

ANEJO Nº 08. CÁLCULOS MECÁNICOS

ÍNDICE

1	OBJETO DEL ANEJO	3
2	BASE TEÓRICA PARA EL CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCCIONES	4
2.1	Acciones	4
2.2	Hipótesis pésima de carga	4
3	CÁLCULO MECÁNICO TUBERÍAS DE FUNDICIÓN	7
3.1	Estado tensional debido a la acción exclusiva de la presión interna	7
3.2	Deformación causada por la acción exclusiva de las acciones externas	7
4	CÁLCULOS MECÁNICOS TUBERÍAS DE PVC CORRUGADO	10
5	CÁLCULOS REALIZADOS	24
5.1	Tubería de aducción	24
5.1.1	Datos de diseño	24
5.1.2	Cálculos realizados	24
5.2	Tubería de distribución	25
5.2.1	Datos de diseño	25
5.2.2	Cálculos realizados	25
5.3	Cálculos realizados para tubería de desagüe del depósito	26
5.3.1	Datos de diseño	26
5.3.2	Cálculos realizados	26
5.4	Conclusión	27
6	ANCLAJES	28

1 OBJETO DEL ANEJO

El presente anejo tiene como objeto el cálculo mecánico de las conducciones de aducción hasta el depósito y de distribución desde el depósito hasta el punto de conexión con la tubería de Red de Abastecimiento del municipio de Talamanca del Jarama.

El cálculo mecánico de tuberías consiste en el dimensionamiento y comprobación de las secciones más desfavorables bajo las solicitaciones a las que están expuestas las tuberías, de acuerdo con la metodología expuesta en la Guía Técnica sobre Tuberías para el Transporte de Agua a Presión del CEDEX.

2 BASE TEÓRICA PARA EL CÁLCULO MECÁNICO DE CONDUCCIONES

2.1 Acciones

Las principales acciones que, en general, deben considerarse en el cálculo mecánico de las tuberías son las siguientes:

Acciones gravitatorias (peso propio, cargas permanentes o cargas muertas y sobrecargas de uso, básicamente la carga debida al peso del agua en el interior de la tubería y la presión interna actuante, incluyendo el golpe de ariete)

- Acciones del terreno
- Acciones del tráfico
- Acciones climáticas (viento, térmicas, nieve, etc.)
- Acciones debidas al nivel freático
- Acciones reológicas
- Acciones sísmicas

En cualquier caso, además de las acciones anteriores, deberán tenerse en cuenta en el dimensionamiento mecánico de la tubería aquellas acciones específicas que puedan producirse durante la instalación de la tubería (como, por ejemplo, las compresiones producidas en las conducciones instaladas mediante hincas durante el proceso de puesta en obra) o las derivadas de futuros desequilibrios que puedan producirse en las instalaciones.




2.2 Hipótesis pésima de carga

Se entiende por “hipótesis pésima” de carga a la combinación de acciones que produzca en una sección de una tubería la máxima sollicitación o deformación en esa sección.

En las instalaciones aéreas, para todas las tipologías de materiales, la hipótesis pésima de carga suele corresponder bien al estado tensional en la pared del tubo derivado de la sola acción de la presión interior, o bien a la flexión longitudinal producida por las acciones gravitatorias, si bien, en ocasiones, puede haber alguna otra situación también condicionante, como el pandeo causado por posibles presiones internas negativas (acero y plásticos), las posibles tracciones longitudinales o las tensiones en los apoyos, etc.

En las instalaciones enterradas, si bien en el proyecto de la tubería deben considerarse todas las acciones supuestamente posibles, habitualmente, las más determinantes son la presión

interior actuante (acciones internas) y las acciones del terreno junto a las del tráfico (acciones externas), de manera que la hipótesis pésima de carga suele producirse por alguna de las combinaciones de las acciones que se indican a continuación, las cuales figuran resumidas en siguiente tabla extraída de la Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión CEDEX, 2003.-Tabla 78.

Tipo de tubo	Solicitud condicionante	Hipótesis pésima de carga		
		Sola acciones internas 	Sola acciones externas 	Carga combinada acciones internas y externas 
Acero	Estado tensional			
	Deformaciones			
	Pandeo o colapsado			
Hormigón	Estado tensional			
Fundición	Estado tensional			
	Deformaciones			
PVC-U y PE	Estado tensional			
	Deformaciones			
	Pandeo o colapsado			
PRFV	Estado tensional			
	Deformaciones			
	Pandeo o colapsado			

Tubos de materiales termoplásticos (PVC y PE)

- Estado tensional debido a la acción exclusiva de la presión interna
- Estado tensional debido a la acción exclusiva de las acciones externas
- Estado tensional debido a la acción conjunta de las acciones externas y de la presión interna
- Deformación causada por la acción exclusiva de las acciones externas
- Deformación causada por la acción conjunta de las acciones externas y de la presión interna
- Pandeo o colapso producido por la acción de las acciones externas y de la presión interna negativa

Tubos de fundición

Tubos de diámetro grande (comportamiento flexible):

- Estado tensional debido a la acción exclusiva de la presión interna
- Deformación causada por la acción exclusiva de las acciones externas

Tubos de diámetro pequeño (comportamiento rígido)

- Estado tensional debido a la acción exclusiva de la presión interna
- Estado tensional debido a la acción exclusiva de las acciones externas

No obstante, en los tubos de fundición de pequeño diámetro, la comprobación de que el estado tensional causado por la acción de las acciones externas no supera el admisible, puede sustituirse por la comprobación de que las deformaciones causadas por dichas cargas externas no excedan los valores indicados en la norma UNE-EN 545:2002, ya que en esos valores (bastante pequeños) va implícito que las tensiones en la pared sean admisibles.

Por tanto, en los tubos de fundición basta con comprobar, en cualquier caso, el estado tensional producido por la sola acción de la presión interna o las deformaciones causadas en la hipótesis de actuación única de las acciones externas.

3 CÁLCULO MECÁNICO TUBERÍAS DE FUNDICIÓN

Como se ha indicado el cálculo mecánico se ha realizado siguiendo las indicaciones de la “Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión” del CEDEX.

Las comprobaciones a realizar por lo tanto son:

- Estado tensional debido a la acción exclusiva de la presión interna
- Deformación causada por la acción exclusiva de las acciones externas

3.1 Estado tensional debido a la acción exclusiva de la presión interna

En la hipótesis de actuación única de la presión interna del agua, debe comprobarse que dicha presión produce un estado tensional inferior al admisible, supuesto el coeficiente de seguridad.

La comprobación de esta presión se realiza mediante la siguiente expresión:

$$DP \leq \frac{2e \cdot R_m}{D_m \cdot C_1}$$

Donde:

- e = espesor de la pared del tubo (mm)
- Rm = resistencia mínima a la tracción (420 N/mm²)
- Dm = diámetro medio de la sección (Dm=OD – e)
- C1 = coeficiente de seguridad (C1=3)

3.2 Deformación causada por la acción exclusiva de las acciones externas

Debe comprobarse que actuando únicamente las acciones externas (terreno, sobre cargas móviles o fijas, etc...) la deformación máxima debido a la flexión transversal no supera la admisible.

Como deformaciones máximas se pueden tomar las indicadas en la tabla 82 (UNE-EN 545:1995)

DN	Deformación diametral admisible (%)
40	0,5

DN	Deformación diametral admisible (%)
50	0,55
60	0,65
65	0,7
80	0,85
100	1
125	1,25
150	1,45
200	1,85
250	2,2
300	2,45
350	2,65
400	2,9
450	3,05
500	3,25
600	3,5
700	3,75
800	4
900	4
1000	4
1100	4
1200	4
1400	4
1500	4
1600	4
1800	4
2000	4

Las deformaciones producidas se calculan mediante la fórmula de splanger, siguiendo las indicaciones del Anexo G de la norma UNE-EN 545-1995:

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

Donde:

- δ : deformación vertical del tubo debido a las cargas externas (%)
- K_{α} : factor de apoyo en función del ángulo de apoyo 2α

2α	K_{α}
20º	0,110
45º	0,105
60º	0,102
120º	0,090
180º	0,083

- W_e : carga debido al peso de las tierras (kN/m²)

- $W_e = \gamma \cdot H$
- γ : peso específico del relleno (normalmente 20 kN/m³)
- H: altura de tierras sobre la clave del tubo (m)
- Wt: carga debida al tráfico (kN/m²)
 - $W_t = 40(1 - 2 \cdot 10^{-4} DN) \frac{\beta}{H}$
 - β : coeficiente de carga de tráfico

β	Tipo de tráfico
2	tráfico intenso
1,5	carreteras principales
0,75	carreteras intermedias
0,5	carreteras rurales

- DN: diámetro nominal del tubo (mm)
- Sc: rigidez diametral del tubo (kN/m²)
 - $S_c = \frac{E \cdot I}{DN^3}$
- E': módulo de reacción del suelo (kN/m²)

E'	Tipo de compactación
0	terreno sin compactar
1000	terreno con compactación mala
2000	terreno con compactación media
5000	terreno con compactación buena

4 CÁLCULOS MECÁNICOS TUBERÍAS DE PVC CORRUGADO

Para la realización del cálculo de las tuberías de PVC corrugado se ha utilizado el programa de ASETUB para cálculos mecánicos.

El cálculo se realiza según la normativa UNE 53.331 y es explicado brevemente a continuación:

Instalación bajo zanja o terraplén

Determinación de la presión vertical de las tierras.

$$q_v = m C_z \gamma H$$

q_v es la presión vertical sobre el tubo debido a la carga de tierras (KN/m²)

m es el factor de concentración de la presión vertical (véase fórmula más adelante)

C_z es el coeficiente de carga de las tierras en zanja o bajo terraplén

H es la altura del recubrimiento por encima de la generatriz superior del tubo

C_z se calcula mediante las ecuaciones siguientes:

$$C_z = 1 \quad \text{para } 0 \leq \beta \leq p$$

$$C_z = 1 - \frac{1 - C_{z90}}{90} \beta \quad \text{para } p \leq \beta < 90$$

$$\text{donde } C_{z90} = \frac{1 - e^{-2(H/B)K_1 \text{tg} p'}}{2(H/B)K_1 \text{tg} p'}$$

m se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$m = \frac{m_1 - 1}{3} \frac{B}{D_n} + \frac{4 - m_1}{3} \quad \text{para } 1 \leq B/D_n \leq 4$$

$$m = m_1 \quad \text{para } 4 \leq B/D_n \leq$$

En cualquier caso, m debe ser: $m \leq 1 + 4 \text{tg} p$

m_1 se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$m_1 = \frac{m_m V_s + \frac{(m_m - 1)m_0 V_0}{1 - m_0}}{V_s + \frac{(m_m - 1)V_0}{1 - m_0}}$$

donde

$$m_0 = \frac{4K_2}{3 + K_2} \quad V_0 = \frac{(1 - K_2)P_j}{P_j - 0.25} \quad (P_j > 0.25)$$

K_2 se da en la tabla 1 y $P_j=1$ para los dos tipos de apoyo A y B considerados.

$$m_m = 1 + \frac{\frac{H}{D_n}}{\frac{3.5}{P_j} + \frac{2.2E_1}{E_4(P_j - 0.25)} + \frac{H}{D_n} \left[\frac{0.62}{P_j} + \frac{1.6E_1}{E_4(P_j - 0.25)} \right]}$$

$$V_s = \frac{S_t P_j}{|C_v| E_2}$$

$$S_t = \frac{E_t}{12} \left(\frac{e}{r_m} \right)^3 \quad \text{es la rigidez del tubo a corto o largo plazo (N/mm}^2\text{)}$$

donde:

$$r_m = \frac{D_n - e}{2} \quad \text{es el radio medio del tubo en metros}$$

E_t es el módulo de elasticidad en flexión transversal del tubo a corto o largo plazo

El coeficiente para obtener la deformación vertical del diámetro del tubo, n , se obtiene de la ecuación siguiente:

$$n = \frac{4 - m_1}{3}$$

donde:

Δ es el valor absoluto del coeficiente de deformación vertical del tubo (véase tabla 2)

C_{v1} es el factor de deformación vertical debido a q_v (véase tabla 2)

C_{v2} es el factor de deformación debido a q_{ht} (véase tabla 2)

δ es el coeficiente de reacción del relleno de la cama del tubo, que se calcula con la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{C_{h1}}{V_{ts} - C_{h2}}$$

donde:

C_{h1} es el factor de deformación horizontal debido a q_v

C_{h2} es el factor de deformación horizontal debido a q_{ht}

V_{ts} es el coeficiente de rigidez del sistema tubo - suelo y tiene por expresión:

$$V_{ts} = \frac{S_t}{S_{sh}}$$

donde S_{sh} es la rigidez horizontal del relleno hasta la clave del tubo (N/mm^2)

$$S_{sh} = 0.6\zeta E_2$$

ζ es el factor de corrección calculado por la siguiente expresión:

$$\xi = \frac{1.662 + 0.639 \left(\frac{B}{D_n} - 1 \right)}{\left(\frac{B}{D_n} - 1 \right) + \left(1.662 - 0.361 \left(\frac{B}{D_n} - 1 \right) \right) \frac{E_2}{E_3}}$$

donde:

E_1 , E_2 , E_3 y E_4 son los módulos de compresión en las diferentes zonas del relleno y de la zanja (véase tabla 3)

Tabla 1. Coeficiente de empuje lateral de las tierras de relleno

Grupo de suelo	K_1	K_2
G1.No cohesivo	0.5	0.4
G2.Poco cohesivo	0.5	0.3
G3.Medianamente cohes.	0.5	0.2
G4.Cohesivo	0.5	0.1

Tabla 2. Factores de deformación

Ángulo de apoyo 2α	C_{v1}	C_{h1}	C_{v2}	C_{h2}
60	-0.1053	0.1026	0.0640	-0.0658
90	-0.0966	0.0956	0.0640	-0.0658
120	-0.0893	0.0891	0.0640	-0.0658
180	-0.0833	0.0833	0.0640	-0.0658

Tabla3: Módulos de compresión en función del tipo de suelo (N/mm²) y la compactación proctor normal (%)

G. Suelo	85%	90%	92%	95%	97%	100%
G1	2.5	6	9	16	23	40
G2	1.2	3	4	8	11	20
G3	0.8	2	3	5	8	14
G4	0.6	1.5	2	4	6	10

Determinación de la presión lateral de las tierras (q_{ht}).

$$q_{ht} = \delta(q_v - q_{vt})$$

$$q_h = nK_2C_2\gamma H$$

$$n = \frac{4 - m_1}{3}$$

donde:

q_h es la presión lateral del relleno el tubo (KN/m²)

n es el factor de concentración de la presión lateral del suelo

K₂ es el coeficiente de empuje lateral de las tierras de relleno

q_{ht} es la reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo (KN/m²)

δ es el coeficiente de reacción del relleno de la cama del tubo

H₁ es la altura del recubrimiento por encima de la generatriz superior del tubo, hasta el nivel natural del suelo.

H_{terr} es la altura del terraplén

m_1 se calcula con la expresión apuntada en el apartado 1.1.

Determinación de la presión vertical debida a las sobrecargas.

Sobrecargas concentradas.

La presión vertical sobre un tubo enterrado debida a las sobrecargas concentradas se calculará mediante la siguiente expresión:

$$P_{vc} = P_c \varphi C_c$$

Donde:

P_{vc} es la presión vertical sobre el tubo debida a las sobrecargas concentradas (KN/m²)

P_c es el valor de la sobrecarga concentrada, en KN. En caso de vehículos, se toma la sobrecarga máxima por rueda.

φ es el coeficiente de impacto para sobrecargas móviles

C_c es el coeficiente de carga para sobrecargas concentradas, dada por la siguiente expresión:

$$C_c = \frac{1}{D_n} - \frac{2}{\pi D_n} \left[\arcsen \left(2H \sqrt{\frac{X_1}{X_2 X_3}} \right) - \frac{2HD_n}{\sqrt{X_1}} \left(\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_3} \right) \right] + \frac{1}{H^2} \sum I$$

siendo:

$$X_1 = 4H^2 + D_n^2 + 1$$

$$X_2 = 4H^2 + 1$$

$$X_3 = 4H^2 + D_n^2$$

donde:

D_n es el diámetro nominal del tubo (m)

H es la altura del relleno sobre la generatriz superior del tubo (m). Si el tubo está instalado bajo una zona pavimentada, H se sustituye por H_e (altura equivalente), la cual se calcula mediante la expresión:

$$H_e = H + \frac{0.9}{\sqrt[3]{E_1}} \left(h_1 \sqrt[3]{E_{f1}} + h_2 \sqrt[3]{E_{f2}} \right)$$

donde:

H es la altura del recubrimiento de tierra por encima de la generatriz superior del tubo, hasta la parte inferior del firme (m). En caso de zanja terraplenada: $H=H_1+H_{terr}$

E_1 es el módulo de compresión del relleno de la zanja por encima de la zona de influencia del tubo (N/mm^2)

h_1 y h_2 son los espesores de la primera y segunda capa del firme (m)

E_{f1} y E_{f2} son los módulos de compresión de la primera y segunda capa de firme (N/mm^2)

ΣI depende de la situación de otras sobrecargas concentradas en las proximidades de la vertical del tubo. En el caso de vehículos, depende de la distancia entre ruedas (a) y de la distancia entre ejes (b)

Para camiones de dos ejes:

$$\sum I = \frac{3H^5}{2\pi} \left[(a^2 + H^2)^{-2.5} + (b^2 + H^2)^{-2.5} + (c^2 + H^2)^{-2.5} \right]$$

Para el caso de camiones de tres ejes:

$$\sum I = \frac{3H^5}{2\pi} \left[(a^2 + H^2)^{-2.5} + 2(b^2 + H^2)^{-2.5} + 2(c^2 + H^2)^{-2.5} \right]$$

Las ecuaciones para el cálculo de ΣI son válidas cuando las cargas por eje son iguales. En caso contrario, el segundo y el tercer término entre corchetes deben multiplicarse por la relación de cargas entre el eje menos cargado y el más cargado

Sobrecargas repartidas

La presión vertical sobre un tubo enterrado, debida a una sobrecarga repartida, se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$P_{vr} = C_d P_d \varphi$$

Donde:

P_{vr} es la presión vertical sobre el tubo debida a las sobrecargas repartidas (KN/m²)

C_d es el coeficiente de carga para sobrecargas repartidas

P_d es el valor de la sobrecarga repartida (KN/m²)

φ es el coeficiente de impacto para los distintos tipos de vehículos

Cálculo de la deformación.

La variación del diámetro vertical:

$$\Delta D_v = |C_v| \frac{q_{vt} - q_h}{S_t} 2r_m$$

S_t ha de venir expresada en kN/m²

La deformación relativa:

$$\delta_v = \Delta D_v \frac{100}{2r_m}$$

este valor debe ser menor o igual al 5% a largo plazo

Determinación de las solicitaciones.

Determinación de los momentos flectores circunferenciales.

a) Por carga vertical, q_{vt}

$$M_{qvt} = m_{qvt} q_{vt} r_m^2$$

Donde:

m_{qvt} es el coeficiente de momento

b) Por carga horizontal, q_h

$$M_{qh} = m_{qh} q_h r_m^2$$

Donde:

m_{qh} es el coeficiente de momento

c) Por reacción horizontal, q_{ht}

$$M_{qht} = m_{qht} q_{ht} r_m^2$$

Donde:

m_{qht} es el coeficiente de momento

d) Por peso propio del tubo, t

$$M_t = m_t \gamma_1 e r_m^2$$

Donde:

m_t es el coeficiente de momento

γ_1 es el peso específico del material del tubo (KN/m³). Para el PVC es 14.6 y para el PE 9.5

e es el espesor del tubo (m)

e) Por el peso del agua, considerando el tubo lleno

$$M_a = m_a \gamma_a r_m^2$$

Donde:

m_a es el coeficiente de momento

f) Por la presión del agua, P_a

$$M_{pa} = (P_i - P_e) r_i r_e \left(\frac{1}{2} - \frac{r_i r_e}{r_e^2 - r_i^2} \ln \frac{r_e}{r_i} \right)$$

donde:

P_i es la presión interior del agua (KN/m²)

P_e es la presión exterior del agua, referida al eje del tubo (KN/m²)

r_i es el radio interior del tubo(m)

r_e es el radio exterior del tubo (m)

El momento flector total será igual a :

$$M = M_{qvt} + M_{qh} + M_{qht} + M_t + M_a + M_{pa}$$

Para cada caso debe calcularse el momento flector en clave, riñones y base.

Determinación de las fuerzas axiales.

a) Por carga vertical, q_{vt}

$$N_{vt} = n_{vt} q_{vt} r_m^2$$

Donde:

n_{vt} es el coeficiente de momento

b) Por carga horizontal, q_h

$$N_{qh} = n_{qh} q_h r_m^2$$

Donde:

n_{qh} es el coeficiente de momento

c) reacción horizontal, q_{ht}

$$N_{qht} = n_{qht} q_{ht} r_m^2$$

Donde:

n_{qht} es el coeficiente de momento

d) peso propio del tubo, t

$$N_t = n_t \gamma_1 e, m^2$$

Donde:

n_t es el coeficiente de momento

γ_1 es el peso específico del material del tubo (KN/m³). Para el PVC es 14.6 y para el PE 9.5

e es el espesor del tubo (m)

e) Por el peso del agua, considerando el tubo lleno

$$N_a = m_a \gamma_a r_m^2$$

Donde:

n_a es el coeficiente de momento

f) Por la presión del agua, P_a

$$N_{pa} = (P_i - P_e) r_r r_e \left(\frac{1}{2} - \frac{r_i r_e}{r_e^2 - r_i^2} \ln \frac{r_e}{r_i} \right)$$

donde:

P_i es la presión interior del agua (KN/m²)

P_e es la presión exterior del agua, referida al eje del tubo (KN/m²)

r_i es el radio interior del tubo(m)

r_e es el radio exterior del tubo (m)

El momento flector total será igual a :

$$N = N_{qvt} + N_{qh} + N_{qht} + N_t + N_a + N_{pa}$$

Para cada caso debe calcularse el momento flector en clave, riñones y base.

Cálculo de los esfuerzos tangenciales máximos

$$\sigma = \frac{N}{S} \pm \frac{M100}{W} \alpha_k 10$$

donde:

M es la suma de momentos por unidad de longitud

N es la suma de fuerzas axiles por unidad de longitud

S es el área de la sección longitudinal de la pared del tubo por unidad de longitud (cm²/cm)

$$S = 100e$$

W es el momento resistente de la sección (cm³/cm)

$$W = 100e^2/6$$

α_k es un factor de corrección por curvatura, que tiene en cuenta las fibras periféricas interiores, α_{ki} y las exteriores, α_{ke}

$$\alpha_{ki} = 1 + \frac{1}{3} \frac{e}{r_m} \quad \alpha_{ke} = 1 - \frac{1}{3} \frac{e}{r_m}$$

Dimensionado

Verificación del esfuerzo tangencial

$$v = \frac{\sigma_t}{\sigma}$$

donde:

σ_t es el valor del esfuerzo tangencial de diseño a flexión - tracción

PVC(corto plazo)=90N/mm²

PE(corto plazo)=30N/mm²

PVC(largo plazo)=50N/mm²

PE(largo plazo)=14.4N/mm²

Comprobación de la estabilidad dimensional. Cálculo de la presión crítica de colapsado

Cálculo de la presión del terreno

$$critq_{vt} = 2\sqrt{S_t S_{sh}}$$

El coeficiente de seguridad al aplastamiento es:

$$\eta_1 = \frac{critq_{vt}}{q_{vt}}$$

Cálculo de la presión exterior del agua

$$critp_e = \alpha_d S_t$$

donde:

α_d es el coeficiente de penetración

El coeficiente de seguridad al aplastamiento resulta:

$$\eta_2 = \frac{critP_e}{P_e}$$

Donde:

P_e es la presión exterior del agua, o presión hidrostática, referida al eje del tubo (N/mm^2), que se calcula :

$$P_e = \gamma_a \left(H_a + \frac{D_n}{2} \right) 10^{-3}$$

donde:

γ_a es el peso específico del agua (10 KN/m^3)

H_a es la altura del nivel freático sobre la clave del tubo (m)

D_n es el diámetro nominal del tubo (m)

Acción simultanea de la presión del suelo y del agua externa

$$\eta_3 = \frac{1}{\frac{q_{vt}}{\text{crit}q_{vt}} + \frac{P_e}{\text{crit}P_e}}$$

5 CÁLCULOS REALIZADOS

5.1 Tubería de aducción

5.1.1 Datos de diseño

La tubería de aducción es una tubería de fundición de diámetro nominal 200 mm y clasificación C-50. La unión en la zona enterrada es de tipo enchufe/campana y en su paso por la hincia de tipo acerrojado.

La presión de funcionamiento de esta tubería máxima es de 180 mca en el punto de conexión con la tubería de refuerzo del ramal este. Este valor disminuye tras la válvula reductora de presión, quedando comprendido entre los 85 y los 110 mca.

El cálculo mecánico de la conducción se realizará para el valor de 180 mca, estando de esta manera del lado de la seguridad.

Las profundidades de la conducción (hasta la generatriz superior del tubo) varían desde una profundidad máxima de 3,47 metros hasta una profundidad mínima de 1,00 metros.

Como carga de tráfico se ha considerado un tráfico de carretera principal, para estar del lado de la seguridad.

5.1.2 Cálculos realizados

A continuación se adjuntan los cálculos realizados

Cálculo de espesores Tubería de fundición

Espesor (mm)	6,3
C	50
DN (mm)	200
DO (mm)	222

Presión de rotura (N/mm ²)	
Pr	25,27
e (mm)	6,3
ID (mm)	209,4
Rm (N/mm ²)	420

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ			
Rigidez (N/mm ²)	N/mm ²	N/m ²	kN/m ²
S	0,44279156	442.791,56	442,791563
E (módulo de Young) N/mm ²		170.000	
e espesor del tubo (mm)		6,3	
DN (diámetro nominal tubería) mm		200	

	Módulo de Elasticidad (N/mm ²)	Densidad (kg/m ³)	Rmin (N/mm ²)	Lmin (N/mm ²)
Tuberías				
Fundición	170000	7050	420	270

A) TUBOS ENTERRADOS

HIPÓTESIS 1

VALIDO

Comprobación de presión interna. Tubos de fundición

Presión de trabajo (N/mm²) 1,77Presión de diseño (DP) (N/mm²)

DP	8,42
e (mm)	6,30
ID (mm)	209,40
Rm (N/mm ²)	420,00
C1	3,00

MDP (Máxima Presión de Diseño) (N/mm²)

MDP	10,11
e (mm)	6,30
ID (mm)	209,40
Rm (N/mm ²)	420,00
C1	2,50

HIPÓTESIS 2

VÁLIDO

Acciones externas. Deformaciones

Objetivo: la deformación máxima debido a la flexión transversal no supera la máxima admisible

Máxima deformación para DN200 1,85 %

Cálculo de la deformación mediante la fórmula de Spangler

Deformación 0,24763179 %

VÁLIDO

Ka = factor de Apoyo en función del ángulo de apoyo =

0,102

20°	0,110
45°	0,105
60°	0,102
120°	0,090
180°	0,083

We carga debida al peso de tierras (kN/m2)

69,4

peso específico del relleno (kN/m3)

20

Altura (m) de tierra sobre la clave del tubo

3,47

Wt carga debida al tráfico (kN/m2)

16,60

coeficiente de carga de tráfico

1,5

2 tráfico intenso
1,5 carreteras principales
0,75 carreteras intermedias
0,5 carreteras rurales

DN (mm)

200

Sc (rigidez nominal del tubo) (kN/m2)

442,791563

E' módulo de reacción del suelo (kN/m2)

0

0	terreno sin compactar
1000	terreno con compactación mala
2000	terreno con compactación media
5000	terreno con compactación buena

Cálculo de espesores Tubería de fundición

Espesor (mm)	6,3
C	50
DN (mm)	200
DO (mm)	222

Presión de rotura (N/mm ²)	
Pr	25,27
e (mm)	6,3
ID (mm)	209,4
Rm (N/mm ²)	420

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ			
Rigidez (N/mm ²)	N/mm ²	N/m ²	kN/m ²
S	0,44279156	442.791,56	442,791563
E (módulo de Young) N/mm ²		170.000	
e espesor del tubo (mm)		6,3	
DN (diámetro nominal tubería) mm		200	

	Módulo de Elasticidad (N/mm ²)	Densidad (kg/m ³)	Rmin (N/mm ²)	Lmin (N/mm ²)
Tuberías				
Fundición	170000	7050	420	270

A) TUBOS ENTERRADOS**HIPÓTESIS 1****VALIDO****Comprobación de presión interna. Tubos de fundición**Presión de trabajo (N/mm²) 1,77Presión de diseño (DP) (N/mm²)

DP	8,42
e (mm)	6,30
ID (mm)	209,40
Rm (N/mm ²)	420,00
C1	3,00

MDP (Máxima Presión de Diseño) (N/mm²)

MDP	10,11
e (mm)	6,30
ID (mm)	209,40
Rm (N/mm ²)	420,00
C1	2,50

HIPÓTESIS 2

VALIDO

Acciones externas. Deformaciones

Objetivo: la deformación máxima debido a la flexión transversal no supera la máxima admisible

Máxima deformación para DN200 1,85 %

Cálculo de la deformación mediante la fórmula de Spangler

Deformación 0,22344599 %

VALIDO

Ka = factor de Apoyo en función del ángulo de apoyo =

0,102

20°	0,110
45°	0,105
60°	0,102
120°	0,090
180°	0,083

We carga debida al peso de tierras (kN/m2)

20

peso específico del relleno (kN/m3)

20

Altura (m) de tierra sobre la clave del tubo

1

Wt carga debida al tráfico (kN/m2)

57,6

coeficiente de carga de tráfico

1,5

2 tráfico intenso
 1,5 carreteras principales
 0,75 carreteras intermedias
 0,5 carreteras rurales

DN (mm)

200

Sc (rigidez nominal del tubo) (kN/m2)

442,791563

E' módulo de reacción del suelo (kN/m2)

0

0	terreno sin compactar
1000	terreno con compactación mala
2000	terreno con compactación media
5000	terreno con compactación buena

5.2 Tubería de distribución

5.2.1 Datos de diseño

La tubería de aducción es una tubería de fundición de diámetro nominal 300 mm y clasificación C-40. La unión en la zona enterrada es de tipo enchufe/campana y en su paso por la hincia de tipo acerrojado.

La presión de funcionamiento de esta tubería máxima es de 51 mca en el punto de instalación de un sistema de regulación de presión (caudal medio en situación actual). Tras este sistema la presión varía de los 2,2 bares para el caudal medio y los 4,4 bares para el caudal punta.

El cálculo mecánico de la conducción se realizará para el valor de 100 mca, estando de esta manera del lado de la seguridad.

Las profundidades de la conducción (hasta la generatriz superior del tubo) varían desde una profundidad máxima de 3,32 metros hasta una profundidad mínima de 1,00 metro.

Como carga de tráfico se ha considerado un tráfico de carretera principal, para estar del lado de la seguridad.

5.2.2 Cálculos realizados

A continuación se incluyen los cálculos realizados

Cálculo de espesores Tubería de fundición

Espesor (mm)	6,2
C	40
DN (mm)	300
DO (mm)	326

Presión de rotura (N/mm ²)	
Pr	16,61
e (mm)	6,2
ID (mm)	313,6
Rm (N/mm ²)	420

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ			
Rigidez (N/mm ²)	N/mm ²	N/m ²	kN/m ²
S	0,12504864	125.048,64	125,048642
E (módulo de Young) N/mm ²		170.000	
e espesor del tubo (mm)		6,2	
DN (diámetro nominal tubería) mm		300	

	Módulo de Elasticidad (N/mm ²)	Densidad (kg/m ³)	Rmin (N/mm ²)	Lmin (N/mm ²)
Tuberías				
Fundición	170000	7050	420	270

A) TUBOS ENTERRADOS**HIPÓTESIS 1****VALIDO****Comprobación de presión interna. Tubos de fundición**Presión de trabajo (N/mm²) 0,98Presión de diseño (DP) (N/mm²)

DP	5,54
e (mm)	6,20
ID (mm)	313,60
Rm (N/mm ²)	420,00
C1	3,00

MDP (Máxima Presión de Diseño) (N/mm²)

MDP	6,64
e (mm)	6,20
ID (mm)	313,60
Rm (N/mm ²)	420,00
C1	2,50

HIPÓTESIS 2

VALIDO

Acciones externas. Deformaciones

Objetivo: la deformación máxima debido a la flexión transversal no supera la máxima admisible

Máxima deformación para DN300 2,45 %

Cálculo de la deformación mediante la fórmula de Spangler

Deformación 0,85037802 %

VALIDO

Ka = factor de Apoyo en función del ángulo de apoyo =

0,102

20°	0,110
45°	0,105
60°	0,102
120°	0,090
180°	0,083

We carga debida al peso de tierras (kN/m2)

66,42

peso especifico del relleno (kN/m3)

20

Altura (m) de tierra sobre la clave del tubo

3,321

Wt carga debida al tráfico (kN/m2)

16,98

coeficiente de carga de tráfico

1,5

2 tráfico intenso
 1,5 carreteras principales
 0,75 carreteras intermedias
 0,5 carreteras rurales

DN (mm)

300

Sc (rigidez nominal del tubo) (kN/m2)

125,048642

E' módulo de reacción del suelo (kN/m2)

0

0	terreno sin compactar
1000	terreno con compactación mala
2000	terreno con compactación media
5000	terreno con compactación buena

Cálculo de espesores Tubería de fundición

Espesor (mm)	6,2
C	40
DN (mm)	300
DO (mm)	326

Presión de rotura (N/mm ²)	
Pr	16,61
e (mm)	6,2
ID (mm)	313,6
Rm (N/mm ²)	420

CÁLCULO DE LA RIGIDEZ			
Rigidez (N/mm ²)	N/mm ²	N/m ²	kN/m ²
S	0,12504864	125.048,64	125,048642
E (módulo de Young) N/mm ²		170.000	
e espesor del tubo (mm)		6,2	
DN (diámetro nominal tubería) mm		300	

	Módulo de Elasticidad (N/mm ²)	Densidad (kg/m ³)	Rmin (N/mm ²)	Lmin (N/mm ²)
Tuberías Fundición	170000	7050	420	270

A) TUBOS ENTERRADOS**HIPÓTESIS 1****VALIDO****Comprobación de presión interna. Tubos de fundición**Presión de trabajo (N/mm²) 1,80Presión de diseño (DP) (N/mm²)

DP	5,54
e (mm)	6,20
ID (mm)	313,60
Rm (N/mm ²)	420,00
C1	3,00

MDP (Máxima Presión de Diseño) (N/mm²)

MDP	6,64
e (mm)	6,20
ID (mm)	313,60
Rm (N/mm ²)	420,00
C1	2,50

HIPÓTESIS 2

VALIDO

Acciones externas. Deformaciones

Objetivo: la deformación máxima debido a la flexión transversal no supera la máxima admisible

Máxima deformación para DN300 2,45 %

Cálculo de la deformación mediante la fórmula de Spangler

Deformación 0,77897687 %

VALIDO

Ka = factor de Apoyo en función del ángulo de apoyo =

0,102

20°	0,110
45°	0,105
60°	0,102
120°	0,090
180°	0,083

We carga debida al peso de tierras (kN/m2)

20

peso específico del relleno (kN/m3)

20

Altura (m) de tierra sobre la clave del tubo

1

Wt carga debida al tráfico (kN/m2)

56,4

coeficiente de carga de tráfico

1,5

2 tráfico intenso
 1,5 carreteras principales
 0,75 carreteras intermedias
 0,5 carreteras rurales

DN (mm)

300

Sc (rigidez nominal del tubo) (kN/m2)

125,048642

E' módulo de reacción del suelo (kN/m2)

0

0	terreno sin compactar
1000	terreno con compactación mala
2000	terreno con compactación media
5000	terreno con compactación buena

5.3 Cálculos realizados para tubería de desagüe del depósito

5.3.1 Datos de diseño

Se han realizado dos cálculos. El primero de ellos para la tubería con mayor profundidad, que se corresponde con la zanja tipo 7ª (para profundidad mayor de 1,90). En esta caso la tubería tiene una profundidad de 4,85 m.

El segundo caso estudiado se corresponde con la menor profundidad de excavación, que se corresponde con la zanja tipo 7B. En esta caso la excavación es de 1,42 m.

Como carga de tráfico para ambos casos se ha considerado ligera (LT-12), ya que no se ve afectado por ningún camino principal.

5.3.2 Cálculos realizados

A continuación se incluyen los cálculos realizados



Programa ASETUB PVC

Versión 2.1

Informe de resultados de cálculo mecánico

Datos sobre el informe

Informe número:

Fecha:

A la atención de D./Dña.:

Empresa/entidad:

Dirección:

Ciudad:

Teléfono/Fax:

Correo electrónico:

Referencia de la obra: TALAMANCA DEL JARAMA

RESULTADO DEL CÁLCULO MECÁNICO: INSTALACIÓN VÁLIDA

(Si se aplican en la instalación los parámetros especificados en el cálculo) TALAMANCA DEL JARAMA

Coefficiente de seguridad empleado en el cálculo: A (> 2.5)

1. Características del tubo y la instalación.

TIPO DE CONDUCCIÓN: SANEAMIENTO SIN PRESIÓN (Tubos según norma UNE-EN 1.456)

Instalación en: ZANJA

Material del tubo: PVC-U

Presión nominal: bar (entre paréntesis, PN no habitual)

Diámetro nominal: $D_n = 315$ mm

Espesor: $e = 9.2$ mm

Diámetro interior: $d_i = 296.6$ mm

Radio medio: $R_m = 152.9$ mm

Módulo de elasticidad: $E_t(l_p) = 1750$ N/mm², $E_t(c_p) = 3600$ N/mm²

Peso específico: $P_{esp} = 14$ kN/m³

Esfuerzo tang. máximo: $\sigma_{t-l_p} = 50$ N/mm², $\sigma_{t-c_p} = 90$ N/mm²

Nota: Las propiedades del material se han obtenido del informe UNE 53.331 IN

Presión agua interior: $P_i =$ bar

Presión agua exterior: $P_e = 0$ bar

Altura de la zanja: $H_1 = 4.545$ m

Anchura de la zanja: $B_1 = 1.83$ m

Ángulo de inclinación de la zanja: $\beta = 45^\circ$

Apoyo sobre material granular compactado (Tipo A)

Ángulo de apoyo: $\alpha = 90^\circ$

Tipo de relleno: Poco cohesivo

Tipo de suelo: Poco cohesivo

Relleno de la zanja compactado por capas solo en la zona del tubo

Peso específico de la tierra de relleno: $\gamma_1 = 20$ kN/m³

Módulos de compresión del relleno: $E_1 = 3$ N/mm², $E_2 = 6$ N/mm²

Módulos de compresión del terreno: $E_3 = 2$ N/mm², $E_4 = 2$ N/mm²

Sobrecargas concentradas debidas a tráfico: LIGERO (<12t)

Número de ejes de los vehículos: 2

Distancia entre ruedas: $a = 2$ m

Distancia entre ejes: $b = 3$ m

Sobrecarga concentrada: $P_c = 40$ kN

Sobrecarga repartida: $P_d =$ kN

Zona no pavimentada



Programa ASETUB PVC

Versión 2.1

Informe de resultados de cálculo mecánico

2. Determinación de las acciones sobre el tubo

2.1. Presión vertical de las tierras.

Debida a las tierras: $q_v=56,87819 \text{ kN/m}^2$
Debida a sobrecargas concentradas: $P_{vc}=3,23381 \text{ kN/m}^2$
Debida a sobrecargas repartidas: $P_{vr}=0 \text{ kN/m}^2$
Presión vertical total sobre el tubo: $q_{vt}=60,112 \text{ kN/m}^2$

2.2. Presión lateral de las tierras

Reacción máxima lateral del suelo
a la altura del centro del tubo: $q_{ht}=44,65701 \text{ kN/m}^2$

2.3. Deformación Relativa: $dv=1,70955 \%$ --ADMISIBLE: cumple $\leq 5\%$

2.4. Momentos flectores circunferenciales.

2.4.1. Debidos a la presión vertical total sobre el tubo (M_{qvt})

En Clave: $M_{qvt}(\text{Clave})=0,38506 \text{ kN m/m}$
En Riñones: $M_{qvt}(\text{riñones})=-0,39209 \text{ kN m/m}$
En Base: $M_{qvt}(\text{Base})=0,44127 \text{ kN m/m}$

2.4.2. Debidos a la presión lateral del relleno sobre el tubo (M_{qh})

En Clave: $M_{qh}(\text{Clave})=-0,12945 \text{ kN m/m}$
En Riñones: $M_{qh}(\text{Riñones})=0,12945 \text{ kN m/m}$
En Base: $M_{qh}(\text{Base})=-0,12945 \text{ kN m/m}$

2.4.3. Debidos a la reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo (M_{qht})

En Clave: $M_{qht}(\text{Clave})=-0,18897 \text{ kN m/m}$
En Riñones: $M_{qht}(\text{Riñones})=0,21715 \text{ kN m/m}$
En Base: $M_{qht}(\text{Base})=-0,18897 \text{ kN m/m}$

2.4.4. Debidos al propio peso del tubo (M_t)

En Clave: $M_t(\text{Clave})=0,00126 \text{ kN m/m}$
En Riñones: $M_t(\text{Riñones})=-0,00146 \text{ kN m/m}$
En Base: $M_t(\text{Base})=0,00193 \text{ kN m/m}$

2.4.5. Debidos al peso del agua (M_a)

En Clave: $M_a(\text{Clave})=0,00751 \text{ kN m/m}$
En Riñones: $M_a(\text{Riñones})=-0,00869 \text{ kN m/m}$
En Base: $M_a(\text{Base})=0,01147 \text{ kN m/m}$

2.4.6. Debidos a la presión del agua (M_{pa})

En Clave: $M_{pa}(\text{Clave})=0 \text{ kN m/m}$
En Riñones: $M_{pa}(\text{Riñones})=0 \text{ kN m/m}$
En Base: $M_{pa}(\text{Base})=0 \text{ kN m/m}$

2.4.7. Momento flector total (M)

En Clave: $M(\text{Clave})=0,07541 \text{ kN m/m}$
En Riñones: $M(\text{Riñones})=-0,05563 \text{ kN m/m}$
En Base: $M(\text{Base})=0,13626 \text{ kN m/m}$



Programa ASETUB PVC

Versión 2.1

Informe de resultados de cálculo mecánico

2.5. Fuerzas axiales.

2.5.1. Debidas a la presión vertical total sobre el tubo (Nqvt)

En Clave: Nqvt (Clave)=0,48713 kN m/m
En Riñones: Nqvt (riñones)=-9,19112 kN m/m
En Base: Nqvt (Base)=-0,48713 kN m/m

2.5.2. Debidas a la presión lateral del relleno sobre el tubo (Nqh)

En Clave: Nqh (Clave)=-3,38651 kN m/m
En Riñones: Nqh (Riñones)=0 kN m/m
En Base: Nqh (Base)=-3,38651 kN m/m

2.5.3. Debidas a la reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo (Nqht)

En Clave: nqht (Clave)=-3,93979 kN m/m
En Riñones: Nqht (Riñones)=0 kN m/m
En Base: Nqht (Base)=-3,93979 kN m/m

2.5.4. Debidas al propio peso del tubo (Nt)

En Clave: Nt (Clave)=0,00656 kN m/m
En Riñones: Nt (Riñones)=-0,03094 kN m/m
En Base: Nt (Base)=-0,00656 kN m/m

2.5.5. Debidas al peso del agua (Na)

En Clave: Na (Clave)=0,15593 kN m/m
En Riñones: Na (Riñones)=0,05026 kN m/m
En Base: Na (Base)=0,31163 kN m/m

2.5.6. Debidas a la presión del agua (Npa)

En Clave: Npa (Clave)=0 kN m/m
En Riñones: Npa (Riñones)=0 kN m/m
En Base: Npa (Base)=0 kN m/m

2.5.7. Fuerza axil total (N)

En Clave: N (Clave)=-6,67668 kN m/m
En Riñones: N (Riñones)=-9,1718 kN m/m
En Base: N (Base)=-7,50835 kN m/m

2.6. Esfuerzos tangenciales máximos.

En Clave: 4,7273 kN/mm²
En Riñones: -4,86125 kN/mm²
En Base: 9,03714 kN/mm²

2.7. Verificación del esfuerzo tangencial(coef. de seguridad a rotura)

En Clave: 10,57685 --ADMISIBLE: cumple >2.5
En Riñones: 10,28543 --ADMISIBLE: cumple >2.5
En Base: 5,53272 --ADMISIBLE: cumple >2.5

2.8. Estabilidad (Coeficientes de seguridad al aplastamiento).

Debido al terreno: 11,43238 --ADMISIBLE: cumple >2.5
Debido a la presión ext. de agua :248,50299 --ADMISIBLE: cumple >2.5
Debido al terreno y al agua: 10,92957 --ADMISIBLE: cumple >2.5



Programa ASETUB PVC

Versión 2.1

Informe de resultados de cálculo mecánico

Datos sobre el informe

Informe número:

Fecha:

A la atención de D./Dña. :

Empresa/entidad :

Dirección :

Ciudad :

Teléfono/Fax :

Correo electrónico:

Referencia de la obra : TALAMANCA DEL JARAMA

RESULTADO DEL CÁLCULO MECÁNICO: INSTALACIÓN VÁLIDA

(Si se aplican en la instalación los parámetros especificados en el cálculo) TALAMANCA DEL JARAMA

Coeficiente de seguridad empleado en el cálculo: $A (> 2.5)$

1. Características del tubo y la instalación.

TIPO DE CONDUCCIÓN: SANEAMIENTO SIN PRESIÓN (Tubos según norma UNE-EN 1.456)

Instalación en: ZANJA

Material del tubo: PVC-U

Presión nominal: bar (entre paréntesis, PN no habitual)

Diámetro nominal: $D_n = 315$ mm

Espesor: $e = 9.2$ mm

Diámetro interior: $d_i = 296.6$ mm

Radio medio: $R_m = 152.9$ mm

Módulo de elasticidad: $E_t(l_p) = 1750$ N/mm² , $E_t(c_p) = 3600$ N/mm²

Peso específico: $P_{esp} = 14$ kN/m³

Esfuerzo tang. máximo: $\sigma_t(l_p) = 50$ N/mm² , $\sigma_t(c_p) = 90$ N/mm²

Nota: Las propiedades del material se han obtenido del informe UNE 53.331 IN

Presión agua interior: $P_i =$ bar

Presión agua exterior: $P_e = 0$ bar

Altura de la zanja: $H_1 = 1.105$ m

Anchura de la zanja: $B_1 = 1.17$ m

Ángulo de inclinación de la zanja: $\beta = 71.56^\circ$

Apoyo sobre material granular compactado (Tipo A)

Ángulo de apoyo: $\alpha = 90^\circ$

Tipo de relleno: Medianamente cohesivo

Tipo de suelo:

Relleno de la zanja compactado por capas solo en la zona del tubo

Peso específico de la tierra de relleno: $\gamma_1 = 20$ kN/m³

Módulos de compresión del relleno: $E_1 = 6$ N/mm² $E_2 = 3$ N/mm²

Módulos de compresión del terreno: $E_3 = 2$ N/mm² $E_4 = 2$ N/mm²

Sobrecargas concentradas debidas a tráfico: LIGERO ($< 12t$)

Número de ejes de los vehículos: 2

Distancia entre ruedas: $a = 2$ m

Distancia entre ejes: $b = 3$ m

Sobrecarga concentrada: $P_c = 40$ kN

Sobrecarga repartida: $P_d =$ kN

Zona no pavimentada



Programa ASETUB PVC

Versión 2.1

Informe de resultados de cálculo mecánico

2. Determinación de las acciones sobre el tubo

2.1. Presión vertical de las tierras.

Debida a las tierras: $q_v=16,9075 \text{ kN/m}^2$

Debida a sobrecargas concentradas: $P_{vc}=20,63557 \text{ kN/m}^2$

Debida a sobrecargas repartidas: $P_{vr}=0 \text{ kN/m}^2$

Presión vertical total sobre el tubo: $q_{vt}=37,54307 \text{ kN/m}^2$

2.2. Presión lateral de las tierras

Reacción máxima lateral del suelo

a la altura del centro del tubo: $q_{ht}=14,61024 \text{ kN/m}^2$

2.3. Deformación Relativa: $dv=2,62826 \%$ --ADMISIBLE: cumple $\leq 5\%$

2.4. Momentos flectores circunferenciales.

2.4.1. Debidos a la presión vertical total sobre el tubo (M_{qvt})

En Clave: $M_{qvt}(\text{Clave})=0,24049 \text{ kN m/m}$

En Riñones: $M_{qvt}(\text{riñones})=-0,24488 \text{ kN m/m}$

En Base: $M_{qvt}(\text{Base})=0,2756 \text{ kN m/m}$

2.4.2. Debidos a la presión lateral del relleno sobre el tubo (M_{qh})

En Clave: $M_{qh}(\text{Clave})=-0,0227 \text{ kN m/m}$

En Riñones: $M_{qh}(\text{Riñones})=0,0227 \text{ kN m/m}$

En Base: $M_{qh}(\text{Base})=-0,0227 \text{ kN m/m}$

2.4.3. Debidos a la reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo (M_{qht})

En Clave: $M_{qht}(\text{Clave})=-0,06182 \text{ kN m/m}$

En Riñones: $M_{qht}(\text{Riñones})=0,07105 \text{ kN m/m}$

En Base: $M_{qht}(\text{Base})=-0,06182 \text{ kN m/m}$

2.4.4. Debidos al propio peso del tubo (M_t)

En Clave: $M_t(\text{Clave})=0,00126 \text{ kN m/m}$

En Riñones: $M_t(\text{Riñones})=-0,00146 \text{ kN m/m}$

En Base: $M_t(\text{Base})=0,00193 \text{ kN m/m}$

2.4.5. Debidos al peso del agua (M_a)

En Clave: $M_a(\text{Clave})=0,00751 \text{ kN m/m}$

En Riñones: $M_a(\text{Riñones})=-0,00869 \text{ kN m/m}$

En Base: $M_a(\text{Base})=0,01147 \text{ kN m/m}$

2.4.6. Debidos a la presión del agua (M_{pa})

En Clave: $M_{pa}(\text{Clave})=0 \text{ kN m/m}$

En Riñones: $M_{pa}(\text{Riñones})=0 \text{ kN m/m}$

En Base: $M_{pa}(\text{Base})=0 \text{ kN m/m}$

2.4.7. Momento flector total (M)

En Clave: $M(\text{Clave})=0,16474 \text{ kN m/m}$

En Riñones: $M(\text{Riñones})=-0,16128 \text{ kN m/m}$

En Base: $M(\text{Base})=0,20448 \text{ kN m/m}$



Programa ASETUB PVC

Versión 2.1

Informe de resultados de cálculo mecánico

2.5. Fuerzas axiales.

2.5.1. Debidas a la presión vertical total sobre el tubo (Nqvt)

En Clave: Nqvt (Clave)=0,30424 kN m/m
En Riñones: Nqvt (riñones)=-5,74034 kN m/m
En Base: Nqvt (Base)=-0,30424 kN m/m

2.5.2. Debidas a la presión lateral del relleno sobre el tubo (Nqh)

En Clave: Nqh (Clave)=-0,59377 kN m/m
En Riñones: Nqh (Riñones)=0 kN m/m
En Base: Nqh (Base)=-0,59377 kN m/m

2.5.3. Debidas a la reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo (Nqht)

En Clave: nqht (Clave)=-1,28896 kN m/m
En Riñones: Nqht (Riñones)=0 kN m/m
En Base: Nqht (Base)=-1,28896 kN m/m

2.5.4. Debidas al propio peso del tubo (Nt)

En Clave: Nt (Clave)=0,00656 kN m/m
En Riñones: Nt (Riñones)=-0,03094 kN m/m
En Base: Nt (Base)=-0,00656 kN m/m

2.5.5. Debidas al peso del agua (Na)

En Clave: Na (Clave)=0,15593 kN m/m
En Riñones: Na (Riñones)=0,05026 kN m/m
En Base: Na (Base)=0,31163 kN m/m

2.5.6. Debidas a la presión del agua (Npa)

En Clave: Npa (Clave)=0 kN m/m
En Riñones: Npa (Riñones)=0 kN m/m
En Base: Npa (Base)=0 kN m/m

2.5.7. Fuerza axil total (N)

En Clave: N (Clave)=-1,416 kN m/m
En Riñones: N (Riñones)=-5,72101 kN m/m
En Base: N (Base)=-1,88189 kN m/m

2.6. Esfuerzos tangenciales máximos.

En Clave: 11,75829 kN/mm²
En Riñones: -11,82558 kN/mm²
En Base: 14,58178 kN/mm²

2.7. Verificación del esfuerzo tangencial(coef. de seguridad a rotura)

En Clave: 4,25232 --ADMISIBLE: cumple >2.5
En Riñones: 4,22812 --ADMISIBLE: cumple >2.5
En Base: 3,42894 --ADMISIBLE: cumple >2.5

2.8. Estabilidad (Coeficientes de seguridad al aplastamiento).

Debido al terreno: 12,14384 --ADMISIBLE: cumple >2.5
Debido a la presión ext. de agua :203,47474 --ADMISIBLE: cumple >2.5
Debido al terreno y al agua: 11,45989 --ADMISIBLE: cumple >2.5

5.4 Conclusión

Como se ha podido comprobar el dimensionamiento para los casos más desfavorables ha dado siempre como resultado válido.

Las tuberías de fundición no presentan ningún problema desde el punto de vista mecánico para soportar los esfuerzos a los que van a estar sometidas.

6 ANCLAJES

El cálculo de los anclajes de las conducciones viene indicado en el Anejo 07: Cálculos estructurales.

También se encuentran representados en el documento 2: Planos.