

Trabajo de Fin de Grado
Grado en Ingeniería Civil

PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA POBLACIÓN DE “LOS MOLARES” (SEVILLA)

Autor: Andrés León Fernández

Tutor: Jaime Navarro Casas

ANEJO 08: CÁLCULOS MECÁNICOS DE CONDUCCIONES



ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	3
2.- DIÁMETROS Y TIPOS DE ZANJAS	3
3.- CÁLCULO MECÁNICO DE LAS TUBERÍAS DE PEAD	4
3.1.- Metodología.....	5
3.1.1.- Datos de partida.....	6
3.1.2.- Determinación de las acciones	8
3.1.3.- Cálculo de la deformación.....	11
3.1.4.- Determinación de las solicitaciones.....	11
3.2.- Resultados del cálculo	13
4.- CÁLCULO MECÁNICO DE LAS TUBERÍAS DE FD.....	13
4.1.- Metodología.....	14
4.1.1.- Hipótesis I. Presión interna. (Estado tensional)	15
4.1.2.- Hipótesis II. Acciones externas. (Deformaciones)	15
4.2.- Resultados del cálculo	17
5.- ANCLAJES	17
5.1.- Dimensiones del anclaje.....	18
5.1.1.- Codos.....	19
5.1.2.- Bridas ciegas	20
5.1.3.- Tes.....	20
APÉNDICE Nº 1: CÁLCULOS MECÁNICOS DE TUBERIAS DE PEAD.....	21

APÉNDICE Nº 2: CÁLCULOS MECÁNICOS DE TUBERIAS DE FD.....22

1.- INTRODUCCIÓN

Las tuberías, como cualquier estructura enterrada, son elementos que van a estar sometidos a determinadas solicitaciones mecánicas debidas, además de a la presión interna, a cargas externas producidas por el peso propio de las tierras de relleno, al tráfico que pueda pasar sobre las tuberías y a otras cargas permanentes u ocasionales.

Por tanto, los efectos de todas estas acciones deben calcularse de forma que ni se produzcan despilfarros económicos, utilizando elementos resistentes en exceso, ni se corran riesgos inadmisibles, si se actúa por defecto.

En el presente anejo se pretenden justificar las conducciones seleccionadas en todos los aspectos no hidráulicos. Se describen todos los cálculos realizados para determinar las características y particularidades de la obra abastecimiento de agua proyectada.

De esta manera se va a realizar el cálculo mecánico de las tuberías tanto de las tuberías de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) como de las tuberías de Fundición Dúctil (FD) tal y como se han fijado en el Anejo 07.

2.- DIÁMETROS Y TIPOS DE ZANJAS

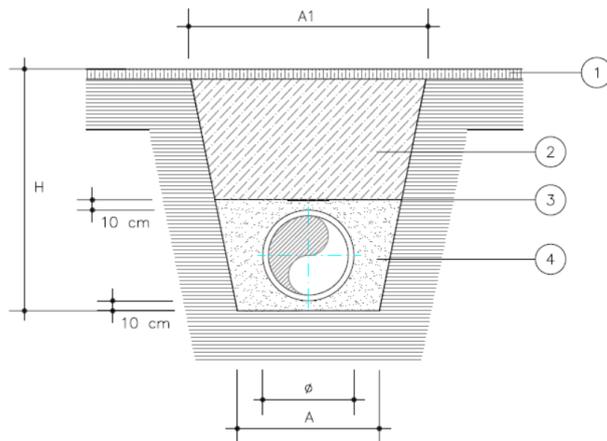
La elección del diámetro de las conducciones proyectadas se ha realizado en base a los cálculos hidráulicos reflejados en el Anejo 07 y teniendo en cuenta las restricciones que en mismo se exponen.

En lo que se refiere a zanja tipo, está definida por el tipo de conducción que se ha seleccionado, el diámetro de tubo y los distintos tipos de terreno por los que atraviesa.

Por norma general la zanja tipo se ha diseñado con los siguientes criterios, sugeridos a través de la “Normativa Técnica Reguladora del Servicio de Abastecimiento del Consorcio de Aguas del Huesna”:

- Relleno de arena. Tendrá un espesor mínimo bajo la generatriz inferior del tubo de 10 cm con un ángulo de cama de apoyo del tubo de 120°
- La anchura del fondo (A) ha de ser suficientemente ancho como para permitir la instalación correcta y la unión de los elementos que constituyen la canalización y vendrá dado en función del diámetro de la instalación según la tabla 1.
- Relleno de zanja con material seleccionado procedente de la excavación con un tamaño máximo de 100 mm, para evitar posibles daños y punzonamientos en el tubo, compactado al 95% del Proctor Normal con una altura que depende de la profundidad total de la zanja y el grosor del pavimento existente.
- La altura sobre el total de la zanja (H) viene dada, al igual que la anchura del fondo por el diámetro de la tubería, y la cual se puede consultar en la tabla 1.

De esta manera la sección tipo de la zanja quedaría de la siguiente manera:



- ① FIRME EXISTENTE
- ② RELLENO CON PRODUCTOS DE LA EXCAVACION
TAMAÑO MÁXIMO 100 mm. COMPACTADO AL 95% P.M.
- ③ CINTA SEÑALIZADORA
- ④ ARENA

DN (mm)	A (m)	A1 (m)	H (m)
90	0.6	0.6	1.15
100	0.6	0.6	1.15
110	0.6	0.6	1.16
150	0.6	0.6	1.18
200	0.6	0.7	1.20
300	0.8	1	1.25

Tabla 1. Dimensiones de la zanja en función del diámetro nominal de las tuberías del proyecto.

Ilustración 1. Sección tipo de las zanjas del proyecto.

Nótese que la profundidad de la zanja está dimensionada de tal manera que la distancia desde la superficie a la directriz de la tubería es de 1 m.

3.- CÁLCULO MECÁNICO DE LAS TUBERÍAS DE PEAD

Los tubos de Polietileno (PE) para conducciones bajo presión hidráulica interior se clasifican según su Tensión Mínima Requerida (MRS), Diámetro Nominal (DN) y Presión Nominal (PN). Para el presente proyecto las tuberías de PE serán de la tipología PE-80 y con una PN de 10 atm.

A continuación se va a proceder a mostrar los cuadros con las principales características de esta clase de tuberías.

Propiedad	Uds	PE 80
Tensión Mínima Requerida, MRS	MPa	8
Densidad (aproximada)	gr/cm ³	0,93 a 0,95
Índice de Fluidez en Masa (190°C)	g/10 min	0,2 a 1,4(5 kg)
Resistencia a la tracción longitudinal	MPa	> 19
Alargamiento en la rotura	%	> 350
Resistencia a flexión transv a corto plazo	MPa	30
Resistencia a flexión transv a largo plazo	MPa	14,4
Módulo de elasticidad a corto plazo	MPa	900
Módulo de elasticidad a largo plazo	MPa	150
Coefficiente de dilatación térmica lineal	mm/m °C	0,22
Contenido en negro de carbono	%	2,0 a 2,5
Conductividad térmica	kcal/m °C	0,37
Dureza	Shore D	60
Tiempo de inducción a la oxidación	minutos	> 20
Tª reblandecimiento VICAT (fuerza 50 N)	°C	120
Dispersión del negro de carbono		< 3
Contenido en sustancias volátiles	mg/kg	< 350
Contenido en agua	mg/kg	< 300
Coefficiente de Poisson, ν		0,4
Constante dieléctrica		2,4
Rugosidad hidráulica	K(mm)	0,0025

Tabla 2. Principales características técnicas de los tubos de PE

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD)		
Clase	PE-80, PN-10	
DN (mm)	e (mm)	D _{int} (mm)
90	6.7	76.6
110	8.1	93.8

Tabla 3. Dimensiones de las tuberías de PE utilizadas.

El dimensionamiento mecánico de los tubos de PE enterrados se recomienda realizarlo conforme a lo especificado por la norma UNE 53331 IN (basada en la norma alemana ATV 127), de manera que la hipótesis pésima de carga y la sollicitación condicionante, suelen corresponder a alguna de las combinaciones de acciones indicadas en la tabla adjunta.

	Combinación de acciones	Sollicitación determinante
Hipótesis I	Presión interna positiva	Estado tensional
Hipótesis II	Acciones externas y presión interna positiva	Estado tensional y deformaciones
Hipótesis III	Acciones externas	Estado tensional y deformaciones
Hipótesis IV	Acciones externas y presión interna negativa	Pandeo o colapsado

Tabla 4. Hipótesis pésima de carga y sollicitaciones condicionantes en los tubos de PE enterrados

3.1.- METODOLOGÍA

Básicamente en este apartado nos centraremos en los cálculos mecánicos de las tuberías de PEAD referentes a las cargas exteriores, para la confirmación de que no se producirá el aplastamiento de las tuberías por efecto de las cargas permanentes (peso de las tierras), y las dinámicas (cargas puntuales debidas al tráfico).

Estos cálculos mecánicos dependerán básicamente, de tres factores:

- Tipo de zanja
- Relleno que se utiliza
- Características resistentes del material

Dado el laborioso proceso de cálculo para la comprobación de las sollicitaciones del tubo en una instalación, se ha empleado para el cálculo el programa informático implementado en la web de AseTUB, preparado por la ingeniería alemana IngSoft y basado en la norma ATV 127 (UNE 53331) para facilita este proceso. Mediante la introducción de los parámetros de la instalación, se procede fácilmente al cálculo estático de las tuberías de PE enterradas.

Se da la opción de aplicar el cálculo a las tuberías de PE80 y PE100, en nuestro caso PE80.

Las etapas de cálculo son las siguientes:

- Elección del tubo adecuado, para la conducción considerada.
- Determinar las acciones sobre el tubo debido a cargas externas e internas.
- Análisis de la deformación del tubo. (Comprobación de que es admisible de acuerdo con el límite establecido <5%).
- Determinar las sollicitaciones a que está sometida la conducción.

3.1.1.- Datos de partida

Serán necesarios los siguientes datos, se fijan aquellos datos que son iguales para ambas tuberías.

➤ Características del tubo

- Peso específico $\gamma_t = 9.50 \text{ (kN/m}^3\text{)}$
- Diámetro nominal $D_n \text{ (m)}$
- Espesor de pared $e \text{ (m)}$
- Radio medio $r_m \text{ (m)}$
- interior $d_i = D_n - 2e \text{ (m)}$
- Módulo de elasticidad a flexión transversal $E_t \text{ (largo plazo)} = 160 \text{ (N/mm}^2\text{)}$
- Presión interior $P_i = 4 \text{ (bar)}$

➤ Condiciones de la instalación

- Instalación: Zanja
- Altura recubrimiento encima generatriz tubo $H \text{ (m)}$
- Anchura de zanja $B = 0.6 \text{ (m)}$
- Angulo de talud $\beta = 90 \text{ (}^\circ\text{)}$

➤ Características de apoyo y relación de proyección

- Apoyos. Pueden ser:
 - Suelos: caso de tubos flexibles (por ejemplo plástico), las tensiones resultantes con este tipo de lecho son más pequeñas.
 - Firme: Para tubos rígidos (por ejemplo tubos de hormigón).

En nuestro caso tomamos suelos

- Espesor de la capa de material granular 10 cm.
- Angulo de apoyo $2\alpha = 120 \text{ (}^\circ\text{)}$
- Relación de proyección $P_j = 1$

➤ Características de los suelos y los rellenos

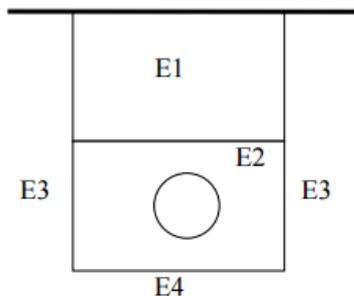
- Relleno por encima del tubo G2
- Relleno alrededor del tubo G1
- Suelo alrededor de la zanja G3

Cuyas características vienen dadas por la tabla:

Grupo	Naturaleza	Peso específico (γ_B) ((kN/m ³))	Angulo de rozamiento interno (ϕ')
G1	No cohesivos: Granular	20	35°
G2	Poco cohesivos: areno-arcilloso	20	30°
G3	Medianamente cohesivos: arcillo-arenoso	20	25°
G4	Cohesivos: arcillas y limos	20	20°

Para el caso de relleno de la zanja compactando por capas según norma UNE 53331 en toda la altura de la zanja, se tomará $\phi' = \phi = 35^\circ$

- Coeficientes de empuje lateral del material de relleno:
 - K1 = coeficiente correspondiente al relleno por encima del tubo.
 - K2 = coeficiente correspondiente al relleno utilizado alrededor del tubo.
- Módulos de compresión del relleno y de la zanja:



- E1 = Módulo de compresión del relleno en la parte superior del tubo.
- E2 = Módulo de compresión del relleno alrededor del tubo.
- E3 = Módulo de compresión del relleno en la zona lateral del tubo.
- E4 = Módulo de compresión del relleno en la zona inferior del tubo. ($E4=10 \cdot E1$)

➤ Sobrecargas verticales

Sobrecargas concentradas (tráfico)

- Carga total del vehículo 12 Tm
- Número de ejes 2 ejes
- Distancia entre ruedas $a = 2$ m

- Distancia entre ejes $b = 3 \text{ m}$
- Carga por rueda delantera $P_c = 20 \text{ kN}$
- Carga por rueda trasera $P_c = 40 \text{ kN}$
- Coeficiente de impacto $\varphi = 1.50$

Altura equivalente de tierras, en función del pavimento

Cuando la conducción está instalada bajo una zona pavimentada, la altura de tierras que debe utilizarse para determinar la presión vertical sobre el tubo debido a las sobrecargas, se calcula mediante la siguiente expresión:

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

Siendo,

H_e = altura equivalente de tierras (m).

H = la altura de recubrimiento de tierras por encima de la generatriz superior del tubo hasta la parte inferior del firme (m)

E_1 = Módulo de compresión del relleno de la zanja por encima de la zona de influencia del tubo (N/mm²)

h_1, h_2 = espesores de la primera y segunda capa del firme (m)

E_{f1}, E_{f2} = Módulos de compresión de la primera y segunda capa del firme (N/mm²)

➤ Presión máxima de trabajo

Presión máxima de trabajo P_t entendiéndose como la presión de servicio (Kg/cm²)

3.1.2.- Determinación de las acciones

➤ Determinación de la presión vertical de tierras

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

Donde:

q_v = Presión vertical sobre el tubo, debida a la carga de tierras en kN/m².

C_z = coeficiente de carga de las tierras en zanja o bajo terraplén. Para el caso de zanja con paredes verticales C_{z90} .

m = factor de concentración de la presión vertical

Como consecuencia de las distintas deformaciones del tubo y del suelo que lo rodea, la carga vertical sobre el tubo puede ser mayor o menor que la soportada por las tierras que lo rodean.

Para $1 \leq \frac{B}{D_n} \leq 4$: $m = \frac{m_1 - 1}{3} \frac{B}{D_n} + \frac{4 - m_1}{3}$ siempre $\leq 1 + 4 \cdot K_1 \cdot tg(\phi)$

Para $4 \geq \frac{B}{D_n} \leq \infty : m = m_1$

Donde $m_1 = \frac{m_m V_s + \frac{(m_m - 1) M_0 V_0}{1 - m_0}}{V_s + \frac{(m_m - 1) V_0}{1 - m_0}}$

Con $m_0 = \frac{4K_2}{3 + K_2}$, y $V_0 = \frac{(1 - K_2) P_j}{P_j - 0.25} \quad (P_j < 0.25)$

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

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

Factor de rigidez del tubo: $S_t = \frac{E_t}{12} \left(\frac{e}{r_m}\right)^3$

Coefficiente para obtener la deformación vertical del diámetro del tubo, C_v :

$$|C_v| = C_{V1} + C_{V2} \cdot \delta$$

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

$|C_v|$ es el valor absoluto del coeficiente de deformación vertical del tubo (ΔD_v)

C_{V1} es el factor de deformación vertical debido a q_v

C_{V2} es el factor de deformación vertical debido a q_{ht}

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

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

S_{sh} es la rigidez horizontal del relleno hasta la clave del tubo, en N/mm^2

$S_{sh} = 0.6 \cdot \xi \cdot E_2$, ξ es el factor de corrección calculado en la expresión:

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

➤ Determinación de la presión lateral de las tierras

Presión lateral de tierras: $q_h = n \cdot K_2 \cdot C_z \cdot \gamma \cdot H$

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

Reacción lateral: $q_{ht} = \delta(q_v - q_h)$

Donde:

Donde

q_h es la presión lateral del relleno sobre el tubo, en kN/m²

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

K_2 es el coeficiente de empuje lateral de las tierras del relleno.

q_{ht} es la reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo, en kN/m²

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

q_v es la presión vertical sobre el tubo, debida a la carga de tierras en kN/m²

➤ **Determinación de la presión vertical por sobrecargas**

Sobrecargas concentradas

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

Siendo,

P_{vc} es la presión vertical sobre el tubo debido a las sobrecargas concentradas, en kN/m²

P_c es el valor de la sobrecarga concentrada, en kN.

φ es el coeficiente de impacto para sobrecargas móviles.

C_c es el coeficiente de carga para sobrecargas concentradas, dado por la ecuación:

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

Donde:

H es la altura del relleno sobre la generatriz del tubo, (en m.). Si el tubo está instalado bajo zona pavimentada, se utiliza la altura equivalente H_e .

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

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

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

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 vehículos de 12 Tm, tenemos:

$$a = 2m$$

$$b = 3m$$

$$c = (a^2 + b^2)^{\frac{1}{2}} = 3.60$$

Para el caso de camiones de dos ejes:

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

La presión vertical total, sobre el tubo, es:

$$q_{vt} = P_{vc} + q_v$$

3.1.3.- Cálculo de la deformación

Se trata de la variación del diámetro vertical, ΔD_v , como consecuencia de las cargas externas.

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

La deformación relativa a largo plazo, en % es: $\delta_v = \frac{\Delta D_v}{2r_m} \cdot 100$

Cumple el requisito de deformación si $\delta_v < 5\%$

3.1.4.- Determinación de las solicitaciones

Automáticamente el programa calcula los momentos flectores circunferenciales a largo plazo y las fuerzas axiales.

➤ Determinación de momentos flectores circunferenciales a largo plazo

Por carga vertical: q_{vt}

M_{qvt} = (clave); M_{qvt} = (riñones); M_{qvt} = (base)

Por carga horizontal: q_h

M_{qh} = (clave); M_{qh} = (riñones); M_{qh} = (base)

Por reacción horizontal: q_{ht}

M_{qht} = (clave); M_{qht} = (riñones); M_{qht} = (base)

Por peso propio del tubo, t

M_t = (clave); M_t = (riñones); M_t = (base)

Por peso del agua, considerando el tubo lleno, a

M_a = (clave); M_a = (riñones); M_a = (base)

Por presión del agua, P_a

M_{pa} = (clave); M_{pa} = (riñones); M_{pa} = (base)

Momento flector total

M = (clave); M = (riñones); M = (base)

➤ Determinación de fuerzas axiales

Por carga vertical: q_{vt}

$N_{qvt} =$ (clave); $N_{qvt} =$ (riñones); $N_{qvt} =$ (base)

Por carga horizontal: q_h

$N_{qh} =$ (clave); $N_{qh} =$ (riñones); $N_{qh} =$ (base)

Por reacción horizontal: q_{ht}

$N_{qht} =$ (clave); $N_{qht} =$ (riñones); $N_{qht} =$ (base)

Por peso propio del tubo, t

$N_t =$ (clave); $N_t =$ (riñones); $N_t =$ (base)

Por peso del agua, considerando el tubo lleno, a

$N_a =$ (clave); $N_a =$ (riñones); $N_a =$ (base)

Por presión del agua, P_a

$N_{pa} =$ (clave); $N_{pa} =$ (riñones); $N_{pa} =$ (base)

Fuerza axil total

$N =$ (clave); $N =$ (riñones); $N =$ (base)

➤ **Cálculo de esfuerzos tangenciales máximos**

$$\sigma = \left(\frac{N}{S} \pm \frac{M \cdot 100}{W} \alpha_k \right) \cdot 10$$

Donde:

M es la suma de momentos por unidad de longitud (kN m/m)

N es la suma de fuerzas axiales por unidad de longitud (kN /m)

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

W es el momento resistente de la sección (S), $W = \frac{100e^2}{6}$, siendo, e el espesor de la pared del tubo, en cm

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

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

➤ **Verificación del esfuerzo**

Coeficiente de seguridad a largo plazo:

$$v = \frac{\sigma_t(PE)}{\sigma}$$

Se comparan los esfuerzos tangenciales σ calculados, con el esfuerzo tangencial de diseño a flexión-tracción, $\sigma_t(PE) = 14.4 \text{ N/mm}^2$, a largo plazo que es la condición más desfavorable.

Se debe cumplir que el coeficiente de seguridad $v > 2$

➤ Comprobación de la estabilidad dimensional

Por la presión del terreno: La presión de aplastamiento crítica ($crit q_{vt}$) se calcula, según:

$$crit q_{vt} = 2 \cdot \sqrt{S_t \cdot S_{sh}}$$

El coeficiente de seguridad al aplastamiento es

$$n_1 = \frac{crit q_{vt}}{q_{vt}}$$

Se debe cumplir que el coeficiente de seguridad al aplastamiento $n_1 > n = 2$ (Caso de tubería de polietileno y seguridad de clase B. Poco peligroso y daños de poca entidad)

3.2.- RESULTADOS DEL CÁLCULO

Los resultados de cálculo son suministrados por el programa y se entregan en el apéndice 1 en forma de informes con el resumen de los resultados generados a través del mismo.

En este apéndice se dan los informes a las tuberías:

- PE80 / PN10 / DN 90
- PE80 / PN10 / DN 110

Como resumen se puede decir que los informes del cálculo mecánico dan unos resultados favorables para las tuberías y tipos de zanjas empleados.

4.- CÁLCULO MECÁNICO DE LAS TUBERÍAS DE FD

Para realizar el cálculo mecánico de las conducciones de Fundición Dúctil (FD) se tendrán en cuenta las sollicitaciones externas e internas que puedan tener lugar en las condiciones de servicio de la misma, así como en su fabricación (cuando proceda), transporte, colocación y pruebas.

El proceso de comprobación del tubo varía según se considere tubo rígido o flexible. En el caso de tubería de fundición se considera como semirígido.

Las características principales del material son las siguientes:

- Elasticidad $\geq 270 \text{ Mpa}$.
- Resistencia a la tracción $\geq 420 \text{ Mpa}$.

- Alargamiento $\geq 10\%$
- Dureza Brinell ≤ 230 HB.

Los tubos a usar pertenecen a la serie en la que $K=9$, con lo que la expresión del espesor queda:

$$e = 4.5 + 0.009 \cdot DN$$

No obstante, Para diámetros entre 100 y 200 mm, ambos inclusive, la expresión toma la siguiente forma:

$$e = 5.8 + 0.003 \cdot DN$$

Las dimensiones de las tuberías de este material utilizadas en el dimensionamiento son las siguientes:

FUNDICIÓN DÚCTIL (FD)		
Clase	K9	
DN (mm)	e (mm)	D_int (mm)
100	6.1	100
150	6.25	150
200	6.4	200
300	7.2	300

Tabla 5. Dimensiones de las tuberías de FD utilizadas.

Los revestimientos de las tuberías son:

- Interior
 - o Mortero de cemento con un espesor de 4 mm.
- Exterior
 - o Revestimiento exterior mínimo de cinc, pureza 99,99 %, 200 gr./ m² y espesor de 50 μ m
 - o Revestimiento pintura bituminosa (EN 545) y espesor 70 μ m

4.1.- METODOLOGÍA

Los criterios de cálculo se han basado en las recomendaciones y criterios existentes de la "Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión" 3ª Edición (CEDEX) y las recomendaciones de los fabricantes de estas tuberías, que dan cobertura en España.

La Guía Técnica del CEDEX indica que para todas las disposiciones de la tubería, y en cada una de sus secciones más desfavorables, debe realizarse el correspondiente cálculo mecánico de la misma, al objeto de dimensionar y comprobar su correcto funcionamiento.

De esta manera se plantea la combinación de acciones de cálculo que produzca la máxima sollicitación o deformación en una sección es la "hipótesis pésima de carga" en esa sección. En las tuberías enterradas las acciones determinantes son:

- La presión interna del líquido circulante.
- La acción del terreno sobre la conducción.

- La acción del tráfico sobre la conducción.
- La depresión interna. La hipótesis pésima de carga resulta de la combinación entre ellas.

Según la tipología de la tubería se realizarán las comprobaciones pertinentes. En nuestro caso, se trata de una tubería de fundición enterrada. Las principales comprobaciones que deben hacerse en los tubos de fundición enterrados para la hipótesis pésima de carga son las siguientes:

- Hipótesis I. Presión interna. (Estado tensional)
- Hipótesis II. Acciones externas. (Deformaciones)

4.1.1.- Hipótesis I. Presión interna. (Estado tensional)

Dicha comprobación puede hacerse mediante las siguientes expresiones:

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

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

Siendo:

DP: Presión de diseño, en N/mm².

MDP: Presión máxima de diseño en la sección de la tubería, en N/mm².

D_m: Diámetro medio del tubo, en mm (D_m= OD-e).

R_m: Resistencia mínima a la tracción. R_m= 420 N/mm².

C₁: Coeficiente de seguridad para DP, C₁= 3

C₂: Coeficiente de seguridad para MDP, C₂= 2.5

OD: Diámetro exterior del tubo, en mm.

e: Espesor de la pared del tubo, en mm.

4.1.2.- Hipótesis II. Acciones externas. (Deformaciones)

Se considera que actúan solo las acciones externas (el terreno y sobrecargas de tráfico). Se comprueba que la deformación máxima debida a la flexión transversal no supera la admisible.

Las deformaciones máximas admisibles (en % del diámetro exterior del tubo) dependen del DN, y de la clase de tubería empleada y se relacionan con estos mediante la "Tabla 82" de la UNE-EN 545:1995, la cual se muestra a continuación

El cálculo de la deformación máxima debida a la flexión transversal se calcula con la formulación de Spangler, que tiene la siguiente expresión:

$$d = \frac{100 \cdot k_a \cdot (W_e + W_t)}{8 \cdot S_c + 0.061 \cdot E'}$$

Siendo:

- D: Deformación vertical del tubo debida a las cargas externas, en %.
- K_a : Coeficiente de factor de apoyo. Como se tiene: $\alpha = 120^\circ$; $K_a = 0.09$.
- e: Espesor de la pared del tubo, expresado en metros (m).
- S_c : Rigidez diametral del tubo, en KN/m^2 . (Tabla 82).
- E' : Módulo de reacción del suelo. Se considera terreno bien compactado. $E' = 5000 \text{ KN/m}^2$.
- W_e : Cargas debido al peso de tierras en KN/m^2

$$W_e = \gamma \cdot H$$

Siendo:

- γ : Peso específico del terreno. Se coge por defecto: 20 KN/m^3 .
- H: Altura de tierras sobre la clave del tubo, en m.

- W_t : Cargas debido al tráfico, respectivamente, expresadas en KN/m^2 .

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

Siendo:

- H: Altura de tierras sobre la clave del tubo, en m.
- β : Coeficiente de carga de tráfico. Se recomienda tomar el mínimo de 0.5 aún en el caso de no existir tráfico rodado.
- DN: Diámetro nominal del tubo, en mm.

Tabla 82. Rigideces diametrales mínimas y deformaciones diametrales adm (UNE-EN 545:1995)

DN	Rigidez diametral S_c mínima ¹⁾ (kN/m ²)			Deformación diametral admisible (%)
	Clase 40	K9	K10	
40	7.000	16.500	16.500	0,50
50	4.200	9.500	9.500	0,55
60	2.600	5.500	5.500	0,65
65	2.100	4.800	4.800	0,70
80	1.200	2.700	2.700	0,85
100	680	1.500	1.500	1,00
125	370	810	880	1,25
150	250	480	300	1,45
200	130	230	340	1,85
250	91	160	220	2,20
300	68	110	160	2,45
350	67	89	124	2,65
400	63	72	102	2,90
450		61	86	3,05
500		52	74	3,25
600		41	58	3,50
700		34	49	3,75
800		30	42	4,00
900		26	37	4,00
1.000		24	34	4,00
1.100		22	31	4,00
1.200		20	29	4,00
1.400		18	26	4,00
1.500		17	24	4,00
1.600		17	23	4,00
1.800		16	22	4,00
2.000		16	22	4,00

¹⁾ $S_c = E.I/DN^3 = E.e^3/12DN^3$; $E = 170.000 \text{ N/mm}^2$

4.2.- RESULTADOS DEL CÁLCULO

En el apéndice 2 del presente anejo se adjuntan las comprobaciones de las diferentes tuberías empleadas en este proyecto, las cuales son:

- FD / K9 / DN 100
- FD / K9 / DN 150
- FD / K9 / DN 200
- FD / K9 / DN 300

Como conclusión, cabe destacar que las tuberías y zanjas proyectadas cumplen las especificaciones de cálculos comentadas.

5.- ANCLAJES

Todos los componentes de la red que puedan estar sometidos a empujes por efecto de la presión hidráulica (codos, cambios de dirección, reducciones, piezas de derivación, válvulas de seccionamiento o regulación, etc), deberán

quedar fijados mediante un macizo de anclaje que contrarreste el empuje y asegure su inmovilidad. Así mismo, deberán disponerse macizos de anclaje en el caso de que las pendientes sean excesivamente fuertes y puedan producirse movimientos de la tubería o cuando exista riesgo de flotabilidad de los tubos.

Para el presente apartado de cálculo se han tenido en cuenta las prescripciones dadas por la “Normativa Técnica Reguladora del Servicio De Abastecimiento del Consorcio de Aguas del Huesna”, así como la información solicitada a la susodicha entidad.

5.1.- DIMENSIONES DEL ANCLAJE

Se ha concebido para el presente proyecto como tipología más adecuada de anclaje, los de tipo de cuña de hormigón en masa HM-20, los cuales llevan a cabo su función de agarre de la tubería por medio de pletinas.

Esta tipología queda definida por una las siguientes dimensiones,

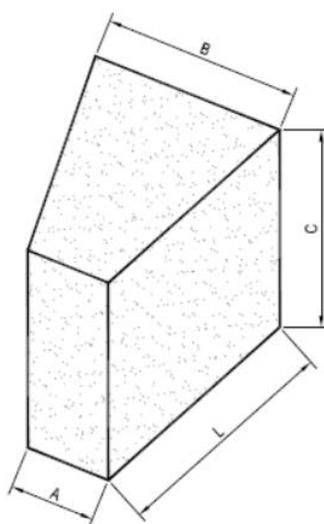


Ilustración 2. Dimensiones del anclaje proyectado.

Los parámetros A, B, C y L que se presentan en la imagen, vienen definidas a través de unas tablas en las que estos se dan en función del componente en concreto, la presión de servicio (en nuestro caso 10 atm) y el diámetro de la tubería, dichas tablas se presentarán a continuación en función del componente.

En el caso de no aparecer el diámetro de la tubería empleada en el presente proyecto se tomará las dimensiones de anclaje de la inmediatamente superior.

5.1.1.- Codos

CODOS 1/4		PRESION DE SERVICIO=10 ATM		
∅	A(M)	B(M)	C(M)	L(M)
100	0,2	0,4	0,4	0,4
150	0,3	0,6	0,6	0,65
200	0,4	0,7	0,7	0,8
300	0,5	1	1	1,4
400	0,6	1,4	1,4	1,5
500	0,7	1,7	1,7	1,8
600	0,8	2	2	2,1
700	0,9	2,4	2,4	2,5
800	1	2,7	2,7	2,8

NOTA: PARA DIAMETROS MAYORES SE REQUERIRA EL CALCULO DEL PROYECTISTA

CODOS 1/8		PRESION DE SERVICIO=10 ATM		
∅	A(M)	B(M)	C(M)	L(M)
100	0,2	0,3	0,3	0,3
150	0,2	0,4	0,4	0,45
200	0,3	0,5	0,5	0,55
300	0,45	0,8	0,8	0,9
400	0,55	1,2	1,2	1,3
500	0,7	1,4	1,4	1,5
600	0,8	1,6	1,6	1,8
700	0,95	1,8	1,8	1,9
800	1,05	2	2	2,2

NOTA: PARA DIAMETROS MAYORES SE REQUERIRA EL CALCULO DEL PROYECTISTA

CODOS 1/8		PRESION DE SERVICIO=10 ATM		
∅	A(M)	B(M)	C(M)	L(M)
100	0,15	0,25	0,25	0,3
150	0,2	0,3	0,3	0,4
200	0,25	0,4	0,4	0,5
300	0,3	0,6	0,6	0,6
400	0,4	0,75	0,75	0,75
500	0,5	0,9	0,9	0,95
600	0,6	1,1	1,1	1,2
700	0,7	1,3	1,3	1,4
800	0,8	1,45	1,45	1,5

NOTA: PARA DIAMETROS MAYORES SE REQUERIRA EL CALCULO DEL PROYECTISTA

CODOS 1/32		PRESION DE SERVICIO=10 ATM		
∅	A(M)	B(M)	C(M)	L(M)
100	0,15	0,2	0,2	0,2
150	0,2	0,25	0,25	0,3
200	0,25	0,3	0,3	0,4
300	0,3	0,4	0,4	0,5
400	0,4	0,55	0,55	0,6
500	0,5	0,65	0,65	0,7
600	0,6	0,8	0,8	0,85
700	0,7	0,9	0,9	0,95
800	0,8	1,05	1,05	1,1

NOTA: PARA DIAMETROS MAYORES SE REQUERIRA EL CALCULO DEL PROYECTISTA

5.1.2.- Bridas ciegas

BRIDAS CIEGAS		PRESION DE SERVICIO=10 ATM		
∅	A(M)	B(M)	C(M)	L(M)
100	0,3	0,4	0,4	0,45
150	0,4	0,5	0,5	0,55
200	0,5	0,6	0,6	0,8
300	0,6	0,9	0,9	1,1
400	0,7	1,4	1,4	1,7
500	0,9	1,2	1,2	1,4
600	1,1	1,7	1,7	1,9
700	1,3	2	2	2,2
800	1,6	2,35	2,35	2,5

NOTA: PARA DIAMETROS MAYORES SE REQUERIRA EL CALCULO DEL PROYECTISTA

5.1.3.- Tes

TES		PRESION DE SERVICIO=10 ATM		
∅	A(M)	B(M)	C(M)	L(M)
100	0,3	0,4	0,4	0,4
150	0,4	0,5	0,5	0,55
200	0,5	0,6	0,6	0,8
300	0,6	0,9	0,9	1,1
400	0,7	1,2	1,2	1,4
500	0,9	1,4	1,4	1,7

NOTA: PARA DIAMETROS MAYORES SE REQUERIRA EL CALCULO DEL PROYECTISTA

APÉNDICE Nº 1: CÁLCULOS MECÁNICOS DE TUBERIAS DE PEAD

INFORME ABREVIADO

Estudio estático para Tuberías A 127

Proyecto:	PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA POBLACIÓN DE "LOS MOLARES" (SEVILLA)
Empresa / Entidad:	Universidad de Sevilla Escuela Técnica Superior de Ingeniería Grado en Ingeniería Civil
Autor:	Andrés León Fernández
Informe n°:	1
Fecha:	19/09/2016

Este programa es una herramienta gratuita, que puede ser utilizada por personas con conocimientos técnicos en el cálculo estático de tuberías. El programa no puede reemplazar al ingeniero responsable.

Contenido

1. : PE80 / PN10 / DN 90	3
1.1. Entrada de datos:	3
1.1.1. Opciones de seguridad	3
1.1.2. Suelo	3
1.1.3. Carga	3
1.1.4. Instalación	3
1.1.5. Tubo de la base de datos	3
1.2. Resultados:	4
1.2.1. Caso de carga a largo plazo	4
1.2.1.1. prueba de tensión	4
1.2.1.2. Prueba de deformación	4
1.2.1.3. Prueba de estabilidad (lineal):	4

1. : PE80 / PN10 / DN 90

Descripción del tramo:	PE80 / PN10 / DN 90
Tipo de cálculo:	Según tabla
Añadir dibujo para imprimir:	Si

1.1. Entrada de datos:

1.1.1. Opciones de seguridad

Clase de seguridad:	A (caso normal)
Deflexión admisible:	6% (habitual)
Tratamiento de la presión interna:	De acuerdo con la nota 39 de la ATV 127
Menores factores de seguridad para compresión por flexión:	no (ATV A 127)
La aplicación de la ATV A 127 no ha sido verificada para ver si la rigidez circunferencial mínima ha sido alcanzada:	Si

1.1.2. Suelo

Tipo de relleno:	G2
Cálculo E1:	tabla 8 (A127)
Tipo de relleno en la zona del tubo:	G1
Cálculo E20:	tabla 8 (A127)
Tipo de suelo natural:	G3
Cálculo E3:	Densidad Proctor
Densidad Proctor E3:	D _{Pr,E3} 95,0 %
E4 = 10 · E1:	Si

1.1.3. Carga

Altura de recubrimiento:	h	0,96	m
Densidad del suelo:	γ	20,0	kN/m ³
Carga superficial adicional:	p ₀	0,0	kN/m ²
Nivel freático máximo sobre el lecho del tubo:	h _{W,max}	0,00	m
Nivel freático mínimo sobre el lecho del tubo:	h _{W,min}	0,00	m
Presión interna, corto plazo:	P _{I,K}	4,0	bar
Presión interna, largo plazo:	P _{I,L}	4,0	bar
Sección llena:	Si		
Densidad del fluido:	γ _F	10,0	kN/m ³
Carga de tráfico:	HGV 12 (carretera)		

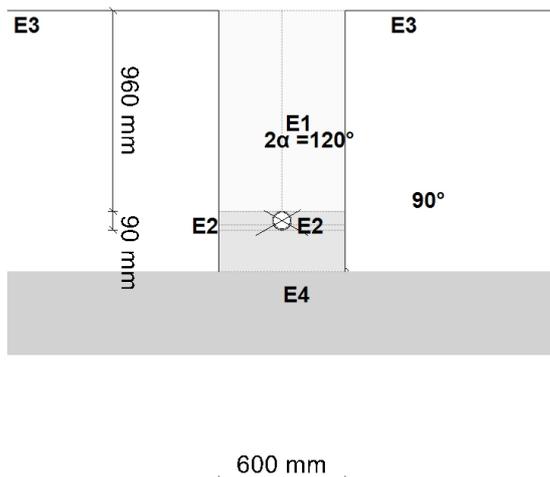
1.1.4. Instalación

Instalación:	Zanja		
Ancho de zanja:	b	0,60	m
Ángulo del talud:	β	90	°
Condiciones de relleno:	A1		
Condiciones de la instalación:	B1		
Tipo de apoyo:	suelto		
Ángulo de apoyo:	120°		
Proyección relativa:	a	1,00	[-]

1.1.5. Tubo de la base de datos

Material:	PE 80
Presión nominal:	PN = 10,0 bar (SDR = 13,6)
Diámetro nominal:	DN 90 (e = 6,7 mm)

Carga de tráfico: HGV 12 (carretera)



1.2. Resultados:

1.2.1. Caso de carga a largo plazo

1.2.1.1. prueba de tensión

		clave	generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	base	
Coefficiente de seguridad externo	γ	6,123	6,123	6,123	[-]
Coefficiente de seguridad externo	γ	6,085	6,123	6,123	[-]

(Los coeficientes de seguridad para la tensión de compresión por flexión están marcados con un signo menos)

Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad, tensión a tracción:	erf γ_{RBZ}	2,50	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad, tensión a compresión:	erf γ_{RBD}	2,50	[-]

Todos los coeficientes de seguridad calculados en la prueba de tensión son suficientes.

1.2.1.2. Prueba de deformación

Deformación vertical relativa:	δ_v	0,37	%
Deflexión admisible:	zul δ_v	6,00	%

La deflexión determinada es menor que la deflexión permitida.

1.2.1.3. Prueba de estabilidad (lineal):

Coefficiente de seguridad de estabilidad:	γ	68,15	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad:	erf γ_{stab}	2,00	[-]

Los coeficientes de seguridad al pandeo determinados son suficientes.

Todas las pruebas necesarias son correctas.

INFORME ABREVIADO

Estudio estático para Tuberías A 127

Proyecto:	PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA POBLACIÓN DE "LOS MOLARES" (SEVILLA)
Empresa / Entidad:	Universidad de Sevilla Escuela Técnica Superior de Ingeniería Grado en Ingeniería Civil
Autor:	Andrés León Fernández
Informe n°:	2
Fecha:	19/09/2016

Este programa es una herramienta gratuita, que puede ser utilizada por personas con conocimientos técnicos en el cálculo estático de tuberías. El programa no puede reemplazar al ingeniero responsable.

Contenido

1. : PE80 / PN10 / DN 110	3
1.1. Entrada de datos:	3
1.1.1. Opciones de seguridad	3
1.1.2. Suelo	3
1.1.3. Carga	3
1.1.4. Instalación	3
1.1.5. Tubo de la base de datos	3
1.2. Resultados:	4
1.2.1. Caso de carga a largo plazo	4
1.2.1.1. prueba de tensión	4
1.2.1.2. Prueba de deformación	4
1.2.1.3. Prueba de estabilidad (lineal):	4

1. : PE80 / PN10 / DN 110

Descripción del tramo: PE80 / PN10 / DN 110
 Tipo de cálculo: Según tabla
 Añadir dibujo para imprimir: Si

1.1. Entrada de datos:

1.1.1. Opciones de seguridad

Clase de seguridad: A (caso normal)
 Deflexión admisible: 6% (habitual)
 Tratamiento de la presión interna: De acuerdo con la nota 39 de la ATV 127
 Menores factores de seguridad para compresión por flexión: no (ATV A 127)
 La aplicación de la ATV A 127 no ha sido verificada para ver si la rigidez circunferencial mínima ha sido alcanzada: Si

1.1.2. Suelo

Tipo de relleno: G2
 Cálculo E1: tabla 8 (A127)
 Tipo de relleno en la zona del tubo: G1
 Cálculo E20: tabla 8 (A127)
 Tipo de suelo natural: G3
 Cálculo E3: Densidad Proctor
 Densidad Proctor E3: $D_{Pr,E3}$ 95,0 %
 E4 = 10 · E1: Si

1.1.3. Carga

Altura de recubrimiento: h 0,95 m
 Densidad del suelo: γ 20,0 kN/m³
 Carga superficial adicional: p_0 0,0 kN/m²
 Nivel freático máximo sobre el lecho del tubo: $h_{W,max}$ 0,00 m
 Nivel freático mínimo sobre el lecho del tubo: $h_{W,min}$ 0,00 m
 Presión interna, corto plazo: $P_{I,K}$ 4,0 bar
 Presión interna, largo plazo: $P_{I,L}$ 4,0 bar
 Sección llena: Si
 Densidad del fluido: γ_F 10,0 kN/m³
 Carga de tráfico: HGV 12 (carretera)

1.1.4. Instalación

Instalación: Zanja
 Ancho de zanja: b 0,60 m
 Ángulo del talud: β 90 °
 Condiciones de relleno: A1
 Condiciones de la instalación: B1
 Tipo de apoyo: suelto
 Ángulo de apoyo: 120°
 Proyección relativa: a 1,00 [-]

1.1.5. Tubo de la base de datos

Material: PE 80
 Presión nominal: PN = 10,0 bar (SDR = 13,6)
 Diámetro nominal: DN 110 (e = 8,1 mm)

Los coeficientes de seguridad al pandeo determinados son suficientes.

Todas las pruebas necesarias son correctas.

APÉNDICE Nº 2: CÁLCULOS MECÁNICOS DE TUBERIAS DE FD

HIPÓTESIS I					
DN	100	150	200	300	mm
e	6.1	6.25	3.4	7.2	mm
$MDP = P_{max} + \Delta P$	1.983	1.935	1.771	1.843	N/mm ²
$DP = P_{m\acute{a}x}$	0.67				N/mm ²
$\Delta P = \frac{a \cdot v}{g}$	131.250	126.549	110.058	117.325	
v	1				m/s
g	9.81				m/s ²
$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + k_c \frac{OD}{e}}}$	1.3E+03	1.2E+03	1.1E+03	1.2E+03	
$k_c = \frac{10^{10}}{E}$	5.9E-01				
E	1.7E+10				Kg/m ²
$\frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_2}$	19.318	13.440	5.617	7.875	N/mm ²
$\frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_1}$	16.098	11.200	4.680	6.563	N/mm ²
Rm	420				N/mm ³
Dm	106.10	156.25	203.40	307.20	mm
C1	3.0				
C2	2.5				
COMPROBACIÓN					
$MDP \leq \frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_2}$	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	
$DP \leq \frac{2 \cdot e \cdot R_m}{D_m \cdot C_1}$	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	

HIPOTESIS II					
DN	100	150	200	300	mm
d_{adm}	1.00	1.45	1.85	2.45	%
$d = \frac{100 \cdot k_a \cdot (W_g + W_t)}{8 \cdot S_c + 0.061 \cdot E'}$	0.03	0.09	0.17	0.30	%
Ka ($\alpha=120^\circ$)	0.09				
S_c	1500	480	230	110	KN/m2
E'	5000				KN/m3
$W_g = \gamma \cdot H$	19	18.6	18	17	KN/m2
$W_t = 40 \cdot (1 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot DN) \cdot \frac{\beta}{H}$	20.63	20.86	21.33	22.12	KN/m2
γ	20.00				KN/m3
H	0.95	0.93	0.9	0.85	m
β	0.5				
COMPROBACIÓN					
$d \leq d_{adm}$	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	