

## ANEJO Nº 08.- CÁLCULOS MECÁNICOS



## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. OBJETO.</b>  | <b>5</b>  |
| <b>2. DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO DE LOS TUBOS DE FUNDICIÓN DÚCTIL</b>       | <b>6</b>  |
| <b>3. DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO DEL COLECTOR DE HORMIGÓN ARMADO</b>        | <b>9</b>  |
| <b>4. CÁLCULO MECÁNICO DE ANCLAJES</b>                                     | <b>14</b> |
| 4.1 Criterios de dimensionamiento  | 14        |
| 4.2 Codos verticales   | 17        |
| 4.3 Armado de anclajes   | 18        |
| 4.4 Resultados de cálculo  | 19        |
| <b>ANEXO I. RESULTADOS DE CÁLCULO DE LA TUBERÍA DE FD SEGÚN UNE-EN 545</b> | <b>21</b> |



## 1. OBJETO.

El presente anejo tiene como objeto realizar el cálculo mecánico de las conducciones a colocar en el “Proyecto de Mejora de Abastecimiento a Pezuela de las Torres”.

Se deberá por tanto realizar el cálculo mecánico de las tuberías de fundición dúctil utilizadas para la llegada, impulsiones desde los grupos de bombeo (Pezuela y urb. Los Caminos) y by-pass al depósito así como el cálculo del colector de desagüe.

Por último, también se realiza en cálculo mecánico de los macizos de anclaje para los codos horizontales existentes en el presente proyecto.

## 2. DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO DE LOS TUBOS DE FUNDICIÓN DÚCTIL

El dimensionamiento mecánico de estos tubos se realizará conforme a lo especificado en el Anexo F de la norma UNE-EN 545.

Según esta normativa las principales comprobaciones que deben hacerse en los tubos de fundición instalados en zanja son las siguientes:

### Hipótesis I. Presión interna (estado tensional)

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 e 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:

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

Siendo:

DP y MDP: presión de diseño y máxima de diseño, N/mm<sup>2</sup>

e: espesor de la pared del tubo

Dm: diámetro medio del tubo en mm: Dm = OD - e.

OD: diámetro exterior del tubo, en mm.

Rm: resistencia mínima a la tracción 420 N/mm<sup>2</sup>

C1: coeficiente de seguridad para DP. C1 = 3

C2: coeficiente de seguridad para MDP. C2 = 2,5

### Hipótesis II. Acciones externas (estado deformacional)

Deberá 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.

La ovalización máxima admisible para todas las clases de presión es el menor de los valores entre el calculado a partir del límite de tensión de flexión de la pared del tubo y el correspondiente al límite del revestimiento.

La ovalización admisible limitada por la resistencia a la flexión de la fundición dúctil viene dada por la siguiente fórmula:

$$\lambda = 100 \cdot \left( \frac{R_f \cdot (DE - e_{nom})}{SF \cdot E \cdot e_{nom} \cdot DF} \right)$$

Siendo:

λ: Ovalización admisible (%).

Rf: Resistencia a la flexión del material de la pared del tubo (Rf=500 MPa).

DE: Diámetro exterior nominal del tubo (mm).

e<sub>nom</sub>: Espesor nominal de la pared del tubo (mm).

$$e_{nom} = e_{min} + (1,3 + 0,001 \cdot DN)$$

e<sub>min</sub>: espesor mínimo de la pared del tubo (mm) según UNE-EN 545.

SF: Factor de seguridad (SF=1,5).

E: Módulo de elasticidad del material ( $E=170.000 \text{ MPa}$ ).

DF: Factor de deformación ( $DF=3,5$ ).

En cuanto a la ovalización admisible limitada por los revestimientos internos de los tubos, para todas las clases de presión se establecen unos valores del 3 % para DN 80 a DN 300 y del 4% para DN 800 o superiores. Los tamaños DN 350 a DN 700 siguen una interpolación lineal entre los límites del 3% y el 4%.

Las deformaciones producidas en el tubo por las cargas externas se calcularán mediante la fórmula de Spangler de la siguiente manera:

$$\delta = \frac{100 \cdot K\alpha \cdot (We + Wt)}{8 \cdot Sc + (0,061E)}$$

Siendo:

$\delta$ : deformación vertical del tubo debida a las cargas externas, en %

$K\alpha$ : factor de apoyo en función del ángulo de apoyo  $2\alpha$

- Ángulo de apoyo  $2\alpha = 20^\circ$   $K\alpha = 0,110$
- Ángulo de apoyo  $2\alpha = 45^\circ$   $K\alpha = 0,105$
- Ángulo de apoyo  $2\alpha = 60^\circ$   $K\alpha = 0,102$
- Ángulo de apoyo  $2\alpha = 120^\circ$   $K\alpha = 0,090$
- Ángulo de apoyo  $2\alpha = 180^\circ$   $K\alpha = 0,083$

We: carga debida al peso de las tierras, en  $\text{kN/m}^2$

$$We = \gamma \cdot H$$

$\gamma$ : peso específico del relleno, en  $\text{kN/m}^3$  (a falta de datos al respecto, se suele tomar  $20 \text{ kN/m}^3$ )

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

Wt: carga debida al tráfico, en  $\text{kN/m}^2$

$$Wt = 40(1 - 0,0002DN) \frac{\beta}{H}$$

$\beta$ : 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  $\beta = 0,5$ , aún en el caso de no existencia de tráfico rodado. Esta fórmula no debe emplearse en alturas de relleno inferiores a  $0,5 \text{ m}$ , debiendo procurarse recubrimientos superiores si se prevén cargas de tráfico.

DN = diámetro nominal del tubo, en mm

Sc = rigidez circunferencial específica, en  $\text{kN/m}^2$

$$Sc = 1000 \frac{E}{12} \left( \frac{e_{stiff}}{D} \right)^3$$

$e_{stiff}$ : Espesor nominal de la pared del tubo para el cálculo de la rigidez circunferencial (mm).

$$e_{stiff} = e_{min} + 0,5 (1,3 + 0,001 * DN)$$

D: Diámetro medio del tubo (mm).

$$D = DE - e_{stiff}$$

$E'$ : módulo de reacción del suelo, en kN/m<sup>2</sup>

- $E' = 0$  terreno sin compactar
- $E' = 1.000$  kN/m<sup>2</sup> terreno con compactación mala
- $E' = 2.000$  kN/m<sup>2</sup> terreno con compactación media
- $E' = 5.000$  kN/m<sup>2</sup> terreno con compactación buena

Los cálculos correspondientes para las tuberías de FD DN 150mm y FD DN 250 mm están recogidos en el Anexo I del presente anejo.



### 3. DIMENSIONAMIENTO MECÁNICO DEL COLECTOR DE HORMIGÓN ARMADO

Siguiendo las Normas para Redes de Saneamiento del Canal de Isabel II (Versión 2, 2016), el dimensionamiento mecánico de estos tubos se realizará conforme a lo especificado por el Anexo M de la norma UNE 127916.

En el diseño mecánico de estos tubos deberá considerarse el tipo de instalación de la conducción, pudiendo ser ésta en zanja, en terraplén, en zanja terraplenada o en zanja inducida en terraplén. En cualquier caso, en general, el dimensionamiento mecánico de estos tubos queda condicionado por el estado tensional alcanzado en la pared de la conducción en la hipótesis de actuación única de las cargas externas.

La comprobación de que, actuando únicamente las acciones externas (terreno, sobrecargas móviles o fijas, y otras si existen), las tensiones producidas en la pared del tubo no superen las admisibles se realizará verificando el cumplimiento de las siguientes expresiones, en función de la clasificación de tubo empleada:

Clasificación Tipo E

$$1,5 \cdot \frac{W_e + W_t}{F_{ap} \cdot ID} \leq q_r$$

Clasificación Tipo A

$$\frac{W_e + W_t}{F_{ap} \cdot ID} \leq q_f$$

Siendo:

$q_r$  carga de cálculo de rotura, en kN/m

$q_f$  carga de cálculo por fisuración, en kN/m<sup>2</sup>

ID diámetro interior del tubo, en m

$F_{ap}$  factor de apoyo

Para el cálculo de las cargas debidas al peso de las tierras, al tráfico y el factor de apoyo, se seguirán las siguientes indicaciones:

#### Acciones del terreno

Son las producidas tanto por el empuje activo como por el empuje pasivo del terreno. En su determinación deben tenerse en cuenta las condiciones de instalación de la tubería, así como que ésta sea rígida o flexible, el tipo de apoyo, el tipo de relleno, la naturaleza del terreno, etc.

$W_e$ : carga debida al peso de las tierras, en kN/m

$$W_e = C_z \times \gamma \times H \times b$$

Siendo

$\gamma$ : peso específico del relleno, en  $\text{kN/m}^3$

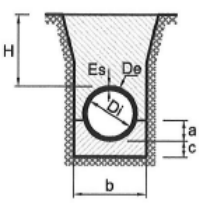
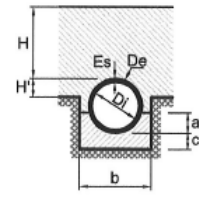
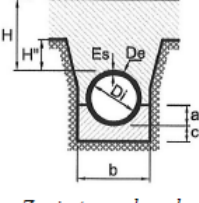
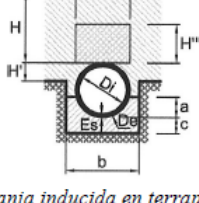
$H$ : altura, en m, de tierras sobre la clave del tubo

$H'$ : altura de la base del terraplén sobre la clave del tubo, en m

$H''$ : altura de material compresible sobre la clave del tubo, en m

$b$ : en las instalaciones en zanja o en zanja terraplenada,  $b$  es el ancho de la zanja en el plano de la clave, en m; en las instalaciones en terraplén,  $b$  es el diámetro exterior del tubo OD, en m.

$C_z$ : coeficiente de Marston según la siguiente tabla

| Tipo de instalación  | $H \leq H_0$  | $H > H_0$   |
|--|---|---|
|  <p>Zanja</p>                         |   | $C_z = \frac{1 - e^{-2\lambda\mu \frac{H}{b}}}{2\lambda\mu \frac{H}{b}}$  |
|  <p>Terraplén</p>                    | $C_z = \frac{e^{2\lambda\mu \frac{H}{OD}} - 1}{2\lambda\mu \frac{H}{OD}}$ | $C_z = \frac{e^{2\lambda\mu \frac{H_0}{OD}} - 1}{2\lambda\mu \frac{H}{OD}} + \frac{H - H_0}{H} e^{2\lambda\mu \frac{H_0}{OD}}$      |
|  <p>Zanja terraplenada</p>          | $C_z = \frac{1 - e^{-2\lambda\mu \frac{H}{b}}}{2\lambda\mu \frac{H}{b}}$  | $C_z = \frac{1 - e^{-2\lambda\mu \frac{H_0}{b_e}}}{2\lambda\mu \frac{H}{b_e}} + \frac{H - H_0}{H} e^{-2\lambda\mu \frac{H_0}{b_e}}$ |
|  <p>Zanja inducida en terraplén</p> | $C_z = \frac{1 - e^{-2\lambda\mu \frac{H}{b}}}{2\lambda\mu \frac{H}{b}}$  | $C_z = \frac{1 - e^{-2\lambda\mu \frac{H_0}{b_e}}}{2\lambda\mu \frac{H}{b_e}} + \frac{H - H_0}{H} e^{-2\lambda\mu \frac{H_0}{b_e}}$ |

$\lambda$ : coeficiente de Rankine

$$\lambda = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$\mu'$ : coeficiente de rozamiento del relleno contra los paramentos de la zanja ( $\mu' = \tan \varphi'$ )

$\mu$ : coeficiente de rozamiento del relleno ( $\mu = \tan \varphi$ )

$\varphi'$ : ángulo de rozamiento interno del relleno contra los paramentos de la zanja

$\varphi$ : ángulo de rozamiento interno del relleno

A efectos prácticos, pueden adoptarse los siguientes valores para los términos  $\lambda \mu'$  ó  $\lambda \mu$ .

| Clase de relleno   | $\lambda \mu'$ | $\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}$ |
|--------------------|----------------|----------------------------------|
| Arcilla plástica   | 0,110          | 21,0                             |
| Arcilla ordinaria  | 0,130          | 19,2                             |
| Arena arcillosa    | 0,150          | 19,2                             |
| Arena y grava      | 0,165          | 17,6                             |
| Arena sin cohesión | 0,192          | 19,0                             |

Los valores del parámetro  $H_0$  en las instalaciones en terraplén, en zanja terraplenada o en zanja inducida en terraplén se obtienen de la tabla siguiente.

| Instalación en zanja terraplenada |          | Instalación en terraplén           |          |
|-----------------------------------|----------|------------------------------------|----------|
| $H'/OD$                           | $H_0/OD$ | Tipo de base                       |          |
| 0,5                               | 0,600    | Roca o suelo rígido (no asentable) | $H_0/OD$ |
| 1,0                               | 1,520    | Suelo compacto (ordinario)         | 2,026    |
| 1,5                               | 2,515    | Suelo natural (asentable)          | 1,475    |
| 2,0                               | 4,460    |                                    |          |

| Instalación en zanja inducida en terraplén |          |
|--|----------|
| $H''/OD$                                   | $H_0/OD$ |
| 0,5  | 1,380    |
| 1,0  | 2,421    |
| 1,5  | 3,752    |
| 2,0  | 6,915    |

### Acciones del terreno

Son las producidas por la acción de los vehículos que puedan transitar sobre la tubería. Para su cálculo pueden emplearse los valores especificados en la siguiente tabla. En el caso de triple eje de 60 t, se añadirá a la carga  $W_t$  calculada, una sobrecarga de uso de 4,0.OD kN/m.

Para profundidades superiores a los 4 m no se considerarán cargas de tráfico. Como norma general, cuando sea de prever tráfico rodado posible, la profundidad mínima del tubo será tal que la clave quede por lo menos a un metro de la superficie; en aceras o lugares sin tráfico rodado, podrán disminuirse los recubrimientos a 60 cm.

Para profundidades inferiores a 0,9 m y en los casos de eje simple de 7 t y de 13 t, se aplicará el coeficiente de impacto  $C_i$ .

| $H$ (m)              | $C_i$ |
|----------------------|-------|
| $H \leq 0,60$        | 1,20  |
| $0,60 < H \leq 0,90$ | 1,10  |
| $H > 0,90$           | 1,00  |

## Factor de apoyo

Se recomiendan utilizar los valores del factor de apoyo indicados en la siguiente tabla, siendo H la altura de relleno sobre la clave del tubo. Para el caso de zanjas en terraplén o de zanjas inducidas en terraplén, los factores de apoyo se determinarán de acuerdo con lo indicado en el anexo M de la norma UNE 127.916 :2004.

| Tipo de apoyo                | Ángulo de apoyo | Características del relleno           | Factor de apoyo | H (cm)           |
|------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|------------------|
| Hormigón en masa HM-15       | 180°            | Compactado 95% P.N.                   | 4,0             | $\geq 30$        |
|                              |                 | Seleccionado sin compactar            | 3,0             | $\geq 30$        |
|                              | 120°            | Compactado 95% P.N.                   | 2,8             | $\geq 30$        |
|                              |                 | Seleccionado sin compactar            | 2,2             | $\geq 30$        |
|                              | 90°             | Compactado 95% P.N.                   | 2,3             | $\geq 30$        |
|                              |                 | Seleccionado sin compactar            | 2,0             | $\geq 30$        |
| Granular compactado 95% P.N. | 360°            | Material granular Compactado 95% P.N. | 2,1             | $\geq 30$        |
|                              | 180°            | Compactado 95% P.N.                   | 1,9             | $\geq 30$        |
|                              | 90°             | Compactado 95% P.N.                   | 1,7             | $\geq H/8, > 30$ |
|                              |                 | Seleccionado sin compactar            | 1,5             | $\geq H/8, > 30$ |
| Directo (No recomendado)     | 0°              | Fino                                  | 1,1             | $\geq H/8, > 15$ |

Se ha realizado el cálculo mecánico de los tubos de hormigón instalados:

- Colector HA DN 400 mm

Para el cálculo de los tubos de HA DN 400 instalados en zanja se han tenido en cuenta las cargas debidas al peso de las tierras así como cargas debidas al tráfico de eje triple de 60 t.

| Tubo hormigón armado DN 400. Altura de tierras 4,35 m |                               |            |
|---|-------------------------------|------------|
| Cargas debidas al peso de las tierras                 |                               |            |
| Peso específico del relleno                           | $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 24,7       |
| Altura tierras sobre clave del tubo                   | H (m)                         | 4,35       |
| Ancho de zanja  | b (m)                         | 1,1        |
| Ángulo roz. interno terreno                           | $\phi$ (°)                    | 38         |
| Coeficiente de Rankine                                | $\lambda$                     | 0,23788308 |
| Coeficiente de Marston                                | Cz                            | 0,3181893  |
| Carga de tierras                                      | We (kN/m)                     | 37,6066345 |
| Cargas debidas al tráfico. Eje triple 60 t            |                               |            |
| le  |                               | 6,71       |
| le'   |                               | 9,71       |
| t   |                               | 6,69       |
| s   |                               | 4,69       |
| OD<s  |                               |            |
| Carga de tráfico                                      | Wt (kN/m)                     | 5,29458697 |
| Diámetro int. Tubo                                    | ID (m)                        | 0,4        |
| Factor de apoyo                                       | Fa                            | 2,1        |
| Carga de cálculo de rotura                            | qr (kN)                       | 135        |
| Clasificación tipo E                                  |                               | 76,609324  |
| Resultado del cálculo                                 |                               | VÁLIDO     |

#### 4. CÁLCULO MECÁNICO DE ANCLAJES

Todos los componentes de la conducción que puedan estar sometidos a empujes por efecto de la presión hidráulica, tales como codos, derivaciones, conos de reducción y válvulas de seccionamiento o de regulación, deberán anclarse a un macizo de hormigón armado que contrarreste el empuje y asegure la inmovilidad de los mismos.

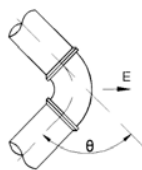
Para el dimensionamiento y armado de dichos macizos de anclaje se han utilizado las tablas contenidas al tal efecto en la Norma para Redes de Abastecimiento de Canal de Isabel II 2012.

##### 4.1 Criterios de dimensionamiento

Siendo MPD el valor de la máxima presión de diseño, el empuje hidráulico para los distintos componentes se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

Codo:

$$E = Pcal \frac{\pi \cdot ID^2}{4} 2 \cdot \sin \frac{\theta}{2}$$



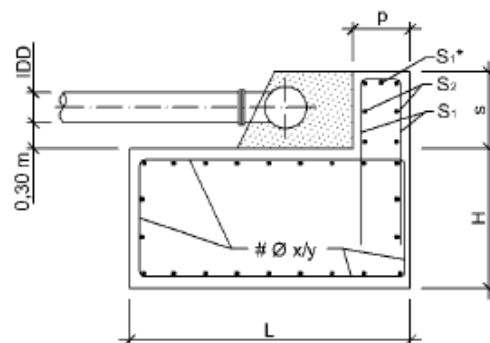
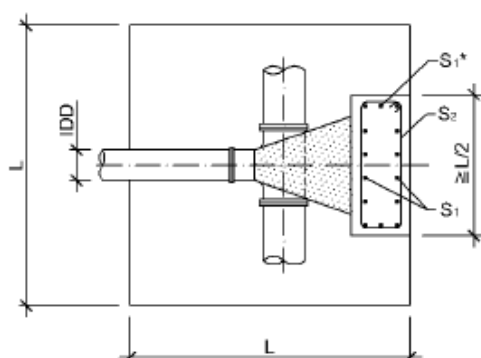
Siendo:

ID Diámetro interior de la conducción.

θ Ángulo de la desviación

Derivación:

$$E = Pcal \frac{\pi \cdot IDD^2}{4}$$



Siendo:  
IDD Diámetro interior de la derivación.

#### Hipótesis de cálculo

El predimensionamiento del macizo se realiza imponiendo un coeficiente mínimo de seguridad frente al vuelco de 1,8 y frente a deslizamiento de 1,5, de acuerdo a las prescripciones del Código Técnico de la Edificación (CTE-SE-C)

$$Cs \text{ deslizamiento} = \frac{F_{\text{estabilizadoras}}}{F_{\text{desestabilizadoras}}} \geq 1,50$$

$$Cs \text{ vuelco} = \frac{M_{\text{estabilizadores}}}{M_{\text{desestabilizadores}}} \geq 1,80$$

Los parámetros relativos a los materiales y al terreno que se han utilizado en el cálculo han sido los siguientes:

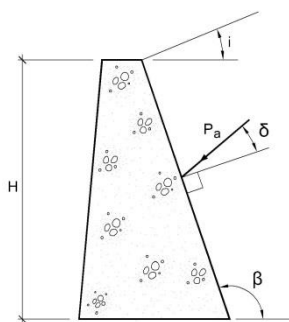
- Peso específico del hormigón = 2.300 kg/m<sup>3</sup>
- Peso específico del acero = 7.850 kg/m<sup>3</sup>
- Tensión admisible del terreno = 10Tn/m<sup>2</sup>
- Ángulo de rozamiento interno del terreno = 30º
- Límite elástico del acero = 400 N/mm<sup>2</sup>
- Resistencia del hormigón = 25 N/mm<sup>2</sup>
- Coeficiente minoración del acero = 1,15
- Coeficiente de mayoración de las cargas = 1,5

Se considera que la conducción se encuentra enterrada de tal forma que sobre la generatriz superior de la tubería se dispone de un espesor mínimo de 1 metro de tierras debidamente compactadas. La asunción de esta hipótesis obliga al cumplimiento de lo siguiente:

- Antes de proceder a excavar un dado de anclaje será preciso vaciar la tubería en ese tramo.
- Antes de proceder a la realización de las pruebas de presión en la tubería será preciso ejecutar el relleno de las tierras debidamente compactado en un mínimo de 1 metro sobre los macizos de anclaje.

Se considera una cierta colaboración del terreno de la pared delantera del terreno en la dirección del empuje. Se adopta, como criterio conservador, la consideración del coeficiente de empuje activo,  $K_a$ , para evaluar dicha colaboración. El valor del coeficiente  $K_a$ , definido en el CTE, es el siguiente:

$$K_a = \left[ \frac{\cos \epsilon \beta \sin(\beta - \phi)}{\sqrt{\sin(\beta + \delta) + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - i)}{\sin(\beta - i)}}}} \right]^2$$



Siendo:

$i$  y  $\beta$  los ángulos definidos en la figura anterior.

$\delta$  ángulo de rozamiento entre la cara lateral del macizo y el terreno.

$\Phi$  ángulo de rozamiento interno del terreno o relleno del trasdós.

En los cálculos realizados se ha considerado  $i=0^\circ$ ,  $\beta=0^\circ$  y  $\delta=0^\circ$  (no se considera rozamiento entre el terreno y la cara lateral del macizo)

La fuerza de rozamiento generada como oposición al movimiento en la base del macizo se define como:

$$F_{\text{roz.}} = \mu (G+T)$$

Siendo

$\mu = \tan \Phi$  = coeficiente de rozamiento

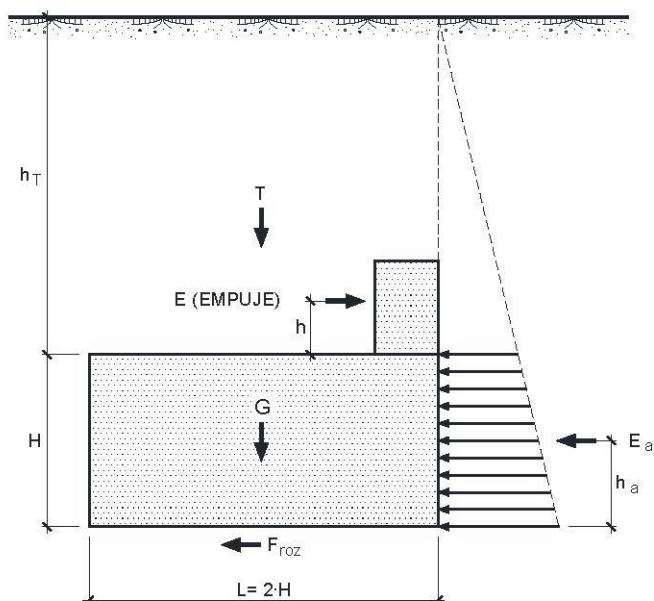
$G$  = peso del macizo.

$T = \gamma \cdot h_t \cdot L$  = peso del relleno que gravita sobre el macizo

Siendo  $h_t$  = altura de tierras sobre el macizo.

El esquema general de las fuerzas actuantes sobre el que se basa el cálculo es el siguiente:





Posteriormente se comprueban las presiones transmitidas al terreno siguiendo el criterio del CTE-SE-C. De entre varios ensayos realizados, el estudio geotécnico realizado arroja un resultado mínimo para la tensión admisible del terreno de 1,22 kp/cm<sup>2</sup>, por lo que adoptamos 10 tn/m<sup>2</sup> para la comprobación de las tensiones transmitidas por el macizo.

Para realizar esta comprobación se calculará el área equivalente de la superficie del macizo como L1\* x L2\*, siendo:

L1\* = L

L2\* = L - 2e

Con

L = lado del macizo de anclaje.

E = excentricidad en la dirección del empuje.

Para la obtención de la tensión final se descontará el peso de las tierras desalojadas durante la excavación, quedando:

$$\sigma = \frac{(G+T)}{L_1^* \times L_2^*} - \gamma(ht + H) \leq 12,2T / m^2$$

## 4.2 Codos verticales

### a) Codos verticales descendentes.

El volumen mínimo de hormigón requerido será tal que, sumado al peso del relleno sobre el macizo, equilibre la componente vertical del empuje con un coeficiente de seguridad no menor que 1,5. El resto de comprobaciones serán idénticas a las comentadas anteriormente.

### b) Codos verticales ascendentes

Se diseñan como una zapata de cimentación.

### 4.3 Armado de anclajes

La armadura del macizo de anclaje se proyecta de acuerdo a las prescripciones de la EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural y del “318-11: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary” (ACI 318-11), del American Concrete Institute (ACI).

El procedimiento de cálculo para determinar la armadura S1 consiste en garantizar que la sección que conecta el dado (que recibe directamente el empuje) con el macizo, resiste tanto el cortante (resistido por corte-fricción) como el momento flector producido por el empuje, cumpliendo en cualquier caso las cuantías mínimas prescritas por la EHE.

Para la determinación de la armadura necesaria para absorber el cortante se ha realizado utilizando la expresión:

$$Vu = \tau d * p * d \leq Vn = Ast * fyd * [\mu \sin(\alpha) + \cos(\alpha)]$$

Siendo:

$Vu$ = solicitación cortante de cálculo.

$Vn$  = Resistencia a cortante de cálculo.

$Ast$  = Armadura de cosido.

$\alpha$  = Ángulo de armadura de cosido.

$s$ =separación entre redondos.

$p$ =largo del dado de hormigón.

$d$ =ancho del dado de hormigón.

$\mu$ =coeficiente de rozamiento entre ambos hormigones (dado y macizo), y que tiene en cuenta el efecto de engranaje de las crestas de la superficie de fractura y el efecto de pasador de la armadura. Puede tomar, según la norma 318-11 del American Concrete Institute (ACI 318-11) los valores que se indican a continuación:

|                  |   |
|------------------|---|
| $\mu=1,4\lambda$ | Hormigón colocado monolíticamente.  |
| $\mu=1,0\lambda$ | Hormigón colocado contra otro endurecido y de superficie intencionadamente rugosa.    |
| $\mu=0,6\lambda$ | Hormigón colocado contra otro endurecido y de superficie no intencionadamente rugosa. |
| $\mu=0,7\lambda$ | Hormigón anclado mediante conectadores.   |

El procedimiento empleado para la comprobación del momento flector es el recogido en el anejo 7 de la EHE-08 “Cálculo simplificado de secciones en Estado Límite Último de Agotamiento frente a solicitaciones normales” para sección rectangular.

Se ha dispuesto un armado mínimo formado por un mallazo de redondos del 12 a 10 cm (#12/10) en todas las caras, a efectos de minimizar la retracción, en caso de no ser necesaria armadura a efectos estructurales o ser de cuantía inferior a ésta.

#### 4.4 Resultados de cálculo

Para el dimensionado de los anclajes de los codos horizontales, verticales descendentes y derivaciones se han aplicado directamente las tablas de la Norma para Redes de Abastecimiento de Canal de Isabel II 2012. Se reproducen a continuación los resultados recogidos en las citadas tablas, particularizadas para los diámetros y presiones considerados en este proyecto:

##### Codos horizontales:

| CODO HORIZONTAL 90º |       |       |       |       |           |                      |                      |           |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|----------------------|----------------------|-----------|
| Pcal: 1,6 MPa       |       |       |       |       |           |                      |                      |           |
| ID (mm)             | h (m) | E (t) | H (m) | L (m) | Vol. (m3) | S <sub>1</sub> (cm2) | S <sub>2</sub> (cm2) | S * (cm2) |
| 150                 | 0,38  | 4,08  | 0,8   | 1,6   | 2,05      | 4Φ12 (4,52)          | 3Φ12 (3,39)          |           |
| 250                 | 0,43  | 11,33 | 1,15  | 2,3   | 6,08      | 5Φ12 (5,66)          | 3Φ12 (3,39)          |           |

| CODO HORIZONTAL 45º |       |       |       |       |           |                      |                      |           |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|----------------------|----------------------|-----------|
| Pcal: 1,6 MPa       |       |       |       |       |           |                      |                      |           |
| ID (mm)             | h (m) | E (t) | H (m) | L (m) | Vol. (m3) | S <sub>1</sub> (cm2) | S <sub>2</sub> (cm2) | S * (cm2) |
| 150                 | 0,38  | 2,21  | 0,65  | 1,30  | 1,10      | 4Φ12 (4,52)          | 3Φ12 (3,39)          |           |

##### Codos verticales descendentes:

| CODO VERTICAL DESCENDENTE 90º |       |       |       |       |           |                      |                      |           |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|----------------------|----------------------|-----------|
| Pcal: 1,6 MPa                 |       |       |       |       |           |                      |                      |           |
| ID (mm)                       | h (m) | E (t) | H (m) | L (m) | Vol. (m3) | S <sub>1</sub> (cm2) | S <sub>2</sub> (cm2) | S * (cm2) |
| 150                           | 0,38  | 4,08  | 0,90  | 1,80  | 2,92      | 4Φ12 (4,52)          | 3Φ12 (3,39)          |           |

##### Derivaciones:

| DERIVACIONES  |       |       |       |       |           |                      |                      |           |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-----------|----------------------|----------------------|-----------|
| Pcal: 1,6 MPa |       |       |       |       |           |                      |                      |           |
| ID (mm)       | h (m) | E (t) | H (m) | L (m) | Vol. (m3) | S <sub>1</sub> (cm2) | S <sub>2</sub> (cm2) | S * (cm2) |
| 150           | 0,38  | 2,88  | 0,70  | 1,40  | 1,37      | 4Φ12 (4,52)          | 3Φ12 (3,39)          |           |



## ANEXO I. RESULTADOS DE CÁLCULO DE LA TUBERÍA DE FD SEGÚN UNE-EN 545



## CÁLCULO MECÁNICO TUBERÍA FD SEGÚN UNE-EN 545

Tubería FD DN150mm C-64. H=1,00 m

### Hipótesis I. Estado tensional

|     |   |      |
|-----|---|------|
| DN  | Diámetro nominal (mm)                     | 150  |
| e   | Espesor mínimo de la pared del tubo (mm)  | 4    |
| OD  | Diámetro exterior del tubo (mm)           | 170  |
| DP  | Presión de diseño (MPa)                   | 0,44 |
| MDP | Presión máxima de diseño (MPa)            | 1,6  |
| Dm  | Diámetro medio del tubo (mm)              | 166  |
| Rm  | Resistencia mínima a tracción (MPa)       | 420  |
| C1  | Coefficiente de seguridad para DP         | 3    |
| C2  | Coefficiente de seguridad para MDP        | 2,5  |
| PFA | Presión de funcionamiento admisible (MPa) | 6,75 |
| PMA | Presión máxima admisible (MPa)            | 8,10 |
| 2α  | Ángulo de apoyo (°)                       | 120  |
| H   | Altura de tierras (m)                     | 1    |
| β   | Coefficiente de carga de tráfico          | 1,5  |
| E'  | Módulo de reacción del suelo (kN/m2)      | 1000 |
| γ   | Peso específico del relleno (kN/m3)       | 20   |

$$PFA = \frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_1}$$

$$PMA = \frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_2}$$

PFA 6,746987952

PMA 8,096385542

DP ≤ PFA VÁLIDO  
MDP ≤ PMA VÁLIDO

### Hipótesis II. Estado deformacional

#### 1. Ovalación máxima admisible por límite de tensión de flexión

$$\lambda = 100 \cdot \left( \frac{R_f \cdot (DE - e_{nom})}{SF \cdot E \cdot e_{nom} \cdot DF} \right)$$

|  |   |        |
|--|---|--------|
| λ  | Ovalación admisible (%)                       |        |
| Rf   | Resistencia a flex. material pared tubo (MPa) | 500    |
| DE   | Diámetro exterior nominal del tubo (mm)       | 170    |
| e <sub>nom</sub>                             | Espesor nominal de la pared del tubo (mm)     | 5,45   |
| $e_{nom} = e_{min} + (1,3 + 0,001 \cdot DN)$ |   |        |
| e <sub>min</sub>                             | Espesor mínimo de la pared del tubo (mm)      | 4      |
| SF   | Factor de seguridad                           | 1,5    |
| E  | Módulo de elasticidad del material (MPa)      | 170000 |
| DF   | Factor de deformación                         | 3,5    |

λ = 1,69%

#### 2. Ovalación máxima admisible por límite del revestimiento

| DN (mm) | Ovalación (%) |
|---------|---------------|
| 80      | 3,00%         |
| 100     | 3,00%         |
| 125     | 3,00%         |
| 150     | 3,00%         |
| 200     | 3,00%         |
| 250     | 3,00%         |
| 300     | 3,00%         |
| 350     | 3,10%         |
| 400     | 3,20%         |
| 450     | 3,30%         |
| 500     | 3,40%         |
| 600     | 3,60%         |
| 700     | 3,80%         |
| 800     | 4,00%         |

$$\lambda = 3,00\%$$

### 3. Deformación bajo cargas externas

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

$\delta$  Ovalización producida en el tubo debida a las cargas externas (%)

$K_a$  Factor de apoyo en función del ángulo de apoyo  $2\alpha$  0,09

| Ángulo de apoyo ( $2\alpha$ ) | $K_a$ |
|-------------------------------|-------|
| 20                            | 0,110 |
| 45                            | 0,105 |
| 60                            | 0,102 |
| 120                           | 0,090 |
| 180                           | 0,083 |

$W_e$  Carga debida al peso de las tierras (kN/m<sup>2</sup>) 20

$$W_e = \gamma \cdot H$$

$\gamma$  Peso específico del relleno (kN/m<sup>3</sup>) 20

$H$  Altura de tierras sobre la clave del tubo (m) 1

$W_t$  Carga debida al peso de las tierras (kN/m<sup>2</sup>) 58,2

$$W_t = 40 \cdot (1 - 0,0002 \cdot DN) \cdot \frac{\beta}{H}$$

$\beta$  Coeficiente de carga de tráfico

| Tipo de tráfico  | $\beta$ |
|--|---------|
| Zonas con cargas rodantes particularmente elevadas         | 2,00    |
| Carreteras sin prohibición de tráfico de vehículos pesados | 1,50    |
| Carreteras con prohibición de tráfico de vehículos pesados | 0,75    |
| Zonas rurales (casos no incluidos en los anteriores)       | 0,50    |

$S_c$  Rigidez circunferencial específica (kN/m<sup>2</sup>). 331,0180046

$$S_c = 1.000 \cdot \frac{E}{12} \cdot \left( \frac{e_{stiff}}{D} \right)^3$$

$e_{stiff}$  Espesor nominal de la pared del tubo para el cálculo de la rigidez circunferencial (mm). 4,725

$$e_{stiff} = e_{min} + 0,5 \cdot (1,3 + 0,001 \cdot DN)$$

$D$  Diámetro medio del tubo (mm). 165,275

$$D = DE - e_{stiff}$$

$E'$  Módulo de reacción del suelo (kN/m<sup>2</sup>) 1000

| Tipo de compactación del terreno | $E'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------|---------------------------|
| Sin compactar                    | 0                         |
| Mala                             | 1000                      |
| Media                            | 2000                      |
| Buena                            | 5000                      |

$$\delta = 0,26\%$$

VÁLIDO



## CÁLCULO MECÁNICO TUBERÍA FD SEGÚN UNE-EN 545

Tubería FD DN150mm C-64. H=2,34 m

### Hipótesis I. Estado tensional

|     |   |      |
|-----|---|------|
| DN  | Diámetro nominal (mm)                     | 150  |
| e   | Espesor mínimo de la pared del tubo (mm)  | 4    |
| OD  | Diámetro exterior del tubo (mm)           | 170  |
| DP  | Presión de diseño (MPa)                   | 0,44 |
| MDP | Presión máxima de diseño (MPa)            | 1,6  |
| Dm  | Diámetro medio del tubo (mm)              | 166  |
| Rm  | Resistencia mínima a tracción (MPa)       | 420  |
| C1  | Coefficiente de seguridad para DP         | 3    |
| C2  | Coefficiente de seguridad para MDP        | 2,5  |
| PFA | Presión de funcionamiento admisible (MPa) | 6,75 |
| PMA | Presión máxima admisible (MPa)            | 8,10 |
| 2α  | Ángulo de apoyo (°)                       | 120  |
| H   | Altura de tierras (m)                     | 2,34 |
| β   | Coefficiente de carga de tráfico          | 1,5  |
| E'  | Módulo de reacción del suelo (kN/m2)      | 1000 |
| γ   | Peso específico del relleno (kN/m3)       | 20   |

$$PFA = \frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_1}$$

$$PMA = \frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_2}$$

PFA 6,746987952

PMA 8,096385542

DP ≤ PFA VÁLIDO  
MDP ≤ PMA VÁLIDO

### Hipótesis II. Estado deformacional

#### 1. Ovalación máxima admisible por límite de tensión de flexión

$$\lambda = 100 \cdot \left( \frac{R_f \cdot (DE - e_{nom})}{SF \cdot E \cdot e_{nom} \cdot DF} \right)$$

|  |   |        |
|--|---|--------|
| λ  | Ovalación admisible (%)                       |        |
| Rf   | Resistencia a flex. material pared tubo (MPa) | 500    |
| DE   | Diámetro exterior nominal del tubo (mm)       | 170    |
| e <sub>nom</sub>                             | Espesor nominal de la pared del tubo (mm)     | 5,45   |
| $e_{nom} = e_{min} + (1,3 + 0,001 \cdot DN)$ |   |        |
| e <sub>min</sub>                             | Espesor mínimo de la pared del tubo (mm)      | 4      |
| SF   | Factor de seguridad                           | 1,5    |
| E  | Módulo de elasticidad del material (MPa)      | 170000 |
| DF   | Factor de deformación                         | 3,5    |

λ = 1,69%

#### 2. Ovalación máxima admisible por límite del revestimiento

| DN (mm) | Ovalación (%) |
|---------|---------------|
| 80      | 3,00%         |
| 100     | 3,00%         |
| 125     | 3,00%         |
| 150     | 3,00%         |
| 200     | 3,00%         |
| 250     | 3,00%         |
| 300     | 3,00%         |
| 350     | 3,10%         |
| 400     | 3,20%         |
| 450     | 3,30%         |
| 500     | 3,40%         |
| 600     | 3,60%         |
| 700     | 3,80%         |
| 800     | 4,00%         |

$$\lambda = 3,00\%$$

### 3. Deformación bajo cargas externas

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

$\delta$  Ovalización producida en el tubo debida a las cargas externas (%)

$K_a$  Factor de apoyo en función del ángulo de apoyo  $2\alpha$  0,09

| Ángulo de apoyo ( $2\alpha$ ) | $K_a$ |
|-------------------------------|-------|
| 20                            | 0,110 |
| 45                            | 0,105 |
| 60                            | 0,102 |
| 120                           | 0,090 |
| 180                           | 0,083 |

$W_e$  Carga debida al peso de las tierras (kN/m<sup>2</sup>) 46,8

$$W_e = \gamma \cdot H$$

$\gamma$  Peso específico del relleno (kN/m<sup>3</sup>) 20

$H$  Altura de tierras sobre la clave del tubo (m) 2,34

$W_t$  Carga debida al peso de las tierras (kN/m<sup>2</sup>) 24,87179487

$$W_t = 40 \cdot (1 - 0,0002 \cdot DN) \cdot \frac{\beta}{H}$$

$\beta$  Coeficiente de carga de tráfico

| Tipo de tráfico  | $\beta$ |
|--|---------|
| Zonas con cargas rodantes particularmente elevadas         | 2,00    |
| Carreteras sin prohibición de tráfico de vehículos pesados | 1,50    |
| Carreteras con prohibición de tráfico de vehículos pesados | 0,75    |
| Zonas rurales (casos no incluidos en los anteriores)       | 0,50    |

$S_c$  Rigidez circunferencial específica (kN/m<sup>2</sup>). 331,0180046

$$S_c = 1.000 \cdot \frac{E}{12} \cdot \left( \frac{e_{stiff}}{D} \right)^3$$

$e_{stiff}$  Espesor nominal de la pared del tubo para el cálculo de la rigidez circunferencial (mm). 4,725

$$e_{stiff} = e_{min} + 0,5 \cdot (1,3 + 0,001 \cdot DN)$$

$D$  Diámetro medio del tubo (mm). 165,275

$$D = DE - e_{stiff}$$

$E'$  Módulo de reacción del suelo (kN/m<sup>2</sup>) 1000

| Tipo de compactación del terreno | $E'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------|---------------------------|
| Sin compactar                    | 0                         |
| Mala                             | 1000                      |
| Media                            | 2000                      |
| Buena                            | 5000                      |

$$\delta = 0,24\%$$

VÁLIDO

## CÁLCULO MECÁNICO TUBERÍA FD SEGÚN UNE-EN 545

Tubería FD DN250mm C-50. H=1 m

### Hipótesis I. Estado tensional

|     |   |       |
|-----|---|-------|
| DN  | Diámetro nominal (mm)                     | 250   |
| e   | Espesor mínimo de la pared del tubo (mm)  | 4,8   |
| OD  | Diámetro exterior del tubo (mm)           | 274   |
| DP  | Presión de diseño (MPa)                   | 0,4   |
| MDP | Presión máxima de diseño (MPa)            | 1,6   |
| Dm  | Diámetro medio del tubo (mm)              | 269,2 |
| Rm  | Resistencia mínima a tracción (MPa)       | 420   |
| C1  | Coefficiente de seguridad para DP         | 3     |
| C2  | Coefficiente de seguridad para MDP        | 2,5   |
| PFA | Presión de funcionamiento admisible (MPa) | 4,99  |
| PMA | Presión máxima admisible (MPa)            | 5,99  |
| 2α  | Ángulo de apoyo (°)                       | 120   |
| H   | Altura de tierras (m)                     | 1     |
| β   | Coefficiente de carga de tráfico          | 1,5   |
| E'  | Módulo de reacción del suelo (kN/m2)      | 1000  |
| γ   | Peso específico del relleno (kN/m3)       | 20    |

$$PFA = \frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_1}$$

$$PMA = \frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_2}$$

PFA 4,992570579

PMA 5,991084695

DP ≤ PFA VÁLIDO  
MDP ≤ PMA VÁLIDO

### Hipótesis II. Estado deformacional

#### 1. Ovalación máxima admisible por límite de tensión de flexión

$$\lambda = 100 \cdot \left( \frac{R_f \cdot (DE - e_{nom})}{SF \cdot E \cdot e_{nom} \cdot DF} \right)$$

|  |   |        |
|--|---|--------|
| λ  | Ovalación admisible (%)                       |        |
| Rf   | Resistencia a flex. material pared tubo (MPa) | 500    |
| DE   | Diámetro exterior nominal del tubo (mm)       | 274    |
| e <sub>nom</sub>                             | Espesor nominal de la pared del tubo (mm)     | 6,35   |
| $e_{nom} = e_{min} + (1,3 + 0,001 \cdot DN)$ |   |        |
| e <sub>min</sub>                             | Espesor mínimo de la pared del tubo (mm)      | 4,8    |
| SF   | Factor de seguridad                           | 1,5    |
| E  | Módulo de elasticidad del material (MPa)      | 170000 |
| DF   | Factor de deformación                         | 3,5    |

λ = 2,36%

#### 2. Ovalación máxima admisible por límite del revestimiento

| DN (mm) | Ovalación (%) |
|---------|---------------|
| 80      | 3,00%         |
| 100     | 3,00%         |
| 125     | 3,00%         |
| 150     | 3,00%         |
| 200     | 3,00%         |
| 250     | 3,00%         |
| 300     | 3,00%         |
| 350     | 3,10%         |
| 400     | 3,20%         |
| 450     | 3,30%         |
| 500     | 3,40%         |
| 600     | 3,60%         |
| 700     | 3,80%         |
| 800     | 4,00%         |

$$\lambda = 3,00\%$$

### 3. Deformación bajo cargas externas

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

$\delta$  Ovalización producida en el tubo debida a las cargas externas (%)

$K_a$  Factor de apoyo en función del ángulo de apoyo  $2\alpha$  0,09

| Ángulo de apoyo ( $2\alpha$ ) | $K_a$ |
|-------------------------------|-------|
| 20                            | 0,110 |
| 45                            | 0,105 |
| 60                            | 0,102 |
| 120                           | 0,090 |
| 180                           | 0,083 |

$W_e$  Carga debida al peso de las tierras (kN/m<sup>2</sup>) 20

$$W_e = \gamma \cdot H$$

$\gamma$  Peso específico del relleno (kN/m<sup>3</sup>) 20

$H$  Altura de tierras sobre la clave del tubo (m) 1

$W_t$  Carga debida al peso de las tierras (kN/m<sup>2</sup>) 57

$$W_t = 40 \cdot (1 - 0,0002 \cdot DN) \cdot \frac{\beta}{H}$$

$\beta$  Coeficiente de carga de tráfico

| Tipo de tráfico  | $\beta$ |
|--|---------|
| Zonas con cargas rodantes particularmente elevadas         | 2,00    |
| Carreteras sin prohibición de tráfico de vehículos pesados | 1,50    |
| Carreteras con prohibición de tráfico de vehículos pesados | 0,75    |
| Zonas rurales (casos no incluidos en los anteriores)       | 0,50    |

$S_c$  Rigidez circunferencial específica (kN/m<sup>2</sup>). 126,9209766

$$S_c = 1.000 \cdot \frac{E}{12} \cdot \left( \frac{e_{stiff}}{D} \right)^3$$

$e_{stiff}$  Espesor nominal de la pared del tubo para el cálculo de la rigidez circunferencial (mm). 5,575

$$e_{stiff} = e_{min} + 0,5 \cdot (1,3 + 0,001 \cdot DN)$$

$D$  Diámetro medio del tubo (mm). 268,425

$$D = DE - e_{stiff}$$

$E'$  Módulo de reacción del suelo (kN/m<sup>2</sup>) 1000

| Tipo de compactación del terreno | $E'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------|---------------------------|
| Sin compactar                    | 0                         |
| Mala                             | 1000                      |
| Media                            | 2000                      |
| Buena                            | 5000                      |

$$\delta = 0,64\%$$

VÁLIDO

## CÁLCULO MECÁNICO TUBERÍA FD SEGÚN UNE-EN 545

Tubería FD DN250mm C-50. H=2,34 m

### Hipótesis I. Estado tensional

|     |   |       |
|-----|---|-------|
| DN  | Diámetro nominal (mm)                     | 250   |
| e   | Espesor mínimo de la pared del tubo (mm)  | 4,8   |
| OD  | Diámetro exterior del tubo (mm)           | 274   |
| DP  | Presión de diseño (MPa)                   | 0,4   |
| MDP | Presión máxima de diseño (MPa)            | 1,6   |
| Dm  | Diámetro medio del tubo (mm)              | 269,2 |
| Rm  | Resistencia mínima a tracción (MPa)       | 420   |
| C1  | Coefficiente de seguridad para DP         | 3     |
| C2  | Coefficiente de seguridad para MDP        | 2,5   |
| PFA | Presión de funcionamiento admisible (MPa) | 4,99  |
| PMA | Presión máxima admisible (MPa)            | 5,99  |
| 2α  | Ángulo de apoyo (°)                       | 120   |
| H   | Altura de tierras (m)                     | 2,34  |
| β   | Coefficiente de carga de tráfico          | 1,5   |
| E'  | Módulo de reacción del suelo (kN/m2)      | 1000  |
| γ   | Peso específico del relleno (kN/m3)       | 20    |

$$PFA = \frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_1}$$

$$PMA = \frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_2}$$

PFA 4,992570579

PMA 5,991084695

DP ≤ PFA VÁLIDO  
MDP ≤ PMA VÁLIDO

### Hipótesis II. Estado deformacional

#### 1. Ovalación máxima admisible por límite de tensión de flexión

$$\lambda = 100 \cdot \left( \frac{R_f \cdot (DE - e_{nom})}{SF \cdot E \cdot e_{nom} \cdot DF} \right)$$

|  |   |        |
|--|---|--------|
| λ  | Ovalación admisible (%)                       |        |
| Rf   | Resistencia a flex. material pared tubo (MPa) | 500    |
| DE   | Diámetro exterior nominal del tubo (mm)       | 274    |
| e <sub>nom</sub>                             | Espesor nominal de la pared del tubo (mm)     | 6,35   |
| $e_{nom} = e_{min} + (1,3 + 0,001 \cdot DN)$ |   |        |
| e <sub>min</sub>                             | Espesor mínimo de la pared del tubo (mm)      | 4,8    |
| SF   | Factor de seguridad                           | 1,5    |
| E  | Módulo de elasticidad del material (MPa)      | 170000 |
| DF   | Factor de deformación                         | 3,5    |

λ = 2,36%

#### 2. Ovalación máxima admisible por límite del revestimiento

| DN (mm) | Ovalación (%) |
|---------|---------------|
| 80      | 3,00%         |
| 100     | 3,00%         |
| 125     | 3,00%         |
| 150     | 3,00%         |
| 200     | 3,00%         |
| 250     | 3,00%         |
| 300     | 3,00%         |
| 350     | 3,10%         |
| 400     | 3,20%         |
| 450     | 3,30%         |
| 500     | 3,40%         |
| 600     | 3,60%         |
| 700     | 3,80%         |
| 800     | 4,00%         |

$$\lambda = 3,00\%$$

### 3. Deformación bajo cargas externas

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

$\delta$  Ovalización producida en el tubo debida a las cargas externas (%)

$K_a$  Factor de apoyo en función del ángulo de apoyo  $2\alpha$  0,09

| Ángulo de apoyo ( $2\alpha$ ) | $K_a$ |
|-------------------------------|-------|
| 20                            | 0,110 |
| 45                            | 0,105 |
| 60                            | 0,102 |
| 120                           | 0,090 |
| 180                           | 0,083 |

$W_e$  Carga debida al peso de las tierras (kN/m<sup>2</sup>) 46,8

$$W_e = \gamma \cdot H$$

$\gamma$  Peso específico del relleno (kN/m<sup>3</sup>) 20

$H$  Altura de tierras sobre la clave del tubo (m) 2,34

$W_t$  Carga debida al peso de las tierras (kN/m<sup>2</sup>) 24,35897436

$$W_t = 40 \cdot (1 - 0,0002 \cdot DN) \cdot \frac{\beta}{H}$$

$\beta$  Coeficiente de carga de tráfico

| Tipo de tráfico  | $\beta$ |
|--|---------|
| Zonas con cargas rodantes particularmente elevadas         | 2,00    |
| Carreteras sin prohibición de tráfico de vehículos pesados | 1,50    |
| Carreteras con prohibición de tráfico de vehículos pesados | 0,75    |
| Zonas rurales (casos no incluidos en los anteriores)       | 0,50    |

$S_c$  Rigidez circunferencial específica (kN/m<sup>2</sup>). 126,9209766

$$S_c = 1.000 \cdot \frac{E}{12} \cdot \left( \frac{e_{stiff}}{D} \right)^3$$

$e_{stiff}$  Espesor nominal de la pared del tubo para el cálculo de la rigidez circunferencial (mm). 5,575

$$e_{stiff} = e_{min} + 0,5 \cdot (1,3 + 0,001 \cdot DN)$$

$D$  Diámetro medio del tubo (mm). 268,425

$$D = DE - e_{stiff}$$

$E'$  Módulo de reacción del suelo (kN/m<sup>2</sup>) 1000

| Tipo de compactación del terreno | $E'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------|---------------------------|
| Sin compactar                    | 0                         |
| Mala                             | 1000                      |
| Media                            | 2000                      |
| Buena                            | 5000                      |

$$\delta = 0,59\%$$

VÁLIDO