

**ANEJO IX – CÁLCULOS MECÁNICOS**

**ÍNDICE**

1.INTRODUCCIÓN.....	3
2.CRITERIO DE CALCULO .....	3
3. HIPÓTESIS DE CALCULO .....	3
3.1. HIPÓTESIS I.....	3
3.2.HIPÓTESIS II.....	3
3. CÁLCULO DE LAS HIPÓTESIS.....	4

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se va a proceder al cálculo mecánico de las conducciones necesarias en la ejecución de la conducción en alta hasta Hinojos.

Seleccionado la fundición como material de uso en estas condiciones, se han comprobado todas las hipótesis de cálculo mecánico que establece la norma correspondiente.

## 2. CRITERIO DE CALCULO

Los criterios de cálculo se han basado en las recomendaciones y criterios existentes de la “Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión” 3ª Edición (CEDEX) y las recomendaciones de los fabricantes de estas tuberías, que dan cobertura en España.

## 3. HIPÓTESIS DE CALCULO

La combinación de acciones de cálculo que produzca la máxima sollicitación o deformación en una sección es la “hipótesis pésima de carga” en esa sección. En las tuberías enterradas las acciones determinantes son:

- La presión interna del líquido circulante.
- La acción del terreno sobre la conducción.
- La acción del tráfico sobre la conducción.
- La depresión interna. La hipótesis pésima de carga resulta de la combinación entre ellas.

Según la tipología de la tubería se realizarán las comprobaciones pertinentes. En nuestro caso, se trata de una tubería de fundición enterrada. Las principales comprobaciones que deben hacerse en los tubos de fundición enterrados para la hipótesis pésima de carga son las siguientes:

### 3.1. HIPÓTESIS I

#### Tensiones → Presión interna.

En la hipótesis de actuación única de la presión interna del agua, debe comprobarse que dicha presión, para un determinado valor de DN y espesor del tubo, produce un estado tensional inferior al admisible, supuesto el coeficiente de seguridad que se indica a continuación.

Dicha comprobación puede hacerse mediante las siguientes expresiones:

$$MDP \leq \frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_2} \quad \text{y} \quad DP \leq \frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_1}$$

Siendo:

DP: Presión de diseño, en N/mm<sup>2</sup>.

MDP: Presión máxima de diseño en la sección de la tubería, en N/mm<sup>2</sup>.

Dm: Diámetro medio del tubo, en mm (Dm= OD-e).

Rm: Resistencia mínima a la tracción. Rm= 420 N/mm<sup>2</sup>.

C1: Coeficiente de seguridad para DP, C1= 3

C2: Coeficiente de seguridad para MDP, C2= 2.5

OD: Diámetro exterior del tubo, en mm.

e: Espesor de la pared del tubo, en mm.

### 3.2. HIPÓTESIS II

#### Deformaciones → Acciones externas

Se considera que actúan solo las acciones externas (el terreno y sobrecargas de tráfico). Se comprueba que la deformación máxima debida a la flexión transversal no supera la admisible. Como deformaciones máximas admisibles suelen admitirse valores del orden del 2% y el 4% del diámetro exterior del tubo, para diámetros entre 200 y 2000 mm. En nuestro caso, fijaremos como deformación máxima admisible el 3%. Debe comprobarse que actuando únicamente las acciones externas (terreno, sobrecargas móviles o fijas, y otras si existen), la deformación máxima debida a la flexión transversal no supera la admisible.

El cálculo de la deformación máxima debida a la flexión transversal se calcula con la formulación de Spangler, que tiene la siguiente expresión:

$$d = \frac{100 \cdot k_a \cdot (W_e + W_t)}{8 \cdot S_c + 0.061 \cdot E}$$

Siendo:

D: Deformación vertical del tubo debida a las cargas externas, en %.

Ka: Coeficiente de factor de apoyo. Como se tiene:  $\alpha = 120^\circ$ ;  $K_a = 0.090$ .

e: Espesor de la pared del tubo, expresado en metros (m).

Sc: Rigidez diametral del tubo, en KN/m<sup>2</sup>. (Tabla 82). En nuestro caso de 0.05.

E': Módulo de reacción del suelo. Se considera terreno bien compactado. E'=5000 KN/m<sup>2</sup>.

We y Wt: Cargas debido al peso de tierras y al tráfico, respectivamente, expresadas en KN/m.

$$W_e = \gamma \times H$$

Siendo:

$\gamma$ : Peso específico del terreno. Se coge por defecto: 20 KN/m<sup>3</sup>.

H: Altura de tierras sobre la clave del tubo, en m.

$$W_t = [40 \times (1 - 2 \times 10^{-4} \times DN) \times \beta] / H$$

Siendo:

H: Altura de tierras sobre la clave del tubo, en m.

$\beta$ : Coeficiente de carga de tráfico. Se recomienda tomar el mínimo de 0.5 aún en el caso de no existir tráfico rodado.

DN: Diámetro nominal del tubo, en mm.

Todos estos cálculos nos han permitido llegar a la conclusión de que un espesor de 2 mm sería suficiente. No obstante, para normalizar el espesor de la tubería, optaremos por la clase K9 que supone un espesor de 6 mm. La Clase C-40 tiene menor espesor pero el coste es el mismo que la K9.

### 3. CÁLCULO DE LAS HIPÓTESIS

HIPÓTESIS I			
Espesor	6	mm.	
Rm	420	N/mm <sup>2</sup> .	
ID	200	mm.	
C1	3		
C2	2.5		
MDP <	$\frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_2}$	9.51	N/mm <sup>2</sup> . <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Cumple</span>
DP <	$\frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_1}$	7.92	N/mm <sup>2</sup> . <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Cumple</span>
MPD=Pmax+AP	2.19	N/mm <sup>2</sup> .	
DP=Pmax	0.97	N/mm <sup>2</sup> .	
Velocidad (m/s.)	1		
Gravedad (m/s <sup>2</sup> )	9.81		
E (Kg/m <sup>2</sup> )	17 E+9		
0.59	Kc	←	$k_c = \frac{10^{10}}{E}$
1201.37	$\alpha$	←	$\alpha = \frac{9900}{\sqrt[3]{48.3 + k_c \frac{OD}{e}}}$
122.46	AP	←	$\Delta P = \frac{\alpha \cdot v}{g}$

HIPÓTESIS II

Ka	0.09
Sc	0.383
E'	5000

120°  
←  
KN/m2

$$S_c = \frac{E \cdot e^3}{12 \cdot DN^3}$$

Peso Específico del Terreno (KN/m3)	16
Altura de Tierras sobre Clave (m.)	1
We	16

←

$$W_g = \gamma \cdot H$$

Diámetro Nominal (mm.)	200
Coefficiente de Carga de Tráfico	0.5
Altura de Tierras sobre Clave (m.)	1
Wt	19.20

Carreteras Rurales

←

$$W_t = 40 \cdot (1 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot DN) \cdot \frac{\beta}{H}$$

d adm.	3.25
d	1.03

Tabla 5.2  
←

$$d = \frac{100 \cdot Ka \cdot (We + Wt)}{8Sc + 0.061 \cdot E'}$$

Cumple