

ANEJO Nº 5. CÁLCULO MECÁNICO

Tutor: José Ferrer Polo

Cotutor: Daniel Aguado García

Autor: Carlos Mateu Roldán



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Obtención de datos previos	3
3. Bases para el cálculo mecánico.....	5
4. Informes de resultados abreviados	7
5. Informes de resultados completos	8
6. Bibliografía	9

1. Introducción

En el presente documento se van a detallar las premisas para el cálculo mecánico y se explicarán los resultados obtenidos a partir del programa de “Cálculo mecánico de tuberías compactadas de polietileno (PE) a presión”, facilitado por la Asociación Española de fabricantes de Tubos y Accesorios Plásticos (AseTUB).

2. Obtención de datos previos

Para realizar el cálculo mecánico se deberá obtener la presión máxima de diseño (MDP), el ancho de zanja correspondiente para cada diámetro nominal y la profundidad de instalación de dicha tubería. Además se supondrán las densidades del suelo y el agua, las cargas de tráfico y el tipo de terreno de la zona.

La presión máxima de diseño (MDP) es aquella máxima presión de funcionamiento de la red o de la zona de presión, fijada por el proyectista, considerando futuras ampliaciones e incluyendo golpe de ariete. Debe calcularse para comprobar que la tubería es capaz de soportar dicha presión. A continuación se muestra el procedimiento de cálculo y los resultados obtenidos.

$$Dm = D + e$$

Módulo de elasticidad del polietileno: 10^8 Kg/m^2 (E).

$$Kc = \frac{10^{10}}{E}$$

$$a = \frac{9900}{\sqrt{\left(48,3 + Kc \times \frac{D}{e}\right)}}$$

$$\Delta H = \frac{a \times v}{9,81}$$

$$Pmín = P - \Delta H$$

$$Pmáx = P + \Delta H$$

ID Tubería	Nudos	e	Øint	E (kg/m2)	Kc	a (m/s)	v(m/s)	ΔH	P(mca)	Pmín	Pmáx
T1	Depósito1-2	6,7	125	1,00E+08	100	226,29	0,22	5,05	28,31	23,26	33,36
T2	2-3	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,27	6,60	28,64	22,04	35,24
T3	2-5	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,28	6,76	28,31	21,55	35,07
T4	3-4	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,18	4,39	29,02	24,63	33,41
T7	5-6*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,02	0,45	27,42	26,97	27,87

Proyecto Básico de infraestructuras hidráulicas urbanas en el Sector Horta Baixa de Turís (Valencia):
Red de abastecimiento.

T5	3-6	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,28	6,80	28,64	21,84	35,44
T7	6-6*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,02	0,45	27,42	26,97	27,87
T8	6-7*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,02	0,45	29,63	29,18	30,08
T6	4-7	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,15	3,53	29,63	26,10	33,16
T8	7-7*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,02	0,45	29,63	29,18	30,08
T9	5-8	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,23	5,62	30,36	24,74	35,98
T10	6-9	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,22	5,30	30,82	25,52	36,12
T11	7-9*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,04	0,90	30,82	29,92	31,72
T11	9-9*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,02	0,45	30,82	30,37	31,27
T13	9-10*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,02	0,45	32,44	31,99	32,89
T12	8-10	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,20	4,82	32,44	27,62	37,26
T13	10-10*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,02	0,45	32,44	31,99	32,89
T14	10-11	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,18	4,39	36,29	31,90	40,68
T21	Deposito2-15	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,27	6,69	41,82	35,13	48,51
T24	Deposito2-19	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,34	8,38	47,03	38,65	55,41
T22	Deposito2-17	8,6	150	1,00E+08	100	233,83	0,37	8,92	47,92	39,00	56,84
T20	15-14*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,02	0,45	43,05	42,60	43,50
T19	17-14	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,32	7,79	47,92	40,13	55,71
T20	14-14*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,02	0,45	43,05	42,60	43,50
T18	14-13	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,35	8,60	43,05	34,45	51,65
T17	13-12*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,02	0,45	40,76	40,31	41,21
T23	17-18	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,31	7,47	48,49	41,02	55,96
T16	18-12	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,36	8,69	48,49	39,80	57,18
T17	12-12*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,02	0,45	40,76	40,31	41,21
T15	12-11	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,35	8,43	39,69	31,26	48,12
T25	17-20*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,22	5,24	47,92	42,68	53,16
T26	18-21*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,11	2,67	48,49	45,82	51,16
T32	19-20	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,28	6,72	47,48	40,76	54,20
T25	20-20*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,06	1,35	47,92	46,57	49,27
T29	20-23*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,22	5,30	47,48	42,18	52,78
T33	20-21	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,23	5,62	47,98	42,36	53,60
T26	21-21*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,09	2,23	48,49	46,26	50,72
T31	21-24*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,22	5,36	47,98	42,62	53,34
T27	19-22	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,22	5,30	47,03	41,73	52,33
T28	22-23	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,22	5,36	46,37	41,01	51,73
T29	23-23*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,15	3,53	47,48	43,95	51,01
T30	23-24	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,07	1,79	44,23	42,44	46,02
T31	24-24*	6	100	1,00E+08	100	239,06	0,06	1,35	47,98	46,63	49,33

Tabla 1. Datos obtenidos.

Se han calculado también las presiones mínimas para comprobar que estas no son negativas debidas al golpe de ariete. Puesto que no se da el caso, no se producirá el colapso de la red. El valor más elevado de las presiones máximas será la presión

máxima de funcionamiento de la red (MDP), en este caso se trata de 53,18 m.c.a. que corresponde con la tubería T16 el tramo N18-N12.

Puesto que las conducciones se sitúan debajo de las aceras, según la Norma UNE 53331 IN, la profundidad mínima a la que debe situarse la clave de la tubería es de 0,6 m y en los cruces de calzadas a 1 m. Se puede definir el ancho de la zanja B como:

$$B = DN(m) + e(m) + 0,4$$

Además, siguiendo el criterio de esta misma norma, se ha definido el espesor de la cama de apoyo. Este apoyo se ha considerado tipo A, es decir, cama en la que descansa la conducción, continua, de material granular compactado de manera uniforme en toda su longitud. El espesor (e) de dicha cama de apoyo se obtendrá como:

$$e = 0,1 \times [1 + DN(m)]$$

A continuación se muestran los valores de las variables anteriores obtenidos:

DN	B(m)	e(m)
125	0,531	0,1125
140	0,546	0,114
180	0,586	0,118

Tabla 2. Ancho de zanja y espesor camas de apoyo.

3. Bases para el cálculo mecánico

Para dimensionar mecánicamente conducciones de polietileno se debe seguir la metodología de cálculo especificada en la Norma UNE 53331 IN, la cual está basada en la norma alemana ATV 127. Puesto que el polietileno es muy flexible, el diseño mecánico se verá limitado por la deformación máxima admisible a causa de la seguridad. Sin embargo, deben de realizarse cada una de las comprobaciones siguientes:

- Hipótesis 1: Estado tensional debido a la acción de la presión interna positiva.

En esta hipótesis se tendrá en cuenta la presión interna que ejerce el agua sobre la tubería, por tanto deberá comprobarse que:

$$PD < PN (= PFA) \quad MDP < PMA$$

Dado que la máxima presión de diseño de la red es de 53,18 m.c.a. (5,32 bar) y la presión nominal que soportan las tuberías es de 8 bar, este criterio se cumple.

- Hipótesis 2: Estado tensional y deformaciones debidas a las acciones externas y la presión interna positiva.

En esta hipótesis debe comprobarse que el coeficiente de seguridad a largo plazo para los esfuerzos tangenciales a flexotracción en clave, riñones y base de la conducción sea superior al coeficiente de seguridad (C) establecido por la Norma UNE 53331 IN, y que la deformación que se produzca sea menor al 6% del diámetro de la tubería.

- Hipótesis 3: Estado tensional y deformaciones debidas a las acciones externas.

En esta hipótesis se comprueba que las acciones externas generan un coeficiente de seguridad a largo plazo para los esfuerzos tangenciales de flexotracción en clave, riñones y base, superior al admisible (C) establecido por la Norma UNE 53331 IN y que las deformaciones son inferiores al 6% del diámetro de la conducción.

- Hipótesis 4: Pandeo o colapso debido a acciones externas y presión interna negativa.

En esta hipótesis se plantea la acción conjunta de las presiones internas negativas y las cargas externas para comprobar que el coeficiente de seguridad frente a pandeo sea superior al establecido por la Norma UNE 53331 IN (C).

Existen dos clases de seguridad en la Norma UNE 53331 IN y se ha establecido un tipo de seguridad A. Aunque no se conozca la presencia del nivel freático en la zona, se ha supuesto dicho nivel de seguridad puesto que la zona de implantación de la red es urbana y una reducción del servicio o fallo podría suponer notables consecuencias económicas. Por tanto, el coeficiente de seguridad (C) impuesto por la Norma UNE 53331 IN tiene un valor de 2,5.

Cada una de las anteriores hipótesis, se aplican a los diámetros que se han obtenido, siguiendo los pasos marcados en el software utilizado (AseTUB). Una de las opciones que se debe introducir es la máxima deformación que pueda tener la tubería y se le aplica, según normativa, la genérica, un 6% y cada uno de los ensayos debe

estar por debajo de este valor para que cumpla los requisitos. Los anteriores pasos se definen en el Anejo Nº 2. Anejo Geotécnico.

Se realizan todos los análisis pertinentes para cada uno de los diámetros obtenidos (125, 140 y 180 mm), una vez se obtienen todos los informes, se analizan los resultados comprobando cuál de las hipótesis estudiadas es la más desfavorable en cada caso y por consiguiente, al ser la más desfavorable, es la opción que se escoge para que marque el límite en cada una de las tuberías. Los resultados se muestran a continuación.

4. Informes de resultados abreviados

INFORME ABREVIADO

Estudio estático para Tuberías A 127

Proyecto:	Proyecto básico de infraestructuras hidráulicas urbanas en el Sector Horta Baixa de Turís (Valencia): Red de abastecimiento.
Empresa / Entidad:	Universidad Politécnica de Valencia (ETSICCP).
Autor:	Carlos Mateu Roldán
Informe n°:	001
Fecha:	04/06/2016

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. : DN 125	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	4
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):	5

1. : DN 125

Descripción del tramo:
Tipo de cálculo:
Añadir dibujo para imprimir:

DN 125
Según tabla
Si

1.1. Entrada de datos:

1.1.1. Opciones de seguridad

Clase de seguridad:
Deflexión admisible:
Tratamiento de la presión interna:
Menores factores de seguridad para compresión por flexión:
La aplicación de la ATV A 127 no ha sido verificada para ver si la rigidez circunferencial mínima ha sido alcanzada:

A (caso normal)
6% (habitual)
De acuerdo con la nota 39 de la ATV 127
no (ATV A 127)
No

1.1.2. Suelo

Tipo de relleno:
Cálculo E1:
Módulo de elasticidad E1:
Tipo de relleno en la zona del tubo:
Cálculo E20:
Módulo de elasticidad E20:
Tipo de suelo natural:
Cálculo E3:
Módulo de elasticidad E3:
E4 = 10 · E1:
Suelo bajo la zanja:
Cálculo E4:
Módulo de elasticidad E4:

G1
Módulo de elasticidad E
E1 8,0 N/mm²
G1
Módulo de elasticidad E
E20 16,0 N/mm²
G4
Módulo de elasticidad E
E3 1,5 N/mm²
No
G1
Módulo de elasticidad E
E4 1,5 N/mm²

1.1.3. Carga

Altura de recubrimiento:
Densidad del suelo:
Carga superficial adicional:
Nivel freático máximo sobre el lecho del tubo:
Nivel freático mínimo sobre el lecho del tubo:
Presión interna, corto plazo:
Presión interna, largo plazo:
Sección llena:
Densidad del fluido:
Carga de tráfico:

h 0,60 m
γ 20,0 kN/m³
p₀ 0,0 kN/m²
h_{W,max} 0,00 m
h_{W,min} 0,00 m
P_{I,K} 0,0 bar
P_{I,L} 0,0 bar
Si
γ_F 10,0 kN/m³
SLW 30

1.1.4. Instalación

Instalación:
Ancho de zanja:
Ángulo del talud:
Condiciones de relleno:
Condiciones de la instalación:
Tipo de apoyo:
Ángulo de apoyo:
Proyección relativa:

Zanja
b 0,53 m
β 70 °
A4
B4
suelto
120°
a 1,00 [-]

1.1.5. Tubo de la base de datos

Material:

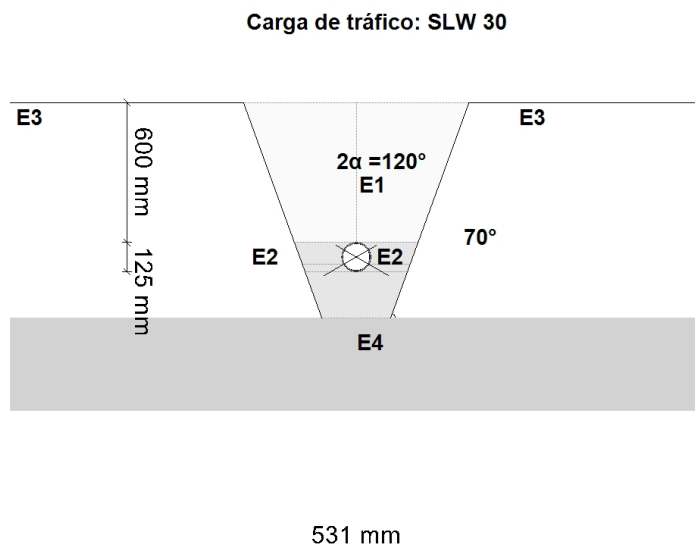
Presión nominal:

Diámetro nominal:

PE 100

PN = 8,0 bar (SDR = 21,0)

DN 125 (6,0 mm)



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	Y	-7,213	43,389	-5,804	[-]
Coefficiente de seguridad externo	Y	10,249	-9,751	7,702	[-]

(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	1,48	%
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	16,44	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad:	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 básico de infraestructuras hidráulicas urbanas en el Sector Horta Baixa de Turís (Valencia): Red de abastecimiento.
Empresa / Entidad:	Universidad Politécnica de Valencia (ETSICCP).
Autor:	Carlos Mateu Roldán
Informe n°:	002
Fecha:	03/06/2016

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. : DN 140	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	4
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):	5

1. : DN 140

Descripción del tramo:
Tipo de cálculo:
Añadir dibujo para imprimir:

DN 140
Según tabla
Si

1.1. Entrada de datos:

1.1.1. Opciones de seguridad

Clase de seguridad:
Deflexión admisible:
Tratamiento de la presión interna:
Menores factores de seguridad para compresión por flexión:
La aplicación de la ATV A 127 no ha sido verificada para ver si la rigidez circunferencial mínima ha sido alcanzada:

A (caso normal)
6% (habitual)
De acuerdo con la nota 39 de la ATV 127
no (ATV A 127)
No

1.1.2. Suelo

Tipo de relleno:
Cálculo E1:
Módulo de elasticidad E1:
Tipo de relleno en la zona del tubo:
Cálculo E20:
Módulo de elasticidad E20:
Tipo de suelo natural:
Cálculo E3:
Módulo de elasticidad E3:
 $E4 = 10 \cdot E1$:
Suelo bajo la zanja:
Cálculo E4:
Módulo de elasticidad E4:

G1
Módulo de elasticidad E
E1 8,0 N/mm²
G1
Módulo de elasticidad E
E20 16,0 N/mm²
G1
Módulo de elasticidad E
E3 1,5 N/mm²
No
G1
Módulo de elasticidad E
E4 1,5 N/mm²

1.1.3. Carga

Altura de recubrimiento:
Densidad del suelo:
Carga superficial adicional:
Nivel freático máximo sobre el lecho del tubo:
Nivel freático mínimo sobre el lecho del tubo:
Presión interna, corto plazo:
Presión interna, largo plazo:
Sección llena:
Densidad del fluido:
Carga de tráfico:

h 0,60 m
γ 20,0 kN/m³
p₀ 0,0 kN/m²
h_{W,max} 0,00 m
h_{W,min} 0,00 m
P_{I,K} 0,0 bar
P_{I,L} 0,0 bar
Si
γ_F 10,0 kN/m³
SLW 30

1.1.4. Instalación

Instalación:
Ancho de zanja:
Ángulo del talud:
Condiciones de relleno:
Condiciones de la instalación:
Tipo de apoyo:
Ángulo de apoyo:
Proyección relativa:

Zanja
b 0,55 m
β 70 °
A4
B4
suelto
120°
a 1,00 [-]

1.1.5. Tubo de la base de datos

Material:

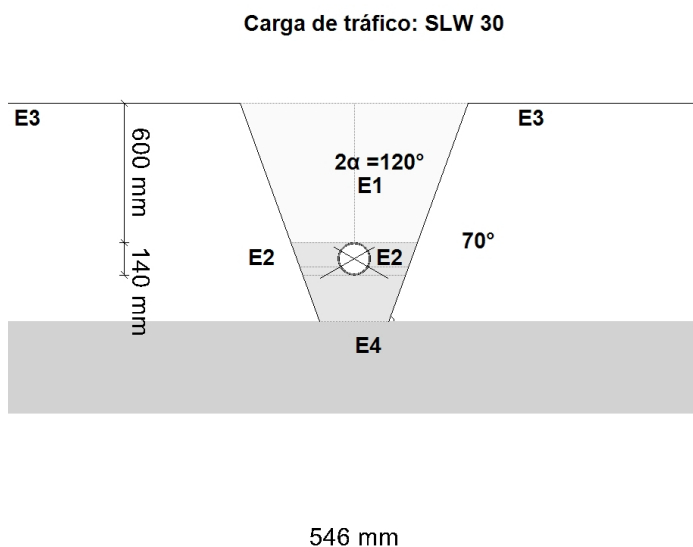
Presión nominal:

Diámetro nominal:

PE 100

PN = 8,0 bar (SDR = 21,0)

DN 140 (6,7 mm)



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	Y	-6,053	17,717	-5,028	[-]
Coefficiente de seguridad externo	Y	7,713	-7,267	6,172	[-]

(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	1,92	%
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	13,53	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad:	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 básico de infraestructuras hidráulicas urbanas en el Sector Horta Baixa de Turís (Valencia): Red de abastecimiento.
Empresa / Entidad:	Universidad Politécnica de Valencia (ETSICCP).
Autor:	Carlos Mateu Roldán
Informe n°:	003
Fecha:	04/06/2016

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. : DN 180	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	4
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):	5

1. : DN 180

Descripción del tramo:
Tipo de cálculo:
Añadir dibujo para imprimir:

DN 180
Según tabla
Si

1.1. Entrada de datos:

1.1.1. Opciones de seguridad

Clase de seguridad:
Deflexión admisible:
Tratamiento de la presión interna:
Menores factores de seguridad para compresión por flexión:
La aplicación de la ATV A 127 no ha sido verificada para ver si la rigidez circunferencial mínima ha sido alcanzada:

A (caso normal)
6% (habitual)
De acuerdo con la nota 39 de la ATV 127
no (ATV A 127)
No

1.1.2. Suelo

Tipo de relleno:
Cálculo E1:
Módulo de elasticidad E1:
Tipo de relleno en la zona del tubo:
Cálculo E20:
Módulo de elasticidad E20:
Tipo de suelo natural:
Cálculo E3:
Módulo de elasticidad E3:
E4 = 10 · E1:
Suelo bajo la zanja:
Cálculo E4:
Módulo de elasticidad E4:

G1
Módulo de elasticidad E
E1 8,0 N/mm²
G1
Módulo de elasticidad E
E20 16,0 N/mm²
G4
Módulo de elasticidad E
E3 1,5 N/mm²
No
G1
Módulo de elasticidad E
E4 1,5 N/mm²

1.1.3. Carga

Altura de recubrimiento:
Densidad del suelo:
Carga superficial adicional:
Nivel freático máximo sobre el lecho del tubo:
Nivel freático mínimo sobre el lecho del tubo:
Presión interna, corto plazo:
Presión interna, largo plazo:
Sección llena:
Densidad del fluido:
Carga de tráfico:

h 0,60 m
γ 20,0 kN/m³
p₀ 0,0 kN/m²
h_{W,max} 0,00 m
h_{W,min} 0,00 m
P_{I,K} 0,0 bar
P_{I,L} 0,0 bar
Si
γ_F 10,0 kN/m³
SLW 30

1.1.4. Instalación

Instalación:
Ancho de zanja:
Ángulo del talud:
Condiciones de relleno:
Condiciones de la instalación:
Tipo de apoyo:
Ángulo de apoyo:
Proyección relativa:

Zanja
b 0,59 m
β 70 °
A4
B4
suelto
120°
a 1,00 [-]

1.1.5. Tubo de la base de datos

Material:

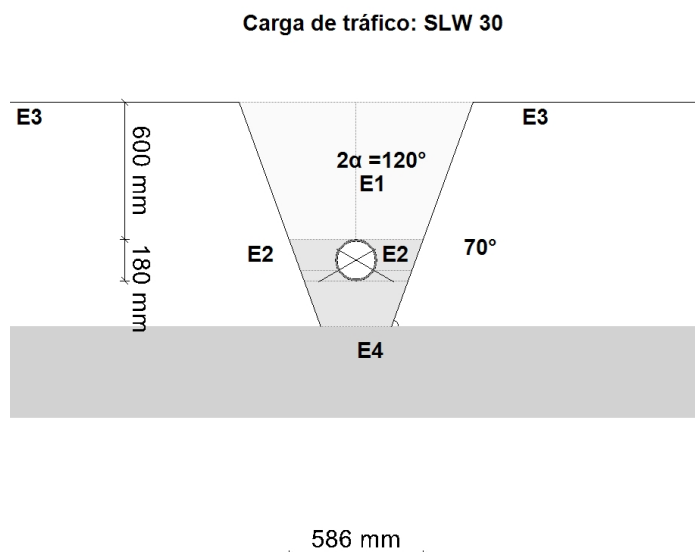
PE 100

Presión nominal:

PN = 8,0 bar (SDR = 21,0)

Diámetro nominal:

DN 180 (8,6 mm)



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	Y	-4,775	8,823	-4,117	[-]
Coefficiente de seguridad externo	Y	5,450	-5,081	4,632	[-]

(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	2,65	%
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	10,63	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad:	γ_{stab}	2,00	[-]

Los coeficientes de seguridad al pandeo determinados son suficientes.

Todas las pruebas necesarias son correctas.

5. Informes de resultados completos

INFORME COMPLETO

Estudio estático para Tuberías A 127

Proyecto:	Proyecto básico de infraestructuras hidráulicas urbanas en el Sector Horta Baixa de Turís (Valencia): Red de abastecimiento.
Empresa / Entidad:	Universidad Politécnica de Valencia (ETSICCP).
Autor:	Carlos Mateu Roldán
Informe n°:	001
Fecha:	04/06/2016

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. : DN 125	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	4
1.2. Resultados:	4
1.2.1. resultados intermedios del tubo	4
1.2.1.1. propiedades del material	4
1.2.1.2. Factores de seguridad	5
1.2.2. Resultados intermedios para caso de carga	5
1.2.2.1. geometría del tubo	5
1.2.2.2. Teoría del silo	5
1.2.2.3. Carga	5
1.2.2.4. Módulo de deformación del suelo EB	5
1.2.2.5. Valores de rigidez del suelo	6
1.2.2.6. Ángulo de apoyo, proyección relativa efectiva y ángulo de fricción	6
1.2.2.7. Valores característicos del material del tubo y rigidez anular	6
1.2.2.8. relación de rigidez	6
1.2.2.9. Coeficientes	7
1.2.2.10. Factores de concentracion λ_R y λ_B	7
1.2.2.11. Distribución de presiones en la circunferencia del tubo	8
1.2.3. Sección fuerzas clave	8
1.2.4. Sección fuerzas generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	9
1.2.5. Sección fuerzas base	9
1.2.6. Caso de carga a corto plazo	10
1.2.6.1. prueba de tensión	10
1.2.6.2. Prueba de deformación	11
1.2.6.3. Prueba de estabilidad (lineal):	11
1.2.7. Caso de carga a largo plazo	11
1.2.7.1. prueba de tensión	11
1.2.7.2. Prueba de deformación	12
1.2.7.3. Prueba de estabilidad (lineal):	13

1. : DN 125

Descripción del tramo:
Tipo de cálculo:
Añadir dibujo para imprimir:

DN 125
Según tabla
Si

1.1. Entrada de datos:

1.1.1. Opciones de seguridad

Clase de seguridad:
Deflexión admisible:
Tratamiento de la presión interna:
Menores factores de seguridad para compresión por flexión:
La aplicación de la ATV A 127 no ha sido verificada para ver si la rigidez circunferencial mínima ha sido alcanzada:

A (caso normal)
6% (habitual)
De acuerdo con la nota 39 de la ATV 127
no (ATV A 127)
No

1.1.2. Suelo

Tipo de relleno:
Cálculo E1:
Módulo de elasticidad E1:
Tipo de relleno en la zona del tubo:
Cálculo E20:
Módulo de elasticidad E20:
Tipo de suelo natural:
Cálculo E3:
Módulo de elasticidad E3:
E4 = 10 · E1:
Suelo bajo la zanja:
Cálculo E4:
Módulo de elasticidad E4:

G1
Módulo de elasticidad E
E1 8,0 N/mm²
G1
Módulo de elasticidad E
E20 16,0 N/mm²
G4
Módulo de elasticidad E
E3 1,5 N/mm²
No
G1
Módulo de elasticidad E
E4 1,5 N/mm²

1.1.3. Carga

Altura de recubrimiento:
Densidad del suelo:
Carga superficial adicional:
Nivel freático máximo sobre el lecho del tubo:
Nivel freático mínimo sobre el lecho del tubo:
Presión interna, corto plazo:
Presión interna, largo plazo:
Sección llena:
Densidad del fluido:
Carga de tráfico:

h 0,60 m
γ 20,0 kN/m³
p₀ 0,0 kN/m²
h_{W,max} 0,00 m
h_{W,min} 0,00 m
P_{I,K} 0,0 bar
P_{I,L} 0,0 bar
Si
γ_F 10,0 kN/m³
SLW 30

1.1.4. Instalación

Instalación:
Ancho de zanja:
Ángulo del talud:
Condiciones de relleno:
Condiciones de la instalación:
Tipo de apoyo:
Ángulo de apoyo:
Proyección relativa:

Zanja
b 0,53 m
β 70 °
A4
B4
suelto
120°
a 1,00 [-]

1.1.5. Tubo de la base de datos

Material:

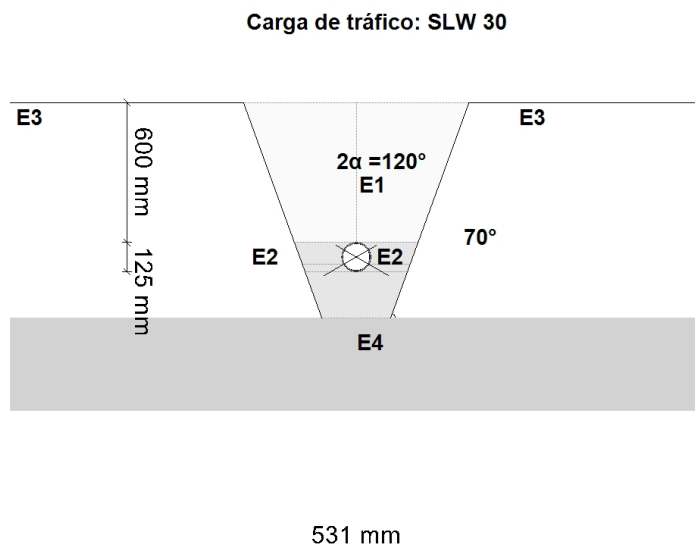
PE 100

Presión nominal:

PN = 8,0 bar (SDR = 21,0)

Diámetro nominal:

DN 125 (6,0 mm)



1.2. Resultados:

1.2.1. resultados intermedios del tubo

Diámetro interior:

d_i 113,0 mm

Diámetro exterior:

d_a 125,0 mm

Radio del eje centroide de la pared del tubo:

r_m 59,5 mm

Espesor:

s 6,0 mm

Proporción:

r_m/s 9,917 [-]

Factor de corrección de la curvatura interior:

α_{ki} 1,034 [-]

Factor de corrección de la curvatura exterior:

α_{ka} 0,966 [-]

Predeformación local:

δ_{vl} 0,00 %

Predeformación (ovalización antes de aplicación de la carga):

δ_{vg} 1,00 %

Superficie del perfil radial:

A_{rad} 6,0 mm²/mm

Distancia de inercia:

e 3,0 mm

Momento de inercia:

I 18,0 mm⁴/mm

Momento resistente exterior:

W_a 6,0 mm³/mm

Momento resistente interior:

W_i 6,0 mm³/mm

1.2.1.1. propiedades del material

Gravedad específica

γ_R

corto plazo

9,4

largo plazo

9,4

kN/m³

Coefficiente de poisson

ν

0,38

0,38

[-]

Valor característico del módulo de elasticidad en sentido circunferencial	E_R	1.200,0	200,0	N/mm ²
Valor característico de tracción por deflexión	σ_{RBZ}	23,0	17,5	N/mm ²
Valor característico de la deflexión radial por esfuerzo de compresión	σ_{RBD}	23,0	17,5	N/mm ²
Valor característico de la tensión en sentido circunferencial	σ_{RZ}	23,0	17,5	N/mm ²

1.2.1.2. Factores de seguridad

Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad, tensión a tracción	erf γ_{RBZ}	2,50	2,50	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad, tensión a compresión	erf γ_{RBD}	2,50	2,50	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad	erf γ_{stab}	2,00	2,00	[-]

1.2.2. Resultados intermedios para caso de carga

1.2.2.1. geometría del tubo

Radio del eje centroide de la pared del tubo:	r_m	59,5	mm
Factor de corrección de la curvatura interior:	α_{ki}	1,034	[-]
Factor de corrección de la curvatura exterior:	α_{ka}	0,966	[-]

1.2.2.2. Teoría del silo

Coefficiente de carga del suelo κ para carga en zanja (Teoría del Silo):	κ	1,000	[-]
---	----------	-------	-----

$$\kappa = \frac{1 - e^{-2 \cdot K_1 \cdot \tan \delta \cdot \frac{h}{b}}}{2 \cdot K_1 \cdot \tan \delta \cdot \frac{h}{b}} \quad (5.04)$$

Coefficiente de carga del suelo κ_0 para cargas superficiales (Teoría del Silo):	κ_0	1,000	[-]
---	------------	-------	-----

$$\kappa_0 = e^{-2 \cdot K_1 \cdot \tan \delta \cdot \frac{h}{b}} \quad (5.05)$$

κ_0 y κ están indicadas como 1, porque E_1 es mayor que E_3 .

1.2.2.3. Carga

Nivel freático máximo sobre la cama del tubo:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
Carga vertical debida al peso del relleno:	P_{Erd}	12,00	kN/m ²
Carga vertical debida al peso del relleno y a la carga superficial:	P_E	12,00	kN/m ²
Tensión debida a carga de tráfico:	P_V	73,02	kN/m ²
Coefficiente de impacto (incl.):	ϕ	1,40	[-]

1.2.2.4. Módulo de deformación del suelo EB

Módulo elástico del relleno bajo carga:	$E_{1,\sigma}$	8,00	N/mm ²
Módulo elástico de los riñones bajo carga:	$E_{20,\sigma}$	16,00	N/mm ²
Factor de reducción por fluencia:	f_1	1,000	[-]
Factor de reducción E_{20} (nivel freático):	f_2	1,000	[-]
Factor de reducción E_{20} (zanja estrecha):	α_B	1,000	[-]
Módulo elástico del apoyo (reducido):	$E_{2,\sigma}$	16,00	N/mm ²
Módulo elástico del suelo natural:	$E_{3,\sigma}$	1,50	N/mm ²
Módulo elástico del suelo bajo el tubo:	$E_{4,\sigma}$	1,50	N/mm ²

1.2.2.5. Valores de rigidez del suelo

Factor de corrección por rigidez del apoyo horizontal: ζ 0,732 [-]

$$\zeta = \frac{1,667}{\Delta f + (1,667 - \Delta f) \cdot \frac{E_2}{E_3}} \quad (6.17)$$

$$\Delta f = \frac{\frac{b}{d_a} - 1}{0,982 + 0,283 \cdot \left(\frac{b}{d_a} - 1 \right)} \leq 1,667 \quad \text{Corrección (6.18)}$$

Si el ángulo de talud de la zanja es $< 90^\circ$ se debe considerar la anchura de la zanja a la altura del centro de la tubería en lugar de la anchura de la zanja a la altura de la corona

Rigidez del apoyo horizontal: S_{Bh} 7,027 N/mm²

$$S_{Bh} = 0,6 \cdot \zeta \cdot E_2 \quad (6.16)$$

Rigidez de apoyo vertical: S_{Bv} 16,000 N/mm²

$$S_{Bv} = \frac{E_2}{a} \quad (6.12)$$

1.2.2.6. Ángulo de apoyo, proyección relativa efectiva y ángulo de fricción

Ángulo de apoyo, proyección relativa efectiva y ángulo de fricción: 2α 120 °

Proyección incrementada debido a la pérdida de soporte del suelo: a_S 1,00 [-]

Proyección relativa efectiva: a' 0,500 [-]

$$a' = a_S - \frac{E_1}{E_2} \geq 0,26 \quad (6.05)$$

Ángulo de fricción interna: φ' 20,000 °

Ángulo de fricción de la pared: δ 20,000 °

corto plazo Todas las cargas	largo plazo Cargas del suelo cargas de tráfico	largo plazo otro Cargas
------------------------------------	--	-------------------------------

1.2.2.7. Valores característicos del material del tubo y rigidez anular

	E_R	1.200,0	1.058,9	200,0	N/mm ²
Valor característico del módulo de elasticidad en sentido circunferencial	σ_{RBZ}	23,0	22,2	17,5	N/mm ²
Valor característico de tracción por deflexión	σ_{RBD}	23,0	22,2	17,5	N/mm ²
Valor característico de la deflexión radial por esfuerzo de compresión	σ_{RZ}	23,0	22,2	17,5	N/mm ²
Valor característico de la tensión en sentido circunferencial	S_R	102,542	90,482	17,090	kN/m ²

$$S_R = \frac{E_R \cdot I}{r_m^3} \quad (6.10a)$$

1.2.2.8. relación de rigidez

Rigidez del sistema V_{RB} 0,0146 0,0129 0,0024 [-]

$$V_{RB} = \frac{S_R}{S_{Bh}} = \frac{8 \cdot S_0}{S_{Bh}} \quad (6.15)$$

Relación de rigidez	V_S	0,3489	0,3362	---	[-]
---------------------	-------	--------	--------	-----	-----

$$V_S = \frac{S_R}{|c_v^*| \cdot S_{Bv}} \quad (6.08a)$$

1.2.2.9. Coeficientes

Relación por presión de enterramiento (apoyo) K_2	0,400	0,400	---	[-]
Coeficiente por presión de reacción del apoyo K^*	1,108	1,132	---	[-]

$$K^* = \frac{C_{h,qv}}{V_{RB} - C_{h,qh^*}} \quad (6.14)$$

Coeficiente por presión de reacción del apoyo c_v^*	-0,018	-0,017	---	[-]
---	--------	--------	-----	-----

$$c_v^* = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^* \quad (6.13)$$

1.2.2.10. Factores de concentración λ_R y λ_B

Factor de concentración máximo	$\max \lambda$	1,021	1,021	---	[-]
--------------------------------	----------------	-------	-------	-----	-----

$$\max \lambda = 1 + \frac{\frac{h}{d_a}}{\frac{3,5}{a'} + \frac{2,2}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0,25)} + \left[\frac{0,62}{a'} + \frac{1,6}{\frac{E_4}{E_1} \cdot (a' - 0,25)} \right] \cdot \frac{h}{d_a}} \quad (6.04)$$

Coeficiente por factor de concentración máximo	K'	0,925	0,924	---	[-]
--	------	-------	-------	-----	-----

$$K' = - \frac{c_{v,qh} + \frac{C_{h,qh}}{C_{h,qv}} \cdot c_{v,qh^*} \cdot K^*}{c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*} \quad (6.06b)$$

Factor de concentración sobre el tubo, valor inicial	λ_R	0,951	0,948	---	[-]
--	-------------	-------	-------	-----	-----

$$\lambda_R = \frac{\max \lambda \cdot V_s + a' \cdot \frac{4 \cdot K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max \lambda - 1}{a' - 0,25}}{V_s + a' \cdot \frac{3 + K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max \lambda - 1}{a' - 0,25}} \quad (6.06a)$$

Factor de concentración sobre el tubo, bajo el efecto de la zanja	λ_{RG}	0,951	0,948	---	[-]
---	----------------	-------	-------	-----	-----

$$\lambda_{RG} = \lambda_R = \text{const.} \quad (6.21b)$$

Factor de concentración sobre el tubo, límite superior	λ_{fo}	3,910	3,910	---	[-]
--	----------------	-------	-------	-----	-----

Factor de concentración sobre el tubo, límite inferior	λ_{fu}	0,473	0,473	---	[-]
--	----------------	-------	-------	-----	-----

Factor de concentración sobre el tubo, valor final	λ_{RG}	0,951	0,948	---	[-]
--	----------------	-------	-------	-----	-----

Factor de concentración del suelo	λ_B	1,016	1,017	---	[-]
-----------------------------------	-------------	-------	-------	-----	-----

$$\lambda_B = \frac{4 - \lambda_R}{3} \quad (6.07)$$

1.2.2.11. Distribución de presiones en la circunferencia del tubo

Carga vertical total	q_v	84,43	84,40	---	kN/m ²
$q_v = \lambda_{RG} \cdot p_E + p_v$ (6.24)					
Presión lateral	q_h	5,38	5,38	---	kN/m ²
$q_h = K_2 \cdot \left(\lambda_B \cdot p_E + \gamma_B \cdot \frac{d_a}{2} \right)$ (7.01)					
Presión de reacción del apoyo (carga del suelo)	q^*_h	88,00	89,89	---	kN/m ²
$q^*_h = \frac{C_{h,qv} \cdot q_v + C_{h,qh} \cdot q_h}{V_{RB} - C_{h,qh}}$ (7.02a)					
Presión de reacción del apoyo (sección llena)	q^*_{hw}	0,50	0,59	---	kN/m ²
$q^*_{hw} = \frac{C_{hw} \cdot q_w}{V_{RB} - C_{h,qh}}$ (7.02b)					

1.2.3. Sección fuerzas clave

		corto plazo	largo plazo	
Momento debido a cargas verticales totales	M_{qv}	0,078	0,078	kNm/m
Momento debido a la presión lateral	M_{qh}	-0,005	-0,005	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo horizontal	M^*_{qh}	-0,056	-0,058	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo (sección llena)	M^*_{qw}	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a las cargas muertas	M_g	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a la sección llena	M_w	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a la presión del agua	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales	ΣM	0,017	0,016	kNm/m
$\Sigma M_{qv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh}$				
Momentos totales debidos a las cargas del suelo y tráfico	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*}$	0,017	0,016	kNm/m
$\Sigma M_{sonst} = M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales debidos a otras cargas	ΣM_{sonst}	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M_g$				
Momentos totales debidos a la sección llena y a la presión	$\Sigma M'$	0,017	0,016	kNm/m
Fuerza normal debida a las cargas verticales totales	N_{qv}	0,136	0,136	kN/m
Fuerza normal debida a la presión lateral	N_{qh}	-0,320	-0,320	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho	N^*_{qh}	-3,021	-3,086	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho (relleno del agua)	N^*_{qw}	-0,017	-0,020	kN/m
Fuerza normal debida al peso muerto	N_g	0,001	0,001	kN/m
Fuerza normal debida al relleno de agua	N_w	0,022	0,022	kN/m
Fuerza normal debida a la presión del agua	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Fuerzas totales normales	ΣN	-3,200	-3,268	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a las cargas del suelo y del tráfico	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*}$	-3,206	-3,271	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a otras cargas	ΣN_{sonst}	0,006	0,003	kN/m
Total sin sección llena y sin presión	$\Sigma N'$	-3,205	-3,270	kN/m

1.2.4. Sección fuerzas generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo

		corto plazo	largo plazo	
Momento debido a cargas verticales totales	M_{qv}	-0,079	-0,079	kNm/m
Momento debido a la presión lateral	M_{qh}	0,005	0,005	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo horizontal	M_{qh}^*	0,065	0,066	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo (sección llena)	M_{qw}^*	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a las cargas muertas	M_g	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a la sección llena	M_w	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a la presión del agua	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales	ΣM	-0,010	-0,008	kNm/m
$\Sigma M_{qv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^*$				
Momentos totales debidos a las cargas del suelo y tráfico	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*}$	-0,010	-0,008	kNm/m
$\Sigma M_{sonst} = M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales debidos a otras cargas	ΣM_{sonst}	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_g$				
Momentos totales debidos a la sección llena y a la presión	$\Sigma M'$	-0,010	-0,008	kNm/m
Fuerza normal debida a las cargas verticales totales	N_{qv}	-5,024	-5,022	kN/m
Fuerza normal debida a la presión lateral	N_{qh}	0,000	0,000	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho	N_{qh}^*	0,000	0,000	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho (relleno del agua)	N_{qw}^*	0,000	0,000	kN/m
Fuerza normal debida al peso muerto	N_g	-0,005	-0,005	kN/m
Fuerza normal debida al relleno de agua	N_w	0,008	0,008	kN/m
Fuerza normal debida a la presión del agua	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Fuerzas totales normales	ΣN	-5,021	-5,020	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a las cargas del suelo y del tráfico	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*}$	-5,024	-5,022	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a otras cargas	ΣN_{sonst}	0,002	0,002	kN/m
Total sin sección llena y sin presión	$\Sigma N'$	-5,029	-5,027	kN/m

1.2.5. Sección fuerzas base

		corto plazo	largo plazo	
Momento debido a cargas verticales totales	M_{qv}	0,082	0,082	kNm/m
Momento debido a la presión lateral	M_{qh}	-0,005	-0,005	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo horizontal	M_{qh}^*	-0,056	-0,058	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo (sección llena)	M_{qw}^*	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a las cargas muertas	M_g	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a la sección llena	M_w	0,001	0,001	kNm/m
Momento debido a la presión del agua	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales	ΣM	0,021	0,020	kNm/m
$\Sigma M_{qv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^*$				
Momentos totales debidos a las cargas del suelo y tráfico	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*}$	0,021	0,020	kNm/m
$\Sigma M_{sonst} = M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales debidos a otras cargas	ΣM_{sonst}	0,000	0,000	kNm/m

$$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_g$$

Momentos totales debidos a la sección llena y a la presión	$\Sigma M'$	0,021	0,020	kNm/m
Fuerza normal debida a las cargas verticales totales	N_{qv}	-0,136	-0,136	kN/m
Fuerza normal debida a la presión lateral	N_{qh}	-0,320	-0,320	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho	N_{qh}^*	-3,021	-3,086	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho (relleno del agua)	N_{qw}^*	-0,017	-0,020	kN/m
Fuerza normal debida al peso muerto	N_g	-0,001	-0,001	kN/m
Fuerza normal debida al relleno de agua	N_w	0,049	0,049	kN/m
Fuerza normal debida a la presión del agua	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Fuerzas totales normales	ΣN	-3,446	-3,514	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a las cargas del suelo y del tráfico	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*}$	-3,477	-3,542	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a otras cargas	ΣN_{sonst}	0,031	0,028	kN/m
Total sin sección llena y sin presión	$\Sigma N'$	-3,478	-3,543	kN/m

1.2.6. Caso de carga a corto plazo

1.2.6.1. prueba de tensión

$$\sigma_{R,res} = \frac{\sigma_{qv,qh,qh^*} \cdot \bar{\sigma}_R + \sigma_{sonst} \cdot \sigma_{R,L}}{\sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst}} \quad (9.01c)$$

Interior:		clave	generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	base	
Tensiones debidas a las cargas del suelo y del tráfico	σ_{qv,qh,qh^*}	2,371	-2,499	3,046	N/mm ²
Tensiones debidas a otras cargas	σ_{sonst}	0,028	-0,031	0,062	N/mm ²
Tensión total	σ	2,399	-2,530	3,109	N/mm ²
Tensión de tracción por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBZ,res}$	23,00	23,00	23,00	N/mm ²
Tensión de compresión por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBD,res}$	23,00	23,00	23,00	N/mm ²
Coefficiente de seguridad para tensión por flexión:	γ_{BZ}	9,588	---	7,398	[-]
Coefficiente de seguridad para compresión por flexión:	γ_{BD}	---	9,089	---	[-]
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	[-]

Exterior:		clave	generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	base	
Tensiones debidas a las cargas del suelo y del tráfico	σ_{qv,qh,qh^*}	-3,250	0,717	-3,970	N/mm ²
Tensiones debidas a otras cargas	σ_{sonst}	-0,024	0,030	-0,048	N/mm ²
Tensión total	σ	-3,275	0,747	-4,018	N/mm ²

Tensión de tracción por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBZ,res}$	23,00	23,00	23,00	N/mm ²
Tensión de compresión por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBD,res}$	23,00	23,00	23,00	N/mm ²
Coefficiente de seguridad para tensión por flexión:	γ_{BZ}	---	30,809	---	[-]
Coefficiente de seguridad para compresión por flexión:	γ_{BD}	7,024	---	5,724	[-]
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.

1.2.6.2. Prueba de deformación

Modo de cálculo:				lineal				
Relación:				$I/(A \cdot m^2)$	0,00085	[-]		
Relación ' $I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa_q$ ':				$I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa_q$	0,00085	[-]		
Coeficiente resultante de deformación	c'_v	q_v	-0,0893	q_h	0,0833	q_h^*	0,0640	[-]
Cambio del diámetro vertical:				Δd_v			1,69	mm
Cambio del diámetro horizontal:				Δd_h			1,49	mm
Deformación vertical relativa:				δ_v			1,42	%
Deflexión admisible:				zul δ_v			6,00	%

La deflexión determinada es menor que la deflexión permitida.

1.2.6.3. Prueba de estabilidad (lineal):

Carga vertical total:	q_v	84,43	kN/m ²
Factor de reducción de carga de colapso por cargas de suelo/tráfico:	κ_{v2}	0,87	[-]
Carga vertical total crítica:	krit q_v	1.477,0	kN/m ²

$$k_{rit} q_v = 2 \cdot \kappa_{v2} \cdot (8S_0 \cdot S_{Bh})^{0,5} \quad (9.06a)$$

La prueba de colapso por presión de agua no aplica, dado que no hay presencia de nivel freático ni vacío.

Coefficiente de seguridad de estabilidad:	γ	17,49	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad:	erf γ_{stab}	2,00	[-]

Los coeficientes de seguridad al pandeo determinados son suficientes.

1.2.7. Caso de carga a largo plazo

1.2.7.1. prueba de tensión

$$\sigma_{R,res} = \frac{\sigma_{qv,qh,qh^*} \cdot \bar{\sigma}_R + \sigma_{sonst} \cdot \sigma_{R,L}}{\sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst}} \quad (9.01c)$$

Interior:		clave	generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	base	
Tensiones debidas a las cargas del suelo y del tráfico	σ_{qv,qh,qh^*}	2,147	-2,255	2,822	N/mm ²
Tensiones debidas a otras cargas	σ_{sonst}	0,018	-0,020	0,052	N/mm ²
Tensión total	σ	2,165	-2,275	2,874	N/mm ²
Tensión de tracción por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBZ,res}$	22,19	22,18	22,14	N/mm ²
Tensión de compresión por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBD,res}$	22,19	22,18	22,14	N/mm ²
Coefficiente de seguridad para tensión por flexión:	γ_{BZ}	10,249	---	7,702	[-]
Coefficiente de seguridad para compresión por flexión:	γ_{BD}	---	9,751	---	[-]
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	[-]
Exterior:		clave	generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	base	
Tensiones debidas a las cargas del suelo y del tráfico	σ_{qv,qh,qh^*}	-3,062	0,489	-3,781	N/mm ²
Tensiones debidas a otras cargas	σ_{sonst}	-0,016	0,019	-0,040	N/mm ²
Tensión total	σ	-3,078	0,508	-3,821	N/mm ²
Tensión de tracción por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBZ,res}$	22,20	22,04	22,17	N/mm ²
Tensión de compresión por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBD,res}$	22,20	22,04	22,17	N/mm ²
Coefficiente de seguridad para tensión por flexión:	γ_{BZ}	---	43,389	---	[-]
Coefficiente de seguridad para compresión por flexión:	γ_{BD}	7,213	---	5,804	[-]
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.

1.2.7.2. Prueba de deformación

Modo de cálculo:	lineal	
Relación:	$I/(A \cdot m^2)$	0,00085 [-]
Relación ' $I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa_q$ ':	$I/(A \cdot m^2) \cdot \kappa_q$	0,00085 [-]

Coefficiente resultante de deformación	c'_v	q_v	-0,0893	q_h	0,0833	q_h^*	0,0640	[-]
Cambio del diámetro vertical:				Δd_v			1,76	mm
Cambio del diámetro horizontal:				Δd_h			1,52	mm
Deformación vertical relativa:				δ_v			1,48	%
Deflexión admisible:				zul δ_v			6,00	%

La deflexión determinada es menor que la deflexión permitida.

1.2.7.3. Prueba de estabilidad (lineal):

Carga vertical total:	q_v	84,40	kN/m ²
Factor de reducción de carga de colapso por cargas de suelo/tráfico:	κ_{v2}	0,87	[-]
Carga vertical total crítica:	krit q_v	1.387,5	kN/m ²
$krit\ q_v = 2 \cdot \kappa_{v2} \cdot (8S_0 \cdot S_{Bh})^{0,5}$			
			(9.06a)

La prueba de colapso por presión de agua no aplica, dado que no hay presencia de nivel freático ni vacío.

Coefficiente de seguridad de estabilidad:	γ	16,44	[-]
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 COMPLETO

Estudio estático para Tuberías A 127

Proyecto:	Proyecto básico de infraestructuras hidráulicas urbanas en el Sector Horta Baixa de Turís (Valencia): Red de abastecimiento.
Empresa / Entidad:	Universidad Politécnica de Valencia (ETSICCP).
Autor:	Carlos Mateu Roldán
Informe n°:	002
Fecha:	03/06/2016

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. : DN 140	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	4
1.2. Resultados:	4
1.2.1. resultados intermedios del tubo	4
1.2.1.1. propiedades del material	4
1.2.1.2. Factores de seguridad	5
1.2.2. Resultados intermedios para caso de carga	5
1.2.2.1. geometría del tubo	5
1.2.2.2. Teoría del silo	5
1.2.2.3. Carga	5
1.2.2.4. Módulo de deformación del suelo EB	5
1.2.2.5. Valores de rigidez del suelo	6
1.2.2.6. Ángulo de apoyo, proyección relativa efectiva y ángulo de fricción	6
1.2.2.7. Valores característicos del material del tubo y rigidez anular	6
1.2.2.8. relación de rigidez	6
1.2.2.9. Coeficientes	7
1.2.2.10. Factores de concentracion λ_R y λ_B	7
1.2.2.11. Distribución de presiones en la circunferencia del tubo	8
1.2.3. Sección fuerzas clave	8
1.2.4. Sección fuerzas generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	9
1.2.5. Sección fuerzas base	9
1.2.6. Caso de carga a corto plazo	10
1.2.6.1. prueba de tensión	10
1.2.6.2. Prueba de deformación	11
1.2.6.3. Prueba de estabilidad (lineal):	11
1.2.7. Caso de carga a largo plazo	12
1.2.7.1. prueba de tensión	12
1.2.7.2. Prueba de deformación	13
1.2.7.3. Prueba de estabilidad (lineal):	13

1. : DN 140

Descripción del tramo:
Tipo de cálculo:
Añadir dibujo para imprimir:

DN 140
Según tabla
Si

1.1. Entrada de datos:

1.1.1. Opciones de seguridad

Clase de seguridad:
Deflexión admisible:
Tratamiento de la presión interna:
Menores factores de seguridad para compresión por flexión:
La aplicación de la ATV A 127 no ha sido verificada para ver si la rigidez circunferencial mínima ha sido alcanzada:

A (caso normal)
6% (habitual)
De acuerdo con la nota 39 de la ATV 127 no (ATV A 127)
No

1.1.2. Suelo

Tipo de relleno:
Cálculo E1:
Módulo de elasticidad E1:
Tipo de relleno en la zona del tubo:
Cálculo E20:
Módulo de elasticidad E20:
Tipo de suelo natural:
Cálculo E3:
Módulo de elasticidad E3:
 $E4 = 10 \cdot E1$:
Suelo bajo la zanja:
Cálculo E4:
Módulo de elasticidad E4:

G1
Módulo de elasticidad E
E1 8,0 N/mm²
G1
Módulo de elasticidad E
E20 16,0 N/mm²
G1
Módulo de elasticidad E
E3 1,5 N/mm²
No
G1
Módulo de elasticidad E
E4 1,5 N/mm²

1.1.3. Carga

Altura de recubrimiento:
Densidad del suelo:
Carga superficial adicional:
Nivel freático máximo sobre el lecho del tubo:
Nivel freático mínimo sobre el lecho del tubo:
Presión interna, corto plazo:
Presión interna, largo plazo:
Sección llena:
Densidad del fluido:
Carga de tráfico:

h 0,60 m
γ 20,0 kN/m³
p₀ 0,0 kN/m²
h_{W,max} 0,00 m
h_{W,min} 0,00 m
P_{I,K} 0,0 bar
P_{I,L} 0,0 bar
Si
γ_F 10,0 kN/m³
SLW 30

1.1.4. Instalación

Instalación:
Ancho de zanja:
Ángulo del talud:
Condiciones de relleno:
Condiciones de la instalación:
Tipo de apoyo:
Ángulo de apoyo:
Proyección relativa:

Zanja
b 0,55 m
β 70 °
A4
B4
suelto
120°
a 1,00 [-]

1.1.5. Tubo de la base de datos

Material:

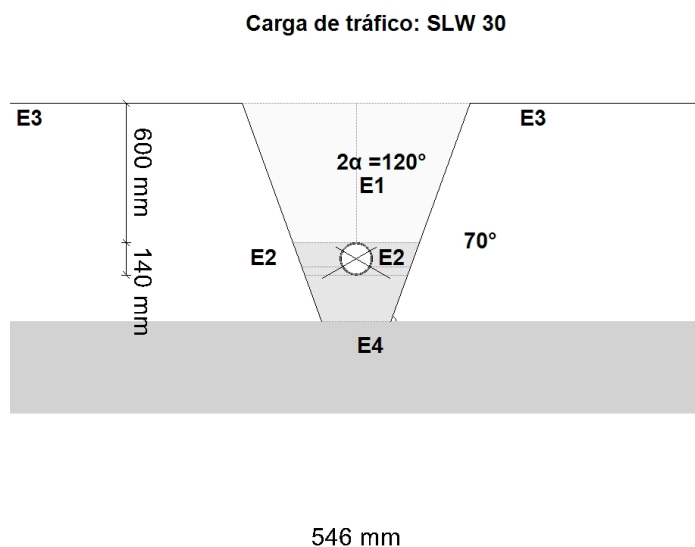
Presión nominal:

Diámetro nominal:

PE 100

PN = 8,0 bar (SDR = 21,0)

DN 140 (6,7 mm)



1.2. Resultados:

1.2.1. resultados intermedios del tubo

Diámetro interior:

Diámetro exterior:

Radio del eje centroide de la pared del tubo:

Espesor:

Proporción:

Factor de corrección de la curvatura interior:

Factor de corrección de la curvatura exterior:

d_i	126,6	mm
d_a	140,0	mm
r_m	66,7	mm
s	6,7	mm
r_m/s	9,948	[-]
α_{ki}	1,034	[-]
α_{ka}	0,966	[-]

Predeformación local:

Predeformación (ovalización antes de aplicación de la carga):

δ_{vl}	0,00	%
δ_{vg}	1,00	%

Superficie del perfil radial:

Distancia de inercia:

Momento de inercia:

Momento resistente exterior:

Momento resistente interior:

A_{rad}	6,7	mm ² /mm
e	3,4	mm
I	25,1	mm ⁴ /mm
W_a	7,5	mm ³ /mm
W_i	7,5	mm ³ /mm

1.2.1.1. propiedades del material

Gravedad específica

Coefficiente de poisson

γ_R

ν

corto plazo

largo plazo

9,4	9,4	kN/m ³
0,38	0,38	[-]

Valor característico del módulo de elasticidad en sentido circunferencial	E_R	1.200,0	200,0	N/mm ²
Valor característico de tracción por deflexión	σ_{RBZ}	23,0	17,5	N/mm ²
Valor característico de la deflexión radial por esfuerzo de compresión	σ_{RBD}	23,0	17,5	N/mm ²
Valor característico de la tensión en sentido circunferencial	σ_{RZ}	23,0	17,5	N/mm ²

1.2.1.2. Factores de seguridad

Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad, tensión a tracción	erf γ_{RBZ}	2,50	2,50	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad, tensión a compresión	erf γ_{RBD}	2,50	2,50	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad	erf γ_{stab}	2,00	2,00	[-]

1.2.2. Resultados intermedios para caso de carga

1.2.2.1. geometría del tubo

Radio del eje centroide de la pared del tubo:	r_m	66,7	mm
Factor de corrección de la curvatura interior:	α_{ki}	1,034	[-]
Factor de corrección de la curvatura exterior:	α_{ka}	0,966	[-]

1.2.2.2. Teoría del silo

Coefficiente de carga del suelo κ para carga en zanja (Teoría del Silo):	κ	1,000	[-]
---	----------	-------	-----

$$\kappa = \frac{1 - e^{-2 \cdot K_1 \cdot \tan \delta \cdot \frac{h}{b}}}{2 \cdot K_1 \cdot \tan \delta \cdot \frac{h}{b}} \quad (5.04)$$

Coefficiente de carga del suelo κ_0 para cargas superficiales (Teoría del Silo):	κ_0	1,000	[-]
---	------------	-------	-----

$$\kappa_0 = e^{-2 \cdot K_1 \cdot \tan \delta \cdot \frac{h}{b}} \quad (5.05)$$

κ_0 y κ están indicadas como 1, porque E_1 es mayor que E_3 .

1.2.2.3. Carga

Nivel freático máximo sobre la cama del tubo:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
Carga vertical debida al peso del relleno:	P_{Erd}	12,00	kN/m ²
Carga vertical debida al peso del relleno y a la carga superficial:	P_E	12,00	kN/m ²
Tensión debida a carga de tráfico:	P_V	72,24	kN/m ²
Coefficiente de impacto (incl.):	ϕ	1,40	[-]

1.2.2.4. Módulo de deformación del suelo EB

Módulo elástico del relleno bajo carga:	$E_{1,\sigma}$	8,00	N/mm ²
Módulo elástico de los riñones bajo carga:	$E_{20,\sigma}$	16,00	N/mm ²
Factor de reducción por fluencia:	f_1	1,000	[-]
Factor de reducción E_{20} (nivel freático):	f_2	1,000	[-]
Factor de reducción E_{20} (zanja estrecha):	α_B	1,000	[-]
Módulo elástico del apoyo (reducido):	$E_{2,\sigma}$	16,00	N/mm ²
Módulo elástico del suelo natural:	$E_{3,\sigma}$	1,50	N/mm ²
Módulo elástico del suelo bajo el tubo:	$E_{4,\sigma}$	1,50	N/mm ²

1.2.2.5. Valores de rigidez del suelo

Factor de corrección por rigidez del apoyo horizontal: ζ 0,496 [-]

$$\zeta = \frac{1,667}{\Delta f + (1,667 - \Delta f) \cdot \frac{E_2}{E_3}} \quad (6.17)$$

$$\Delta f = \frac{\frac{b}{d_a} - 1}{0,982 + 0,283 \cdot \left(\frac{b}{d_a} - 1 \right)} \leq 1,667 \quad \text{Corrección (6.18)}$$

Si el ángulo de talud de la zanja es $< 90^\circ$ se debe considerar la anchura de la zanja a la altura del centro de la tubería en lugar de la anchura de la zanja a la altura de la corona

Rigidez del apoyo horizontal: S_{Bh} 4,765 N/mm²

$$S_{Bh} = 0,6 \cdot \zeta \cdot E_2 \quad (6.16)$$

Rigidez de apoyo vertical: S_{Bv} 16,000 N/mm²

$$S_{Bv} = \frac{E_2}{a} \quad (6.12)$$

1.2.2.6. Ángulo de apoyo, proyección relativa efectiva y ángulo de fricción

Ángulo de apoyo, proyección relativa efectiva y ángulo de fricción: 2α 120 °

Proyección incrementada debido a la pérdida de soporte del suelo: a_S 1,00 [-]

Proyección relativa efectiva: a' 0,500 [-]

$$a' = a_S - \frac{E_1}{E_2} \geq 0,26 \quad (6.05)$$

Ángulo de fricción interna: φ' 35,000 °

Ángulo de fricción de la pared: δ 35,000 °

corto plazo Todas las cargas	largo plazo Cargas del suelo cargas de tráfico	largo plazo otro Cargas
------------------------------------	--	-------------------------------

1.2.2.7. Valores característicos del material del tubo y rigidez anular

	E_R	1.200,0	1.057,5	200,0	N/mm ²
Valor característico del módulo de elasticidad en sentido circunferencial	σ_{RBZ}	23,0	22,2	17,5	N/mm ²
Valor característico de tracción por deflexión	σ_{RBD}	23,0	22,2	17,5	N/mm ²
Valor característico de la deflexión radial por esfuerzo de compresión	σ_{RZ}	23,0	22,2	17,5	N/mm ²
Valor característico de la tensión en sentido circunferencial	S_R	101,584	89,524	16,931	kN/m ²
Rigidez del tubo					

$$S_R = \frac{E_R \cdot I}{r_m^3} \quad (6.10a)$$

1.2.2.8. relación de rigidez

Rigidez del sistema V_{RB} 0,0213 0,0188 0,0036 [-]

$$V_{RB} = \frac{S_R}{S_{Bh}} = \frac{8 \cdot S_0}{S_{Bh}} \quad (6.15)$$

Relación de rigidez	V_S	0,2663	0,2557	---	[-]
---------------------	-------	--------	--------	-----	-----

$$V_S = \frac{S_R}{|c_v^*| \cdot S_{Bv}} \quad (6.08a)$$

1.2.2.9. Coeficientes

Relación por presión de enterramiento (apoyo) K_2	0,400	0,400	---	[-]
Coeficiente por presión de reacción del apoyo K^*	1,023	1,053	---	[-]

$$K^* = \frac{C_{h,qv}}{V_{RB} - C_{h,qh^*}} \quad (6.14)$$

Coeficiente por presión de reacción del apoyo c_v^*	-0,024	-0,022	---	[-]
---	--------	--------	-----	-----

$$c_v^* = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^* \quad (6.13)$$

1.2.2.10. Factores de concentración λ_R y λ_B

Factor de concentración máximo	$\max \lambda$	1,021	1,021	---	[-]
--------------------------------	----------------	-------	-------	-----	-----

$$\max \lambda = 1 + \frac{\frac{h}{d_a}}{\frac{3,5}{a'} + \frac{2,2}{\frac{E_4}{E_1} (a' - 0,25)} + \left[\frac{0,62}{a'} + \frac{1,6}{\frac{E_4}{E_1} (a' - 0,25)} \right] \cdot \frac{h}{d_a}} \quad (6.04)$$

Coeficiente por factor de concentración máximo	K'	0,927	0,926	---	[-]
--	------	-------	-------	-----	-----

$$K' = - \frac{c_{v,qh} + \frac{C_{h,qh}}{C_{h,qv}} c_{v,qh^*} \cdot K^*}{c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*} \quad (6.06b)$$

Factor de concentración sobre el tubo, valor inicial	λ_R	0,934	0,931	---	[-]
--	-------------	-------	-------	-----	-----

$$\lambda_R = \frac{\max \lambda \cdot V_s + a' \cdot \frac{4 \cdot K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max \lambda - 1}{a' - 0,25}}{V_s + a' \cdot \frac{3 + K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max \lambda - 1}{a' - 0,25}} \quad (6.06a)$$

Factor de concentración sobre el tubo, bajo el efecto de la zanja	λ_{RG}	0,936	0,933	---	[-]
---	----------------	-------	-------	-----	-----

$$\lambda_{RG} = \frac{\lambda_R - 1}{3} \cdot \frac{b}{d_a} + \frac{4 - \lambda_R}{3} \quad (6.21a)$$

Factor de concentración sobre el tubo, límite superior	λ_{fo}	3,910	3,910	---	[-]
--	----------------	-------	-------	-----	-----

Factor de concentración sobre el tubo, límite inferior	λ_{fu}	0,317	0,317	---	[-]
--	----------------	-------	-------	-----	-----

Factor de concentración sobre el tubo, valor final	λ_{RG}	0,936	0,933	---	[-]
--	----------------	-------	-------	-----	-----

Factor de concentración del suelo	λ_B	1,022	1,023	---	[-]
-----------------------------------	-------------	-------	-------	-----	-----

$$\lambda_B = \frac{4 - \lambda_R}{3} \quad (6.07)$$

1.2.2.11. Distribución de presiones en la circunferencia del tubo

Carga vertical total	q_v	83,47	83,43	---	kN/m ²
$q_v = \lambda_{RG} \cdot p_E + p_v$ (6.24)					

Presión lateral	q_h	5,47	5,47	---	kN/m ²
$q_h = K_2 \cdot \left(\lambda_B \cdot p_E + \gamma_B \cdot \frac{d_a}{2} \right)$ (7.01)					

Presión de reacción del apoyo (carga del suelo)	q_h^*	80,14	82,50	---	kN/m ²
$q_h^* = \frac{C_{h,qv} \cdot q_v + C_{h,qh} \cdot q_h}{V_{RB} - C_{h,qh}^*}$ (7.02a)					

Presión de reacción del apoyo (sección llena)	q_{hw}^*	0,52	0,65	---	kN/m ²
$q_{hw}^* = \frac{C_{hw} \cdot q_w}{V_{RB} - C_{h,qh}^*}$ (7.02b)					

1.2.3. Sección fuerzas clave

		corto plazo	largo plazo	
Momento debido a cargas verticales totales	M_{qv}	0,097	0,097	kNm/m
Momento debido a la presión lateral	M_{qh}	-0,006	-0,006	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo horizontal	M_{qh}^*	-0,064	-0,066	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo (sección llena)	M_{qw}^*	0,000	-0,001	kNm/m
Momento debido a las cargas muertas	M_g	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a la sección llena	M_w	0,001	0,001	kNm/m
Momento debido a la presión del agua	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales	ΣM	0,027	0,024	kNm/m
$\Sigma M_{qv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^*$				
Momentos totales debidos a las cargas del suelo y tráfico	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*}$	0,026	0,024	kNm/m
$\Sigma M_{sonst} = M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales debidos a otras cargas	ΣM_{sonst}	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_g$				
Momentos totales debidos a la sección llena y a la presión	$\Sigma M'$	0,026	0,024	kNm/m
Fuerza normal debida a las cargas verticales totales	N_{qv}	0,150	0,150	kN/m
Fuerza normal debida a la presión lateral	N_{qh}	-0,364	-0,365	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho	N_{qh}^*	-3,082	-3,173	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho (relleno del agua)	N_{qw}^*	-0,020	-0,025	kN/m
Fuerza normal debida al peso muerto	N_g	0,001	0,001	kN/m
Fuerza normal debida al relleno de agua	N_w	0,028	0,028	kN/m
Fuerza normal debida a la presión del agua	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Fuerzas totales normales	ΣN	-3,287	-3,383	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a las cargas del suelo y del tráfico	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*}$	-3,296	-3,387	kN/m

Fuerzas normales totales debidas a otras cargas	ΣN_{sonst}	0,009	0,004	kN/m
Total sin sección llena y sin presión	$\Sigma N'$	-3,295	-3,386	kN/m

1.2.4. Sección fuerzas generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo

		corto plazo	largo plazo	
Momento debido a cargas verticales totales	M_{qv}	-0,098	-0,098	kNm/m
Momento debido a la presión lateral	M_{qh}	0,006	0,006	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo horizontal	M_{qh}^*	0,074	0,076	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo (sección llena)	M_{qw}^*	0,000	0,001	kNm/m
Momento debido a las cargas muertas	M_g	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a la sección llena	M_w	-0,001	-0,001	kNm/m
Momento debido a la presión del agua	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales	ΣM	-0,018	-0,016	kNm/m
$\Sigma M_{qv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^*$				
Momentos totales debidos a las cargas del suelo y tráfico	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*}$	-0,018	-0,016	kNm/m
$\Sigma M_{sonst} = M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales debidos a otras cargas	ΣM_{sonst}	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_g$				
Momentos totales debidos a la sección llena y a la presión	$\Sigma M'$	-0,018	-0,016	kNm/m
Fuerza normal debida a las cargas verticales totales	N_{qv}	-5,563	-5,561	kN/m
Fuerza normal debida a la presión lateral	N_{qh}	0,000	0,000	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho	N_{qh}^*	0,000	0,000	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho (relleno del agua)	N_{qw}^*	0,000	0,000	kN/m
Fuerza normal debida al peso muerto	N_g	-0,007	-0,007	kN/m
Fuerza normal debida al relleno de agua	N_w	0,010	0,010	kN/m
Fuerza normal debida a la presión del agua	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Fuerzas totales normales	ΣN	-5,560	-5,558	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a las cargas del suelo y del tráfico	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*}$	-5,563	-5,561	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a otras cargas	ΣN_{sonst}	0,003	0,003	kN/m
Total sin sección llena y sin presión	$\Sigma N'$	-5,570	-5,567	kN/m

1.2.5. Sección fuerzas base

		corto plazo	largo plazo	
Momento debido a cargas verticales totales	M_{qv}	0,102	0,102	kNm/m
Momento debido a la presión lateral	M_{qh}	-0,006	-0,006	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo horizontal	M_{qh}^*	-0,064	-0,066	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo (sección llena)	M_{qw}^*	0,000	-0,001	kNm/m
Momento debido a las cargas muertas	M_g	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a la sección llena	M_w	0,001	0,001	kNm/m
Momento debido a la presión del agua	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales	ΣM	0,032	0,030	kNm/m
$\Sigma M_{qv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^*$				
Momentos totales debidos a las cargas del suelo y tráfico	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*}$	0,031	0,030	kNm/m

$\Sigma M_{sonst} = M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales debidos a otras cargas	ΣM_{sonst}	0,001	0,000	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_g$				
Momentos totales debidos a la sección llena y a la presión	$\Sigma M'$	0,032	0,030	kNm/m
Fuerza normal debida a las cargas verticales totales	N_{qv}	-0,150	-0,150	kN/m
Fuerza normal debida a la presión lateral	N_{qh}	-0,364	-0,365	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho	N_{qh}^*	-3,082	-3,173	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho (relleno del agua)	N_{qw}^*	-0,020	-0,025	kN/m
Fuerza normal debida al peso muerto	N_g	-0,001	-0,001	kN/m
Fuerza normal debida al relleno de agua	N_w	0,061	0,061	kN/m
Fuerza normal debida a la presión del agua	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Fuerzas totales normales	ΣN	-3,556	-3,652	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a las cargas del suelo y del tráfico	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*}$	-3,597	-3,687	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a otras cargas	ΣN_{sonst}	0,040	0,035	kN/m
Total sin sección llena y sin presión	$\Sigma N'$	-3,598	-3,688	kN/m

1.2.6. Caso de carga a corto plazo

1.2.6.1. prueba de tensión

$$\sigma_{R,res} = \frac{\sigma_{qv,qh,qh^*} \cdot \bar{\sigma}_R + \sigma_{sonst} \cdot \sigma_{R,L}}{\sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst}} \quad (9.01c)$$

Interior:		clave	generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	base	
Tensiones debidas a las cargas del suelo y del tráfico	σ_{qv,qh,qh^*}	3,137	-3,336	3,809	N/mm ²
Tensiones debidas a otras cargas	σ_{sonst}	0,036	-0,041	0,075	N/mm ²
Tensión total	σ	3,173	-3,377	3,884	N/mm ²
Tensión de tracción por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBZ,res}$	23,00	23,00	23,00	N/mm ²
Tensión de compresión por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBD,res}$	23,00	23,00	23,00	N/mm ²
Coefficiente de seguridad para tensión por flexión:	γ_{BZ}	7,249	---	5,922	[-]
Coefficiente de seguridad para compresión por flexión:	γ_{BD}	---	6,812	---	[-]
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	[-]
Exterior:		clave	generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	base	

Tensiones debidas a las cargas del suelo y del tráfico	σ_{qv,qh,qh^*}	-3,885	1,513	-4,601	N/mm ²
Tensiones debidas a otras cargas	σ_{sonst}	-0,032	0,039	-0,059	N/mm ²
Tensión total	σ	-3,917	1,552	-4,659	N/mm ²
Tensión de tracción por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBZ,res}$	23,00	23,00	23,00	N/mm ²
Tensión de compresión por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBD,res}$	23,00	23,00	23,00	N/mm ²
Coefficiente de seguridad para tensión por flexión:	γ_{BZ}	---	14,822	---	[-]
Coefficiente de seguridad para compresión por flexión:	γ_{BD}	5,872	---	4,936	[-]
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.

1.2.6.2. Prueba de deformación

Modo de cálculo:	lineal				
Relación:	$I/(A \cdot \text{rm}^2)$			0,00084	[-]
Relación ' $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_q$ ':	$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_q$			0,00084	[-]
Coefficiente resultante de deformación	c'_v	q_v	-0,0893	q_h	0,0833
				q_{h^*}	0,0640
					[-]
Cambio del diámetro vertical:		Δd_v		2,45	mm
Cambio del diámetro horizontal:		Δd_h		2,24	mm
Deformación vertical relativa:		δ_v		1,84	%
Deflexión admisible:		zul δ_v		6,00	%

La deflexión determinada es menor que la deflexión permitida.

1.2.6.3. Prueba de estabilidad (lineal):

Carga vertical total:	q_v	83,47	kN/m ²
Factor de reducción de carga de colapso por cargas de suelo/tráfico:	κ_{v2}	0,86	[-]
Carga vertical total crítica:	krit q_v	1.201,0	kN/m ²

$$\text{krit } q_v = 2 \cdot \kappa_{v2} \cdot (8S_0 \cdot S_{Bh})^{0,5} \quad (9.06a)$$

La prueba de colapso por presión de agua no aplica, dado que no hay presencia de nivel freático ni vacío.

Coefficiente de seguridad de estabilidad:	γ	14,39	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad:	erf γ_{stab}	2,00	[-]

Los coeficientes de seguridad al pandeo determinados son suficientes.

1.2.7. Caso de carga a largo plazo

1.2.7.1. prueba de tensión

$$\sigma_{R,res} = \frac{\sigma_{qv,qh,qh^*} \cdot \bar{\sigma}_R + \sigma_{sonst} \cdot \sigma_{R,L}}{\sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst}} \quad (9.01c)$$

Interior:		clave	generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	base	
Tensiones debidas a las cargas del suelo y del tráfico	σ_{qv,qh,qh^*}	2,855	-3,028	3,527	N/mm ²
Tensiones debidas a otras cargas	σ_{sonst}	0,021	-0,024	0,060	N/mm ²
Tensión total	σ	2,876	-3,052	3,587	N/mm ²
Tensión de tracción por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBZ,res}$	22,18	22,18	22,14	N/mm ²
Tensión de compresión por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBD,res}$	22,18	22,18	22,14	N/mm ²
Coefficiente de seguridad para tensión por flexión:	γ_{BZ}	7,713	---	6,172	[-]
Coefficiente de seguridad para compresión por flexión:	γ_{BD}	---	7,267	---	[-]
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	[-]
Exterior:		clave	generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	base	
Tensiones debidas a las cargas del suelo y del tráfico	σ_{qv,qh,qh^*}	-3,648	1,226	-4,363	N/mm ²
Tensiones debidas a otras cargas	σ_{sonst}	-0,019	0,023	-0,046	N/mm ²
Tensión total	σ	-3,667	1,249	-4,409	N/mm ²
Tensión de tracción por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBZ,res}$	22,19	22,13	22,17	N/mm ²
Tensión de compresión por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBD,res}$	22,19	22,13	22,17	N/mm ²
Coefficiente de seguridad para tensión por flexión:	γ_{BZ}	---	17,717	---	[-]
Coefficiente de seguridad para compresión por flexión:	γ_{BD}	6,053	---	5,028	[-]
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.

1.2.7.2. Prueba de deformación

Modo de cálculo:

Relación:

Relación $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_q$:

lineal

$I/(A \cdot \text{rm}^2)$

0,00084 [-]

$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_q$

0,00084 [-]

Coeficiente resultante de deformación	c'_v	q_v	-0,0893	q_h	0,0833	q_h^*	0,0640	[-]
Cambio del diámetro vertical:		Δd_v					2,55	mm
Cambio del diámetro horizontal:		Δd_h					2,31	mm
Deformación vertical relativa:		$\bar{\delta}_v$					1,92	%
Deflexión admisible:		zul $\bar{\delta}_v$					6,00	%

La deflexión determinada es menor que la deflexión permitida.

1.2.7.3. Prueba de estabilidad (lineal):

Carga vertical total:

Factor de reducción de carga de colapso por cargas de suelo/tráfico:

Carga vertical total crítica:

q_v

83,43

kN/m²

κ_{v2}

0,86

[-]

krit q_v

1.129,0

kN/m²

$$\text{krit } q_v = 2 \cdot \kappa_{v2} \cdot (8S_0 \cdot S_{Bh})^{0,5} \quad (9.06a)$$

La prueba de colapso por presión de agua no aplica, dado que no hay presencia de nivel freático ni vacío.

Coeficiente de seguridad de estabilidad:

Coeficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad:

γ

13,53

[-]

erf γ_{stab}

2,00

[-]

Los coeficientes de seguridad al pandeo determinados son suficientes.

Todas las pruebas necesarias son correctas.

INFORME COMPLETO

Estudio estático para Tuberías A 127

Proyecto:	Proyecto básico de infraestructuras hidráulicas urbanas en el Sector Horta Baixa de Turís (Valencia): Red de abastecimiento.
Empresa / Entidad:	Universidad Politécnica de Valencia (ETSICCP).
Autor:	Carlos Mateu Roldán
Informe n°:	003
Fecha:	04/06/2016

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. : DN 180	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	4
1.2. Resultados:	4
1.2.1. resultados intermedios del tubo	4
1.2.1.1. propiedades del material	4
1.2.1.2. Factores de seguridad	5
1.2.2. Resultados intermedios para caso de carga	5
1.2.2.1. geometría del tubo	5
1.2.2.2. Teoría del silo	5
1.2.2.3. Carga	5
1.2.2.4. Módulo de deformación del suelo EB	5
1.2.2.5. Valores de rigidez del suelo	6
1.2.2.6. Ángulo de apoyo, proyección relativa efectiva y ángulo de fricción	6
1.2.2.7. Valores característicos del material del tubo y rigidez anular	6
1.2.2.8. relación de rigidez	6
1.2.2.9. Coeficientes	7
1.2.2.10. Factores de concentracion λ_R y λ_B	7
1.2.2.11. Distribución de presiones en la circunferencia del tubo	8
1.2.3. Sección fuerzas clave	8
1.2.4. Sección fuerzas generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	9
1.2.5. Sección fuerzas base	9
1.2.6. Caso de carga a corto plazo	10
1.2.6.1. prueba de tensión	10
1.2.6.2. Prueba de deformación	11
1.2.6.3. Prueba de estabilidad (lineal):	11
1.2.7. Caso de carga a largo plazo	12
1.2.7.1. prueba de tensión	12
1.2.7.2. Prueba de deformación	13
1.2.7.3. Prueba de estabilidad (lineal):	13

1. : DN 180

Descripción del tramo:
Tipo de cálculo:
Añadir dibujo para imprimir:

DN 180
Según tabla
Si

1.1. Entrada de datos:

1.1.1. Opciones de seguridad

Clase de seguridad:
Deflexión admisible:
Tratamiento de la presión interna:
Menores factores de seguridad para compresión por flexión:
La aplicación de la ATV A 127 no ha sido verificada para ver si la rigidez circunferencial mínima ha sido alcanzada:

A (caso normal)
6% (habitual)
De acuerdo con la nota 39 de la ATV 127
no (ATV A 127)
No

1.1.2. Suelo

Tipo de relleno:
Cálculo E1:
Módulo de elasticidad E1:
Tipo de relleno en la zona del tubo:
Cálculo E20:
Módulo de elasticidad E20:
Tipo de suelo natural:
Cálculo E3:
Módulo de elasticidad E3:
E4 = 10 · E1:
Suelo bajo la zanja:
Cálculo E4:
Módulo de elasticidad E4:

G1
Módulo de elasticidad E
E1 8,0 N/mm²
G1
Módulo de elasticidad E
E20 16,0 N/mm²
G4
Módulo de elasticidad E
E3 1,5 N/mm²
No
G1
Módulo de elasticidad E
E4 1,5 N/mm²

1.1.3. Carga

Altura de recubrimiento:
Densidad del suelo:
Carga superficial adicional:
Nivel freático máximo sobre el lecho del tubo:
Nivel freático mínimo sobre el lecho del tubo:
Presión interna, corto plazo:
Presión interna, largo plazo:
Sección llena:
Densidad del fluido:
Carga de tráfico:

h 0,60 m
γ 20,0 kN/m³
p₀ 0,0 kN/m²
h_{W,max} 0,00 m
h_{W,min} 0,00 m
P_{I,K} 0,0 bar
P_{I,L} 0,0 bar
Si
γ_F 10,0 kN/m³
SLW 30

1.1.4. Instalación

Instalación:
Ancho de zanja:
Ángulo del talud:
Condiciones de relleno:
Condiciones de la instalación:
Tipo de apoyo:
Ángulo de apoyo:
Proyección relativa:

Zanja
b 0,59 m
β 70 °
A4
B4
suelto
120°
a 1,00 [-]

1.1.5. Tubo de la base de datos

Material:

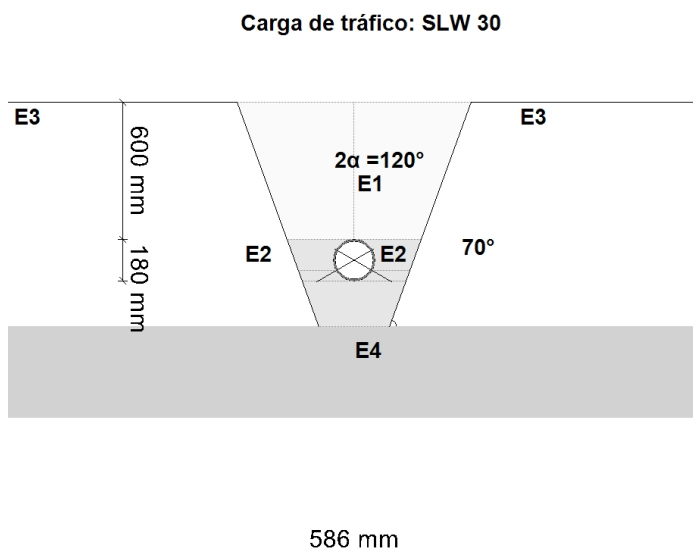
PE 100

Presión nominal:

PN = 8,0 bar (SDR = 21,0)

Diámetro nominal:

DN 180 (8,6 mm)



1.2. Resultados:

1.2.1. resultados intermedios del tubo

Diámetro interior:

d_i 162,8 mm

Diámetro exterior:

d_a 180,0 mm

Radio del eje centroide de la pared del tubo:

r_m 85,7 mm

Espesor:

s 8,6 mm

Proporción:

r_m/s 9,965 [-]

Factor de corrección de la curvatura interior:

α_{ki} 1,033 [-]

Factor de corrección de la curvatura exterior:

α_{ka} 0,967 [-]

Predeformación local:

δ_{vl} 0,00 %

Predeformación (ovalización antes de aplicación de la carga):

δ_{vg} 1,00 %

Superficie del perfil radial:

A_{rad} 8,6 mm²/mm

Distancia de inercia:

e 4,3 mm

Momento de inercia:

I 53,0 mm⁴/mm

Momento resistente exterior:

W_a 12,3 mm³/mm

Momento resistente interior:

W_i 12,3 mm³/mm

1.2.1.1. propiedades del material

Gravedad específica

γ_R

corto plazo

9,4

largo plazo

9,4

kN/m³

Coefficiente de poisson

ν

0,38

0,38

[-]

Valor característico del módulo de elasticidad en sentido circunferencial	E_R	1.200,0	200,0	N/mm ²
Valor característico de tracción por deflexión	σ_{RBZ}	23,0	17,5	N/mm ²
Valor característico de la deflexión radial por esfuerzo de compresión	σ_{RBD}	23,0	17,5	N/mm ²
Valor característico de la tensión en sentido circunferencial	σ_{RZ}	23,0	17,5	N/mm ²

1.2.1.2. Factores de seguridad

Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad, tensión a tracción	erf γ_{RBZ}	2,50	2,50	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad, tensión a compresión	erf γ_{RBD}	2,50	2,50	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad	erf γ_{stab}	2,00	2,00	[-]

1.2.2. Resultados intermedios para caso de carga

1.2.2.1. geometría del tubo

Radio del eje centroide de la pared del tubo:	r_m	85,7	mm
Factor de corrección de la curvatura interior:	α_{ki}	1,033	[-]
Factor de corrección de la curvatura exterior:	α_{ka}	0,967	[-]

1.2.2.2. Teoría del silo

Coefficiente de carga del suelo κ para carga en zanja (Teoría del Silo):	κ	1,000	[-]
---	----------	-------	-----

$$\kappa = \frac{1 - e^{-2 \cdot K_1 \cdot \tan \delta \cdot \frac{h}{b}}}{2 \cdot K_1 \cdot \tan \delta \cdot \frac{h}{b}} \quad (5.04)$$

Coefficiente de carga del suelo κ_0 para cargas superficiales (Teoría del Silo):	κ_0	1,000	[-]
---	------------	-------	-----

$$\kappa_0 = e^{-2 \cdot K_1 \cdot \tan \delta \cdot \frac{h}{b}} \quad (5.05)$$

κ_0 y κ están indicadas como 1, porque E_1 es mayor que E_3 .

1.2.2.3. Carga

Nivel freático máximo sobre la cama del tubo:	$h_{W,Scheitel}$	0,00	m
Carga vertical debida al peso del relleno:	P_{Erd}	12,00	kN/m ²
Carga vertical debida al peso del relleno y a la carga superficial:	P_E	12,00	kN/m ²
Tensión debida a carga de tráfico:	P_V	70,34	kN/m ²
Coefficiente de impacto (incl.):	ϕ	1,40	[-]

1.2.2.4. Módulo de deformación del suelo EB

Módulo elástico del relleno bajo carga:	$E_{1,\sigma}$	8,00	N/mm ²
Módulo elástico de los riñones bajo carga:	$E_{20,\sigma}$	16,00	N/mm ²
Factor de reducción por fluencia:	f_1	1,000	[-]
Factor de reducción E_{20} (nivel freático):	f_2	1,000	[-]
Factor de reducción E_{20} (zanja estrecha):	α_B	1,000	[-]
Módulo elástico del apoyo (reducido):	$E_{2,\sigma}$	16,00	N/mm ²
Módulo elástico del suelo natural:	$E_{3,\sigma}$	1,50	N/mm ²
Módulo elástico del suelo bajo el tubo:	$E_{4,\sigma}$	1,50	N/mm ²

1.2.2.5. Valores de rigidez del suelo

Factor de corrección por rigidez del apoyo horizontal: ζ 0,291 [-]

$$\zeta = \frac{1,667}{\Delta f + (1,667 - \Delta f) \cdot \frac{E_2}{E_3}} \quad (6.17)$$

$$\Delta f = \frac{\frac{b}{d_a} - 1}{0,982 + 0,283 \cdot \left(\frac{b}{d_a} - 1 \right)} \leq 1,667 \quad \text{Corrección (6.18)}$$

Si el ángulo de talud de la zanja es $< 90^\circ$ se debe considerar la anchura de la zanja a la altura del centro de la tubería en lugar de la anchura de la zanja a la altura de la corona

Rigidez del apoyo horizontal: S_{Bh} 2,793 N/mm²

$$S_{Bh} = 0,6 \cdot \zeta \cdot E_2 \quad (6.16)$$

Rigidez de apoyo vertical: S_{Bv} 16,000 N/mm²

$$S_{Bv} = \frac{E_2}{a} \quad (6.12)$$

1.2.2.6. Ángulo de apoyo, proyección relativa efectiva y ángulo de fricción

Ángulo de apoyo, proyección relativa efectiva y ángulo de fricción: 2α 120 °

Proyección incrementada debido a la pérdida de soporte del suelo: a_S 1,00 [-]

Proyección relativa efectiva: a' 0,500 [-]

$$a' = a_S - \frac{E_1}{E_2} \geq 0,26 \quad (6.05)$$

Ángulo de fricción interna: φ' 20,000 °

Ángulo de fricción de la pared: δ 20,000 °

corto plazo Todas las cargas	largo plazo Cargas del suelo cargas de tráfico	largo plazo otro Cargas
------------------------------------	--	-------------------------------

1.2.2.7. Valores característicos del material del tubo y rigidez anular

	E_R	1.200,0	1.054,3	200,0	N/mm ²
Valor característico del módulo de elasticidad en sentido circunferencial	σ_{RBZ}	23,0	22,2	17,5	N/mm ²
Valor característico de tracción por deflexión	σ_{RBD}	23,0	22,2	17,5	N/mm ²
Valor característico de la deflexión radial por esfuerzo de compresión	σ_{RZ}	23,0	22,2	17,5	N/mm ²
Valor característico de la tensión en sentido circunferencial	S_R	101,054	88,780	16,842	kN/m ²
Rigidez del tubo					

$$S_R = \frac{E_R \cdot I}{r_m^3} \quad (6.10a)$$

1.2.2.8. relación de rigidez

Rigidez del sistema V_{RB} 0,0362 0,0318 0,0060 [-]

$$V_{RB} = \frac{S_R}{S_{Bh}} = \frac{8 \cdot S_0}{S_{Bh}} \quad (6.15)$$

Relación de rigidez V_S 0,1892 0,1798 --- [-]

$$V_S = \frac{S_R}{|c_v^*| \cdot S_{Bv}} \quad (6.08a)$$

1.2.2.9. Coeficientes

Relación por presión de enterramiento (apoyo) K_2 0,400 0,400 --- [-]
 Coeficiente por presión de reacción del apoyo K^* 0,874 0,913 --- [-]

$$K^* = \frac{C_{h,qv}}{V_{RB} - C_{h,qh^*}} \quad (6.14)$$

Coeficiente por presión de reacción del apoyo c_v^* -0,033 -0,031 --- [-]

$$c_v^* = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^* \quad (6.13)$$

1.2.2.10. Factores de concentración λ_R y λ_B

Factor de concentración máximo $\max \lambda$ 1,019 1,019 --- [-]

$$\max \lambda = 1 + \frac{\frac{h}{d_a}}{\frac{3,5}{a'} + \frac{2,2}{\frac{E_4}{E_1} (a' - 0,25)} + \left[\frac{0,62}{a'} + \frac{1,6}{\frac{E_4}{E_1} (a' - 0,25)} \right] \cdot \frac{h}{d_a}} \quad (6.04)$$

Coeficiente por factor de concentración máximo K' 0,929 0,929 --- [-]

$$K' = - \frac{c_{v,qh} + \frac{C_{h,qh}}{C_{h,qv}} c_{v,qh^*} \cdot K^*}{c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*} \quad (6.06b)$$

Factor de concentración sobre el tubo, valor inicial λ_R 0,911 0,906 --- [-]

$$\lambda_R = \frac{\max \lambda \cdot V_s + a' \cdot \frac{4 \cdot K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max \lambda - 1}{a' - 0,25}}{V_s + a' \cdot \frac{3 + K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max \lambda - 1}{a' - 0,25}} \quad (6.06a)$$

Factor de concentración sobre el tubo, bajo el efecto de la zanja λ_{RG} 0,933 0,930 --- [-]

$$\lambda_{RG} = \frac{\lambda_R - 1}{3} \cdot \frac{b}{d_a} + \frac{4 - \lambda_R}{3} \quad (6.21a)$$

Factor de concentración sobre el tubo, límite superior λ_{fo} 3,910 3,910 --- [-]

Factor de concentración sobre el tubo, límite inferior λ_{fu} 0,579 0,579 --- [-]

Factor de concentración sobre el tubo, valor final λ_{RG} 0,933 0,930 --- [-]

Factor de concentración del suelo λ_B 1,030 1,031 --- [-]

$$\lambda_B = \frac{4 - \lambda_R}{3} \quad (6.07)$$

1.2.2.11. Distribución de presiones en la circunferencia del tubo

Carga vertical total	q_v	81,53	81,49	---	kN/m ²
$q_v = \lambda_{RG} \cdot p_E + p_v \quad (6.24)$					

Presión lateral	q_h	5,66	5,67	---	kN/m ²
$q_h = K_2 \cdot \left(\lambda_B \cdot p_E + \gamma_B \cdot \frac{d_a}{2} \right) \quad (7.01)$					

Presión de reacción del apoyo (carga del suelo)	q_h^*	66,61	69,56	---	kN/m ²
$q_h^* = \frac{C_{h,qv} \cdot q_v + C_{h,qh} \cdot q_h}{V_{RB} - C_{h,qh}^*} \quad (7.02a)$					

Presión de reacción del apoyo (sección llena)	q_{hw}^*	0,57	0,80	---	kN/m ²
$q_{hw}^* = \frac{C_{hw} \cdot q_w}{V_{RB} - C_{h,qh}^*} \quad (7.02b)$					

1.2.3. Sección fuerzas clave

		corto plazo	largo plazo	
Momento debido a cargas verticales totales	M_{qv}	0,156	0,156	kNm/m
Momento debido a la presión lateral	M_{qh}	-0,010	-0,010	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo horizontal	M_{qh}^*	-0,089	-0,092	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo (sección llena)	M_{qw}^*	-0,001	-0,001	kNm/m
Momento debido a las cargas muertas	M_g	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a la sección llena	M_w	0,001	0,001	kNm/m
Momento debido a la presión del agua	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales	ΣM	0,058	0,054	kNm/m
$\Sigma M_{qv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^*$				
Momentos totales debidos a las cargas del suelo y tráfico	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*}$	0,057	0,053	kNm/m
$\Sigma M_{sonst} = M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales debidos a otras cargas	ΣM_{sonst}	0,001	0,000	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_g$				
Momentos totales debidos a la sección llena y a la presión	$\Sigma M'$	0,058	0,054	kNm/m
Fuerza normal debida a las cargas verticales totales	N_{qv}	0,189	0,189	kN/m
Fuerza normal debida a la presión lateral	N_{qh}	-0,485	-0,486	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho	N_{qh}^*	-3,294	-3,440	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho (relleno del agua)	N_{qw}^*	-0,028	-0,040	kN/m
Fuerza normal debida al peso muerto	N_g	0,002	0,002	kN/m
Fuerza normal debida al relleno de agua	N_w	0,046	0,046	kN/m
Fuerza normal debida a la presión del agua	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Fuerzas totales normales	ΣN	-3,571	-3,729	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a las cargas del suelo y del tráfico	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*}$	-3,590	-3,737	kN/m

Fuerzas normales totales debidas a otras cargas	ΣN_{sonst}	0,020	0,008	kN/m
Total sin sección llena y sin presión	$\Sigma N'$	-3,589	-3,735	kN/m

1.2.4. Sección fuerzas generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo

		corto plazo	largo plazo	
Momento debido a cargas verticales totales	M_{qv}	-0,159	-0,159	kNm/m
Momento debido a la presión lateral	M_{qh}	0,010	0,010	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo horizontal	M_{qh}^*	0,102	0,106	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo (sección llena)	M_{qw}^*	0,001	0,001	kNm/m
Momento debido a las cargas muertas	M_g	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a la sección llena	M_w	-0,001	-0,001	kNm/m
Momento debido a la presión del agua	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales	ΣM	-0,047	-0,042	kNm/m
$\Sigma M_{qv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^*$				
Momentos totales debidos a las cargas del suelo y tráfico	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*}$	-0,047	-0,042	kNm/m
$\Sigma M_{sonst} = M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales debidos a otras cargas	ΣM_{sonst}	-0,001	0,000	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_g$				
Momentos totales debidos a la sección llena y a la presión	$\Sigma M'$	-0,047	-0,042	kNm/m
Fuerza normal debida a las cargas verticales totales	N_{qv}	-6,987	-6,984	kN/m
Fuerza normal debida a la presión lateral	N_{qh}	0,000	0,000	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho	N_{qh}^*	0,000	0,000	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho (relleno del agua)	N_{qw}^*	0,000	0,000	kN/m
Fuerza normal debida al peso muerto	N_g	-0,011	-0,011	kN/m
Fuerza normal debida al relleno de agua	N_w	0,016	0,016	kN/m
Fuerza normal debida a la presión del agua	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Fuerzas totales normales	ΣN	-6,982	-6,979	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a las cargas del suelo y del tráfico	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*}$	-6,987	-6,984	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a otras cargas	ΣN_{sonst}	0,005	0,005	kN/m
Total sin sección llena y sin presión	$\Sigma N'$	-6,998	-6,995	kN/m

1.2.5. Sección fuerzas base

		corto plazo	largo plazo	
Momento debido a cargas verticales totales	M_{qv}	0,165	0,165	kNm/m
Momento debido a la presión lateral	M_{qh}	-0,010	-0,010	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo horizontal	M_{qh}^*	-0,089	-0,092	kNm/m
Momento debido a la reacción de la presión del apoyo (sección llena)	M_{qw}^*	-0,001	-0,001	kNm/m
Momento debido a las cargas muertas	M_g	0,000	0,000	kNm/m
Momento debido a la sección llena	M_w	0,002	0,002	kNm/m
Momento debido a la presión del agua	M_{pw}	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales	ΣM	0,067	0,063	kNm/m
$\Sigma M_{qv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^*$				
Momentos totales debidos a las cargas del suelo y tráfico	$\Sigma M_{qv,qh,qh^*}$	0,066	0,062	kNm/m

$\Sigma M_{sonst} = M_{qw}^* + M_g + M_w + M_{pw}$				
Momentos totales debidos a otras cargas	ΣM_{sonst}	0,001	0,001	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M_{qh}^* + M_g$				
Momentos totales debidos a la sección llena y a la presión	$\Sigma M'$	0,066	0,062	kNm/m
Fuerza normal debida a las cargas verticales totales	N_{qv}	-0,189	-0,189	kN/m
Fuerza normal debida a la presión lateral	N_{qh}	-0,485	-0,486	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho	N_{qh}^*	-3,294	-3,440	kN/m
Fuerza normal debida a la reacción de la presión del lecho (relleno del agua)	N_{qw}^*	-0,028	-0,040	kN/m
Fuerza normal debida al peso muerto	N_g	-0,002	-0,002	kN/m
Fuerza normal debida al relleno de agua	N_w	0,101	0,101	kN/m
Fuerza normal debida a la presión del agua	N_{pw}	0,000	0,000	kN/m
Fuerzas totales normales	ΣN	-3,896	-4,055	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a las cargas del suelo y del tráfico	$\Sigma N_{qv,qh,qh^*}$	-3,968	-4,114	kN/m
Fuerzas normales totales debidas a otras cargas	ΣN_{sonst}	0,071	0,059	kN/m
Total sin sección llena y sin presión	$\Sigma N'$	-3,969	-4,116	kN/m

1.2.6. Caso de carga a corto plazo

1.2.6.1. prueba de tensión

$$\sigma_{R,res} = \frac{\sigma_{qv,qh,qh^*} \cdot \bar{\sigma}_R + \sigma_{sonst} \cdot \sigma_{R,L}}{\sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst}} \quad (9.01c)$$

Interior:		clave	generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	base	
Tensiones debidas a las cargas del suelo y del tráfico	σ_{qv,qh,qh^*}	4,391	-4,714	5,050	N/mm ²
Tensiones debidas a otras cargas	σ_{sonst}	0,058	-0,065	0,108	N/mm ²
Tensión total	σ	4,449	-4,779	5,158	N/mm ²
Tensión de tracción por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBZ,res}$	23,00	23,00	23,00	N/mm ²
Tensión de compresión por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBD,res}$	23,00	23,00	23,00	N/mm ²
Coefficiente de seguridad para tensión por flexión:	γ_{BZ}	5,170	---	4,459	[-]
Coefficiente de seguridad para compresión por flexión:	γ_{BD}	---	4,813	---	[-]
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	[-]
Exterior:		clave	generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	base	

Tensiones debidas a las cargas del suelo y del tráfico	σ_{qv,qh,qh^*}	-4,914	2,837	-5,616	N/mm ²
Tensiones debidas a otras cargas	σ_{sonst}	-0,050	0,062	-0,085	N/mm ²
Tensión total	σ	-4,965	2,898	-5,701	N/mm ²
Tensión de tracción por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBZ,res}$	23,00	23,00	23,00	N/mm ²
Tensión de compresión por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBD,res}$	23,00	23,00	23,00	N/mm ²
Coefficiente de seguridad para tensión por flexión:	γ_{BZ}	---	7,936	---	[-]
Coefficiente de seguridad para compresión por flexión:	γ_{BD}	4,633	---	4,035	[-]
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.

1.2.6.2. Prueba de deformación

Modo de cálculo:	lineal				
Relación:	$I/(A \cdot \text{rm}^2)$			0,00084	[-]
Relación ' $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_q$ ':	$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_q$			0,00084	[-]
Coefficiente resultante de deformación	c'_v	q_v	-0,0893	q_h	q_h^*
				0,0833	0,0640
					[-]
Cambio del diámetro vertical:	Δd_v			4,32	mm
Cambio del diámetro horizontal:	Δd_h			4,09	mm
Deformación vertical relativa:	δ_v			2,52	%
Deflexión admisible:	zul δ_v			6,00	%

La deflexión determinada es menor que la deflexión permitida.

1.2.6.3. Prueba de estabilidad (lineal):

Carga vertical total:	q_v	81,53	kN/m ²
Factor de reducción de carga de colapso por cargas de suelo/tráfico:	κ_{v2}	0,87	[-]
Carga vertical total crítica:	krit q_v	922,7	kN/m ²

$$\text{krit } q_v = 2 \cdot \kappa_{v2} \cdot (8S_0 \cdot S_{Bh})^{0,5} \quad (9.06a)$$

La prueba de colapso por presión de agua no aplica, dado que no hay presencia de nivel freático ni vacío.

Coefficiente de seguridad de estabilidad:	γ	11,32	[-]
Coefficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad:	erf γ_{stab}	2,00	[-]

Los coeficientes de seguridad al pandeo determinados son suficientes.

1.2.7. Caso de carga a largo plazo

1.2.7.1. prueba de tensión

$$\sigma_{R,res} = \frac{\sigma_{qv,qh,qh^*} \cdot \bar{\sigma}_R + \sigma_{sonst} \cdot \sigma_{R,L}}{\sigma_{qv,qh,qh^*} + \sigma_{sonst}} \quad (9.01c)$$

Interior:		clave	generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	base	
Tensiones debidas a las cargas del suelo y del tráfico	σ_{qv,qh,qh^*}	4,036	-4,327	4,695	N/mm ²
Tensiones debidas a otras cargas	σ_{sonst}	0,030	-0,034	0,080	N/mm ²
Tensión total	σ	4,067	-4,362	4,775	N/mm ²
Tensión de tracción por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBZ,res}$	22,16	22,16	22,12	N/mm ²
Tensión de compresión por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBD,res}$	22,16	22,16	22,12	N/mm ²
Coefficiente de seguridad para tensión por flexión:	γ_{BZ}	5,450	---	4,632	[-]
Coefficiente de seguridad para compresión por flexión:	γ_{BD}	---	5,081	---	[-]
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	[-]
Exterior:		clave	generatriz sobre el diámetro horizontal del tubo	base	
Tensiones debidas a las cargas del suelo y del tráfico	σ_{qv,qh,qh^*}	-4,616	2,476	-5,317	N/mm ²
Tensiones debidas a otras cargas	σ_{sonst}	-0,027	0,033	-0,062	N/mm ²
Tensión total	σ	-4,643	2,509	-5,379	N/mm ²
Tensión de tracción por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBZ,res}$	22,17	22,14	22,14	N/mm ²
Tensión de compresión por flexión a ser considerada	$\sigma_{RBD,res}$	22,17	22,14	22,14	N/mm ²
Coefficiente de seguridad para tensión por flexión:	γ_{BZ}	---	8,823	---	[-]
Coefficiente de seguridad para compresión por flexión:	γ_{BD}	4,775	---	4,117	[-]
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.

1.2.7.2. Prueba de deformación

Modo de cálculo:

Relación:

Relación $I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_q$:

lineal

$I/(A \cdot \text{rm}^2)$

0,00084 [-]

$I/(A \cdot \text{rm}^2) \cdot \kappa_q$

0,00084 [-]

Coeficiente resultante de deformación	c'_v	q_v	-0,0893	q_h	0,0833	q_h^*	0,0640	[-]
Cambio del diámetro vertical:				Δd_v			4,54	mm
Cambio del diámetro horizontal:				Δd_h			4,27	mm
Deformación vertical relativa:				$\bar{\delta}_v$			2,65	%
Deflexión admisible:				zul $\bar{\delta}_v$			6,00	%

La deflexión determinada es menor que la deflexión permitida.

1.2.7.3. Prueba de estabilidad (lineal):

Carga vertical total:

Factor de reducción de carga de colapso por cargas de suelo/tráfico:

Carga vertical total crítica:

q_v

81,49

kN/m²

κ_{v2}

0,87

[-]

krit q_v

865,9

kN/m²

$$\text{krit } q_v = 2 \cdot \kappa_{v2} \cdot (8S_0 \cdot S_{Bh})^{0,5} \quad (9.06a)$$

La prueba de colapso por presión de agua no aplica, dado que no hay presencia de nivel freático ni vacío.

Coeficiente de seguridad de estabilidad:

Coeficiente global de seguridad requerido, fallo por inestabilidad:

γ

10,63

[-]

erf γ_{stab}

2,00

[-]

Los coeficientes de seguridad al pandeo determinados son suficientes.

Todas las pruebas necesarias son correctas.

6. Bibliografía

- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. *Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión 3ª Edición*. Madrid: Editorial Ministerio de Fomento, 2002. ISBN 84-7790-431-6.
- Programa de Cálculo mecánico de tuberías compactadas de polietileno (PE) a presión facilitado por la Asociación Española de fabricantes de Tubos y Accesorios Plásticos (AseTUB).