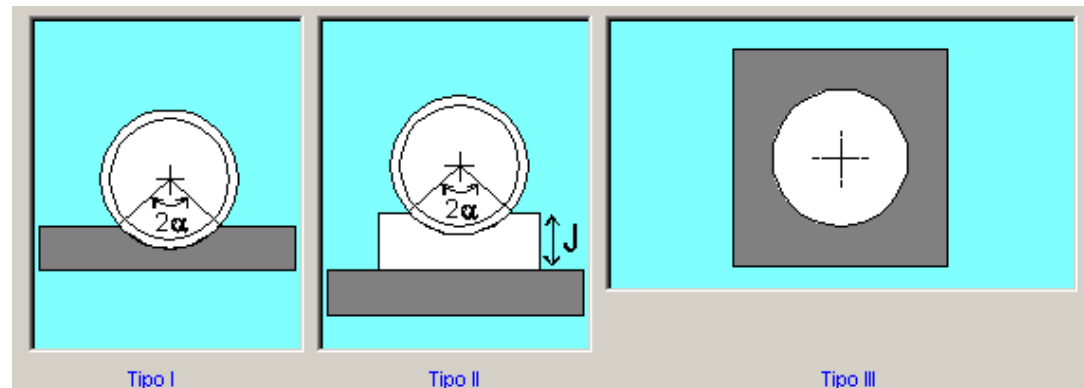
El tipo de carga influye en la carga del terreno sobre la tubería:



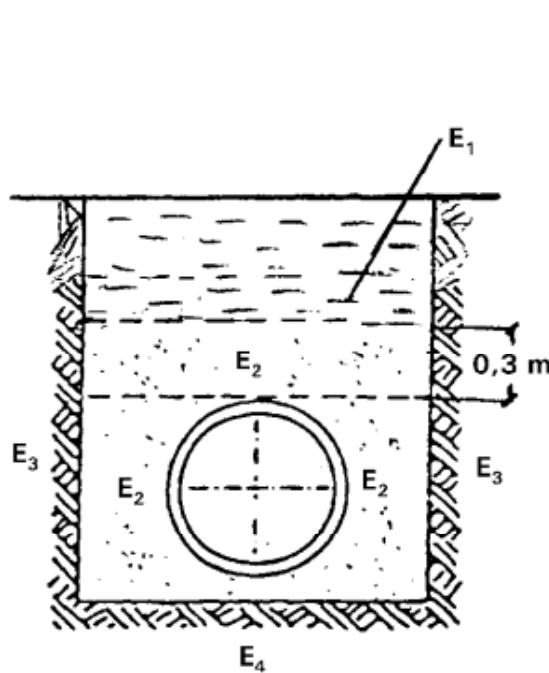
Características de apoyo y relación de proyección ( $2\alpha$ ):



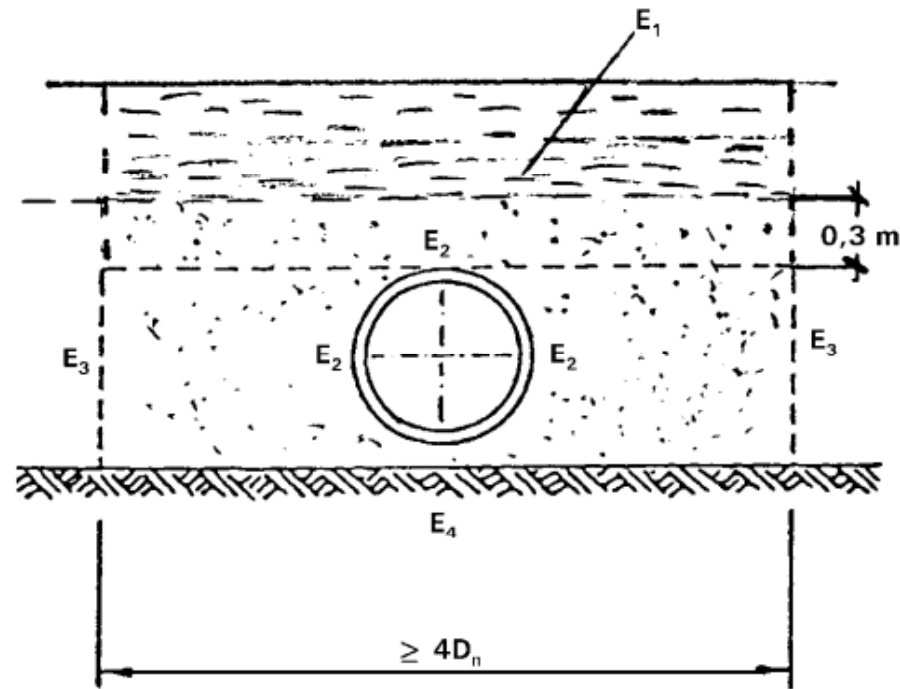
Influye en la capacidad de deformación del tubo y la distribución de cargas que recibe:



Características de los suelos:



a) Zanja estrecha o ancha



b) Zanja bajo terraplén

Diferentes módulos de compresión, diferentes módulos de rozamiento interno, diferentes coeficientes de empuje.



## Capítulo 5. REDES DE DISTRIBUCIÓN

### Tema 16. Cálculos mecánicos de tuberías



## DIFERENCIA ENTRE CONDUCCIONES FLEXIBLES Y RÍGIDAS

Hasta ahora el criterio era el siguiente:

Tubería flexible  $\rightarrow S_c < 10 \text{ T/m}^2$

Tubería rígida  $\rightarrow S_c > 20 \text{ T/m}^2$

Pero realmente, la diferencia depende del diámetro, el espesor, las características del terreno, la calidad del material de abrigo y su puesta en obra.

Tubo rígido  $\rightarrow$  Aquel que no soporta deformaciones  $> 1$  por mil de su diámetro sin sufrir daños.

Tubo flexible  $\rightarrow$  Aquel que soporta deformaciones  $> 3\%$  de su diámetro sin sufrir daños.

Las tuberías flexibles se pueden ovalar, aumenta el diámetro horizontal y movilizan el empuje pasivo del terreno (hasta un 20% sin colapsarse, aunque sólo se admite el 6% por funcionalidad juntas estancas)

Nuevos criterios de diferenciación:

$$S_r = \frac{E'}{8 \cdot S_c (1 - \nu_s^2)}$$

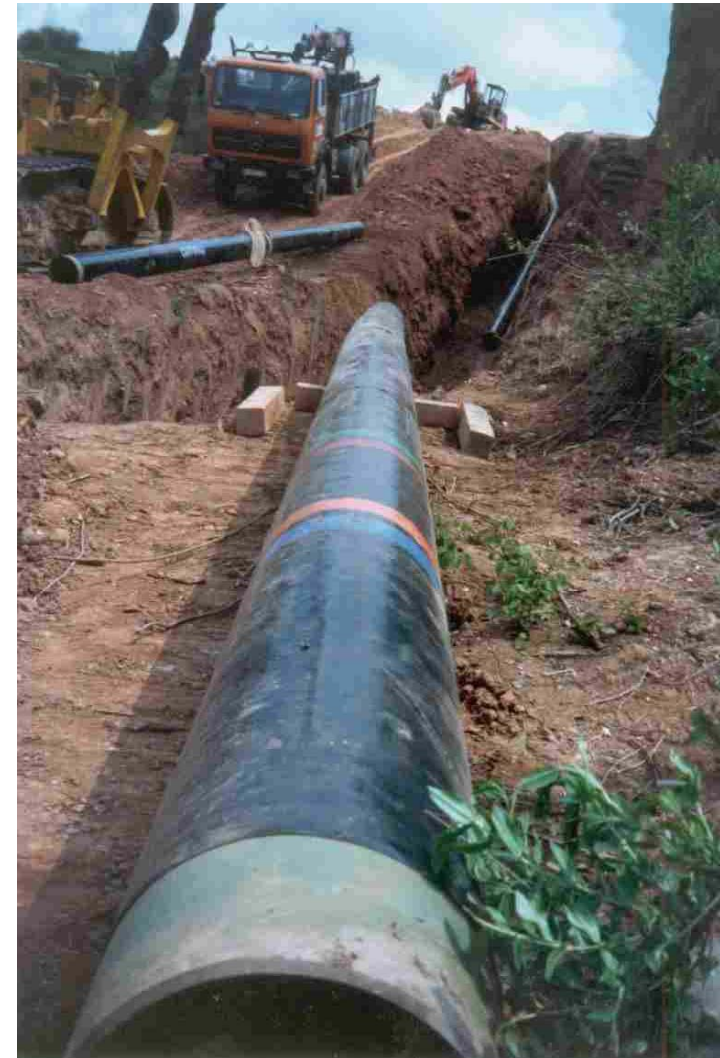
siendo:

$S_c$  → Rigidez circunferencial de la tubería

$E'$  → Módulo de elasticidad del terreno

$\nu_s$  → Módulo de Poisson del suelo, generalmente se usa 0,3

Si  $S_r < 9$  → Tubería rígida

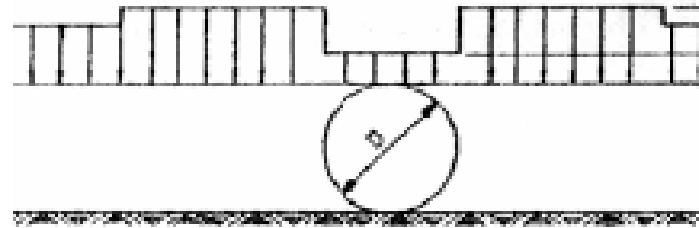




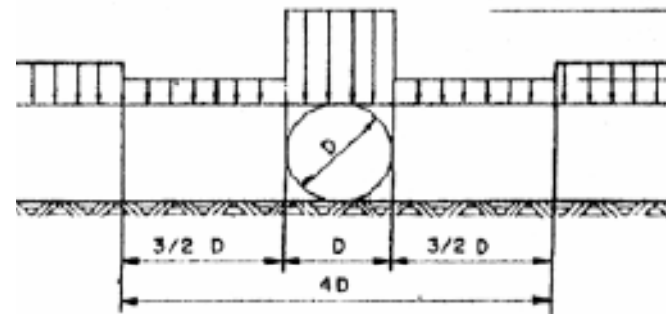
## CARGAS

Factor de concentración de cargas ( $m$ ) → Depende de la rigidez de la tubería, características del apoyo y módulo de elasticidad terreno – tubería.

TUBERÍA  
FLEXIBLE



TUBERÍA  
RÍGIDA



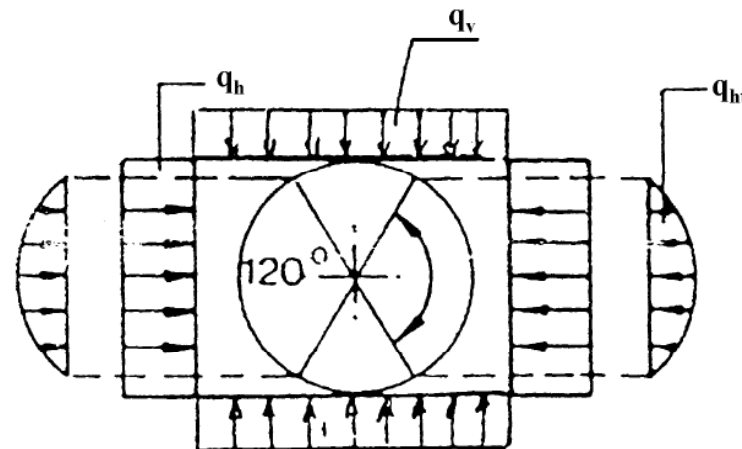
Presión vertical de tierras sobre tubería (UNE 53331):

$$Q_V = m_V \cdot C_Z \cdot \gamma \cdot H$$

Presión horizontal de tierras sobre tubería (UNE 53331):

$$Q_H = m_H \cdot K_{act} \cdot C_Z \cdot \gamma \cdot H$$

$$Q_{HT} = \text{Coeficiente\_reacción\_terreno} \cdot (Q_V - Q_H)$$

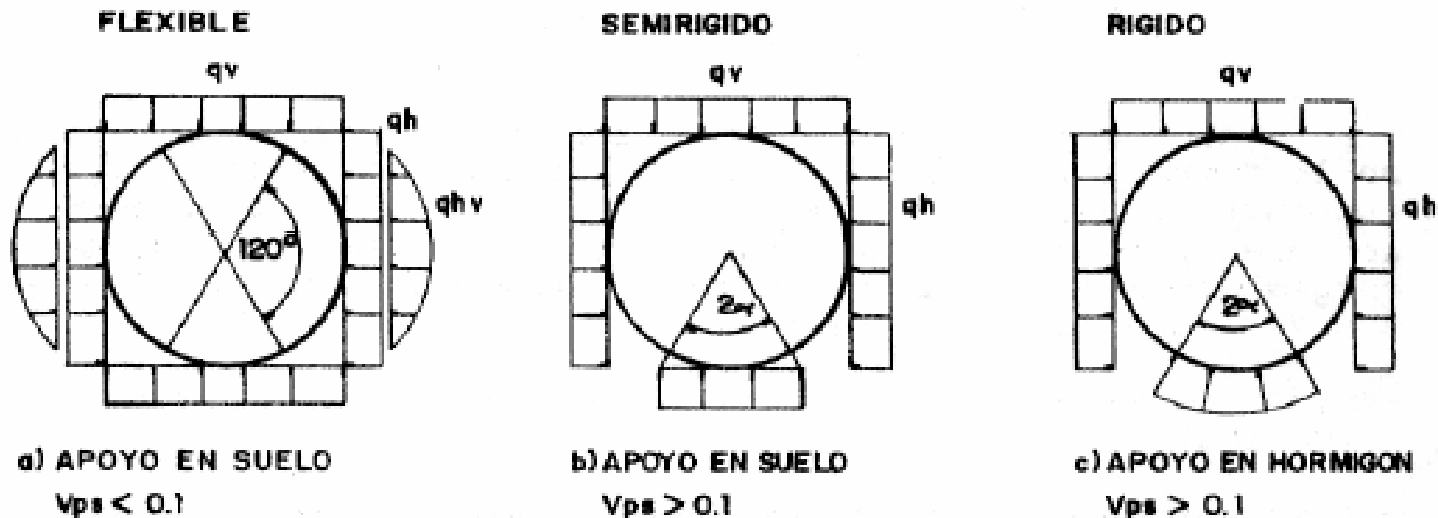


Cargas dinámicas debidas al tráfico:

$$P_{VC} = P_C \cdot \varphi \cdot C_C$$

Sobrecargas concentradas:

$$P_{VR} = C_D \cdot P_D \cdot \varphi$$



### COMPROBACIONES

- a) Definición de carga crítica de pandeo → En elementos comprimidos esbeltos se puede dar un desplazamiento importante transversal a la dirección de la compresión que hace aparecer una flexión adicional.

$$crit - q_{vt} = 2 \cdot \sqrt{S_t \cdot S_{sh}}$$

- b) Tensiones debidas a presiones interiores menores que las tensiones de tracción admisible.

$$\frac{PN \cdot DN}{2e} > \sigma_s \cdot C$$

- c) Tensiones tangenciales menores que la tensión admisible en clave, riñones y base.

$$\sigma_s = \frac{N}{S} \pm \frac{M \cdot 100}{W} \cdot \alpha_k \cdot 10$$

siendo:

$S$  = Área de la sección longitudinal de la pared del tubo por unidad de longitud, ( $\text{cm}^2/\text{m}$ )

$W$  = Momento resistente de la sección ( $\text{cm}^3/\text{m}$ )

$$W = \frac{100 \cdot e^2}{6}$$

$\alpha_k$  = factor de corrección por curvatura que tiene en cuenta las fibras periféricas interiores y exteriores:

d) Deformaciones < 1% en tuberías rígidas y 5% en flexibles:

- Según UNE 53331:

$$\Delta D_V = |C_V| \cdot \frac{q_{vt} - q_h}{S_t} \cdot 2 \cdot r_m \quad \delta = |C_V| \cdot \frac{q_{vt} - q_h}{S_t} \cdot 100$$

q en kN/m<sup>2</sup>

δ en %

- Según UNE 545:

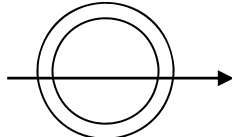
$$\delta = \frac{100 \cdot K_A \cdot (Q_{VT})}{8 \cdot S_C + (0,061 \cdot E')}$$



### TUBERÍAS AÉREAS

Cálculo de la separación entre apoyos:

- Tubería considerada como viga biapoyada

$$M = \frac{P \cdot L}{8} \quad \sigma = \frac{M \cdot h}{2 \cdot I} \quad \rightarrow \quad I = \frac{\pi}{8} \cdot D^3 \cdot e$$


- Carga considerada: el peso propio del agua

$$P = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \cdot \gamma$$

- Flecha producida en la viga biapoyada

$$f = \frac{5 \cdot P \cdot L^3}{384 \cdot E \cdot I}$$

- Separación entre apoyos que cumpla tensión de tracción y flecha máxima

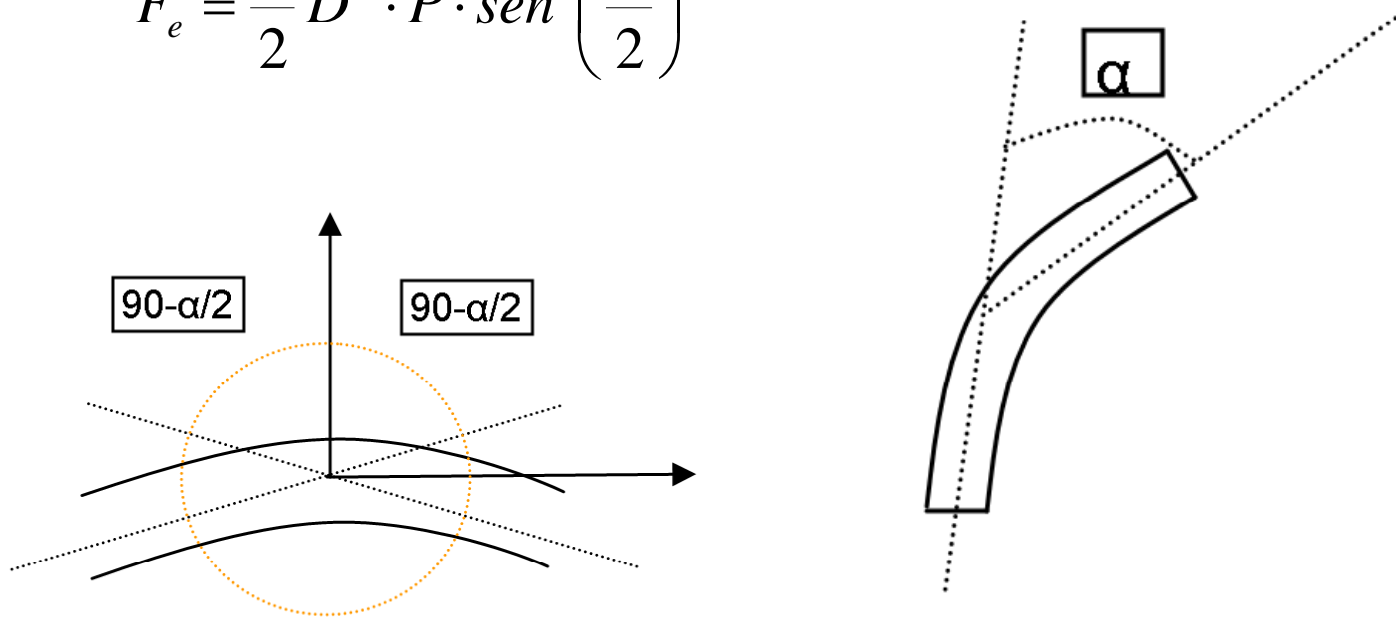
PN



Fuerzas a compensar → Se desprecian las fuerzas dinámicas debidas a la velocidad del agua respecto a las fuerzas estáticas, por ser varios órdenes de magnitud inferiores.

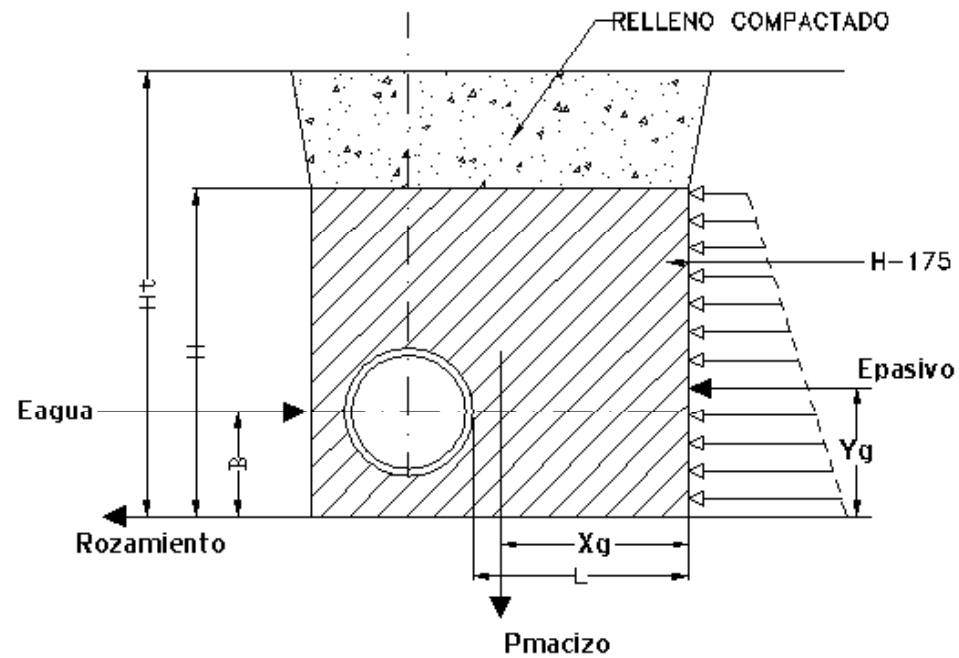
Las fuerzas estáticas (equilibrio de fuerzas) son debidas a la presión de la conducción.

$$F_e = \frac{\pi}{2} D^2 \cdot P \cdot \text{sen} \left( \frac{\alpha}{2} \right)$$

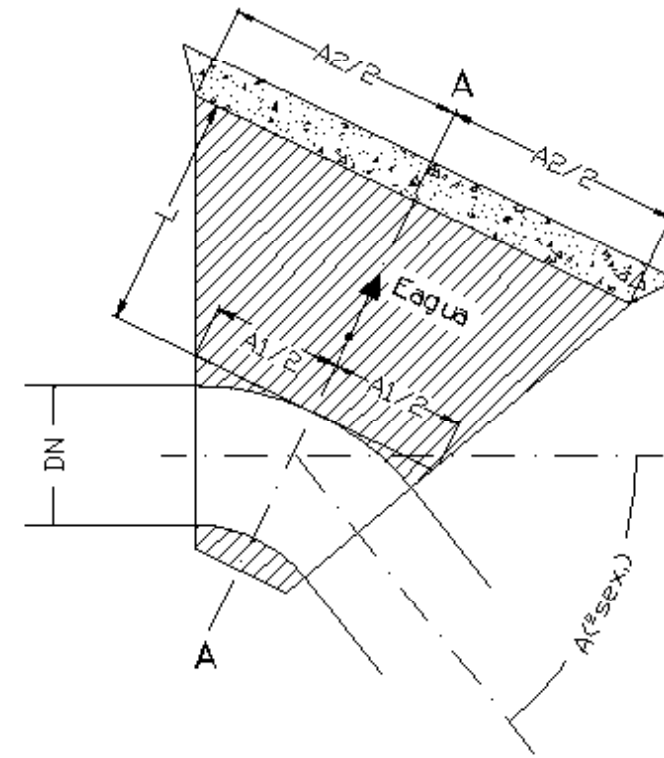




## Anclajes en tuberías



SECCION A-A



PLANTA

### 1) Fuerzas estabilizadoras

- Rozamiento terreno – macizo de hormigón ( $\mu = 0,4$ )
- Empuje masivo movilizado del terreno (coeficiente de empuje pasivo de Rankine)

$$E(\text{ud} / \text{ancho}) = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot \text{tag}^2 \left( \frac{\varphi_{\text{roz-interno}}}{2} + \frac{\pi}{4} \right)$$

### 2) Comprobaciones

- Deslizamiento ( $F_D = 1,5$ )

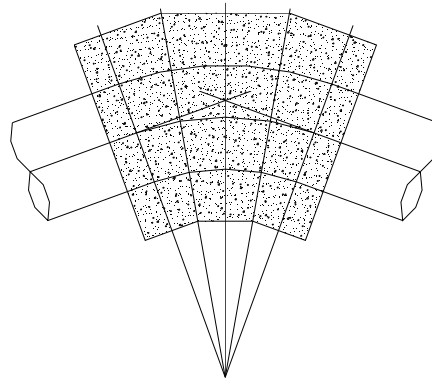
$$\frac{E_{\text{pasivo}} + \text{Rozamiento}}{E_{\text{agua}}} \geq 1,5$$

- Vuelco ( $F_V = 1,5$ )

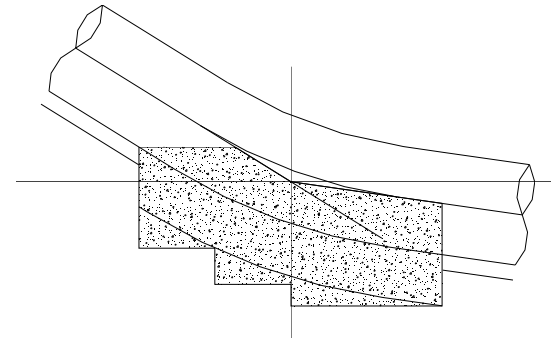
$$\frac{E_{\text{pasivo}} \cdot Y_g + P_m \cdot X_g}{E_{\text{agua}} \cdot B} \geq 1,5$$

Tipos de anclajes para cambios de dirección:

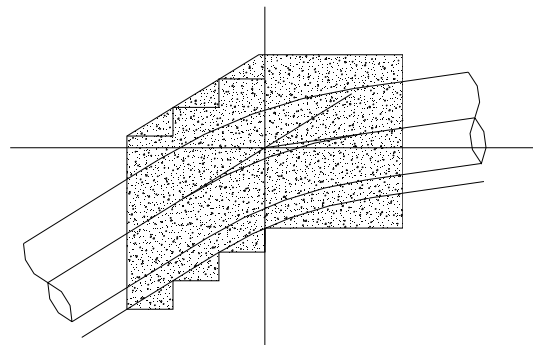
a) En planta



b) Alzado cóncavo



c) Alzado convexo





## Capítulo 5. REDES DE DISTRIBUCIÓN

### Tema 16. Cálculos mecánicos de tuberías



## BIBLIOGRAFÍA

AENOR. *Tuberías de PVC no plastificado y PE de alta y media densidad*. UNE 53331. Madrid: AENOR, 1997

CEH – CEDEX. *Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 6ª ed. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2009. 442 p. ISBN: 9788477904922 .

HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Abastecimiento y distribución de aguas*. 4ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2000. 914 p. Colección Señor nº 6. ISBN: 84-380-0165-3.

LIRIA MONTAÑÉS, J. *Proyecto de distribución de agua en poblaciones*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1995. 278 p. Colección Señor nº 1. ISBN: 978-84-380-0081-6.

VICENTE MÉNDEZ, M. *Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua*. Caracas: Publicaciones UCAB, 2007. ISBN: 980-244-106-6.



# Capítulo 5. REDES DE DISTRIBUCIÓN

## Tema 16. Cálculos mecánicos de tuberías



### REFERENCIA DE IMÁGENES

#### DIAPOSITIVA PORTADA

[Imagen tomada de] “Services. Utility construction”. *Eastern Tank & Utilities Inc.* [en línea]. Disponible en: <[http://easterntankinc.com/yahoo\\_site\\_admin/assets/images/pipes1.68210528.jpg](http://easterntankinc.com/yahoo_site_admin/assets/images/pipes1.68210528.jpg)>. [Consulta: 20 de febrero de 2011]

#### DIAPOSITIVA página 2

“Solicitaciones sobre una tubería enterrada en zanja” [Imagen tomada de] PÉREZ FARRAS, L. *Nociones sobre cálculo estructural de conducciones enterradas* [en línea] Buenos Aires: Facultad de Ingeniería de la UBA, 2003. Pagina 4. Disponible en: <<http://escuelas.fi.uba.ar/iis/Calculo%20Estructural.pdf>>. [Consulta: 20 de febrero de 2011]

#### DIAPOSITIVA página 3

[Imagen tomada de] PÉREZ FARRAS, L. *Nociones sobre cálculo estructural de conducciones enterradas* [en línea] Buenos Aires: Facultad de Ingeniería de la UBA, 2003. Pagina 13. Disponible en: <<http://escuelas.fi.uba.ar/iis/Calculo%20Estructural.pdf>>. [Consulta: 20 de febrero de 2011]

#### DIAPOSITIVA página 4

AENOR. *Tuberías de PVC no plastificado y PE de alta y media densidad.* UNE 53331. Madrid: AENOR, 1997

#### DIAPOSITIVA página 5

AENOR. *Tuberías de PVC no plastificado y PE de alta y media densidad.* UNE 53331. Madrid: AENOR, 1997

### **DIAPPOSITIVA página 6**

AENOR. *Tuberías de PVC no plastificado y PE de alta y media densidad*. UNE 53331. Madrid: AENOR, 1997

### **DIAPPOSITIVA página 8**

[Imagen tomada de] “Campos de aplicación de la protección catódica”. *Guldaguer Electronics, S.A.* [en línea]. Disponible en: <<http://www.wilsonwalton.es/images/Tuberia%20enterrada.JPG>>. [Consulta: 20 de febrero de 2011]

### **DIAPPOSITIVA página 9**

AENOR. *Tuberías de PVC no plastificado y PE de alta y media densidad*. UNE 53331. Madrid: AENOR, 1997

### **DIAPPOSITIVA página 10**

AENOR. *Tuberías de PVC no plastificado y PE de alta y media densidad*. UNE 53331. Madrid: AENOR, 1997

### **DIAPPOSITIVA página 11**

AENOR. *Tuberías de PVC no plastificado y PE de alta y media densidad*. UNE 53331. Madrid: AENOR, 1997

### **DIAPPOSITIVA página 16**

“Esquema de fuerzas” © Juan García Bermejo



# Capítulo 5. REDES DE DISTRIBUCIÓN

## Tema 16. Cálculos mecánicos de tuberías



**DIPOSITIVA página 17**

“Anclajes en tuberías” © Juan García Bermejo

**DIPOSITIVA página 19**

“Anclajes para cambios de dirección” © Juan García Bermejo