

ANEJO Nº 5.- CÁLCULOS MECÁNICOS

ÍNDICE

1.-	CÁLCULO MECÁNICO DE LAS CONDUCCIONES	2
-----	--	---

APÉNDICE Nº 1. CÁLCULO MECÁNICO DE LAS CONDUCCIONES

1.- CÁLCULO MECÁNICO DE LAS CONDUCCIONES

El objetivo del presente apartado es el de comprobar la resistencia mecánica de las tuberías empleadas. Se analiza el comportamiento de la tubería de fundición dúctil, ya que es la que será instalada en los tramos con recubrimiento mayor de 4 metros.

Para el cálculo llevado a cabo se han seguido las directrices contenidas en la “Guía Técnica sobre Tuberías para el Transporte de Agua a Presión” editado por el CEDEX.

Se realiza la comprobación de las deformaciones de la tubería teniendo en cuenta sólo las acciones externas, lo que supone la hipótesis pésima de carga.

Se ha considerado un recubrimiento mínimo de 0,8 m en todo el trazado tal y como se comprueba en los perfiles longitudinales.

Para las cargas de tráfico, en el caso del tubo de acero, se han adoptado los valores recomendados por la guía del CEDEX, igual a una carga de triple eje de 600 kN, y una carga por rueda de 100 kN, habiéndose aceptado coeficientes de seguridad menores.

Para tuberías de fundición, es de aplicación la norma UNE-EN 545:2006, según la cual, los tubos de fundición dúctil pueden soportar grandes ovalizaciones en servicio, conservando todas sus características funcionales.

La rigidez diametral de un tubo se expresa por la fórmula:

$$S = 1000 \cdot \frac{E \cdot I}{D^3} = 1000 \cdot \frac{E}{12} \cdot \left(\frac{e}{D}\right)^3$$

Donde,

S = rigidez diametral (kN/m²)

E = módulo de elasticidad del material (170.000 MPa)

I = momento de inercia de la pared del tubo por unidad de longitud (mm³)

e = espesor de la pared del tubo (mm)

D = diámetro medio del tubo ($DE - e$) (mm)

DE = diámetro exterior nominal del tubo (mm)

Las rigideces diametrales mínimas y los porcentajes de ovalización máxima fijadas por la norma se recogen en la siguiente tabla (C.1):

Tabla C.1

DN	Rigidez diametral mínima S (kN/m ²)			Ovalización admisible del tubo (%)		
	Clase 40	K9	K10	Clase 40	K9	K10
40	7 000	16 500	16 500	0,60	0,45	0,45
50	4 200	9 500	9 500	0,70	0,55	0,55
60	2 600	5 500	5 500	0,85	0,65	0,65
65	2 100	4 800	4 800	0,90	0,70	0,70
80	1 200	2 700	2 700	1,10	0,85	0,85
100	680	1 500	1 500	1,30	1,05	1,05
125	370	810	880	1,60	1,30	1,20
150	250	480	600	1,85	1,55	1,40
200	130	230	340	2,25	1,90	1,70
250	91	160	220	2,60	2,20	2,00
300	68	110	160	2,90	2,50	2,25
350	67	89	120	2,95	2,70	2,45
400	63	72	100	3,00	2,90	2,60
450	–	61	86	–	3,05	2,75
500	–	52	74	–	3,25	2,90
600	–	41	58	–	3,55	3,20
700	–	34	49	–	3,75	3,40
800	–	30	42	–	4,00	3,55
900	–	26	37	–	4,00	3,75
1 000	–	24	34	–	4,00	3,85
1 100	–	22	31	–	4,00	4,00
1 200	–	20	29	–	4,00	4,00
1 400	–	18	26	–	4,00	4,00
1 500	–	17	24	–	4,00	4,00
1 600	–	17	23	–	4,00	4,00
1 800	–	16	22	–	4,00	4,00
2 000	–	16	21	–	4,00	4,00

En la siguiente tabla figuran las dimensiones y tolerancias máximas para las tuberías de fundición:

DN	Diámetro exterior DE mm		Espesor de pared e mm					
			Clase 40		K9		K10	
			Nominal	Tolerancia	Nominal ^a	Tolerancia ^b	Nominal	Tolerancia ^b
40	56	+1/-1,2	4,8	-1,3	6,0	-1,3	6,0	-1,3
50	66	+1/-1,2	4,8	-1,3	6,0	-1,3	6,0	-1,3
60	77	+1/-1,2	4,8	-1,3	6,0	-1,3	6,0	-1,3
65	82	+1/-1,2	4,8	-1,3	6,0	-1,3	6,0	-1,3
80	98	+1/-2,7	4,8	-1,3	6,0	-1,3	6,0	-1,3
100	118	+1/-2,8	4,8	-1,3	6,0	-1,3	6,0	-1,3
125	144	+1/-2,8	4,8	-1,3	6,0	-1,3	6,2	-1,4
150	170	+1/-2,9	5,0	-1,3	6,0	-1,3	6,5	-1,5
200	222	+1/-3,0	5,4	-1,5	6,3	-1,5	7,0	-1,5
250	274	+1/-3,1	5,8	-1,6	6,8	-1,6	7,5	-1,6
300	326	+1/-3,3	6,2	-1,6	7,2	-1,6	8,0	-1,6
350	378	+1/-3,4	7,0	-1,7	7,7	-1,7	8,5	-1,7
400	429	+1/-3,5	7,8	-1,7	8,1	-1,7	9,0	-1,7
450	480	+1/-3,6			8,6	-1,8	9,5	-1,8
500	532	+1/-3,8			9,0	-1,8	10,0	-1,8
600	635	+1/-4,0			9,9	-1,9	11,0	-1,9
700	738	+1/-4,3			10,8	-2,0	12,0	-2,0
800	842	+1/-4,5			11,7	-2,1	13,0	-2,1
900	945	+1/-4,8			12,6	-2,2	14,0	-2,2
1 000	1 048	+1/-5,0			13,5	-2,3	15,0	-2,3
1 100	1 151	+1/-6,0			14,4	-2,4	16,0	-2,4
1 200	1 255	+1/-5,8			15,3	-2,5	17,0	-2,5
1 400	1 462	+1/-6,6			17,1	-2,7	19,0	-2,7
1 500	1 565	+1/-7,0			18,0	-2,8	20,0	-2,8
1 600	1 668	+1/-7,4			18,9	-2,9	21,0	-2,9
1 800	1 875	+1/-8,2			20,7	-3,1	23,0	-3,1
2 000	2 082	+1/-9,0			22,5	-3,3	25,0	-3,3

^a El espesor nominal de la Clase 40 es tal que su PFA, calculada según el anexo A, no sea inferior a 40 bar, con un mínimo de 4,8 mm. Además, con objeto de tener series de espesor coherente con tubos K9, el espesor nominal de DN 150, DN 200 y DN 250 se ha incrementado ligeramente por encima de los espesores correspondientes a PFA 40 bar.

^b Sólo se da el límite inferior.

El cálculo de la ovalización para tubería enterrada se realiza mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\Delta = \frac{100 \cdot K \cdot (P_e + P_t)}{8 \cdot S + (f \cdot E')}$$

Donde,

Δ = ovalización del tubo (%)

K = coeficiente de apoyo

P_e = presión debida a la carga de tierras (kN/m²)

P_t = presión debida a la carga de tráfico (kN/m^2)

S = rigidez diametral del tubo (kN/m^2)

f = factor de presión lateral ($f = 0,061$)

E' = módulo de reacción del suelo (kN/m^2)

La ovalización calculada con esta fórmula no deberá sobrepasar la indicada en la tabla.

La presión debida a la carga de tierra viene dada por la siguiente expresión:

$$P_e = \gamma \cdot H$$

Donde,

P_e = presión debida a la carga de tierras (kN/m^2)

γ = peso específico del relleno (kN/m^3)

H = altura del relleno (m)

En ausencia de otros datos se suele considerar un peso específico igual a 20 kN/m^3 .

En cuanto a la presión debida a las cargas de tráfico, la obtenemos con la expresión:

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

Donde,

P_t = presión debida a la carga de tráfico (kN/m^2)

β = coeficiente de cargas rodantes

$\beta = 1,50$ en carreteras principales

$\beta = 0,75$ en carreteras de acceso (con tráfico pesado prohibido)

$\beta = 0,50$ en zonas rurales

$\beta = 2,00$ en zonas con cargas rodantes particularmente elevadas

El coeficiente de apoyo K depende de la distribución de presiones del suelo en el nivel de generatriz superior del tubo (sobre una distancia igual al diámetro exterior) y en el nivel de la generatriz inferior del tubo (sobre una distancia correspondiente al ángulo de apoyo teórico 2α). K normalmente varía entre 0,11 para $2\alpha = 20^\circ$ (tubería simplemente posada en el fondo, sin ningún esfuerzo de compactación) y 0,09 para $2\alpha = 120^\circ$.

El factor de presión lateral f es igual a 0,061, lo que corresponde a una distribución parabólica de presión lateral del suelo sobre un ángulo de 100° (según el modelo IOWA – Spangler).

El módulo de reacción del suelo E' depende de la naturaleza del suelo utilizada en la zona del tubo y de sus condiciones de instalación. En nuestro caso, se ha considerado de forma general una hipótesis de compactación media por la previsible presencia de roca o de algunos puntos de elevadas pendientes ($E'=3.000 \text{ kN/m}^2$).

En el Apéndice nº1 del presente anejo se adjuntan los cálculos realizados para los casos de recubrimientos establecidos.

APÉNDICE Nº 1. CÁLCULO MECÁNICO DE LAS CONDUCCIONES