Ejercicio 16.1

Realizar el dimensionamiento mecánico completo de una tubería de fundición dúctil enterrada (sin acción del tráfico) de las siguientes características:

Diámetro nominal (DN) 800 mm

Presión de diseño (DP) 1,6 N/mm^2

Presión máx. de diseño (MDP) 2,1 N/mm^2

Altura de enterramiento (H) 3 m

Densidad del relleno (γ) 20 kN/m^3

Ángulo de apoyo (2α) 60º

Módulo de reacción del suelo (E') 2.000 kN/m^2

La metodología que se va a emplear es la recogida en la tabla resumen de la diapositiva 33, la UNE-EN 545:1995.

Como queda recogido en el cuadro resumen de la diapositiva 13, para tuberías de fundición se deben realizar dos comprobaciones:

- Estado tensional debido a la acción única de la presión interna
- Deformaciones causadas por la acción única de las cargas externas

Vamos a seleccionar una tubería de fundición de la clase K9 para comenzar con el cálculo.

Dado que la tubería es de fundición, el DN ≅ ID y los valores de OD y el espesor los podemos obtener de la norma UNE-EN 545:1995:

Diámetros (mm)				Espesores (mm)			
Valor		Tolerancias		Valor nominal			
DN	OD	DN	OD	clase 40	clase K9	clase K10	Tolerancia
600	635	-10	+1/-4,0		9,9	11,0	-1,9
700	738	-10	+1/-4,3		10,8	12,0	-2,0
800	842	-10	+1/-4,5		11,7	13,0	-2,1
900	945	-10	+1/-4,8		12,6	14,0	-2,2
1.000	1.048	-10	+1/-5,0		13,5	15,0	-2,3

Espesor (e) = 11,7 mm

Diámetro exterior (OD) = 842 mm

Comprobación 1 → Estado tensional debido a la acción única de la presión interna.

Según la tabla de la diapositiva 33 aplicaremos la "fórmula de los tubos delgados".

$$DP \leq \frac{2e\ R_m}{D_m\ C_1} \qquad MDP \leq \frac{2e\ R_m}{D_m\ C_2}$$

DP y MDP	presión de diseño y máxima de diseño, en N/mm^2
e	espesor de la pared del tubo, en mm
D_m	diámetro medio del tubo, en mm. (D_m = OD - e)
OD	diámetro exterior del tubo, en mm
R_m	resistencia mínima a la tracción. R_m = 420 N/mm^2
C_1	coeficiente de seguridad para DP. C_1 = 3
C_2	coeficiente de seguridad para MDP. C_2 = 2,5

$$DP = 1{,}6\ \ N/mm^2 \leq \frac{2 \cdot 11{,}7 \cdot 420}{(842 - 11{,}7) \cdot 3} = 3{,}94\ \ N/mm^2$$

$$MDP = 2{,}1\ \ N/mm^2 \leq \frac{2 \cdot 11{,}7 \cdot 420}{(842 - 11{,}7) \cdot 2{,}5} = 4{,}73\ \ N/mm^2$$

Aplicando las expresiones indicadas se comprueba que el estado tensional producido por la acción de la DP o de la MDP es inferior al admisible

Comprobación 2 → Deformaciones causadas por la acción única de las cargas externas

Según la tabla de la diapositiva 33 aplicaremos la fórmula de Spangler.

La fórmula de Spangler calcula las deformaciones producidas en el tubo por las cargas externas, quedando recogida en el Anexo F de la norma UNE-EN 545:1995:

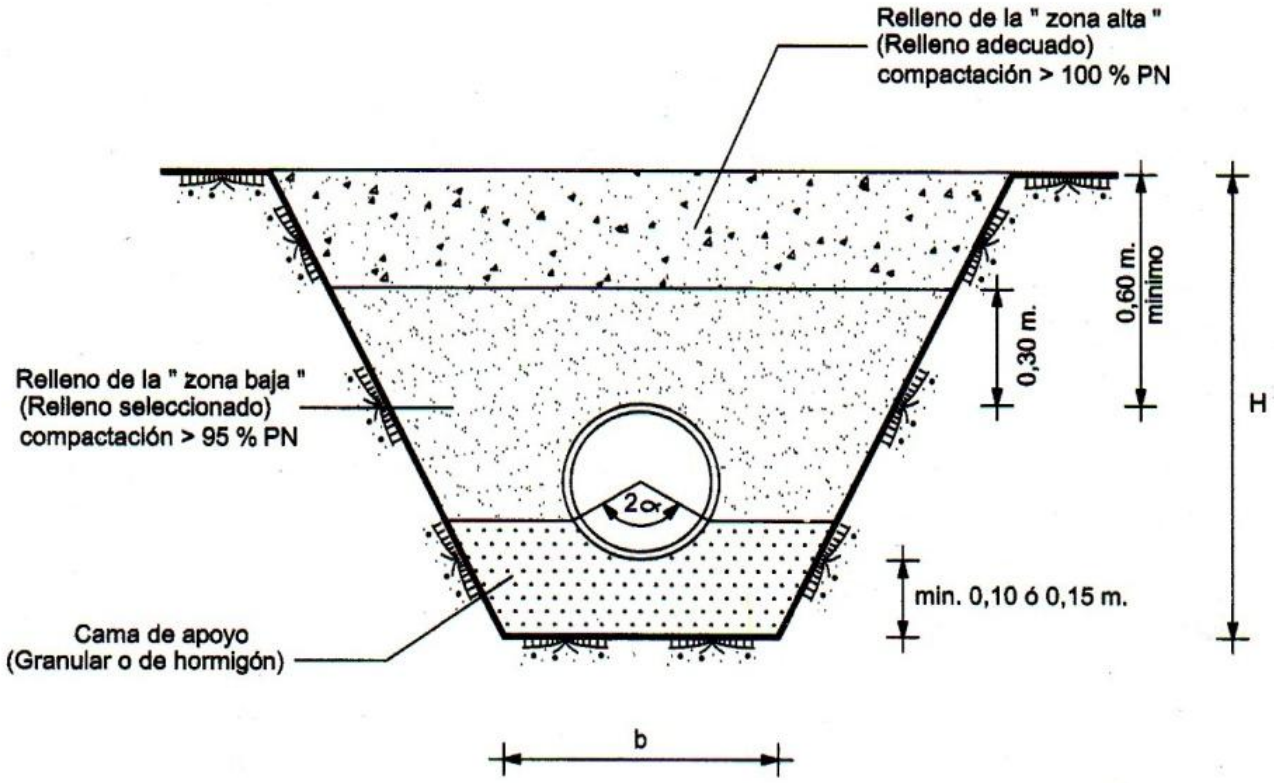
$$\delta = \frac{100K_a(W_e + W_t)}{8S_c + (0{,}061E')}$$

Siendo:

$\delta \rightarrow$ Deformación vertical del tubo debida a las cargas externas (%)

$K_a \rightarrow$ Factor de apoyo en función del ángulo de apoyo (2α)

ángulo de apoyo 2α = 20°	K_a = 0,110
ángulo de apoyo 2α = 45°	K_a = 0,105
ángulo de apoyo 2α = 60°	K_a = 0,102
ángulo de apoyo 2α = 120°	K_a = 0,090
ángulo de apoyo 2α = 180°	K_a = 0,083


Relleno de la " zona alta "
(Relleno adecuado)
compactación > 100 % PN
Relleno de la " zona baja "
(Relleno seleccionado)
compactación > 95 % PN
Cama de apoyo
(Granular o de hormigón)
2α
0,30 m.
0,60 m.
mínimo
H
min. 0,10 ó 0,15 m.
b

$W_e \rightarrow$ Carga debida al peso de las tierras (kN/m²)

$$W_e = \gamma \cdot H$$

$\gamma \rightarrow$ Peso específico del relleno (kN/m³). A falta de datos al respecto, se suele tomar 20 kN/m³

$H \rightarrow$ Altura de tierras sobre la clave del tubo (m)

$W_t \rightarrow$ Carga debida al tráfico (kN/m²)

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

$\beta \rightarrow$ Coeficiente de carga de tráfico, de valores:

$\beta = 2{,}00$ tráfico intenso
$\beta = 1{,}50$ carreteras principales
$\beta = 0{,}75$ carreteras intermedias
$\beta = 0{,}50$ carreteras rurales

Se recomienda tomar como mínimo $\beta = 0{,}5$, aun en el caso de no existencia de tráfico rodado. Esta fórmula no debe emplearse en alturas de relleno inferiores a 0,5 m, debiendo procurarse recubrimientos superiores si se prevén cargas de tráfico.

$DN \rightarrow$ Diámetro nominal del tubo (mm)

$S_c \rightarrow$ Rigidez diametral del tubo (kN/m^2) (ver tabla adjunta)

$E' \rightarrow$ Módulo de reacción del suelo (kN/m²)

E´ = 0	terreno sin compactar
E´ = 1.000 kN/m²	terreno con compactación mala
E´ = 2.000 kN/m²	terreno con compactación media
E´ = 5.000 kN/m²	terreno con compactación buena

DN	Rigidez diametral S_c mínima [1] (kN/m²)			Deformacion diametral admisible (%
	Clase 40	K9	K10	
40	7.000	16.500	16.500	0,50
50	4.200	9.500	9.500	0,55
60	2.600	5.500	5.500	0,65
65	2.100	4.800	4.800	0,70
80	1.200	2.700	2.700	0,85
100	680	1.500	1.500	1,00
125	370	810	880	1,25
150	250	480	300	1,45
200	130	230	340	1,85
250	91	160	220	2,20
300	68	110	160	2,45
350	67	89	124	2,65
400	63	72	102	2,90
450		61	86	3,05
500		52	74	3,25

DN	Rigidez diametral S_c mínima [1] (kN/m²)			Deformacion diametral admisible (%)
	Clase 40	K9	K10	
500		52	74	3,25
600		41	58	3,50
700		34	49	3,75
800		30	42	4,00
900		26	37	4,00
1.000		24	34	4,00
1.100		22	31	4,00
1.200		20	29	4,00
1.400		18	26	4,00
1.500		17	24	4,00
1.600		17	23	4,00
1.800		16	22	4,00
2.000		16	22	4,00

[1] $S_c = E.I/DN^3 = E.e^3/12DN^3$; E = 170.000 N/mm²

Rigideces diametrales mínimas y deformaciones diametrales admisibles (UNE-EN 545:1995

Los parámetros para el cálculo de la deformación son los siguientes:

$W_e = 20 \cdot 3 = 60$ kN/m^2

$W_t = 0$

$K_a = 0{,}102$ ($2\alpha = 60º$)

$S_c = 30$ kN/m^2 (ver tabla diapositiva anterior)

$E' = 2.000$ kN/m^2

Aplicando la fórmula de Spangler obtenemos la deformación producida en la tubería:

$$\delta = \frac{100 \cdot 0{,}102 \cdot 60}{8 \cdot 30 + 0{,}061 \cdot 2000} = 1{,}6\%$$

La deformación obtenida es inferior a la admisible (4%, obtenido de la tabla de la diapositiva anterior), por lo que esta comprobación también se verifica.

NOTA: Las referencias de las imágenes que aparecen en el ejercicio se encuentran incluidas en el tema correspondiente