ANEJO N.º 9

—

CÁLCULOS ESTRUCTURALES Y MECÁNICOS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 2
2. CALCULO MECANICO DE LAS CONDUCCIONES 2
2.1. Método de cálculo 2
2.2. Resultados del cálculo mecánico 12
3. SOPORTACIÓN DEL PASO DE LA TUBERÍA DE ABASTECIMIENTO ADOSADA A TABLERO DEL PUENTE 12
3.1. Datos de partida 12
3.2. Modelo resistente 12
3.3. Acciones y reparto de cargas 12
3.4. Esfuerzos en anclajes por soporte 13
3.5. Verificación según Eurocódigo (EN 1992-4) 13
3.6. Dilatación térmica y disposición de apoyos 13
3.7. Parámetros de instalación 14
3.8. Condiciones de validez 14
3.9. Criterio de elección de apoyos fijos y deslizantes 14
3.10. Conclusión 15

ANEXO 1: CÁLCULOS MECÁNICOS DE TUBERÍAS 13

ANEJO N.º 9

—

CÁLCULOS ESTRUCTURALES Y MECÁNICOS

1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente anejo es incluir los cálculos mecánicos realizados para la definición de las conducciones proyectadas.

2. CALCULO MECANICO DE LAS CONDUCCIONES

Las conducciones en lámina libre definidas en el proyecto se materializan con tubería de policloruro de vinilo (PVC) de diferentes diámetros en función del tramo de la conducción. La red proyectada incluye tubos de PVC de diámetros nominales (DN) de 250 y 315 milímetros a lo largo del colector principal y de las incorporaciones.

Los colectores de PVC proyectados se apoyan sobre una cama de 15 centímetros de material granular tipo “A” compactado al 98% del Próctor Modificado. Este material se utiliza también para recubrir la tubería, al menos, 30 centímetros por encima de la clave del tubo.

Por otro lado, el recubrimiento de los colectores es variable a lo largo de la traza.

2.1. Método de cálculo

En el presente apartado se hace una descripción del método utilizado y de las zonas de estudio representativas de la red proyectada.

Para comprobar la validez de las tuberías de PVC se han seguido las recomendaciones de la norma UNE 53331:2024. Para ello, se ha utilizado el software AseTUB desarrollado por la Asociación Española de Fabricantes de Tuberías y Accesorios Plásticos, que calcula, entre otras variables:

- Las acciones sobre el tubo: presión vertical, presión lateral de las tierras y resto de posibles cargas actuantes: tráfico, pavimentación, etc.
- La deformación relativa, comprobando que su valor sea inferior al 5%.
- Los momentos flectores circunferenciales.
- Las fuerzas axiles.
- Los esfuerzos tangenciales máximos.

Con los valores obtenidos de estas variables, el programa calcula el coeficiente de seguridad a rotura (comprobación del esfuerzo tangencial) y el coeficiente de seguridad al aplastamiento (comprobación de la estabilidad), verificándose que cumplan con los valores indicados en la Normativa.

2.1.1. Zonas de estudio

A lo largo de la traza de las conducciones, se diferencian las siguientes zonas representativas de la red proyectada que serán objeto del cálculo mecánico de los colectores:

- Zona 1: Conducciones bajo viales. Esta región representa casi todo el trazado de ambos colectores. Para su estudio se consideran las acciones verticales y horizontales sobre el tubo debidas a la carga del terreno y a las sobrecargas del tráfico. Las componentes verticales del tren de cargas simuladas corresponden a las siguientes acciones actuando simultáneamente:
    - Tren de 39 T, cuyo eje longitudinal se considerará paralelo al de la calzada y formado cada uno por seis cargas de 65 KN.
    - Una sobrecarga uniforme de 4 KN/m^2 extendida en toda la superficie o parte de ella, según sea más desfavorable para el elemento de estudio.
- Zona 2: Conducciones bajo terreno natural. Esta región representa la incorporación I05 del colector A. Para su estudio se consideran las acciones verticales y horizontales sobre el tubo debidas a la carga del terreno y a las sobrecargas del tráfico. Las componentes verticales del tren de cargas simuladas corresponden a las siguientes acciones actuando simultáneamente:
    - Una sobrecarga uniforme de 4 KN/m2 extendida en toda la superficie o parte de ella, según sea más desfavorable para el elemento de estudio.

2.1.2. Características de los tubos

Para definir los esfuerzos se necesita conocer.

- Peso específico, en kN/m^3. Se toma 14 kN/m^3 para tubos de PVC
- Diámetro nominal
- Espesor de la pared
- Diámetro interior
- Módulo de elasticidad en flexión transversal, en N/mm^2.

Material	Corto plazo	Largo plazo
PVC	3.600	1.750

2.1.3. Características de las instalaciones y de los suelos

Tipos de instalación de tuberías

La Norma UNE 53331 considera tres tipos de instalación de la tubería con procesos de cálculo distintos dependiendo de la instalación:

- Tipo 1: Instalación en zanja

- Tipo 2: Instalación en terraplén
- Tipo 3: Instalación en zanja terraplenada.
- Tipo 4: Instalación de dos conducciones en la misma zanja al mismo o distinto nivel.

Tipos de apoyo

A su vez la normativa establece dos tipos de apoyo de la tubería sobre el terreno:

- Apoyo Tipo A: cama continua de material granular compactado. Se establece una compactación de la cama uniforme.
- Apoyo Tipo B: el tubo se apoya directamente sobre el fondo de la zanja o sobre el suelo natural si se trata de una instalación bajo terraplén. Se permite este tipo de apoyo solamente en suelos arenosos carentes de piedras y terrones.

Tipos de suelo

La clasificación de suelos que considera la Norma es la que se indica a continuación:

- Grupo 1: suelo no cohesivo. Se incluyen en este grupo las gravas y arenas sueltas. Porcentaje de finos (≤ 0,06 mm) inferior al 5%.
- Grupo 2: suelo poco cohesivo. Se incluyen en este grupo las gravas y arenas poco arcillosas o limosas. Porcentaje de finos entre el 5% y el 15%.
- Grupo 3: suelo medianamente cohesivo. Se incluyen en este grupo las gravas y arenas arcillosas-limosas. Porcentaje de finos entre el 15% y el 40% y los limos poco plásticos.
- Grupo 4: suelo cohesivo. Se incluyen en este grupo las arcillas, los limos y los suelos con mezcla de componentes orgánicos.

No se recomienda utilizar como relleno, materiales con alto contenido en componentes orgánicos, ni instalar las tuberías en suelos orgánicos sin tomar precauciones especiales (empleo de geotextiles, etc.).

2.1.4. Acciones sobre el sistema

Determinación de la presión vertical y lateral de las tierras

La Norma UNE 53331:2024 establece el cálculo de la presión vertical de tierras y de la presión lateral sobre una tubería en función del tipo de instalación de la misma.

Para determinar las acciones que el terreno ejerce, se utiliza el método desarrollado por la Asociación Técnica para el Saneamiento de Alemania, plasmado en la norma ATV 127:2000. Este método se basa en obtener los momentos en la pared del tubo considerando la deformabilidad del mismo y del terreno, expuesto tanto a cargas verticales como a empujes horizontales del terreno.

Para calcular la carga vertical del relleno, se emplea la expresión siguiente:

$$q_v = m \cdot C_z \cdot \gamma_r \cdot H$$

siendo:

q_v: presión vertical sobre el tubo debido a la carga de tierras, expresada en kN/m^2.

m: factor de concentración de la presión vertical. Tiene en cuenta el hecho de que la carga vertical sobre el tubo puede ser mayor o menor que la soportada por las tierras situadas a su alrededor debido a las distintas deformaciones de la tubería o de las tierras de relleno.

C_z. coeficiente reductor de la carga.

γ_r: densidad del relleno, en kN/m^3.

Para los empujes laterales del terreno, se utiliza la formula siguiente:

$$q_h = n \cdot K_2 \cdot C_z \cdot \gamma_r \cdot H$$

donde:

q_h: presión lateral de las tierras, expresada en kN/m^2.

n: factor de concentración lateral de las tierras.

K_2: coeficiente de empuje lateral.

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:

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

donde:

P_{vc} es la presión vertical sobre el tubo debida a las sobrecargas concentradas (KN/m^2)

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.

Sobrecargas repartidas

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

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

donde:

P_{vr} es la presión vertical sobre el tubo debida a las sobrecargas repartidas (KN/m^2)

C_d es el coeficiente de carga para sobrecargas repartidas

P_d es el valor de la sobrecarga repartida (KN/m^2)

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

2.1.5. Cálculo de la deformación relativa

Se define como deformación relativa al valor obtenido mediante la aplicación de la expresión:

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

donde:

En esta fórmula ΔDv representa la deformación vertical del diámetro del tubo y r_m el radio medio de la tubería.

El valor calculado de la deformación ha de ser menor o igual al 5% para que el tubo sea admitido como valido.

2.1.6. Determinación de las solicitaciones.

Determinación de los momentos flectores circunferenciales

Por carga vertical, q_{vt}

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

donde:

m_{qvt} es el coeficiente de momento

Por carga horizontal, q_h

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

donde:

m_{qh} es el coeficiente de momento

Por reacción horizontal, q_{ht}

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

donde:

m_{qht} es el coeficiente de momento

Por peso propio del tubo, t

$$M_t = m_t \cdot g_1 \cdot e \cdot r_m^2$$

donde:

m_t es el coeficiente de momento

g_1 es el peso específico del material del tubo (KN/m^3). Para el PVC es 14.6 y para el PE 9.5

e es el espesor del tubo (m)

Por el peso del agua, considerando el tubo lleno

$$M_a = m_a \cdot g_a \cdot r_m^2$$

donde:

m_a es el coeficente de momento

Por la presión del agua, P_a

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

donde:

P_i es la presión interior del agua (KN/m^2)

P_e es la presión exterior del agua, referida al eje del tubo (KN/m^2)

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 axiles

Por carga vertical, q_{vt}

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

donde:

n_{vt} es el coeficiente de momento

Por carga horizontal, q_h

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

donde:

n_{qh} es el coeficiente de momento

Reacción horizontal, q_{ht}

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

donde:

n_{qht} es el coeficiente de momento

Peso propio del tubo, t

$$N_t = n_t \cdot g_1 \cdot e \cdot r_m^2$$

donde:

n_t es el coeficiente de momento

g_1 es el peso específico del material del tubo (KN/m^3). Para el PVC es 14.6 y para el PE 9.5

e es el espesor del tubo (m)

Por el peso del agua, considerando el tubo lleno

$$N_a = m_a \cdot g_a \cdot r_m^2$$

donde:

n_a es el coeficiente de momento

Por la presión del agua, Pa

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

donde:

P_i es la presión interior del agua (KN/m^2)

P_e es la presión exterior del agua, referida al eje del tubo (KN/m^2)

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 en el tubo

Conocidas las acciones que actúan sobre el tubo y una vez calculados los momentos flectores circunferenciales y las fuerzas axiles, se procede a determinar las tensiones máximas en la tubería aplicando la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{\sigma = \frac{N}{S} \pm \frac{M \cdot 100}{W} \cdot \alpha k \cdot 10}$$

siendo:

M: suma de momentos por unidad de longitud.

N: suma de fuerzas axiles por unidad de longitud.

S: área de la sección longitudinal de la pared del tubo por unidad de longitud, expresada en cm^2/cm.

W: momento resistente de la sección.

α_k factor de corrección por curvatura.

2.1.7. Dimensionado

Comprobaciones de la idoneidad del tubo

Calculados los esfuerzos tangenciales máximos en el tubo, se comprueba la validez de la tubería elegida. Estas comprobaciones se realizan teniendo en cuenta dos posibles situaciones en función del grado de seguridad exigido:

- CLASE DE SEGURIDAD A: es la opción normal de cálculo. Se considera amenaza de capa freática, reducción de servicio y fallo con consecuencias económicas notables.
- CLASE DE SEGURIDAD B: es el caso especial de cálculo. Se considera que no existe amenaza de capa freática, reducción débil de servicio y fallo con consecuencias económicas poco importantes.

Comprobación del esfuerzo tangencial (coeficiente de seguridad a rotura)

La comprobación consiste en comparar el valor del esfuerzo tangencial de diseño a flexotracción, a corto y largo plazo, con los esfuerzos tangenciales en clave, riñones y base de la tubería elegida. Para ello se utiliza la siguiente formulación:

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

donde:

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

Los valores establecidos en la normativa para el esfuerzo tangencial de diseño a flexo-tracción son los indicados en la siguiente tabla:

Material	A corto plazo (N/mm^2)	A largo plazo (N/mm^2)
PVC	90	50

El valor del coeficiente de seguridad a rotura, tanto a corto como a largo plazo, ha de ser mayor que el indicado en la siguiente tabla para que la tubería se admita como valida:

Material	Clase de seguridad A (normal)	Clase de seguridad B (excepción)
PVC	2,5	2,0

Comprobación de la estabilidad dimensional (coeficiente de seguridad al aplastamiento)

La comprobación consiste en calcular los valores de los coeficientes de seguridad al aplastamiento η , a corto y a largo plazo, debido a la presión del terreno, a la presión exterior del agua y a la acción simultánea de la presión del terreno y del agua externa. Para ello se emplea la siguiente formulación:

- Cálculo de la presión del terreno

$$\mathrm{critqvt} = 2\sqrt{S_t S_{sh}}$$

El coeficiente de seguridad al aplastamiento es:

$$\eta_1 = \frac{\mathrm{critq}_{vt}}{q_{vt}}$$

- 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

$$\eta_3 = \frac{1}{\frac{q_{vt}}{critq_{vt}} + \frac{P_e}{critP_e}}$$

Hallados estos coeficientes se comprueba que sus valores sean superiores al indicado en la siguiente tabla en función de la clase de seguridad:

Material	Clase de seguridad A (normal)	Clase de seguridad B (excepción)
PVC	2,5	2,0

2.2. Resultados del cálculo mecánico

Las tuberías de policloruro de vinilo (PVC), al ser de materiales termoplásticos, se comprueban a deformación, no pudiendo ser esta mayor del 5% del DN del tubo. Adicionalmente, se comprueba que los valores de los coeficientes de seguridad de aplastamiento y de rotura estén por encima de 2,5. En caso de no cumplir estos parámetros se opta por variar el diámetro del tubo o el tipo de material.

En conclusión, tal y como se muestra en los informes de resultados incluidos en el apéndice 1 del presente anejo, los resultados de los cálculos mecánicos realizados verifican que los tubos de PVC propuestos de diámetros nominales de 315 milímetros con rigidez nominal de SN-4 cumplen con los valores indicados en la Norma UNE 53331.

3. SOPORTACIÓN DEL PASO DE LA TUBERÍA DE ABASTECIMIENTO ADOSADA A TABLERO DEL PUENTE

3.1. Datos de partida

Parámetro	Valor
Tubería	AISI 316, 4" SCH 40 (llena de agua)
Geometría de la tubería	U invertida: 3.0 m + 12.0 m + 3.0 m (total 18.0 m)
Peso lineal (tubería+agua)	0.241 kN/m (≈ 24,6 kg/m)
Soportes resistentes	5 u. en tramo horizontal
Soporte	Angular inox. 40×40×4 mm; apoyo de neopreno; sujeción con abarcón inox.
Anclajes por soporte	2 × anclajes mecánicos de expansión inox. M10 × 125 mm
Separación vertical entre anclajes (z)	80 mm
Brazo de palanca a eje de tubería (e)	150 mm
Canto tablero (h)	400 mm
Distancia eje anclaje–borde (c)	100 mm

3.2. Modelo resistente

El soporte en “L” trabaja como ménsula anclada al canto del tablero. La carga vertical transmitida por la tubería al ala horizontal genera: (i) cortante en el grupo de anclajes y (ii) un momento flector que produce tracción en el anclaje superior y compresión en el inferior (modelo de par). Los soportes de los tramos verticales se consideran únicamente de guiado; sin embargo, el peso de los tramos verticales se transmite al tramo horizontal y se incluye en la carga total.

3.3. Acciones y reparto de cargas

Se considera el peso propio de la tubería llena (acción permanente):

- Peso total (característico): $G_k = w \cdot L = 0.241 \times 18.0 = 4.34$ kN
- Carga por soporte (característica): $G_{k,s} = G_k/5 = 4.34/5 = 0.868$ kN

Nota: Los 5 soportes del tramo horizontal se consideran los únicos elementos resistentes a carga vertical. El peso de los dos tramos verticales se incluye dentro de Gk.

3.4. Esfuerzos en anclajes por soporte

Cálculo a partir del modelo de ménsula y par de anclajes:

- Momento característico en ménsula: Mk = Gk,s·e = 0.868×0.15 = 0.130 kN·m
- Tracción en anclaje superior (modelo de par): NEd = Mk/z = 0.130/0.08 = 1.63 kN
- Cortante por anclaje (reparto): VEd = Gk,s/2 = 0.868/2 = 0.43 kN
- Comprobación de sensibilidad con factor de acciones permanentes γG = 1,35 (orientativa):
    - Gd,s = γG·Gk,s = 1,35×0.868 = 1.171 kN
    - Md = Gd,s·e = 1.171×0.15 = 0.176 kN·m
    - NEd,ULS = Md/z = 0.176/0.08 = 2.20 kN
    - VEd,ULS = Gd,s/2 = 1.171/2 = 0.59 kN

3.5. Verificación según Eurocódigo (EN 1992-4)

Se emplean resistencias de diseño (NRd, VRd) del anclaje M10 inox A4 en hormigón fisurado C20/25, conforme a hoja técnica. Se verifican esfuerzos a tracción, cortante e interacción.

Magnitud	Acción	Resistencia	Utilización
Tracción	NEd = 1.63 kN	NRd = 6.1 kN	0.27
Cortante	VEd = 0.43 kN	VRd = 16.2 kN	0.03
Interacción	NEd/NRd + VEd/VRd	≤ 1,00	0.29 → CUMPLE
Interacción (ULS orient.)	NEd,ULS/NRd + VEd,ULS/VRd	≤ 1,00	0.40 → CUMPLE

Condiciones geométricas relevantes:

- Distancia a borde (c): 100 mm
- Canto del tablero (h): 400 mm

El canto del tablero (400 mm) es muy superior a las profundidades efectivas típicas del M10 (hef), y la distancia al borde es c = 100 mm.

3.6. Dilatación térmica y disposición de apoyos

Se evalúa el movimiento longitudinal del tramo horizontal (12 m) para definir el concepto “apoyo fijo + apoyos deslizantes”:

- Coeficiente de dilatación (inox): $\alpha = 16\times10^{-6}$ /°C
- Rango térmico adoptado: ΔT = 40 °C
- Dilatación: $\Delta L = \alpha\cdot L\cdot\Delta T = 16\times10^{-6}\times12.0\times40 = 7.7$ mm (≈ ±3.8 mm)

Como criterio constructivo se establece un soporte “fijo” (control longitudinal) y el resto “deslizantes”, sobre neopreno, configurando el abarcón para no bloquear el movimiento longitudinal en los apoyos deslizantes.

3.7. Parámetros de instalación

Diámetro de broca (do)	10 mm
Taladro holgura en pieza (df)	12 mm
Par de apriete (Tinst)	45 Nm
Opciones de empotramiento (hef)	40 / 60 mm

3.8. Condiciones de validez

La presente verificación del sistema de anclaje y soporte es válida bajo las siguientes condiciones, de acuerdo con la Norma EN 1992-4 y la documentación técnica del anclaje considerado:

- El elemento base es hormigón estructural de clase C20/25, en estado fisurado.
- Los anclajes mecánicos de expansión M10×125 se instalan conforme a la hoja técnica del fabricante, incluyendo:
    - taladro de diámetro nominal,
    - limpieza adecuada del orificio,
    - profundidad de empotramiento conforme a especificación,
    - aplicación del par de apriete prescrito.
- Los anclajes trabajan en condiciones ambientales normales, sin considerar situaciones accidentales tales como incendio o acción sísmica.
- Se dispone de una distancia del eje del anclaje al borde libre del canto del tablero de c = 100 mm, así como un canto total del tablero de h = 400 mm, valores suficientes para evitar reducciones adicionales de resistencia por fallo del hormigón.
- La separación entre anclajes y la disposición geométrica descartan efectos de grupo no contemplados en el cálculo.
- El soporte metálico en ménsula se considera suficientemente rígido, no siendo determinantes las deformaciones locales del mismo frente al comportamiento global del sistema.

Bajo estas condiciones, los resultados de las verificaciones realizadas son plenamente aplicables.

3.9. Criterio de elección de apoyos fijos y deslizantes

Con el fin de absorber la dilatación térmica longitudinal de la tubería, estimada en aproximadamente ± 4 mm para el tramo horizontal considerado, se adopta el siguiente criterio constructivo:

- Se define como APOYO FIJO el soporte central del tramo horizontal.

- El resto de los soportes del tramo horizontal se configuran como APOYOS DESLIZANTES.
- La elección del apoyo fijo en posición central permite:
    - repartir de forma simétrica los desplazamientos térmicos,
    - minimizar esfuerzos parásitos en los anclajes y en la tubería,
    - evitar acumulaciones de desplazamiento en los extremos del trazado.
- El apoyo central definido como apoyo fijo presenta las siguientes características técnicas:
    - Soporte en ménsula fijado al canto del tablero mediante dos anclajes mecánicos de expansión inox M10×125, dimensionados conforme al presente cálculo.
    - Abarcón de sujeción configurado para impedir el desplazamiento longitudinal de la tubería, permitiendo la transmisión de esfuerzos longitudinales al soporte.
    - Transmisión de las acciones longitudinales a la estructura a través del conjunto soporte–anclajes.
    - Presencia de elemento de neopreno únicamente con función de reparto de presiones y protección, sin permitir deslizamiento en este punto.
- En los apoyos deslizantes, el neopreno y la configuración del abarcón permiten el movimiento longitudinal de la tubería sin bloqueo.

3.10. Conclusión

Con la geometría definida (canto 40 cm, eje de anclaje a 10 cm del borde), el soporte tipo ménsula con 2 anclajes M10×125 cumple las verificaciones de tracción, cortante e interacción exigidas por EN 1992-4 con márgenes holgados. Se recomienda mantener el criterio de 1 apoyo fijo y apoyos deslizantes para absorber la dilatación térmica.

ANEXO 1: CÁLCULOS MECÁNICOS DE TUBERÍAS