

ANEJO Nº 11: CÁLCULO MECÁNICO DE TUBERÍAS

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL CÁLCULO MECÁNICO DE LAS TUBERÍAS	1
2.1	TUBERÍAS DE PVC-O	6
2.2	TUBERÍAS DE ACERO	6
3	TUBERÍAS DE PVCO - MÉTODO DE CÁLCULO	7
3.1	PRESIONES A LARGO PLAZO.....	8
3.2	CÁLCULO DE LA DEFORMACIÓN	8
3.3	TUBERÍAS DE PVC-O –LISTADOS DE COMPROBACIÓN	9
4	TUBERÍAS DE ACERO.....	12
5	CONCLUSIONES.....	15
	APÉNDICE 1. COMPROBACIÓN TUBERÍAS PVC-O	17
	APÉNDICE 2. COMPROBACIÓN TUBERÍAS ACERO	

ÍNDICE IMÁGENES

IMAGEN 1. HIPÓTESIS PÉSIMA DE CARGAS HABITUALES EN LOS DIFERENTES TIPOS DE TUBOS EN INSTALACIONES ENTERRADAS (TABLA 78).....	4
IMAGEN 2. MÉTODOS HABITUALES DE CÁLCULOS DE LAS ACCIONES DEL TERRENO Y DEL TRÁFICO EN TUBERÍAS ENTERRADAS (TABLA 79)	4
IMAGEN 3. MÉTODOS HABITUALES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS ENTERRADAS EN ESPAÑA (TABLA 79)	5
IMAGEN 4A. ZANJA TIPO – MÓDULOS DE DEFORMACIÓN.	8
IMAGEN 5. DATOS DE CÁLCULO PARA TUBERÍA PVC-O	9
IMAGEN 6. ZANJA TIPO. FUENTE: MANUAL TÉCNICO DE DISEÑO DE REDES Y UTILIZACIÓN. TUBERÍA DE PVC ORIENTADO TOM.	10
IMAGEN 7. ZANJA TIPO Y RELLENOS. FUENTE: MANUAL TÉCNICO DE DISEÑO DE REDES Y UTILIZACIÓN. TUBERÍA DE PVC ORIENTADO TOM.	10

1 INTRODUCCIÓN

Una vez calculadas y definidas las tuberías que van a formar parte del proyecto en cuanto a material, diámetro y timbraje, y diseñada la zanja tipo, se procede a la comprobación de la resistencia de los propios tubos. En el presente anejo se plantean los cálculos resistentes de las tuberías proyectadas tanto de la tubería de impulsión como de la red de riego ante las cargas externas e internas.

Para todas las disposiciones de la tubería, y en cada una de las secciones más desfavorables, se realizará el correspondiente cálculo mecánico de la misma, al objeto de comprobar su correcto funcionamiento.

Dado el laborioso y difícil proceso de cálculo de forma manual para la comprobación de las sollicitaciones del tubo en una instalación, se recurre a los programas informáticos de los que disponen normalmente los fabricantes de tubería o asociaciones de fabricantes. En este caso, y por la tubería seleccionada para proyecto se emplean las herramientas de MOLECOR (PVC) y de NOKSEL (Acero).

Los datos requeridos para el cálculo obedecen por un lado a la tubería, y otro al terreno y las condiciones de relleno. La estructura consiste en seleccionar el tubo adecuado, así como el tipo y apoyo de la zanja. Como resultado del cálculo se conoce si la instalación es válida o si por el contrario hay que cambiar alguna de sus condiciones.

Por lo tanto, se realizan los cálculos en función del tipo de material de la tubería instalada y del tipo de zanja ejecutada:

- **TUBERÍA DE PVC-O: $160 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 630 \text{ mm}$**
- **TUBERÍA DE ACERO HELICOSOLDADA: $700 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 2000 \text{ mm}$**

2 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL CÁLCULO MECÁNICO DE LAS TUBERÍAS

Para asegurar la larga vida y el buen funcionamiento de las tuberías colocadas en el proyecto, es preciso manejar e instalar los tubos adecuados, ya que, aunque estos cumplan para transportar un caudal concreto provocando unas pérdidas de carga admisibles en la conducción, no por ello son ya válidos, puesto que se ha de comprobar que el tubo resiste mecánicamente ante las cargas externas y la presión interna a las que estará sometido.

Por tanto, para todas las disposiciones de la tubería, y en cada una de sus secciones más desfavorable, debe realizarse el correspondiente cálculo mecánico de la misma, al objeto de dimensionar y comprobar su correcto funcionamiento. Para ello es necesario definir las acciones a las que se encuentra sometida y establecer cuáles son las hipótesis pésimas de carga que van a definir el dimensionamiento de la misma.

Pero antes de proceder al diseño mecánico en sí, es necesario realizar la clasificación de los tubos que se emplearán en el proyecto constructivo en función de su comportamiento mecánico, puesto que las fórmulas de cálculo de resistencia mecánica son diferentes en cada caso. Además, el comportamiento mecánico de las tuberías depende no sólo del material de la tubería, sino también del material en el que se apoya y que la rodea, siendo el conjunto que forma el propio tubo como tal junto con las características del terreno y las condiciones de la instalación, el criterio de clasificación de los tubos instalados.

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

- a) Acciones gravitatorias. Son tanto las producidas por los elementos constructivos de la tubería como las que puedan actuar por razón de su uso.
 - Peso propio. Es la carga debida al peso de la tubería
 - Cargas permanentes o cargas muertas. Son las debidas a los pesos de los elementos constructivos o instalaciones fijas que tenga que soportar la tubería
 - Sobrecargas de uso. Son las derivadas del uso de la tubería y cuya magnitud y/o posición puede ser variable en el tiempo. Son, básicamente, las siguientes:
 - Carga debida al peso del agua en el interior de la tubería
 - Presión interna actuante, incluyendo el golpe de ariete
- b) Acciones del terreno. Son las producidas tanto por el empuje activo como por el empuje pasivo del terreno.
- c) Acciones del tráfico. Son las producidas por la acción de los vehículos que puedan transitar sobre la tubería.
- d) Acciones climáticas. Son las derivadas de los efectos climatológicos.

- e) Acciones debidas al nivel freático (empuje hidrostático generado por el agua subterránea)
- f) Acciones reológicas
- g) Acciones sísmicas

En el ámbito de las tuberías, salvo en las de hormigón armado o pretensado, las acciones no suelen mayorarse a efectos de cálculo mecánico. No obstante, y a criterio del proyectista, el valor de cálculo de las acciones si podría mayorarse por un coeficiente de seguridad que tuviera en cuenta posibles imprevistos no considerados en el cálculo.

En las instalaciones enterradas, como es el caso que nos ocupa en este proyecto, si bien deben considerarse todas las acciones indicadas anteriormente, las más determinantes son la presión interior actuante, las acciones del terreno y las del tráfico, de manera que la hipótesis pésima de carga suele producirse por la combinación de las acciones que se indican a continuación, según la tipología de tuberías.

- Tubos de hormigón
 - Estado tensional debido a la acción exclusiva de la presión interna
 - Estado tensional debido a la acción exclusiva de las acciones externas
 - Estado tensional debido a la acción conjunta de las acciones externas y de la presión interna
- Tubos de materiales termoplásticos
 - Estado tensional debido a la acción exclusiva de la presión interna
 - Estado tensional debido a la acción exclusiva de las acciones externas
 - Estado tensional debido a la acción conjunta de las acciones externas y de la presión interna
 - Deformación causada por la acción exclusiva de las acciones externas
 - Deformación causada por la acción conjunta de las acciones externas y de la presión interna
 - Pandeo o colapso producido por la acción de las acciones externas y de la presión interna negativa
- Tubos de fundición
 - Tubos de diámetro grande (comportamiento flexible)
 - Estado tensional debido a la acción exclusiva de la presión interna
 - Deformación causada por la acción exclusiva de las acciones externas

- Tubos de diámetro pequeño (comportamiento rígido)
- Estado tensional debido a la acción exclusiva de la presión interna
- Estado tensional debido a la acción exclusiva de las acciones externas

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

Imagen 1. Hipótesis pésima de cargas habituales en los diferentes tipos de tubos en instalaciones enterradas (Tabla 78)

Fuente: Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión (CEDEX)

En la tabla adjunta se resumen los métodos de cálculo habituales de las acciones del terreno y del tráfico en el dimensionamiento de tuberías enterradas en España:

Acción	Tubos de fundición	Tubos de acero	Tubos de hormigón	Tubos de PVC y PE	Tubos de PRFV
Terreno	UNE-EN545:1995 y F-70:2001	Marston sin coeficiente reductor	Marston con coeficiente reductor	ATV 127:2000	Marston sin coeficiente reductor ó ATV 127:2000
Tráfico	UNE-EN545:1995 y F-70:2001	Boussinesq	Boussinesq	ATV 127:2000	AWWA M45 ó ATV 127:2000

Imagen 2. Métodos habituales de cálculos de las acciones del terreno y del tráfico en tuberías enterradas (Tabla 79)

Fuente: Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión (CEDEX)

La tabla anterior recoge los métodos de cálculo habitualmente empleados en España para la comprobación de las solicitaciones pésimas, y en consecuencia recomendados en el dimensionamiento se consideran los métodos recogidos en la tabla siguiente:

Solicitación	Tubos de fundición	Tubos de acero	Tubos de hormigón	Tubos de PVC y PE	Tubos de PRFV
Estado tensional por la presión interna 	Fórmula de los "tubos delgados": $\sigma_{adm} > P \times C \times ID / (2 \times e)$		IET-80	DP < PN	DP < PN
Estado tensional por la carga combinada 			IET-80	ATV 127:2000	AWWA M45 ó ATV 127:2000
Estado tensional por las acciones externas 			IET-80	ATV 127:2000	AWWA M45 ó ATV 127:2000
Deformación por la carga combinada 				ATV 127:2000	
Deformación por las acciones externas 	Spangler ó F-70:2001	Spangler		ATV 127:2000	AWWA M45 ó ATV 127:2000
Pandeo o colapsado		Luscher		ATV 127:2000	Luscher
Normativa	UNE-EN 545:1995 ó F-70:2001	Manual AWWA M11	IET-80	UNE 53331:1997 IN	AWWA M45

Imagen 3. Métodos habituales para el dimensionamiento de tuberías enterradas en España (Tabla 79)

Fuente: Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión (CEDEX)

El método ATV: este método, elaborado por la Asociación Técnica para el Saneamiento de Alemania (Abwasser Technische Verein), es relativamente reciente y está desarrollado en la norma ATV 127:2000. En España, está recogido íntegramente en la norma UNE 53331:1997 IN. Pretende ser un método del multimaterial, universal, aplicable a tuberías de cualquier material. Se basa en el cálculo de los momentos en la pared del tubo teniendo en cuenta, de la forma más precisa posible, la influencia de las deformabilidades del terreno y del tubo, considerando no solo la carga vertical sobre el tubo, sino también el empuje horizontal de las tierras.

2.1 TUBERÍAS DE PVC-0

Los cálculos mecánicos de las tuberías se han realizado a partir de los siguientes datos, que han sido introducidos en la herramienta informática:

- Carga de tráfico
- Ángulo de inclinación de la zanja
- Tipo de suelo del terreno
- Tipo de suelo del relleno
- Grado de compactación
- Presión de timbraje de las tuberías mínimo: 10 atmósferas

Las tuberías cumplen con los márgenes de seguridad, ya que los coeficientes prefijados según la norma ATV-127:2000 son:

Frente al fallo por rotura:	2,5
Frente a la inestabilidad:	2,5
Deformación admisible a largo plazo:	3 %

2.2 TUBERÍAS DE ACERO

Se instalará en este proyecto tubería de acero helicosoldado de distinto espesor, en función del diámetro a instalar para los diámetros 711, 813, 1016, 1118, 1219, 1524 y 2032 mm.

Los criterios normalmente empleados para el cálculo mecánico de las tuberías de acero son los recogidos en la normativa norteamericana, sintetizados en las siguientes publicaciones:

- AWWA M11 Steel pipe: A guide for design and installation
- Welded Steel pipe. Design manual, del American Iron and Steel Institute
- Steel penstocks, de la American Society of Civil Engineers (ASCE)
- Welded Steel penstocks, del Bureau of Reclamation

En la actualidad, es frecuente emplear los criterios incluidos en la norma europea UNE-EN 805, en la cual se clasifican los tubos en función de su capacidad de resistir las cargas del terreno y del tráfico: tubos rígidos, flexibles y semirrígidos.

Los tubos de acero son un claro ejemplo de estructuras flexibles, los cuales admiten ciertas deformaciones por la acción de las cargas verticales, produciéndose un efecto de Ovalización que, al aumentar el diámetro horizontal, hace que entren en juego los empujes pasivos del terreno, acrecentando de forma considerable su resistencia. En concreto, gracias a la flexibilidad de las tuberías de acero, y ante la actuación exclusiva de las cargas de enterramiento, una conducción de

acero quedaría fuera de servicio por superar las tensiones en la pared los valores admisibles para alturas de enterramiento enormes, superiores a 20 o 30 metros de profundidad, alcanzándose deformaciones circunferenciales muy elevadas, superiores al 20 % del diámetro o más. Sin embargo, en la práctica, se dimensionan para que la citada deformación causada por la acción exclusiva de las cargas externas no supere un valor del orden del 3 % o el 5 % del diámetro (según el manual AWWA M11), no alcanzándose para entonces el agotamiento de su capacidad resistente.

En los tubos de acero, la hipótesis pésima de carga corresponde, habitualmente, a alguna de las siguientes:

- Hipótesis I: estado tensional debido a la acción exclusiva de la presión interna
- Hipótesis II: deformación debida a la acción exclusiva de las acciones externas
- Hipótesis III: pandeo o colapso, bien por la acción de las acciones internas o externas.

La Hipótesis I es la que suele condicionar el valor del espesor de la tubería de acero. El espesor de una tubería de acero, además de garantizar su comportamiento en las hipótesis anteriores, debe tener unos valores mínimos para asegurar el manejo de la conducción.

Las normas norteamericanas suelen exigir que el valor mínimo del espesor de una tubería de acero por cuestiones funcionales se calcule según las expresiones:

$$e_{\min} = D/88 \quad (D < 54 \text{ in})$$

$$e_{\min} = (D + 20)/400 \quad (D > 54 \text{ in})$$

3 TUBERÍAS DE PVCO - MÉTODO DE CÁLCULO

Según la norma ATV-DVWK-A 127E:2000: y UNE 53331 IN, para la instalación de tuberías enterradas los parámetros activos a largo plazo serán la deflexión, la verificación de esfuerzos y la estabilidad al colapsado, junto con el sistema total tubería-suelo.

Para el cálculo de las cargas de las tierras que rodean al tubo son necesarios los siguientes datos:

- Peso específico de las tierras de relleno (γ).
- Ángulo de rozamiento interno del relleno (ρ).
- Ángulo de rozamiento del relleno con las paredes de la zanja (ρ').
- Coeficientes de empuje lateral de las tierras de relleno ($K1$ y $K2$).
- Módulos de deformación de las diferentes zonas de relleno y de la zanja, esto es:
 - $E1$, módulo de deformación para el relleno sobre la clave de la tubería.

- E2, módulo de deformación para el relleno a los lados de la tubería.
- E3, módulo de deformación para el suelo no alterado de la pared de la zanja a la profundidad de la tubería.
- E4, módulo de deformación para el material de cimentación debajo de la tubería.

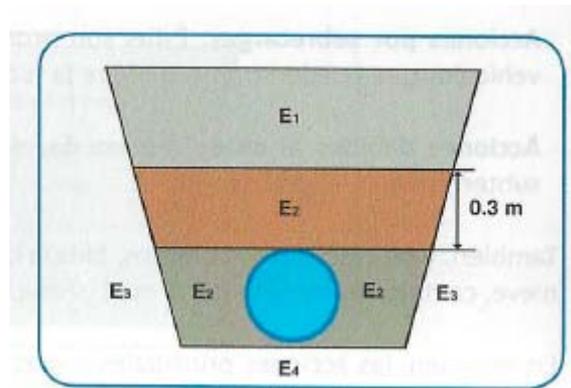


Imagen 4a. Zanja tipo – módulos de deformación.

Fuente: Manual Técnico de Diseño de Redes y Utilización. Tubería de PVC Orientado TOM.

Revisado el estudio geotécnico, los suelos de este proyecto se clasifican a estos efectos como **G3. Moderadamente cohesivo** (este grupo incluye las gravas y arenas arcillosas o limosas, con porcentaje de fino ($\phi \leq 0,06$ mm) entre el 15 % y el 40 % y los limos poco plásticos).

3.1 PRESIONES A LARGO PLAZO

La deflexión a largo plazo (50 años), para tubos flexibles instalados subterráneamente ha de limitarse, por lo que se usa un coeficiente de seguridad para salvaguardar de las propiedades de deflexión últimas y de la menor capacidad hidráulica resultante por excesiva deformación del tubo.

Tras la instalación de una tubería, la carga del relleno causa una deflexión inicial. Luego a medida que el relleno se consolida, se produce una deflexión adicional, cuyo valor depende parcialmente del suelo natural.

3.2 CÁLCULO DE LA DEFORMACIÓN

La deformación relativa a corto y largo plazo, en %, teniendo en cuenta los valores de rigidez del tubo, S_t , se obtiene como:

$$\delta_v = \frac{\Delta D_v}{2r_m} = \frac{C_v (q_{vt} - q_h)}{S_t} 100$$

donde:

ΔD_v : Variación del diámetro.

R_m : Radio medio del tubo.

C_v → Coef. de deformación vertical del tubo.

S_t → Rigidez del tubo a corto plazo, en N/mm^2 .

Según la norma UNE 53331 éste valor de deformación no debe de pasar del 5 % a largo plazo.

3.3 TUBERÍAS DE PVC-O –LISTADOS DE COMPROBACIÓN

Para el cálculo mecánico de estas tuberías se utiliza el programa TOMCALCULATOR, programa de cálculo de acciones sobre tuberías plásticas enterradas que está basado en la Norma UNE 53331:1997 IN "Tuberías de policloruro de vinilo (PVC) no plastificado y polietileno (PE) de alta y media densidad" para el cálculo mecánico y que ha sido actualizada recientemente, y la ATV-DVWK-A 127E:2000: "Static Calculation of Drains and Sewers".

Los parámetros de cálculo de partida son los siguientes:

RED DE RIEGO SECTOR G CANAL DEL PISUERGA (PALENCIA)									
Material	PVC-Orientado								
Diámetro (mm)	160	200	250	315	400	450	500	630	800
PN (m.c.a.)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Presión (m.c.a.) con golpe de ariete									
Disposición en zanja: tubería única	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Profundidad mínima (m) [hasta fondo zanja]	1,26	1,30	1,35	1,42	1,50	1,55	1,60	1,73	1,90
Profundidad máxima (m) [hasta fondo zanja]	3,66	3,68	3,60	3,49	3,60	3,62	3,67	3,80	5,90
Profundidad mínima (m) [hasta generatriz]	1,05	1,10	1,05	1,08	1,00	1,08	1,08	1,08	1,15
Profundidad máxima (m) [hasta generatriz]	3,40	3,38	3,25	3,07	3,10	3,07	3,07	3,07	5,00
Ancho de zanja mínimo/máximo (m)	0,70	0,70	0,80	0,90	1,00	0,90	0,90	0,90	1,00
Altura cobertura generatriz superior (m)	3,40	3,38	3,25	3,07	3,10	3,07	3,07	3,07	5,00
Talud zanja	3H/4V	3H/4V	3H/4V	3H/4V	3H/4V	3H/4V	3H/4V	3H/4V	3H/4V
Talud zanja	1H/6V	1H/6V	1H/6V	1H/6V	1H/6V	1H/6V	1H/6V	1H/6V	1H/6V
Talud zanja	1H/2V	1H/2V	1H/2V	1H/2V	1H/2V	1H/2V	1H/2V	1H/2V	1H/2V
Grados talud zanja [f(talud)]	50/65/80	50/65/80	50/65/80	50/65/80	50/65/80	50/65/80	50/65/80	50/65/80	50/65/80
Nivel freático	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Nivel freático - profundidad estimada (m) [en la mayor parte, está por debajo de 1,40 metros]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Tipo de apoyo	Grava 6/12	Grava 6/12	Grava 6/12	Grava 6/12	Grava 6/12	Grava 6/12	Grava 6/12	Grava 6/12	Grava 6/12
Espesor apoyo granular (m)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Ángulo de apoyo sobre material granular	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carga rodante	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Tipo de carga rodante (t)	12-26	12-26	12-26	12-26	12-26	12-26	12-26	12-26	12-26
Tipo de suelo (según dato plantilla fabricante)	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3	G3
Ángulo de rozamiento ϕ (°)	19-20	19-20	19-20	19-20	19-20	19-20	19-20	19-20	19-20
	G3: medianamente cohesivos. Se incluyen en este grupo las gravas y arenas poco arcillosas o limosas. Porcentaje de fino ($\phi < 0,06$ mm), entre 15 % y 40 %								

Imagen 5. Datos de cálculo para tubería PVC-O

En relación con la **instalación enterrada**, para la tubería se parte de los siguientes datos requeridos:

- Altura de recubrimiento por encima de la generatriz superior del tubo, H , en metros
- Anchura de la zanja al nivel de la generatriz superior del tubo, B , en metros. En caso de instalación bajo terraplén, se considera $B \geq 4DN$
- Ángulo de inclinación de las paredes de la zanja, β , en grados

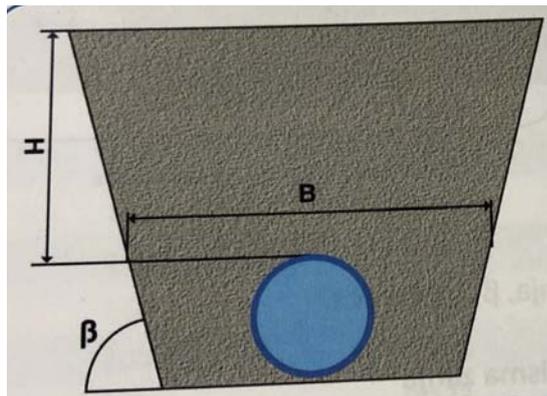


Imagen 6. Zanja tipo. Fuente: Manual Técnico de Diseño de Redes y Utilización. Tubería de PVC Orientado TOM.

Como regla general, cuando no exista tráfico la generatriz superior del tubo estará a una profundidad mínima de 0,6 metros, ampliándose en el caso de tráfico rodado a una profundidad mínima de un metro, una vez verificada mediante el cálculo correspondiente, según la hipótesis más desfavorable prevista para su uso.

En relación con el apoyo en el fondo de zanja, que debe ser homogéneo, uniforme y firme a lo largo de toda la tubería, se tiene en este caso que la cama de apoyo debe tener una compactación uniforme en toda su longitud y envolver el tubo según el ángulo de apoyo 2α .

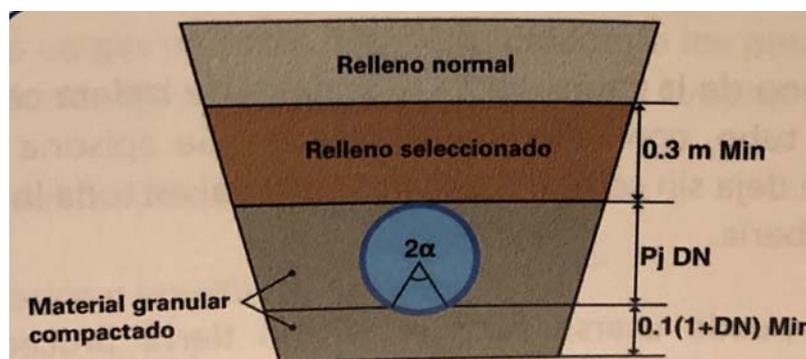


Imagen 7. Zanja tipo y rellenos. Fuente: Manual Técnico de Diseño de Redes y Utilización. Tubería de PVC Orientado TOM.

Resumiendo, para un óptimo comportamiento de la instalación, se debe crear un lecho o cama de arena (u otro material granular fino) con un espesor de entre 10 y 18 cm sobre el que apoye el tubo. En este caso, sobre cama de grava 6/12 para evitar el lavado derivado de la presencia de nivel freático.

Los listados de comprobación se adjuntan en el Apéndice 1.

4 TUBERÍAS DE ACERO

En las tuberías de acero, una vez establecido el diámetro y las condiciones de instalación y funcionamiento, los parámetros a dimensionar son:

- Espesor de pared del tubo
- Módulo de reacción del relleno a compactar, en las tuberías enterradas.
- Tipo de acero empleado (límite elástico)

Esos tres parámetros se definen con la comprobación de 3 hipótesis: Resistencia frente a la presión interna, comprobación de deformación máxima admisible al actuar las cargas externas sobre el tubo, así como verificación del colapso por acciones internas o externas.

Procedimiento recomendado:

La profundidad mínima de las zanjas se determina de forma que la tubería quede protegida frente a las acciones externas y preservada de las variaciones de temperatura. Como criterio general, puede establecerse que la profundidad mínima de enterramiento sea de un metro. Cuando estos recubrimientos no puedan respetarse, deben tomarse las medidas de protección necesarias.

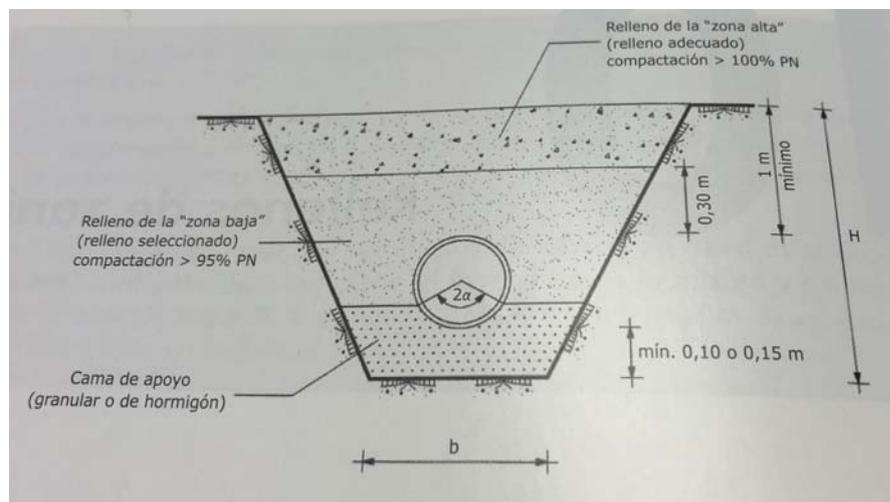


Imagen 8. Zanja tipo y rellenos. Fuente: Tuberías de acero para transporte de agua. Manual Técnico. Noksel.

Respecto a la pendiente de la zanja (Liria, 1995) se recomienda que esta sea de la menos un 0,4 % o un 0,5 % cuando el agua vaya en dirección descendente y del 0,2 % en recorrido ascendente.

La anchura mínima de las zanjas se determina de forma que los operarios trabajen en buenas condiciones, debiendo tenerse en cuenta además el diámetro del tubo, el tipo de unión, la profundidad de zanja, los taludes de paredes laterales, la naturaleza del terreno, etc. En general, como mínimo, debe dejarse un espacio de sesenta a setenta centímetros a cada lado de la junta para

facilitar los trabajos de la unión. Esta exigencia es especialmente importante cuando la soldadura de la junta sea exterior.

La presencia de agua en el interior de las zanjas debe ser evitada, debiendo ser achicada antes de comenzar las tareas de montaje de los tubos.

Una vez ejecutada la excavación de la zanja y tras la ejecución de la cama de apoyo, se realiza el replanteo de la tubería, para lo que se señalan sus vértices y se colocan puntos de referencia, de alineación y de nivel, a partir de los cuales se sitúan los tubos.

El montaje de la tubería debe de realizarlo personal experimentado, que, a su vez, deberá vigilar el posterior relleno de la zanja, en especial la compactación de las zonas más próximas al tubo.

Los rellenos de las zanjas (cama de apoyo y relleno de la zanja propiamente dicho) constituyen una de las unidades de obra más importantes en las tuberías enterradas. En las tuberías de acero las exigencias de compactación y calidad de los rellenos son menores que en otros materiales alternativos

El primer relleno que debe de colocarse es la cama, sobre el que descansará la tubería. La cama de apoyo debe de tener un espesor mínimo bajo la generatriz inferior de la conducción de 10-15 cm. Además, este apoyo, que debe de ser continuo, tanto longitudinal como transversalmente, es recomendable que se disponga con ángulos comprendidos entre 60 ° y 120 °. Es importante observar que estas camas de apoyo deben interrumpirse creando nichos donde alojar las juntas para facilitar la soldadura de las uniones durante el montaje de la conducción.

Una vez instalada y montada la tubería se efectuará el relleno y compactado de la zanja por capas, distinguiendo dos zonas: el relleno envolvente (o de la zona baja) y el relleno principal (o de la zona alta).

El relleno de la zona baja es el más importante, pues es el que contribuye al funcionamiento mecánico de la conducción. Este relleno debe alcanzar una altura de unos 30 cm por encima de la generatriz superior del tubo, empleándose un relleno seleccionado, con un tamaño máximo recomendado de unos 3 cm, y colocándose en capas de pequeño espesor, hasta alcanzar un grado de compactación no menor del 95 % del normal aproximadamente hasta la cota de la clave de la tubería.

El relleno de la zona alta tiene como misión únicamente el cubrimiento de la zanja excavada hasta recuperar el relieve natural del terreno. En consecuencia, basta con emplear un relleno adecuado, con un tamaño máximo recomendado de unos 15 cm, colocándose en tongadas horizontales, de espesor máximo de unos 30-40 cm.

Las tuberías de acero presentan la importante ventaja de que, para el material del relleno, tanto el de la zona baja como el de la alta, suele ser válido, en general, el procedente de la propia excavación de la zanja a menos que sea claramente inadecuado. (Tuberías de acero para transporte de agua. Manual Técnico Noksel España. AENOR Ediciones, 2019)

En el Apéndice 2 se adjuntan los resultados obtenidos de los cálculos realizados por la casa comercial NOKSEL España, siendo válido los diámetros estudiados para las condiciones planteadas.

5 CONCLUSIONES

De los valores obtenidos del cálculo, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

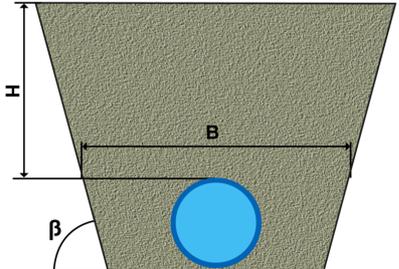
- Tubería de PVC-O se concluye que la tubería soportará los esfuerzos de tierra y de un tráfico inferior a 12 toneladas de carga total, y presión dinámica según diámetro (imagen 5), cumple mientras los recubrimientos sean superiores a 1,00 metros (recubrimientos obtenido en excavación con recubrimiento de un metro debido al aporte de grava y esponjamiento de la tierra de relleno). En la mayor parte de la red la presión máxima no supera los 0,80 MPa, con esta presión es suficiente un recubrimiento de un metro para soportar las cargas de tráfico mencionadas. Las tuberías de PVC-O están instaladas en terrenos que no deben tener carga de tráfico. Debido a esto se establece un recubrimiento de 1,0 metros como mínimo en tramos paralelos al terreno y también de un metro en zona puntuales (como ventosas que ya tiene la protección con arqueta para evitar tránsito de vehículos cercanos, cruces con arroyos, y demás cruces sin carga de tráfico o de baja posibilidad). En los cruces de camino y carretera se instalarán las tuberías de PVC-O con protección de losa de hormigón o tubería de protección.
- La tubería de acero se calcula para la instalación estándar definida en los parámetros de cálculo. Se establece un recubrimiento de 1,0 metros como mínimo en tramos paralelos al terreno y también de un metro en zona puntuales (como ventosas que ya tiene la protección con arqueta para evitar tránsito de vehículos cercanos, cruces con arroyos, y demás cruces sin carga de tráfico o de baja posibilidad). En los cruces de camino y carretera se instalarán las tuberías de acero con protección de losa de hormigón o tubería de protección.
- En la zanja, durante el montaje-enchufe de la tubería, de cualquiera de los materiales, deberá evitarse la presencia de agua. En zonas donde el nivel freático es alto, se tendrán que poner los medios adecuados, métodos de achique como bombas, drenajes, etc. para que las operaciones de enchufe de la tubería con junta elástica se hagan en condiciones perfectamente secas.
- La zanja de alojamiento de la tubería deberá estar rasanteada y con dimensiones mínimas en su base del valor del diámetro exterior de la tubería, incrementado en 0,50 metros en el caso de zanjas para tubería de gran diámetro, a cada lado del mismo, para que se pueda garantizar la realización del apoyo, de material granular, y la realización del compactado de los riñones de los tubos con las debidas garantías.

- La existencia de un nivel freático alto provoca un estado tensional en el tubo mayor que si estuviera el nivel freático en profundidad o no existiera.

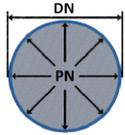
Finalmente se concluye que todos los tubos proyectados cumplen con los criterios establecidos y previstos de instalación (tipo de zanja, profundidad, nivel freático y tráfico rodado), aceptándose que el comportamiento mecánico de los tubos válido conforme a la norma de aplicación.

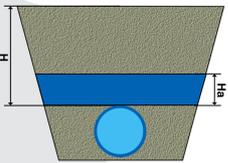
APÉNDICE 1. COMPROBACIÓN TUBERÍAS PVC-O

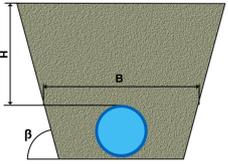
Información general sobre el informe extendido	
Número de informe	2021_02_11_2840
Fecha de última modificación	11 de Febrero de 2021 a las 17:28
Nombre del proyecto	PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO EN LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL CANAL DEL PISUERGA, SECTOR G: ESTACIONES DE BOMBEO, BALSAS Y RED DE RIEGO EN SANTOYO, FROMISTA Y BOADILLA DEL CAMINO. PALENCIA
A la atención de D./Dña.	MARCOS RINCON BENITO
Dirección	C. Gral. Franco, 0, 34450 Astudillo, Palencia
Ciudad / localidad / municipio	PALENCIA
Provincia / región / estado	CASTILLA Y LEÓN
País	ESPAÑA
Promotora	C.R CANAL DE PISUERGA
Ingeniería	C.R CANAL DE PISUERGA
Constructora	
Dirección de obra	None
<p>PROGRAMA DE CÁLCULO MECÁNICO</p> <p>Este programa de cálculo mecánico para tuberías plásticas enterradas de PVC Orientado (PVC-O) TOM®, está basado en las normas de referencia:</p> <p>ATV-DVWK-A 127E:2000 "Cálculo estático de Drenajes y Saneamientos"</p> <p>UNE 53331: 2020 "Tuberías de Poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U), Poli(cloruro de vinilo) orientado (PVC-O), Polietileno (PE) y Polipropileno (PP). Criterio para la comprobación de los tubos a utilizar en conducciones con y sin presión sometidos a cargas externas"</p>	
Resultados del cálculo	
Clase de seguridad A (caso general) - material PVC-O > 2.5	
INSTALACIÓN VÁLIDA	
Características del tubo y de la instalación	

Tipo de conducción	Agua a presión Especificaciones de tubería según: norma europea UNE-EN 17176 - norma internacional ISO 16422 - norma francesa NF T54-948 - norma sudafricana SANS 16422	
Aplicación	Riego	
Nombre de la instalación	SECCIÓN TIPO 160 mm	
Tipo de instalación	Instalación de un tubo TOM® en zanja	

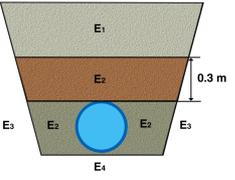
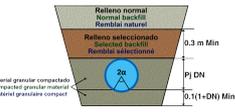


Tubería				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Código del producto	-	-	TOM16016B	
Material del tubo	-	-	PVC-O Clase 500 C 1.4	
Presión nominal	PN	bar	16	
Diámetro nominal	DN	mm	160	
Módulo de elasticidad en flexión transversal. Largo plazo.	$E_{t(lp)}$	N/mm ²	2800,0	
Módulo de elasticidad en flexión transversal. Corto plazo.	$E_{t(cp)}$	N/mm ²	4000,0	
Peso específico	γ_t	kN/m ³	14,0	
Esfuerzo tangencial de diseño del tubo a flexión-tracción. Largo plazo.	$\sigma_{t(lp)}$	N/mm ²	70,0	
Esfuerzo tangencial de diseño del tubo a flexión-tracción. Corto plazo.	$\sigma_{t(cp)}$	N/mm ²	100,0	

Presiones				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Presión interna de trabajo	P_i	bar	8,5	
Presión externa debido al agua	P_e	bar	0,0100000000000000002	
Nivel freático	H_a	m	0,1	

Geometría de la zanja				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Altura de zanja	H	m	1,0	
Anchura de la zanja	B	m	0,8	
Ángulo de inclinación de las paredes de la zanja	β	°	64,0	

Apoyo y material de relleno

	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Tipo de apoyo	-	-	A	 <p>Apoyo Tipo A</p> 
Ángulo de apoyo	2α	°	180	
Módulo de compresión de E ₁	E ₁	N/mm ²	0,8	
Porcentaje proctor E ₁		%	85,0	
Grupo de suelo E ₁		-	G3	
Módulo de compresión de E ₂	E ₂	N/mm ²	16,0	
Porcentaje proctor E ₂		%	95,0	
Grupo de suelo E ₂		-	G1	
Módulo de compresión de E ₃	E ₃	N/mm ²	13,0	
Porcentaje proctor E ₃		%	100,0	
Grupo de suelo E ₃		-	G3	
Módulo de compresión de E ₄	E ₄	N/mm ²	13,0	
Porcentaje proctor E ₄		%	100,0	
Grupo de suelo E ₄		-	G3	
Peso específico del relleno en zanja	-	kN/m ³	20,0	
Peso específico del relleno en terraplén	-	kN/m ³	-	

Tipo de relleno

	Tubo 1
Tipo de relleno	Relleno por capas compactadas contra el suelo natural (sin verificación del grado de compactación), aplicable también para paredes soportadas por tablonés (construcción Berlinesa).

Sobrecargas debido al tráfico

Nome.	Unidades	Tubo 1
-------	----------	--------

Símbolo del vehículo	LT 12	t	12,0	
Número de ejes	-	-	2	
Distancia entre ruedas a	a	m	2,0	
Distancia entre ejes b	b	m	3,0	
Sobrecargas concentradas P_c	P _c	kN	40,0	
Sobrecargas distribuidas P_d	P _d	kN	-	
Coefficiente C_d	C _d	-	-	
Coefficiente de impacto Phi	Phi	-	1,5	

Pavimento				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Altura de la primera capa del firme	h1	m	-	
Altura de la segunda capa del firme	h2	m	-	
Módulo de compresión de la primera capa	E_{f1}	N/mm ²	-	
Módulo de compresión de la segunda capa	E_{f2}	N/mm ²	-	

Determinación de las acciones sobre el tubo. Corto plazo.				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Presión vertical debida al suelo				
Presión vertical debida al suelo	q_v	kN/m ²	11,63	
Presión vertical debida a las sobrecargas concentradas	P_{vc}		24,37	
Presión vertical debida a las cargas distribuidas	P_{vr}		0,00	
Presión vertical total sobre el tubo	q_{vt}		36,00	
Presión lateral debida a la tierra				
Reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo	q_{ht}	kN/m ²	8,89	
Deformación relativa (La deformación no puede ser superior al 5%)				
Deformación relativa	δ_v	%	0,502	
Momentos flectores longitudinales				
Momento flector longitudinal debido a la presión vertical en el tubo				
En la clave	M_{qvt}	kN·m/m	0,054485	
En los riñones			-0,054485	
En la base			0,054485	
Momento flector longitudinal debido a la presión lateral del relleno en el tubo				
En la clave	M_{qh}	kN·m/m	-0,005947	
En los riñones			0,005947	
En la base			-0,005947	
Momento flector longitudinal debido a la reacción horizontal sobre el tubo				

En la clave	M_{qht}	kN·m/m	-0,009744
En los riñones			0,011198
En la base			-0,009744
Momento flector longitudinal debido al peso del tubo			
En la clave	M_t	kN·m/m	0,000128
En los riñones			-0,000146
En la base			0,000164
Momento flector longitudinal debido al peso del agua			
En la clave	M_a	kN·m/m	0,000810
En los riñones			-0,000923
En la base			0,001036
Momento flector longitudinal debido a la presión del agua			
En la clave	M_{pa}	kN·m/m	0,001364
En los riñones			0,001364
En la base			0,001364
Momento longitudinal total			
En la clave	M	kN·m/m	0,041097
En los riñones			-0,037046
En la base			0,041359
Fuerzas normales (axil circunferencial)			
Fuerza normal debida a la presión sobre el tubo			
En la clave	N_{qvt}	kN/m	0,0000
En los riñones			-2,8011
En la base			0,0000
Fuerza normal debida a la presión lateral del relleno sobre el tubo			
En la clave	N_{qh}	kN/m	-0,3057
En los riñones			0,0000
En la base			-0,3057
Fuerza normal debida a la reacción horizontal total en el tubo			
En la clave	N_{qht}	kN/m	-0,3992
En los riñones			0,0000
En la base			-0,3992
Fuerza normal debida al peso del tubo			
En la clave	N_t	kN/m	0,0008
En los riñones			-0,0075
En la base			-0,0008
Fuerza normal debida al peso del agua			

En la clave	N_a	kN/m	0,0353
En los riñones			0,0130
En la base			0,0858
Fuerza normal debida a la presión del agua			
En la clave	N_{pa}	kN/m	64,2684
En los riñones			64,2684
En la base			64,2684
Fuerza normal total			
En la clave	N	kN/m	63,5995
En los riñones			61,4727
En la base			63,6484
Tensiones circunferenciales máximas			
σ en clave	σ	N/mm ²	27,52
σ en riñones			25,75
σ en base			27,62
Coefficientes de seguridad a rotura			
Verificación de esfuerzos tangenciales en la clave	v	-	3,63
Verificación de esfuerzos tangenciales en riñones			3,88
Verificación de esfuerzos tangenciales en la base			3,62
Coefficientes de seguridad al aplastamiento			
η debido a la acción de la tierra y el agua	η_3	-	37,87

Determinación de las acciones sobre el tubo. Largo plazo.			
	Nome.	Unidades	Tubo 1
Presión vertical debida al suelo			
Presión vertical debida al suelo	q_v	kN/m ²	11,03
Presión vertical debida a las sobrecargas concentradas	P_{vc}		24,37
Presión vertical debida a las cargas distribuidas	P_{vr}		0,00
Presión vertical total sobre el tubo	q_{vt}		35,40
Presión lateral debida a la tierra			

Reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo	q_{ht}	kN/m^2	8,37
Deformación relativa (La deformación no puede ser superior al 5%)			
Deformación relativa	δ_v	%	0,553
Momentos flectores longitudinales			
Momento flector longitudinal debido a la presión vertical en el tubo			
En la clave	M_{qvt}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,053578
En los riñones			-0,053578
En la base			0,053578
Momento flector longitudinal debido a la presión lateral del relleno en el tubo			
En la clave	M_{qh}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	-0,006007
En los riñones			0,006007
En la base			-0,006007
Momento flector longitudinal debido a la reacción horizontal sobre el tubo			
En la clave	M_{qht}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	-0,009176
En los riñones			0,010545
En la base			-0,009176
Momento flector longitudinal debido al peso del tubo			
En la clave	M_t	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,000128
En los riñones			-0,000146
En la base			0,000164
Momento flector longitudinal debido al peso del agua			
En la clave	M_a	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,000810
En los riñones			-0,000923
En la base			0,001036
Momento flector longitudinal debido a la presión del agua			
En la clave	M_{pa}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,001364
En los riñones			0,001364
En la base			0,001364
Momento longitudinal total			
En la clave	M	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,040698
En los riñones			-0,036731
En la base			0,040959
Fuerzas normales (axil circunferencial)			
Fuerza normal debida a la presión sobre el tubo			

En la clave	N_{qvt}	kN/m	0,0000
En los riñones			-2,7545
En la base			0,0000
Fuerza normal debida a la presión lateral del relleno sobre el tubo			
En la clave	N_{qh}	kN/m	-0,3088
En los riñones			0,0000
En la base			-0,3088
Fuerza normal debida a la reacción horizontal total en el tubo			
En la clave	N_{qht}	kN/m	-0,3760
En los riñones			0,0000
En la base			-0,3760
Fuerza normal debida al peso del tubo			
En la clave	N_t	kN/m	0,0008
En los riñones			-0,0075
En la base			-0,0008
Fuerza normal debida al peso del agua			
En la clave	N_a	kN/m	0,0353
En los riñones			0,0130
En la base			0,0858
Fuerza normal debida a la presión del agua			
En la clave	N_{pa}	kN/m	64,2684
En los riñones			64,2684
En la base			64,2684
Fuerza normal total			
En la clave	N	kN/m	63,6197
En los riñones			61,5194
En la base			63,6685
Tensiones circunferenciales máximas			
σ en clave	σ	N/mm ²	27,40
σ en riñones			25,66
σ en base			27,49
Coefficientes de seguridad a rotura			
Verificación de esfuerzos tangenciales en la clave	v	-	2,55
Verificación de esfuerzos tangenciales en riñones			2,73
Verificación de esfuerzos tangenciales en la base			2,55

Coeficientes de seguridad al aplastamiento			
η debido a la acción de la tierra y el agua	η_3	-	31,92

ADVERTENCIA IMPORTANTE: LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD

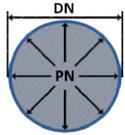
Molecor pone a disposición el Programa como una herramienta para facilitar su trabajo a los profesionales pero no asume ninguna responsabilidad como asesor o prestador de servicios. Los resultados del cálculo obtenidos deben considerarse orientativos y tienen una finalidad meramente informativa. El diseño de un proyecto y la ejecución de la obra son responsabilidad del proyectista del constructor respectivamente. El proyectista usuario del Programa será exclusivamente responsable de la decisión de utilizar el Programa como herramienta auxiliar en la prestación de sus servicios profesionales y del correcto cálculo de los elementos proyectados, teniendo en último término la responsabilidad de los cálculos realizados en el diseño de la instalación. En particular, será entera y exclusivamente responsable de la corrección de los datos introducidos por el cálculo y sus correspondientes resultados. Aunque **Molecor** ha hecho todos los esfuerzos para que el Programa responda a sus finalidades y funcione de forma regular de acuerdo con sus especificaciones, en el estado de la técnica, no puede garantizar su funcionamiento continuo ni la total ausencia de posibles fallos o incidencias en el funcionamiento del Programa, en particular, por interacción con otros elementos (ordenadores, servidores, comunicaciones electrónicas, etc.) y con el propio usuario. En consecuencia, **Molecor** NO RESPONDERA DE NINGUN DAÑO DIRECTO O INDIRECTO, PREVISIBLE O IMPREVISTO DERIVADO DEL USO DEL PROGRAMA SALVO EN CASO QUE SE DEMUESTRE SU DOLO O NEGLIGENCIA GRAVE EN EL DISEÑO U OPERACIÓN DEL SOFTWARE. En particular, **Molecor** NO SE RESPONSABILIZA:

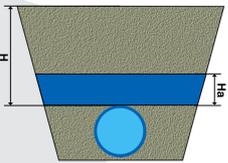
1. de los posibles resultados erróneos causados por errores, omisiones y/o inexactitudes en los datos introducidos por el usuario.
2. de la mala utilización no conforme con las especificaciones del Programa.
3. del uso que se haga de la información proporcionada por el Programa y no realización de razonables comprobaciones para verificar la corrección de la misma.

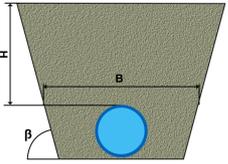
Información general sobre el informe extendido	
Número de informe	2021_02_11_2841
Fecha de última modificación	11 de Febrero de 2021 a las 17:28
Nombre del proyecto	PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO EN LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL CANAL DEL PISUERGA, SECTOR G: ESTACIONES DE BOMBEO, BALSAS Y RED DE RIEGO EN SANTOYO, FROMISTA Y BOADILLA DEL CAMINO. PALENCIA
A la atención de D./Dña.	MARCOS RINCON BENITO
Dirección	C. Gral. Franco, 0, 34450 Astudillo, Palencia
Ciudad / localidad / municipio	PALENCIA
Provincia / región / estado	CASTILLA Y LEÓN
País	ESPAÑA
Promotora	C.R CANAL DE PISUERGA
Ingeniería	C.R CANAL DE PISUERGA
Constructora	
Dirección de obra	None
<p>PROGRAMA DE CÁLCULO MECÁNICO</p> <p>Este programa de cálculo mecánico para tuberías plásticas enterradas de PVC Orientado (PVC-O) TOM®, está basado en las normas de referencia:</p> <p>ATV-DVWK-A 127E:2000 "Cálculo estático de Drenajes y Saneamientos"</p> <p>UNE 53331: 2020 "Tuberías de Poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U), Poli(cloruro de vinilo) orientado (PVC-O), Polietileno (PE) y Polipropileno (PP). Criterio para la comprobación de los tubos a utilizar en conducciones con y sin presión sometidos a cargas externas"</p>	
Resultados del cálculo	
Clase de seguridad A (caso general) - material PVC-O > 2.5	
INSTALACIÓN VÁLIDA	
Características del tubo y de la instalación	

Tipo de conducción	Agua a presión Especificaciones de tubería según: norma europea UNE-EN 17176 - norma internacional ISO 16422 - norma francesa NF T54-948 - norma sudafricana SANS 16422	
Aplicación	Riego	
Nombre de la instalación	SECCIÓN TIPO 200 mm	
Tipo de instalación	Instalación de un tubo TOM® en zanja	

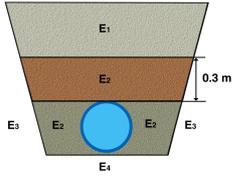
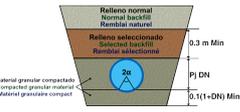


Tubería				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Código del producto	-	-	TOM20016B	
Material del tubo	-	-	PVC-O Clase 500 C 1.4	
Presión nominal	PN	bar	16	
Diámetro nominal	DN	mm	200	
Módulo de elasticidad en flexión transversal. Largo plazo.	$E_{t(lp)}$	N/mm ²	2800,0	
Módulo de elasticidad en flexión transversal. Corto plazo.	$E_{t(cp)}$	N/mm ²	4000,0	
Peso específico	γ_t	kN/m ³	14,0	
Esfuerzo tangencial de diseño del tubo a flexión-tracción. Largo plazo.	$\sigma_{t(lp)}$	N/mm ²	70,0	
Esfuerzo tangencial de diseño del tubo a flexión-tracción. Corto plazo.	$\sigma_{t(cp)}$	N/mm ²	100,0	

Presiones				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Presión interna de trabajo	P_i	bar	8,5	
Presión externa debido al agua	P_e	bar	0,0100000000000000002	
Nivel freático	H_a	m	0,1	

Geometría de la zanja				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Altura de zanja	H	m	1,0	
Anchura de la zanja	B	m	0,8	
Ángulo de inclinación de las paredes de la zanja	β	°	64,0	

Apoyo y material de relleno

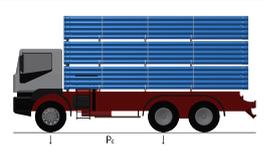
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Tipo de apoyo	-	-	A	 <p>Apoyo Tipo A</p> 
Ángulo de apoyo	2α	°	180	
Módulo de compresión de E ₁	E ₁	N/mm ²	0,8	
Porcentaje proctor E ₁		%	85,0	
Grupo de suelo E ₁		-	G3	
Módulo de compresión de E ₂	E ₂	N/mm ²	16,0	
Porcentaje proctor E ₂		%	95,0	
Grupo de suelo E ₂		-	G1	
Módulo de compresión de E ₃	E ₃	N/mm ²	13,0	
Porcentaje proctor E ₃		%	100,0	
Grupo de suelo E ₃		-	G3	
Módulo de compresión de E ₄	E ₄	N/mm ²	13,0	
Porcentaje proctor E ₄		%	100,0	
Grupo de suelo E ₄		-	G3	
Peso específico del relleno en zanja	-	kN/m ³	20,0	
Peso específico del relleno en terraplén	-	kN/m ³	-	

Tipo de relleno

	Tubo 1
Tipo de relleno	Relleno por capas compactadas contra el suelo natural (sin verificación del grado de compactación), aplicable también para paredes soportadas por tablonés (construcción Berlinesa).

Sobrecargas debido al tráfico

Nome.	Unidades	Tubo 1
-------	----------	--------

Símbolo del vehículo	LT 12	t	12,0	
Número de ejes	-	-	2	
Distancia entre ruedas a	a	m	2,0	
Distancia entre ejes b	b	m	3,0	
Sobrecargas concentradas P_c	P_c	kN	40,0	
Sobrecargas distribuidas P_d	P_d	kN	-	
Coefficiente C_d	C_d	-	-	
Coefficiente de impacto Φ	Φ	-	1,5	

Pavimento				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Altura de la primera capa del firme	h1	m	-	
Altura de la segunda capa del firme	h2	m	-	
Módulo de compresión de la primera capa	E_{f1}	N/mm ²	-	
Módulo de compresión de la segunda capa	E_{f2}	N/mm ²	-	

Determinación de las acciones sobre el tubo. Corto plazo.				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Presión vertical debida al suelo				
Presión vertical debida al suelo	q_v	kN/m ²	11,72	
Presión vertical debida a las sobrecargas concentradas	P_{vc}		24,31	
Presión vertical debida a las cargas distribuidas	P_{vr}		0,00	
Presión vertical total sobre el tubo	q_{vt}		36,02	
Presión lateral debida a la tierra				
Reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo	q_{ht}	kN/m ²	8,98	
Deformación relativa (La deformación no puede ser superior al 5%)				
Deformación relativa	δ_v	%	0,511	
Momentos flectores longitudinales				
Momento flector longitudinal debido a la presión vertical en el tubo				
En la clave	M_{qvt}	kN·m/m	0,085184	
En los riñones			-0,085184	
En la base			0,085184	
Momento flector longitudinal debido a la presión lateral del relleno en el tubo				
En la clave	M_{qh}	kN·m/m	-0,009277	
En los riñones			0,009277	
En la base			-0,009277	
Momento flector longitudinal debido a la reacción horizontal sobre el tubo				

En la clave	M_{qht}	kN·m/m	-0,015376
En los riñones			0,017670
En la base			-0,015376
Momento flector longitudinal debido al peso del tubo			
En la clave	M_t	kN·m/m	0,000251
En los riñones			-0,000286
En la base			0,000321
Momento flector longitudinal debido al peso del agua			
En la clave	M_a	kN·m/m	0,001582
En los riñones			-0,001803
En la base			0,002024
Momento flector longitudinal debido a la presión del agua			
En la clave	M_{pa}	kN·m/m	0,002134
En los riñones			0,002134
En la base			0,002134
Momento longitudinal total			
En la clave	M	kN·m/m	0,064497
En los riñones			-0,058192
En la base			0,065008
Fuerzas normales (axil circunferencial)			
Fuerza normal debida a la presión sobre el tubo			
En la clave	N_{qvt}	kN/m	0,0000
En los riñones			-3,5035
En la base			0,0000
Fuerza normal debida a la presión lateral del relleno sobre el tubo			
En la clave	N_{qh}	kN/m	-0,3816
En los riñones			0,0000
En la base			-0,3816
Fuerza normal debida a la reacción horizontal total en el tubo			
En la clave	N_{qht}	kN/m	-0,5040
En los riñones			0,0000
En la base			-0,5040
Fuerza normal debida al peso del tubo			
En la clave	N_t	kN/m	0,0012
En los riñones			-0,0117
En la base			-0,0012
Fuerza normal debida al peso del agua			

En la clave	N_a	kN/m	0,0551
En los riñones			0,0203
En la base			0,1340
Fuerza normal debida a la presión del agua			
En la clave	N_{pa}	kN/m	80,3333
En los riñones			80,3333
En la base			80,3333
Fuerza normal total			
En la clave	N	kN/m	79,5041
En los riñones			76,8384
En la base			79,5805
Tensiones circunferenciales máximas			
σ en clave	σ	N/mm ²	27,56
σ en riñones			25,80
σ en base			27,68
Coefficientes de seguridad a rotura			
Verificación de esfuerzos tangenciales en la clave	v	-	3,63
Verificación de esfuerzos tangenciales en riñones			3,88
Verificación de esfuerzos tangenciales en la base			3,61
Coefficientes de seguridad al aplastamiento			
η debido a la acción de la tierra y el agua	η_3	-	37,04

Determinación de las acciones sobre el tubo. Largo plazo.			
	Nome.	Unidades	Tubo 1
Presión vertical debida al suelo			
Presión vertical debida al suelo	q_v	kN/m ²	11,13
Presión vertical debida a las sobrecargas concentradas	P_{vc}		24,31
Presión vertical debida a las cargas distribuidas	P_{vr}		0,00
Presión vertical total sobre el tubo	q_{vt}		35,44
Presión lateral debida a la tierra			

Reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo	q_{ht}	kN/m^2	8,49
Deformación relativa (La deformación no puede ser superior al 5%)			
Deformación relativa	δ_v	%	0,563
Momentos flectores longitudinales			
Momento flector longitudinal debido a la presión vertical en el tubo			
En la clave	M_{qvt}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,083794
En los riñones			-0,083794
En la base			0,083794
Momento flector longitudinal debido a la presión lateral del relleno en el tubo			
En la clave	M_{qh}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	-0,009370
En los riñones			0,009370
En la base			-0,009370
Momento flector longitudinal debido a la reacción horizontal sobre el tubo			
En la clave	M_{qht}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	-0,014530
En los riñones			0,016697
En la base			-0,014530
Momento flector longitudinal debido al peso del tubo			
En la clave	M_t	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,000251
En los riñones			-0,000286
En la base			0,000321
Momento flector longitudinal debido al peso del agua			
En la clave	M_a	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,001582
En los riñones			-0,001803
En la base			0,002024
Momento flector longitudinal debido a la presión del agua			
En la clave	M_{pa}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,002134
En los riñones			0,002134
En la base			0,002134
Momento longitudinal total			
En la clave	M	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,063861
En los riñones			-0,057682
En la base			0,064372
Fuerzas normales (axil circunferencial)			
Fuerza normal debida a la presión sobre el tubo			

En la clave	N_{qvt}	kN/m	0,0000
En los riñones			-3,4464
En la base			0,0000
Fuerza normal debida a la presión lateral del relleno sobre el tubo			
En la clave	N_{qh}	kN/m	-0,3854
En los riñones			0,0000
En la base			-0,3854
Fuerza normal debida a la reacción horizontal total en el tubo			
En la clave	N_{qht}	kN/m	-0,4763
En los riñones			0,0000
En la base			-0,4763
Fuerza normal debida al peso del tubo			
En la clave	N_t	kN/m	0,0012
En los riñones			-0,0117
En la base			-0,0012
Fuerza normal debida al peso del agua			
En la clave	N_a	kN/m	0,0551
En los riñones			0,0203
En la base			0,1340
Fuerza normal debida a la presión del agua			
En la clave	N_{pa}	kN/m	80,3333
En los riñones			80,3333
En la base			80,3333
Fuerza normal total			
En la clave	N	kN/m	79,5280
En los riñones			76,8955
En la base			79,6044
Tensiones circunferenciales máximas			
σ en clave	σ	N/mm ²	27,44
σ en riñones			25,71
σ en base			27,56
Coefficientes de seguridad a rotura			
Verificación de esfuerzos tangenciales en la clave	v	-	2,55
Verificación de esfuerzos tangenciales en riñones			2,72
Verificación de esfuerzos tangenciales en la base			2,54

Coeficientes de seguridad al aplastamiento			
η debido a la acción de la tierra y el agua	η_3	-	31,18

ADVERTENCIA IMPORTANTE: LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD

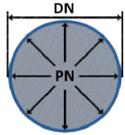
Molecor pone a disposición el Programa como una herramienta para facilitar su trabajo a los profesionales pero no asume ninguna responsabilidad como asesor o prestador de servicios. Los resultados del cálculo obtenidos deben considerarse orientativos y tienen una finalidad meramente informativa. El diseño de un proyecto y la ejecución de la obra son responsabilidad del proyectista del constructor respectivamente. El proyectista usuario del Programa será exclusivamente responsable de la decisión de utilizar el Programa como herramienta auxiliar en la prestación de sus servicios profesionales y del correcto cálculo de los elementos proyectados, teniendo en último término la responsabilidad de los cálculos realizados en el diseño de la instalación. En particular, será entera y exclusivamente responsable de la corrección de los datos introducidos por el cálculo y sus correspondientes resultados. Aunque **Molecor** ha hecho todos los esfuerzos para que el Programa responda a sus finalidades y funcione de forma regular de acuerdo con sus especificaciones, en el estado de la técnica, no puede garantizar su funcionamiento continuo ni la total ausencia de posibles fallos o incidencias en el funcionamiento del Programa, en particular, por interacción con otros elementos (ordenadores, servidores, comunicaciones electrónicas, etc.) y con el propio usuario. En consecuencia, **Molecor** NO RESPONDERA DE NINGUN DAÑO DIRECTO O INDIRECTO, PREVISIBLE O IMPREVISTO DERIVADO DEL USO DEL PROGRAMA SALVO EN CASO QUE SE DEMUESTRE SU DOLO O NEGLIGENCIA GRAVE EN EL DISEÑO U OPERACIÓN DEL SOFTWARE. En particular, **Molecor** NO SE RESPONSABILIZA:

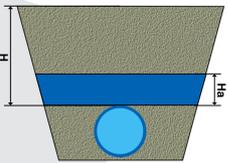
1. de los posibles resultados erróneos causados por errores, omisiones y/o inexactitudes en los datos introducidos por el usuario.
2. de la mala utilización no conforme con las especificaciones del Programa.
3. del uso que se haga de la información proporcionada por el Programa y no realización de razonables comprobaciones para verificar la corrección de la misma.

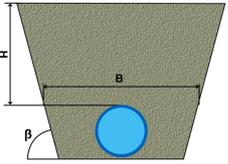
Información general sobre el informe extendido	
Número de informe	2021_02_26_2909
Fecha de última modificación	11 de Febrero de 2021 a las 17:28
Nombre del proyecto	PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO EN LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL CANAL DEL PISUERGA, SECTOR G: ESTACIONES DE BOMBEO, BALSAS Y RED DE RIEGO EN SANTOYO, FROMISTA Y BOADILLA DEL CAMINO. PALENCIA
A la atención de D./Dña.	MARCOS RINCON BENITO
Dirección	C. Gral. Franco, 0, 34450 Astudillo, Palencia
Ciudad / localidad / municipio	PALENCIA
Provincia / región / estado	CASTILLA Y LEÓN
País	ESPAÑA
Promotora	C.R CANAL DE PISUERGA
Ingeniería	C.R CANAL DE PISUERGA
Constructora	
Dirección de obra	None
<p>PROGRAMA DE CÁLCULO MECÁNICO</p> <p>Este programa de cálculo mecánico para tuberías plásticas enterradas de PVC Orientado (PVC-O) TOM®, está basado en las normas de referencia:</p> <p>ATV-DVWK-A 127E:2000 "Cálculo estático de Drenajes y Saneamientos"</p> <p>UNE 53331: 2020 "Tuberías de Poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U), Poli(cloruro de vinilo) orientado (PVC-O), Polietileno (PE) y Polipropileno (PP). Criterio para la comprobación de los tubos a utilizar en conducciones con y sin presión sometidos a cargas externas"</p>	
Resultados del cálculo	
Clase de seguridad A (caso general) - material PVC-O > 2.5	
INSTALACIÓN VÁLIDA	
Características del tubo y de la instalación	

Tipo de conducción	Agua a presión Especificaciones de tubería según: norma europea UNE-EN 17176 - norma internacional ISO 16422 - norma francesa NF T54-948 - norma sudafricana SANS 16422	
Aplicación	Riego	
Nombre de la instalación	SECCIÓN TIPO 250 mm	
Tipo de instalación	Instalación de un tubo TOM® en zanja	

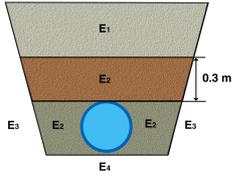
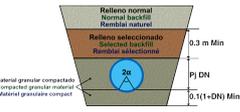


Tubería				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Código del producto	-	-	TOM25016B	
Material del tubo	-	-	PVC-O Clase 500 C 1.4	
Presión nominal	PN	bar	16	
Diámetro nominal	DN	mm	250	
Módulo de elasticidad en flexión transversal. Largo plazo.	$E_{t(lp)}$	N/mm ²	2800,0	
Módulo de elasticidad en flexión transversal. Corto plazo.	$E_{t(cp)}$	N/mm ²	4000,0	
Peso específico	γ_t	kN/m ³	14,0	
Esfuerzo tangencial de diseño del tubo a flexión-tracción. Largo plazo.	$\sigma_{t(lp)}$	N/mm ²	70,0	
Esfuerzo tangencial de diseño del tubo a flexión-tracción. Corto plazo.	$\sigma_{t(cp)}$	N/mm ²	100,0	

Presiones				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Presión interna de trabajo	P_i	bar	8,5	
Presión externa debido al agua	P_e	bar	0,010000000000000002	
Nivel freático	H_a	m	0,1	

Geometría de la zanja				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Altura de zanja	H	m	1,0	
Anchura de la zanja	B	m	0,8	
Ángulo de inclinación de las paredes de la zanja	β	°	64,0	

Apoyo y material de relleno

	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Tipo de apoyo	-	-	A	 <p>Apoyo Tipo A</p> 
Ángulo de apoyo	2α	°	180	
Módulo de compresión de E ₁	E ₁	N/mm ²	0,8	
Porcentaje proctor E ₁		%	85,0	
Grupo de suelo E ₁		-	G3	
Módulo de compresión de E ₂	E ₂	N/mm ²	16,0	
Porcentaje proctor E ₂		%	95,0	
Grupo de suelo E ₂		-	G1	
Módulo de compresión de E ₃	E ₃	N/mm ²	13,0	
Porcentaje proctor E ₃		%	100,0	
Grupo de suelo E ₃		-	G3	
Módulo de compresión de E ₄	E ₄	N/mm ²	13,0	
Porcentaje proctor E ₄		%	100,0	
Grupo de suelo E ₄		-	G3	
Peso específico del relleno en zanja	-	kN/m ³	20,0	
Peso específico del relleno en terraplén	-	kN/m ³	-	

Tipo de relleno

	Tubo 1
Tipo de relleno	Relleno por capas compactadas contra el suelo natural (sin verificación del grado de compactación), aplicable también para paredes soportadas por tablonas (construcción Berlinesa).

Sobrecargas debido al tráfico

Nome.	Unidades	Tubo 1
-------	----------	--------

Símbolo del vehículo	LT 12	t	12,0	
Número de ejes	-	-	2	
Distancia entre ruedas a	a	m	2,0	
Distancia entre ejes b	b	m	3,0	
Sobrecargas concentradas P_c	P_c	kN	40,0	
Sobrecargas distribuidas P_d	P_d	kN	-	
Coefficiente C_d	C_d	-	-	
Coefficiente de impacto Φ	Φ	-	1,5	

Pavimento				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Altura de la primera capa del firme	h_1	m	-	
Altura de la segunda capa del firme	h_2	m	-	
Módulo de compresión de la primera capa	E_{f1}	N/mm ²	-	
Módulo de compresión de la segunda capa	E_{f2}	N/mm ²	-	

Determinación de las acciones sobre el tubo. Corto plazo.				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Presión vertical debida al suelo				
Presión vertical debida al suelo	q_v	kN/m ²	13,38	
Presión vertical debida a las sobrecargas concentradas	P_{vc}		24,21	
Presión vertical debida a las cargas distribuidas	P_{vr}		0,00	
Presión vertical total sobre el tubo	q_{vt}		37,58	
Presión lateral debida a la tierra				
Reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo	q_{ht}	kN/m ²	10,88	
Deformación relativa (La deformación no puede ser superior al 5%)				
Deformación relativa	δ_v	%	0,546	
Momentos flectores longitudinales				
Momento flector longitudinal debido a la presión vertical en el tubo				
En la clave	M_{qvt}	kN·m/m	0,138859	
En los riñones			-0,138859	
En la base			0,138859	
Momento flector longitudinal debido a la presión lateral del relleno en el tubo				
En la clave	M_{qh}	kN·m/m	-0,014469	
En los riñones			0,014469	
En la base			-0,014469	
Momento flector longitudinal debido a la reacción horizontal sobre el tubo				

En la clave	M_{qht}	kN·m/m	-0,029100
En los riñones			0,033441
En la base			-0,029100
Momento flector longitudinal debido al peso del tubo			
En la clave	M_t	kN·m/m	0,000490
En los riñones			-0,000558
En la base			0,000626
Momento flector longitudinal debido al peso del agua			
En la clave	M_a	kN·m/m	0,003090
En los riñones			-0,003522
En la base			0,003953
Momento flector longitudinal debido a la presión del agua			
En la clave	M_{pa}	kN·m/m	0,003331
En los riñones			0,003331
En la base			0,003331
Momento longitudinal total			
En la clave	M	kN·m/m	0,102201
En los riñones			-0,091697
En la base			0,103200
Fuerzas normales (axil circunferencial)			
Fuerza normal debida a la presión sobre el tubo			
En la clave	N_{qvt}	kN/m	0,0000
En los riñones			-4,5689
En la base			0,0000
Fuerza normal debida a la presión lateral del relleno sobre el tubo			
En la clave	N_{qh}	kN/m	-0,4761
En los riñones			0,0000
En la base			-0,4761
Fuerza normal debida a la reacción horizontal total en el tubo			
En la clave	N_{qht}	kN/m	-0,7631
En los riñones			0,0000
En la base			-0,7631
Fuerza normal debida al peso del tubo			
En la clave	N_t	kN/m	0,0019
En los riñones			-0,0183
En la base			-0,0019
Fuerza normal debida al peso del agua			

En la clave	N_a	kN/m	0,0862
En los riñones			0,0318
En la base			0,2094
Fuerza normal debida a la presión del agua			
En la clave	N_{pa}	kN/m	100,4187
En los riñones			100,4187
En la base			100,4187
Fuerza normal total			
En la clave	N	kN/m	99,2677
En los riñones			95,8633
En la base			99,3870
Tensiones circunferenciales máximas			
σ en clave	σ	N/mm ²	27,75
σ en riñones			25,89
σ en base			27,89
Coefficientes de seguridad a rotura			
Verificación de esfuerzos tangenciales en la clave	v	-	3,60
Verificación de esfuerzos tangenciales en riñones			3,86
Verificación de esfuerzos tangenciales en la base			3,59
Coefficientes de seguridad al aplastamiento			
η debido a la acción de la tierra y el agua	η_3	-	34,76

Determinación de las acciones sobre el tubo. Largo plazo.			
	Nome.	Unidades	Tubo 1
Presión vertical debida al suelo			
Presión vertical debida al suelo	q_v	kN/m ²	12,96
Presión vertical debida a las sobrecargas concentradas	P_{vc}		24,21
Presión vertical debida a las cargas distribuidas	P_{vr}		0,00
Presión vertical total sobre el tubo	q_{vt}		37,16
Presión lateral debida a la tierra			

Reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo	q_{ht}	kN/m^2	10,64
Deformación relativa (La deformación no puede ser superior al 5%)			
Deformación relativa	δ_v	%	0,604
Momentos flectores longitudinales			
Momento flector longitudinal debido a la presión vertical en el tubo			
En la clave	M_{qvt}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,137300
En los riñones			-0,137300
En la base			0,137300
Momento flector longitudinal debido a la presión lateral del relleno en el tubo			
En la clave	M_{qh}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	-0,014611
En los riñones			0,014611
En la base			-0,014611
Momento flector longitudinal debido a la reacción horizontal sobre el tubo			
En la clave	M_{qht}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	-0,028468
En los riñones			0,032715
En la base			-0,028468
Momento flector longitudinal debido al peso del tubo			
En la clave	M_t	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,000490
En los riñones			-0,000558
En la base			0,000626
Momento flector longitudinal debido al peso del agua			
En la clave	M_a	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,003090
En los riñones			-0,003522
En la base			0,003953
Momento flector longitudinal debido a la presión del agua			
En la clave	M_{pa}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,003331
En los riñones			0,003331
En la base			0,003331
Momento longitudinal total			
En la clave	M	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,101133
En los riñones			-0,090723
En la base			0,102131
Fuerzas normales (axil circunferencial)			
Fuerza normal debida a la presión sobre el tubo			

En la clave	N_{qvt}	kN/m	0,0000
En los riñones			-4,5176
En la base			0,0000
Fuerza normal debida a la presión lateral del relleno sobre el tubo			
En la clave	N_{qh}	kN/m	-0,4807
En los riñones			0,0000
En la base			-0,4807
Fuerza normal debida a la reacción horizontal total en el tubo			
En la clave	N_{qht}	kN/m	-0,7465
En los riñones			0,0000
En la base			-0,7465
Fuerza normal debida al peso del tubo			
En la clave	N_t	kN/m	0,0019
En los riñones			-0,0183
En la base			-0,0019
Fuerza normal debida al peso del agua			
En la clave	N_a	kN/m	0,0862
En los riñones			0,0318
En la base			0,2094
Fuerza normal debida a la presión del agua			
En la clave	N_{pa}	kN/m	100,4187
En los riñones			100,4187
En la base			100,4187
Fuerza normal total			
En la clave	N	kN/m	99,2796
En los riñones			95,9146
En la base			99,3990
Tensiones circunferenciales máximas			
σ en clave	σ	N/mm ²	27,61
σ en riñones			25,77
σ en base			27,76
Coefficientes de seguridad a rotura			
Verificación de esfuerzos tangenciales en la clave	v	-	2,54
Verificación de esfuerzos tangenciales en riñones			2,72
Verificación de esfuerzos tangenciales en la base			2,52

Coeficientes de seguridad al aplastamiento			
η debido a la acción de la tierra y el agua	η_3	-	29,10

ADVERTENCIA IMPORTANTE: LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD

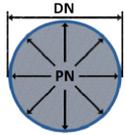
Molecor pone a disposición el Programa como una herramienta para facilitar su trabajo a los profesionales pero no asume ninguna responsabilidad como asesor o prestador de servicios. Los resultados del cálculo obtenidos deben considerarse orientativos y tienen una finalidad meramente informativa. El diseño de un proyecto y la ejecución de la obra son responsabilidad del proyectista del constructor respectivamente. El proyectista usuario del Programa será exclusivamente responsable de la decisión de utilizar el Programa como herramienta auxiliar en la prestación de sus servicios profesionales y del correcto cálculo de los elementos proyectados, teniendo en último término la responsabilidad de los cálculos realizados en el diseño de la instalación. En particular, será entera y exclusivamente responsable de la corrección de los datos introducidos por el cálculo y sus correspondientes resultados. Aunque **Molecor** ha hecho todos los esfuerzos para que el Programa responda a sus finalidades y funcione de forma regular de acuerdo con sus especificaciones, en el estado de la técnica, no puede garantizar su funcionamiento continuo ni la total ausencia de posibles fallos o incidencias en el funcionamiento del Programa, en particular, por interacción con otros elementos (ordenadores, servidores, comunicaciones electrónicas, etc.) y con el propio usuario. En consecuencia, **Molecor** NO RESPONDERA DE NINGUN DAÑO DIRECTO O INDIRECTO, PREVISIBLE O IMPREVISTO DERIVADO DEL USO DEL PROGRAMA SALVO EN CASO QUE SE DEMUESTRE SU DOLO O NEGLIGENCIA GRAVE EN EL DISEÑO U OPERACIÓN DEL SOFTWARE. En particular, **Molecor** NO SE RESPONSABILIZA:

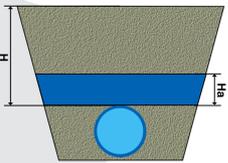
1. de los posibles resultados erróneos causados por errores, omisiones y/o inexactitudes en los datos introducidos por el usuario.
2. de la mala utilización no conforme con las especificaciones del Programa.
3. del uso que se haga de la información proporcionada por el Programa y no realización de razonables comprobaciones para verificar la corrección de la misma.

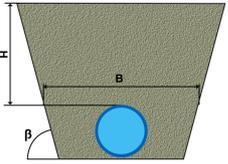
Información general sobre el informe extendido	
Número de informe	2021_02_11_2842
Fecha de última modificación	11 de Febrero de 2021 a las 17:28
Nombre del proyecto	PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO EN LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL CANAL DEL PISUERGA, SECTOR G: ESTACIONES DE BOMBEO, BALSAS Y RED DE RIEGO EN SANTOYO, FROMISTA Y BOADILLA DEL CAMINO. PALENCIA
A la atención de D./Dña.	MARCOS RINCON BENITO
Dirección	C. Gral. Franco, 0, 34450 Astudillo, Palencia
Ciudad / localidad / municipio	PALENCIA
Provincia / región / estado	CASTILLA Y LEÓN
País	ESPAÑA
Promotora	C.R CANAL DE PISUERGA
Ingeniería	C.R CANAL DE PISUERGA
Constructora	
Dirección de obra	None
<p>PROGRAMA DE CÁLCULO MECÁNICO</p> <p>Este programa de cálculo mecánico para tuberías plásticas enterradas de PVC Orientado (PVC-O) TOM®, está basado en las normas de referencia:</p> <p>ATV-DVWK-A 127E:2000 "Cálculo estático de Drenajes y Saneamientos"</p> <p>UNE 53331: 2020 "Tuberías de Poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U), Poli(cloruro de vinilo) orientado (PVC-O), Polietileno (PE) y Polipropileno (PP). Criterio para la comprobación de los tubos a utilizar en conducciones con y sin presión sometidos a cargas externas"</p>	
Resultados del cálculo	
Clase de seguridad A (caso general) - material PVC-O > 2.5	
INSTALACIÓN VÁLIDA	
Características del tubo y de la instalación	

Tipo de conducción	Agua a presión Especificaciones de tubería según: norma europea UNE-EN 17176 - norma internacional ISO 16422 - norma francesa NF T54-948 - norma sudafricana SANS 16422	
Aplicación	Riego	
Nombre de la instalación	SECCIÓN TIPO 315 mm	
Tipo de instalación	Instalación de un tubo TOM® en zanja	

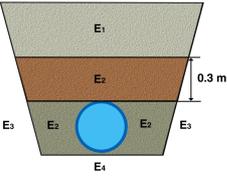


Tubería				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Código del producto	-	-	TOM31516B	
Material del tubo	-	-	PVC-O Clase 500 C 1.4	
Presión nominal	PN	bar	16	
Diámetro nominal	DN	mm	315	
Módulo de elasticidad en flexión transversal. Largo plazo.	$E_{t(lp)}$	N/mm ²	2800,0	
Módulo de elasticidad en flexión transversal. Corto plazo.	$E_{t(cp)}$	N/mm ²	4000,0	
Peso específico	γ_t	kN/m ³	14,0	
Esfuerzo tangencial de diseño del tubo a flexión-tracción. Largo plazo.	$\sigma_{t(lp)}$	N/mm ²	70,0	
Esfuerzo tangencial de diseño del tubo a flexión-tracción. Corto plazo.	$\sigma_{t(cp)}$	N/mm ²	100,0	

Presiones				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Presión interna de trabajo	P_i	bar	8,5	
Presión externa debido al agua	P_e	bar	0,010000000000000002	
Nivel freático	H_a	m	0,1	

Geometría de la zanja				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Altura de zanja	H	m	1,0	
Anchura de la zanja	B	m	1,0	
Ángulo de inclinación de las paredes de la zanja	β	°	64,0	

Apoyo y material de relleno

	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Tipo de apoyo	-	-	A	 <p>Apoyo Tipo A</p> 
Ángulo de apoyo	2α	°	180	
Módulo de compresión de E ₁	E ₁	N/mm ²	0,8	
Porcentaje proctor E ₁		%	85,0	
Grupo de suelo E ₁		-	G3	
Módulo de compresión de E ₂	E ₂	N/mm ²	16,0	
Porcentaje proctor E ₂		%	95,0	
Grupo de suelo E ₂		-	G1	
Módulo de compresión de E ₃	E ₃	N/mm ²	13,0	
Porcentaje proctor E ₃		%	100,0	
Grupo de suelo E ₃		-	G3	
Módulo de compresión de E ₄	E ₄	N/mm ²	13,0	
Porcentaje proctor E ₄		%	100,0	
Grupo de suelo E ₄		-	G3	
Peso específico del relleno en zanja	-	kN/m ³	20,0	
Peso específico del relleno en terraplén	-	kN/m ³	-	

Tipo de relleno

	Tubo 1
Tipo de relleno	Relleno por capas compactadas contra el suelo natural (sin verificación del grado de compactación), aplicable también para paredes soportadas por tablonés (construcción Berlinesa).

Sobrecargas debido al tráfico

Nome.	Unidades	Tubo 1
-------	----------	--------

Símbolo del vehículo	LT 12	t	12,0	
Número de ejes	-	-	2	
Distancia entre ruedas a	a	m	2,0	
Distancia entre ejes b	b	m	3,0	
Sobrecargas concentradas P_c	P _c	kN	40,0	
Sobrecargas distribuidas P_d	P _d	kN	-	
Coefficiente C_d	C _d	-	-	
Coefficiente de impacto Phi	Phi	-	1,5	

Pavimento				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Altura de la primera capa del firme	h_1	m	-	
Altura de la segunda capa del firme	h_2	m	-	
Módulo de compresión de la primera capa	E_{f1}	N/mm ²	-	
Módulo de compresión de la segunda capa	E_{f2}	N/mm ²	-	

Determinación de las acciones sobre el tubo. Corto plazo.				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Presión vertical debida al suelo				
Presión vertical debida al suelo	q_v	kN/m ²	13,94	
Presión vertical debida a las sobrecargas concentradas	P_{vc}		24,04	
Presión vertical debida a las cargas distribuidas	P_{vr}		0,00	
Presión vertical total sobre el tubo	q_{vt}		37,98	
Presión lateral debida a la tierra				
Reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo	q_{ht}	kN/m ²	11,43	
Deformación relativa (La deformación no puede ser superior al 5%)				
Deformación relativa	δ_v	%	0,551	
Momentos flectores longitudinales				
Momento flector longitudinal debido a la presión vertical en el tubo				
En la clave	M_{qvt}	kN·m/m	0,222752	
En los riñones			-0,222752	
En la base			0,222752	
Momento flector longitudinal debido a la presión lateral del relleno en el tubo				
En la clave	M_{qh}	kN·m/m	-0,023426	
En los riñones			0,023426	
En la base			-0,023426	
Momento flector longitudinal debido a la reacción horizontal sobre el tubo				

En la clave	M_{qht}	kN·m/m	-0,048530
En los riñones			0,055770
En la base			-0,048530
Momento flector longitudinal debido al peso del tubo			
En la clave	M_t	kN·m/m	0,000980
En los riñones			-0,001117
En la base			0,001253
Momento flector longitudinal debido al peso del agua			
En la clave	M_a	kN·m/m	0,006181
En los riñones			-0,007044
En la base			0,007907
Momento flector longitudinal debido a la presión del agua			
En la clave	M_{pa}	kN·m/m	0,005297
En los riñones			0,005297
En la base			0,005297
Momento longitudinal total			
En la clave	M	kN·m/m	0,163254
En los riñones			-0,146421
En la base			0,165252
Fuerzas normales (axil circunferencial)			
Fuerza normal debida a la presión sobre el tubo			
En la clave	N_{qvt}	kN/m	0,0000
En los riñones			-5,8169
En la base			0,0000
Fuerza normal debida a la presión lateral del relleno sobre el tubo			
En la clave	N_{qh}	kN/m	-0,6118
En los riñones			0,0000
En la base			-0,6118
Fuerza normal debida a la reacción horizontal total en el tubo			
En la clave	N_{qht}	kN/m	-1,0100
En los riñones			0,0000
En la base			-1,0100
Fuerza normal debida al peso del tubo			
En la clave	N_t	kN/m	0,0031
En los riñones			-0,0291
En la base			-0,0031
Fuerza normal debida al peso del agua			

En la clave	N_a	kN/m	0,1368
En los riñones			0,0504
En la base			0,3325
Fuerza normal debida a la presión del agua			
En la clave	N_{pa}	kN/m	126,5221
En los riñones			126,5221
En la base			126,5221
Fuerza normal total			
En la clave	N	kN/m	125,0402
En los riñones			120,7265
En la base			125,2297
Tensiones circunferenciales máximas			
σ en clave	σ	N/mm ²	27,79
σ en riñones			25,92
σ en base			27,98
Coefficientes de seguridad a rotura			
Verificación de esfuerzos tangenciales en la clave	v	-	3,60
Verificación de esfuerzos tangenciales en riñones			3,86
Verificación de esfuerzos tangenciales en la base			3,57
Coefficientes de seguridad al aplastamiento			
η debido a la acción de la tierra y el agua	η_3	-	33,92

Determinación de las acciones sobre el tubo. Largo plazo.			
	Nome.	Unidades	Tubo 1
Presión vertical debida al suelo			
Presión vertical debida al suelo	q_v	kN/m ²	13,51
Presión vertical debida a las sobrecargas concentradas	P_{vc}		24,04
Presión vertical debida a las cargas distribuidas	P_{vr}		0,00
Presión vertical total sobre el tubo	q_{vt}		37,55
Presión lateral debida a la tierra			

Reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo	q_{ht}	kN/m^2	11,21
Deformación relativa (La deformación no puede ser superior al 5%)			
Deformación relativa	δ_v	%	0,610
Momentos flectores longitudinales			
Momento flector longitudinal debido a la presión vertical en el tubo			
En la clave	M_{qvt}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,220268
En los riñones			-0,220268
En la base			0,220268
Momento flector longitudinal debido a la presión lateral del relleno en el tubo			
En la clave	M_{qh}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	-0,023655
En los riñones			0,023655
En la base			-0,023655
Momento flector longitudinal debido a la reacción horizontal sobre el tubo			
En la clave	M_{qht}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	-0,047586
En los riñones			0,054684
En la base			-0,047586
Momento flector longitudinal debido al peso del tubo			
En la clave	M_t	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,000980
En los riñones			-0,001117
En la base			0,001253
Momento flector longitudinal debido al peso del agua			
En la clave	M_a	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,006181
En los riñones			-0,007044
En la base			0,007907
Momento flector longitudinal debido a la presión del agua			
En la clave	M_{pa}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,005297
En los riñones			0,005297
En la base			0,005297
Momento longitudinal total			
En la clave	M	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,161485
En los riñones			-0,144793
En la base			0,163483
Fuerzas normales (axil circunferencial)			
Fuerza normal debida a la presión sobre el tubo			

En la clave	N_{qvt}	kN/m	0,0000
En los riñones			-5,7521
En la base			0,0000
Fuerza normal debida a la presión lateral del relleno sobre el tubo			
En la clave	N_{qh}	kN/m	-0,6177
En los riñones			0,0000
En la base			-0,6177
Fuerza normal debida a la reacción horizontal total en el tubo			
En la clave	N_{qht}	kN/m	-0,9903
En los riñones			0,0000
En la base			-0,9903
Fuerza normal debida al peso del tubo			
En la clave	N_t	kN/m	0,0031
En los riñones			-0,0291
En la base			-0,0031
Fuerza normal debida al peso del agua			
En la clave	N_a	kN/m	0,1368
En los riñones			0,0504
En la base			0,3325
Fuerza normal debida a la presión del agua			
En la clave	N_{pa}	kN/m	126,5221
En los riñones			126,5221
En la base			126,5221
Fuerza normal total			
En la clave	N	kN/m	125,0539
En los riñones			120,7913
En la base			125,2434
Tensiones circunferenciales máximas			
σ en clave	σ	N/mm ²	27,65
σ en riñones			25,79
σ en base			27,84
Coefficientes de seguridad a rotura			
Verificación de esfuerzos tangenciales en la clave	v	-	2,53
Verificación de esfuerzos tangenciales en riñones			2,71
Verificación de esfuerzos tangenciales en la base			2,51

Coeficientes de seguridad al aplastamiento			
η debido a la acción de la tierra y el agua	η_3	-	28,37

ADVERTENCIA IMPORTANTE: LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD

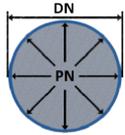
Molecor pone a disposición el Programa como una herramienta para facilitar su trabajo a los profesionales pero no asume ninguna responsabilidad como asesor o prestador de servicios. Los resultados del cálculo obtenidos deben considerarse orientativos y tienen una finalidad meramente informativa. El diseño de un proyecto y la ejecución de la obra son responsabilidad del proyectista del constructor respectivamente. El proyectista usuario del Programa será exclusivamente responsable de la decisión de utilizar el Programa como herramienta auxiliar en la prestación de sus servicios profesionales y del correcto cálculo de los elementos proyectados, teniendo en último término la responsabilidad de los cálculos realizados en el diseño de la instalación. En particular, será entera y exclusivamente responsable de la corrección de los datos introducidos por el cálculo y sus correspondientes resultados. Aunque **Molecor** ha hecho todos los esfuerzos para que el Programa responda a sus finalidades y funcione de forma regular de acuerdo con sus especificaciones, en el estado de la técnica, no puede garantizar su funcionamiento continuo ni la total ausencia de posibles fallos o incidencias en el funcionamiento del Programa, en particular, por interacción con otros elementos (ordenadores, servidores, comunicaciones electrónicas, etc.) y con el propio usuario. En consecuencia, **Molecor** NO RESPONDERA DE NINGUN DAÑO DIRECTO O INDIRECTO, PREVISIBLE O IMPREVISTO DERIVADO DEL USO DEL PROGRAMA SALVO EN CASO QUE SE DEMUESTRE SU DOLO O NEGLIGENCIA GRAVE EN EL DISEÑO U OPERACIÓN DEL SOFTWARE. En particular, **Molecor** NO SE RESPONSABILIZA:

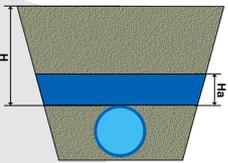
1. de los posibles resultados erróneos causados por errores, omisiones y/o inexactitudes en los datos introducidos por el usuario.
2. de la mala utilización no conforme con las especificaciones del Programa.
3. del uso que se haga de la información proporcionada por el Programa y no realización de razonables comprobaciones para verificar la corrección de la misma.

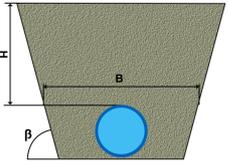
Información general sobre el informe extendido	
Número de informe	2021_02_11_2843
Fecha de última modificación	11 de Febrero de 2021 a las 17:28
Nombre del proyecto	PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO EN LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL CANAL DEL PISUERGA, SECTOR G: ESTACIONES DE BOMBEO, BALSAS Y RED DE RIEGO EN SANTOYO, FROMISTA Y BOADILLA DEL CAMINO. PALENCIA
A la atención de D./Dña.	MARCOS RINCON BENITO
Dirección	C. Gral. Franco, 0, 34450 Astudillo, Palencia
Ciudad / localidad / municipio	PALENCIA
Provincia / región / estado	CASTILLA Y LEÓN
País	ESPAÑA
Promotora	C.R CANAL DE PISUERGA
Ingeniería	C.R CANAL DE PISUERGA
Constructora	
Dirección de obra	None
<p>PROGRAMA DE CÁLCULO MECÁNICO</p> <p>Este programa de cálculo mecánico para tuberías plásticas enterradas de PVC Orientado (PVC-O) TOM®, está basado en las normas de referencia:</p> <p>ATV-DVWK-A 127E:2000 "Cálculo estático de Drenajes y Saneamientos"</p> <p>UNE 53331: 2020 "Tuberías de Poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U), Poli(cloruro de vinilo) orientado (PVC-O), Polietileno (PE) y Polipropileno (PP). Criterio para la comprobación de los tubos a utilizar en conducciones con y sin presión sometidos a cargas externas"</p>	
Resultados del cálculo	
Clase de seguridad A (caso general) - material PVC-O > 2.5	
INSTALACIÓN VÁLIDA	
Características del tubo y de la instalación	

Tipo de conducción	Agua a presión Especificaciones de tubería según: norma europea UNE-EN 17176 - norma internacional ISO 16422 - norma francesa NF T54-948 - norma sudafricana SANS 16422	
Aplicación	Riego	
Nombre de la instalación	SECCIÓN TIPO 400 mm	
Tipo de instalación	Instalación de un tubo TOM® en zanja	

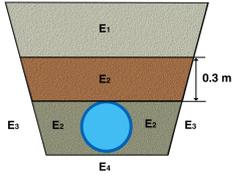
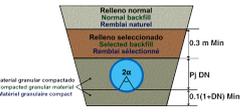


Tubería				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Código del producto	-	-	TOM40016B	
Material del tubo	-	-	PVC-O Clase 500 C 1.4	
Presión nominal	PN	bar	16	
Diámetro nominal	DN	mm	400	
Módulo de elasticidad en flexión transversal. Largo plazo.	$E_{t(lp)}$	N/mm ²	2800,0	
Módulo de elasticidad en flexión transversal. Corto plazo.	$E_{t(cp)}$	N/mm ²	4000,0	
Peso específico	γ_t	kN/m ³	14,0	
Esfuerzo tangencial de diseño del tubo a flexión-tracción. Largo plazo.	$\sigma_{t(lp)}$	N/mm ²	70,0	
Esfuerzo tangencial de diseño del tubo a flexión-tracción. Corto plazo.	$\sigma_{t(cp)}$	N/mm ²	100,0	

Presiones				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Presión interna de trabajo	P_i	bar	8,5	
Presión externa debido al agua	P_e	bar	0,010000000000000002	
Nivel freático	H_a	m	0,1	

Geometría de la zanja				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Altura de zanja	H	m	1,0	
Anchura de la zanja	B	m	1,0	
Ángulo de inclinación de las paredes de la zanja	β	°	64,0	

Apoyo y material de relleno

	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Tipo de apoyo	-	-	A	 <p>Apoyo Tipo A</p> 
Ángulo de apoyo	2α	°	180	
Módulo de compresión de E_1	E_1	N/mm ²	0,8	
Porcentaje proctor E_1		%	85,0	
Grupo de suelo E_1		-	G3	
Módulo de compresión de E_2	E_2	N/mm ²	16,0	
Porcentaje proctor E_2		%	95,0	
Grupo de suelo E_2		-	G1	
Módulo de compresión de E_3	E_3	N/mm ²	13,0	
Porcentaje proctor E_3		%	100,0	
Grupo de suelo E_3		-	G3	
Módulo de compresión de E_4	E_4	N/mm ²	13,0	
Porcentaje proctor E_4		%	100,0	
Grupo de suelo E_4		-	G3	
Peso específico del relleno en zanja	-	kN/m ³	20,0	
Peso específico del relleno en terraplén	-	kN/m ³	-	

Tipo de relleno

	Tubo 1
Tipo de relleno	Relleno por capas compactadas contra el suelo natural (sin verificación del grado de compactación), aplicable también para paredes soportadas por tablonas (construcción Berlinesa).

Sobrecargas debido al tráfico

Nome.	Unidades	Tubo 1
-------	----------	--------

Símbolo del vehículo	LT 12	t	12,0	
Número de ejes	-	-	2	
Distancia entre ruedas a	a	m	2,0	
Distancia entre ejes b	b	m	3,0	
Sobrecargas concentradas P_c	P_c	kN	40,0	
Sobrecargas distribuidas P_d	P_d	kN	-	
Coefficiente C_d	C_d	-	-	
Coefficiente de impacto Φ	Φ	-	1,5	

Pavimento				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Altura de la primera capa del firme	h1	m	-	
Altura de la segunda capa del firme	h2	m	-	
Módulo de compresión de la primera capa	E_{f1}	N/mm ²	-	
Módulo de compresión de la segunda capa	E_{f2}	N/mm ²	-	

Determinación de las acciones sobre el tubo. Corto plazo.				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Presión vertical debida al suelo				
Presión vertical debida al suelo	q_v	kN/m ²	15,77	
Presión vertical debida a las sobrecargas concentradas	P_{vc}		23,77	
Presión vertical debida a las cargas distribuidas	P_{vr}		0,00	
Presión vertical total sobre el tubo	q_{vt}		39,55	
Presión lateral debida a la tierra				
Reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo	q_{ht}	kN/m ²	9,66	
Deformación relativa (La deformación no puede ser superior al 5%)				
Deformación relativa	δ_v	%	0,533	
Momentos flectores longitudinales				
Momento flector longitudinal debido a la presión vertical en el tubo				
En la clave	M_{qvt}	kN·m/m	0,374043	
En los riñones			-0,374043	
En la base			0,374043	
Momento flector longitudinal debido a la presión lateral del relleno en el tubo				
En la clave	M_{qh}	kN·m/m	-0,069496	
En los riñones			0,069496	
En la base			-0,069496	
Momento flector longitudinal debido a la reacción horizontal sobre el tubo				

En la clave	M_{qht}	kN·m/m	-0,066135
En los riñones			0,076001
En la base			-0,066135
Momento flector longitudinal debido al peso del tubo			
En la clave	M_t	kN·m/m	0,002006
En los riñones			-0,002286
En la base			0,002565
Momento flector longitudinal debido al peso del agua			
En la clave	M_a	kN·m/m	0,012658
En los riñones			-0,014424
En la base			0,016190
Momento flector longitudinal debido a la presión del agua			
En la clave	M_{pa}	kN·m/m	0,008534
En los riñones			0,008534
En la base			0,008534
Momento longitudinal total			
En la clave	M	kN·m/m	0,261610
En los riñones			-0,236722
En la base			0,265701
Fuerzas normales (axil circunferencial)			
Fuerza normal debida a la presión sobre el tubo			
En la clave	N_{qvt}	kN/m	0,0000
En los riñones			-7,6920
En la base			0,0000
Fuerza normal debida a la presión lateral del relleno sobre el tubo			
En la clave	N_{qh}	kN/m	-1,4292
En los riñones			0,0000
En la base			-1,4292
Fuerza normal debida a la reacción horizontal total en el tubo			
En la clave	N_{qht}	kN/m	-1,0839
En los riñones			0,0000
En la base			-1,0839
Fuerza normal debida al peso del tubo			
En la clave	N_t	kN/m	0,0050
En los riñones			-0,0470
En la base			-0,0050
Fuerza normal debida al peso del agua			

En la clave	N_a	kN/m	0,2206
En los riñones			0,0813
En la base			0,5361
Fuerza normal debida a la presión del agua			
En la clave	N_{pa}	kN/m	160,6664
En los riñones			160,6664
En la base			160,6664
Fuerza normal total			
En la clave	N	kN/m	158,3789
En los riñones			153,0088
En la base			158,6845
Tensiones circunferenciales máximas			
σ en clave	σ	N/mm ²	27,69
σ en riñones			25,94
σ en base			27,92
Coefficientes de seguridad a rotura			
Verificación de esfuerzos tangenciales en la clave	v	-	3,61
Verificación de esfuerzos tangenciales en riñones			3,86
Verificación de esfuerzos tangenciales en la base			3,58
Coefficientes de seguridad al aplastamiento			
η debido a la acción de la tierra y el agua	η_3	-	31,64

Determinación de las acciones sobre el tubo. Largo plazo.			
	Nome.	Unidades	Tubo 1
Presión vertical debida al suelo			
Presión vertical debida al suelo	q_v	kN/m ²	15,55
Presión vertical debida a las sobrecargas concentradas	P_{vc}		23,77
Presión vertical debida a las cargas distribuidas	P_{vr}		0,00
Presión vertical total sobre el tubo	q_{vt}		39,33
Presión lateral debida a la tierra			

Reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo	q_{ht}	kN/m^2	9,61
Deformación relativa (La deformación no puede ser superior al 5%)			
Deformación relativa	δ_v	%	0,593
Momentos flectores longitudinales			
Momento flector longitudinal debido a la presión vertical en el tubo			
En la clave	M_{qvt}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,371978
En los riñones			-0,371978
En la base			0,371978
Momento flector longitudinal debido a la presión lateral del relleno en el tubo			
En la clave	M_{qh}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	-0,070047
En los riñones			0,070047
En la base			-0,070047
Momento flector longitudinal debido a la reacción horizontal sobre el tubo			
En la clave	M_{qht}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	-0,065829
En los riñones			0,075649
En la base			-0,065829
Momento flector longitudinal debido al peso del tubo			
En la clave	M_t	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,002006
En los riñones			-0,002286
En la base			0,002565
Momento flector longitudinal debido al peso del agua			
En la clave	M_a	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,012658
En los riñones			-0,014424
En la base			0,016190
Momento flector longitudinal debido a la presión del agua			
En la clave	M_{pa}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,008534
En los riñones			0,008534
En la base			0,008534
Momento longitudinal total			
En la clave	M	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,259300
En los riñones			-0,234457
En la base			0,263391
Fuerzas normales (axil circunferencial)			
Fuerza normal debida a la presión sobre el tubo			

En la clave	N_{qvt}	kN/m	0,0000
En los riñones			-7,6495
En la base			0,0000
Fuerza normal debida a la presión lateral del relleno sobre el tubo			
En la clave	N_{qh}	kN/m	-1,4405
En los riñones			0,0000
En la base			-1,4405
Fuerza normal debida a la reacción horizontal total en el tubo			
En la clave	N_{qht}	kN/m	-1,0789
En los riñones			0,0000
En la base			-1,0789
Fuerza normal debida al peso del tubo			
En la clave	N_t	kN/m	0,0050
En los riñones			-0,0470
En la base			-0,0050
Fuerza normal debida al peso del agua			
En la clave	N_a	kN/m	0,2206
En los riñones			0,0813
En la base			0,5361
Fuerza normal debida a la presión del agua			
En la clave	N_{pa}	kN/m	160,6664
En los riñones			160,6664
En la base			160,6664
Fuerza normal total			
En la clave	N	kN/m	158,3726
En los riñones			153,0512
En la base			158,6782
Tensiones circunferenciales máximas			
σ en clave	σ	N/mm ²	27,57
σ en riñones			25,83
σ en base			27,81
Coefficientes de seguridad a rotura			
Verificación de esfuerzos tangenciales en la clave	v	-	2,54
Verificación de esfuerzos tangenciales en riñones			2,71
Verificación de esfuerzos tangenciales en la base			2,52

Coeficientes de seguridad al aplastamiento			
η debido a la acción de la tierra y el agua	η_3	-	26,30

ADVERTENCIA IMPORTANTE: LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD

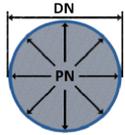
Molecor pone a disposición el Programa como una herramienta para facilitar su trabajo a los profesionales pero no asume ninguna responsabilidad como asesor o prestador de servicios. Los resultados del cálculo obtenidos deben considerarse orientativos y tienen una finalidad meramente informativa. El diseño de un proyecto y la ejecución de la obra son responsabilidad del proyectista del constructor respectivamente. El proyectista usuario del Programa será exclusivamente responsable de la decisión de utilizar el Programa como herramienta auxiliar en la prestación de sus servicios profesionales y del correcto cálculo de los elementos proyectados, teniendo en último término la responsabilidad de los cálculos realizados en el diseño de la instalación. En particular, será entera y exclusivamente responsable de la corrección de los datos introducidos por el cálculo y sus correspondientes resultados. Aunque **Molecor** ha hecho todos los esfuerzos para que el Programa responda a sus finalidades y funcione de forma regular de acuerdo con sus especificaciones, en el estado de la técnica, no puede garantizar su funcionamiento continuo ni la total ausencia de posibles fallos o incidencias en el funcionamiento del Programa, en particular, por interacción con otros elementos (ordenadores, servidores, comunicaciones electrónicas, etc.) y con el propio usuario. En consecuencia, **Molecor** NO RESPONDERA DE NINGUN DAÑO DIRECTO O INDIRECTO, PREVISIBLE O IMPREVISTO DERIVADO DEL USO DEL PROGRAMA SALVO EN CASO QUE SE DEMUESTRE SU DOLO O NEGLIGENCIA GRAVE EN EL DISEÑO U OPERACIÓN DEL SOFTWARE. En particular, **Molecor** NO SE RESPONSABILIZA:

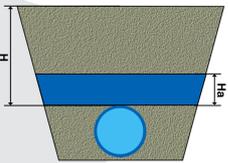
1. de los posibles resultados erróneos causados por errores, omisiones y/o inexactitudes en los datos introducidos por el usuario.
2. de la mala utilización no conforme con las especificaciones del Programa.
3. del uso que se haga de la información proporcionada por el Programa y no realización de razonables comprobaciones para verificar la corrección de la misma.

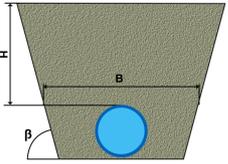
Información general sobre el informe extendido	
Número de informe	2021_02_11_2844
Fecha de última modificación	11 de Febrero de 2021 a las 17:28
Nombre del proyecto	PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL REGADÍO EN LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL CANAL DEL PISUERGA, SECTOR G: ESTACIONES DE BOMBEO, BALSAS Y RED DE RIEGO EN SANTOYO, FROMISTA Y BOADILLA DEL CAMINO. PALENCIA
A la atención de D./Dña.	MARCOS RINCON BENITO
Dirección	C. Gral. Franco, 0, 34450 Astudillo, Palencia
Ciudad / localidad / municipio	PALENCIA
Provincia / región / estado	CASTILLA Y LEÓN
País	ESPAÑA
Promotora	C.R CANAL DE PISUERGA
Ingeniería	C.R CANAL DE PISUERGA
Constructora	
Dirección de obra	None
<p>PROGRAMA DE CÁLCULO MECÁNICO</p> <p>Este programa de cálculo mecánico para tuberías plásticas enterradas de PVC Orientado (PVC-O) TOM®, está basado en las normas de referencia:</p> <p>ATV-DVWK-A 127E:2000 "Cálculo estático de Drenajes y Saneamientos"</p> <p>UNE 53331: 2020 "Tuberías de Poli(cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U), Poli(cloruro de vinilo) orientado (PVC-O), Polietileno (PE) y Polipropileno (PP). Criterio para la comprobación de los tubos a utilizar en conducciones con y sin presión sometidos a cargas externas"</p>	
Resultados del cálculo	
Clase de seguridad A (caso general) - material PVC-O > 2.5	
INSTALACIÓN VÁLIDA	
Características del tubo y de la instalación	

Tipo de conducción	Agua a presión Especificaciones de tubería según: norma europea UNE-EN 17176 - norma internacional ISO 16422 - norma francesa NF T54-948 - norma sudafricana SANS 16422	
Aplicación	Riego	
Nombre de la instalación	SECCIÓN TIPO 800 mm	
Tipo de instalación	Instalación de un tubo TOM® en zanja	

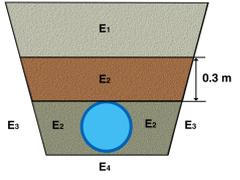
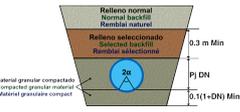


Tubería				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Código del producto	-	-	TOM80016B	
Material del tubo	-	-	PVC-O Clase 500 C 1.4	
Presión nominal	PN	bar	16	
Diámetro nominal	DN	mm	800	
Módulo de elasticidad en flexión transversal. Largo plazo.	$E_{t(lp)}$	N/mm ²	2800,0	
Módulo de elasticidad en flexión transversal. Corto plazo.	$E_{t(cp)}$	N/mm ²	4000,0	
Peso específico	γ_t	kN/m ³	14,0	
Esfuerzo tangencial de diseño del tubo a flexión-tracción. Largo plazo.	$\sigma_{t(lp)}$	N/mm ²	70,0	
Esfuerzo tangencial de diseño del tubo a flexión-tracción. Corto plazo.	$\sigma_{t(cp)}$	N/mm ²	100,0	

Presiones				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Presión interna de trabajo	P_i	bar	1,0	
Presión externa debido al agua	P_e	bar	0,300000000000000004	
Nivel freático	H_a	m	3,0	

Geometría de la zanja				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Altura de zanja	H	m	5,0	
Anchura de la zanja	B	m	1,4	
Ángulo de inclinación de las paredes de la zanja	β	°	64,0	

Apoyo y material de relleno

	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Tipo de apoyo	-	-	A	 <p>Apoyo Tipo A</p> 
Ángulo de apoyo	2α	°	180	
Módulo de compresión de E ₁	E ₁	N/mm ²	0,8	
Porcentaje proctor E ₁		%	85,0	
Grupo de suelo E ₁		-	G3	
Módulo de compresión de E ₂	E ₂	N/mm ²	16,0	
Porcentaje proctor E ₂		%	95,0	
Grupo de suelo E ₂		-	G1	
Módulo de compresión de E ₃	E ₃	N/mm ²	13,0	
Porcentaje proctor E ₃		%	100,0	
Grupo de suelo E ₃		-	G3	
Módulo de compresión de E ₄	E ₄	N/mm ²	13,0	
Porcentaje proctor E ₄		%	100,0	
Grupo de suelo E ₄		-	G3	
Peso específico del relleno en zanja	-	kN/m ³	20,0	
Peso específico del relleno en terraplén	-	kN/m ³	-	

Tipo de relleno

	Tubo 1
Tipo de relleno	Relleno por capas compactadas contra el suelo natural (sin verificación del grado de compactación), aplicable también para paredes soportadas por tablonas (construcción Berlinesa).

Sobrecargas debido al tráfico

Nome.	Unidades	Tubo 1
-------	----------	--------

Símbolo del vehículo	LT 12	t	12,0	
Número de ejes	-	-	2	
Distancia entre ruedas a	a	m	2,0	
Distancia entre ejes b	b	m	3,0	
Sobrecargas concentradas P_c	P _c	kN	40,0	
Sobrecargas distribuidas P_d	P _d	kN	-	
Coefficiente C_d	C _d	-	-	
Coefficiente de impacto Phi	Phi	-	1,5	

Pavimento				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Altura de la primera capa del firme	h1	m	-	
Altura de la segunda capa del firme	h2	m	-	
Módulo de compresión de la primera capa	E_{f1}	N/mm ²	-	
Módulo de compresión de la segunda capa	E_{f2}	N/mm ²	-	

Determinación de las acciones sobre el tubo. Corto plazo.				
	Nome.	Unidades	Tubo 1	
Presión vertical debida al suelo				
Presión vertical debida al suelo	q_v	kN/m ²	65,91	
Presión vertical debida a las sobrecargas concentradas	P_{vc}		2,39	
Presión vertical debida a las cargas distribuidas	P_{vr}		0,00	
Presión vertical total sobre el tubo	q_{vt}		68,30	
Presión lateral debida a la tierra				
Reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo	q_{ht}	kN/m ²	56,64	
Deformación relativa (La deformación no puede ser superior al 5%)				
Deformación relativa	δ_v	%	0,889	
Momentos flectores longitudinales				
Momento flector longitudinal debido a la presión vertical en el tubo				
En la clave	M_{qvt}	kN·m/m	2,584137	
En los riñones			-2,584137	
En la base			2,584137	
Momento flector longitudinal debido a la presión lateral del relleno en el tubo				
En la clave	M_{qh}	kN·m/m	-0,616209	
En los riñones			0,616209	
En la base			-0,616209	
Momento flector longitudinal debido a la reacción horizontal sobre el tubo				

En la clave	M_{qht}	kN·m/m	-1,551548
En los riñones			1,782994
En la base			-1,551548
Momento flector longitudinal debido al peso del tubo			
En la clave	M_t	kN·m/m	0,016052
En los riñones			-0,018285
En la base			0,020518
Momento flector longitudinal debido al peso del agua			
En la clave	M_a	kN·m/m	0,101261
En los riñones			-0,115391
En la base			0,129520
Momento flector longitudinal debido a la presión del agua			
En la clave	M_{pa}	kN·m/m	0,004015
En los riñones			0,004015
En la base			0,004015
Momento longitudinal total			
En la clave	M	kN·m/m	0,537709
En los riñones			-0,314596
En la base			0,570434
Fuerzas normales (axil circunferencial)			
Fuerza normal debida a la presión sobre el tubo			
En la clave	N_{qvt}	kN/m	0,0000
En los riñones			-26,5707
En la base			0,0000
Fuerza normal debida a la presión lateral del relleno sobre el tubo			
En la clave	N_{qh}	kN/m	-6,3360
En los riñones			0,0000
En la base			-6,3360
Fuerza normal debida a la reacción horizontal total en el tubo			
En la clave	N_{qht}	kN/m	-12,7142
En los riñones			0,0000
En la base			-12,7142
Fuerza normal debida al peso del tubo			
En la clave	N_t	kN/m	0,0200
En los riñones			-0,1879
En la base			-0,0200
Fuerza normal debida al peso del agua			

En la clave	N_a	kN/m	0,8823
En los riñones			0,3254
En la base			2,1444
Fuerza normal debida a la presión del agua			
En la clave	N_{pa}	kN/m	37,7904
En los riñones			37,7904
En la base			37,7904
Fuerza normal total			
En la clave	N	kN/m	19,6424
En los riñones			11,3571
En la base			20,8646
Tensiones circunferenciales máximas			
σ en clave	σ	N/mm ²	7,71
σ en riñones			4,50
σ en base			8,18
Coefficientes de seguridad a rotura			
Verificación de esfuerzos tangenciales en la clave	v	-	12,97
Verificación de esfuerzos tangenciales en riñones			22,20
Verificación de esfuerzos tangenciales en la base			12,22
Coefficientes de seguridad al aplastamiento			
η debido a la acción de la tierra y el agua	η_3	-	10,25

Determinación de las acciones sobre el tubo. Largo plazo.			
	Nome.	Unidades	Tubo 1
Presión vertical debida al suelo			
Presión vertical debida al suelo	q_v	kN/m ²	65,35
Presión vertical debida a las sobrecargas concentradas	P_{vc}		2,39
Presión vertical debida a las cargas distribuidas	P_{vr}		0,00
Presión vertical total sobre el tubo	q_{vt}		67,74
Presión lateral debida a la tierra			

Reacción máxima lateral del suelo a la altura del centro del tubo	q_{ht}	kN/m^2	57,52
Deformación relativa (La deformación no puede ser superior al 5%)			
Deformación relativa	δ_v	%	0,981
Momentos flectores longitudinales			
Momento flector longitudinal debido a la presión vertical en el tubo			
En la clave	M_{qvt}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	2,562757
En los riñones			-2,562757
En la base			2,562757
Momento flector longitudinal debido a la presión lateral del relleno en el tubo			
En la clave	M_{qh}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	-0,621911
En los riñones			0,621911
En la base			-0,621911
Momento flector longitudinal debido a la reacción horizontal sobre el tubo			
En la clave	M_{qht}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	-1,575689
En los riñones			1,810736
En la base			-1,575689
Momento flector longitudinal debido al peso del tubo			
En la clave	M_t	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,016052
En los riñones			-0,018285
En la base			0,020518
Momento flector longitudinal debido al peso del agua			
En la clave	M_a	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,101261
En los riñones			-0,115391
En la base			0,129520
Momento flector longitudinal debido a la presión del agua			
En la clave	M_{pa}	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,004015
En los riñones			0,004015
En la base			0,004015
Momento longitudinal total			
En la clave	M	$\text{kN}\cdot\text{m/m}$	0,486486
En los riñones			-0,259772
En la base			0,519212
Fuerzas normales (axil circunferencial)			
Fuerza normal debida a la presión sobre el tubo			

En la clave	N_{qvt}	kN/m	0,0000
En los riñones			-26,3509
En la base			0,0000
Fuerza normal debida a la presión lateral del relleno sobre el tubo			
En la clave	N_{qh}	kN/m	-6,3946
En los riñones			0,0000
En la base			-6,3946
Fuerza normal debida a la reacción horizontal total en el tubo			
En la clave	N_{qht}	kN/m	-12,9121
En los riñones			0,0000
En la base			-12,9121
Fuerza normal debida al peso del tubo			
En la clave	N_t	kN/m	0,0200
En los riñones			-0,1879
En la base			-0,0200
Fuerza normal debida al peso del agua			
En la clave	N_a	kN/m	0,8823
En los riñones			0,3254
En la base			2,1444
Fuerza normal debida a la presión del agua			
En la clave	N_{pa}	kN/m	37,7904
En los riñones			37,7904
En la base			37,7904
Fuerza normal total			
En la clave	N	kN/m	19,3860
En los riñones			11,5770
En la base			20,6082
Tensiones circunferenciales máximas			
σ en clave	σ	N/mm ²	7,05
σ en riñones			3,82
σ en base			7,52
Coefficientes de seguridad a rotura			
Verificación de esfuerzos tangenciales en la clave	v	-	9,93
Verificación de esfuerzos tangenciales en riñones			18,32
Verificación de esfuerzos tangenciales en la base			9,31

Coeficientes de seguridad al aplastamiento			
η debido a la acción de la tierra y el agua	η_3	-	8,27

ADVERTENCIA IMPORTANTE: LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Molecor pone a disposición el Programa como una herramienta para facilitar su trabajo a los profesionales pero no asume ninguna responsabilidad como asesor o prestador de servicios. Los resultados del cálculo obtenidos deben considerarse orientativos y tienen una finalidad meramente informativa. El diseño de un proyecto y la ejecución de la obra son responsabilidad del proyectista del constructor respectivamente. El proyectista usuario del Programa será exclusivamente responsable de la decisión de utilizar el Programa como herramienta auxiliar en la prestación de sus servicios profesionales y del correcto cálculo de los elementos proyectados, teniendo en último término la responsabilidad de los cálculos realizados en el diseño de la instalación. En particular, será entera y exclusivamente responsable de la corrección de los datos introducidos por el cálculo y sus correspondientes resultados. Aunque **Molecor** ha hecho todos los esfuerzos para que el Programa responda a sus finalidades y funcione de forma regular de acuerdo con sus especificaciones, en el estado de la técnica, no puede garantizar su funcionamiento continuo ni la total ausencia de posibles fallos o incidencias en el funcionamiento del Programa, en particular, por interacción con otros elementos (ordenadores, servidores, comunicaciones electrónicas, etc.) y con el propio usuario. En consecuencia, **Molecor** NO RESPONDERA DE NINGUN DAÑO DIRECTO O INDIRECTO, PREVISIBLE O IMPREVISTO DERIVADO DEL USO DEL PROGRAMA SALVO EN CASO QUE SE DEMUESTRE SU DOLO O NEGLIGENCIA GRAVE EN EL DISEÑO U OPERACIÓN DEL SOFTWARE. En particular, **Molecor** NO SE RESPONSABILIZA:

1. de los posibles resultados erróneos causados por errores, omisiones y/o inexactitudes en los datos introducidos por el usuario.
2. de la mala utilización no conforme con las especificaciones del Programa.
3. del uso que se haga de la información proporcionada por el Programa y no realización de razonables comprobaciones para verificar la corrección de la misma.

APÉNDICE 2. COMPROBACIÓN TUBERÍAS ACERO

CÁLCULO MECÁNICO DE LA TUBERÍA

“PROYECTO CONDUCCIONES EN EL SECTOR G DE LA COMUNIDAD DE REGANTES DEL CANAL DEL PISUERGA, PROVINCIA DE PALENCIA”

El objeto del presente documento es la presentación de las tuberías de acero helicosoldado y su análisis y comprobación para el caso concreto de este proyecto. Uno de los elementos principales de las infraestructuras hidráulicas, si no el principal, será la red de conducciones, lo que implica que las tuberías deben ser valoradas conjuntamente con el proyecto en su globalidad, no como un elemento independiente, aislado, o fácilmente sustituible y que pueda ser el principal objeto de ahorro del proyecto por su gran medición.

Las condiciones de suministro, de puesta en obra, la garantía de durabilidad, las garantías en el montaje, las necesarias e inevitables piezas especiales proyectadas, la realidad en cuanto al manejo de la red en su explotación (modificaciones, ampliaciones, reparaciones), costes directos e indirectos asociados a su montaje y rapidez de ejecución hacen de la tubería de acero la mejor opción posible en los regadíos.

Se realiza el cálculo mecánico para justificar los espesores de tubería propuestos en el proyecto en función del grado de acero seleccionado y comprobando el comportamiento de la tubería bajo unas hipótesis de carga que se irán describiendo en cada apartado para poder plantear la más desfavorable. Se sigue como base para el cálculo mecánico la Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión, publicada por el CEDEX en el año 2003. Ésta guía basa el cálculo de este tipo de tuberías en la guía M11 Steel Pipe – A Guide for Design and Installation publicada por la AWWA (American Water Works Association), normas de reconocido prestigio y uso internacional.

En conducciones muy largas se puede ir ajustando el espesor de la conducción a las presiones o circunstancias que para cada tramo tiene que soportar la tubería.

Las longitudes de los tubos de acero no están normalizadas y quedarán determinadas por el largo óptimo en función del trazado de la conducción y los costes de transporte para el suministro de los tubos en obra. Se considerarán 13,5m como el largo óptimo para el transporte pudiendo variar este largo según las necesidades concretas.

En cuanto a las uniones éstas podrán ser soldadas (a tope / abocardado cilíndrico / abocardado esférico) o con bridas (normalmente cuando se inserte en la conducción algún elemento adicional como puede ser una válvula que pueda requerir su desmontaje posteriormente).

En las tuberías de acero, una vez establecido el diámetro y las condiciones de instalación y funcionamiento, los parámetros a dimensionar son:

- Espesor de pared del tubo
- Módulo de reacción del relleno a compactar, en las tuberías enterradas.
- Tipo de acero empleado (límite elástico)

Esos tres parámetros se definen con la comprobación de 3 hipótesis: Resistencia frente a la presión interna, comprobación de deformación máxima admisible al actuar las cargas externas sobre el tubo, así como verificación del colapso por acciones internas o externas.

HIPOTESIS I. Presión hidráulica interior positiva (estado tensional)

El espesor viene definido por la Presión Máxima de Diseño (N/mm²), MDP, que deberá ser a su vez inferior a la Presión Máxima Admisible (N/mm²), PMA y que vendrá condicionada por el diámetro exterior del tubo y la Tensión admisible del acero según su grado N/mm²

La siguiente expresión define los espesores requeridos (AWWA M11):

$$e \geq \frac{D \cdot MDP}{2 \cdot \sigma_{adm}}$$

MDP = Presión Max. de Diseño (N/mm²); igual o menor que PMA, Presión Máxima admisible.

e = espesor del tubo (mm).

D = Diámetro exterior del tubo (mm)

σ_{adm} = Tensión admisible del acero (N/mm²). Se adopta el 50% del límite elástico mínimo del acero.

	Diámetro (mm.)	Espesor (mm.)	Límite elástico del acero (N/mm ²)	Presión Máxima de Diseño (Bar)	Presión de Prueba (fábrica) (UNE EN 10224) (Bar)	Presión Máxima teórica (Bar)	
Item 1	711	5,5	24,0	18,57	25,99	37,13	S235JR
Item 2	813	5,5	28,1	19,01	26,61	38,02	S275JR
Item 3	914	6,0	28,1	18,45	25,82	36,89	S275JR
Item 4	1.016	6,0	28,1	16,59	23,23	33,19	S275JR
Item 5	1.118	6,0	36,2	19,43	27,20	38,86	S355JR
Item 6	1.219	6,0	36,2	17,82	24,95	35,64	S355JR
Item 7	1.524	8,0	36,2	19,00	26,60	38,01	S355JR
Item 8	1.822	10,0	36,2	19,87	27,82	39,74	S355JR
Item 9	2.032	11,0	36,2	19,60	27,44	39,19	S355JR

Se hace el análisis con los 3 tipos de acero más habituales (S235JR, S275JR, S355JR), viendo para cada item el límite elástico necesario para superar el PN15 requerido. Se indica igualmente la presión de prueba en fábrica definida por la norma europea y como curiosidad se incluye la presión máxima teórica suponiendo el 100% del límite elástico del

acero con la idea de dar visibilidad a los resguardos de seguridad que manejan estas tuberías.

HIPOTESIS II. Acciones gravitatorias (estado tensional y deformacional)

Está hipótesis considera la carga pésima de acciones gravitatorias, debe comprobarse que la tensión y la deformación máxima no superan las admisibles.

En caso de tubería aérea, en defecto de otros condicionantes más restrictivos, como deformación admisible se adoptará el valor de 1/360 de la luz entre apoyos. Además, debe verificarse que, para la hipótesis pésima de carga, las tensiones producidas en las zonas de los apoyos no superan las admisibles.

Las acciones gravitatorias incluyen:

- Peso propio de la tubería.
- Peso del fluido transportado.
- Cargas permanentes uniformes debidas a elementos constructivos tales como aislamientos.
- Cargas permanentes puntuales debidas a elementos constructivos o instalaciones sobre la tubería.
- Acciones originadas por el peso de la nieve que pudiese acumularse sobre la tubería.
- Acciones del viento originadas por las presiones y succiones sobre la superficie exterior.

En caso de tubería enterrada, considerando únicamente las cargas del terreno y del tráfico, debe comprobarse que la deformación máxima debida a la flexión transversal no supera la admisible. Como deformaciones máximas admisibles, hay que tener en cuenta la rigidez de la tubería y de sus revestimientos y en general, tal como se muestra en la tabla adjunta, suelen admitirse valores entre el 2 y el 5% del diámetro exterior (manual AWWA M11).

TIPO DE REVESTIMIENTO		DEFORMACIÓN ADMISIBLE (% DN)
EXTERIOR	INTERIOR	
Flexible	Flexible	5
Flexible	Mortero de cemento	3 a 4
Mortero de cemento	Mortero de cemento	2

Deformaciones diametrales admisibles de los tubos (Manual AWWA M11)

En el caso de la tubería de acero helicosoldada, habitualmente revestida con polímeros bicomponentes (epoxis, poliuretanos) para el interior y exteriormente, en caso de estar enterrada, con combinaciones de polímeros y soluciones tricapa con polietileno o polipropileno extruido en caliente, estaríamos siempre hablando de revestimientos muy flexibles cuyas propiedades garantizan su perfecto funcionamiento incluso con deformaciones muchísimo mayor del 5%.

El cálculo de la deformación máxima debida a la flexión transversal se suele hacer mediante la formulación de Spangler (1941), la cual, en su forma más general, adopta la expresión siguiente (manual AWWA M11):

$$d = D_1 \frac{K_a (W_e + W_t) r_m^3}{EI + 0,061 E' r_m^3}$$

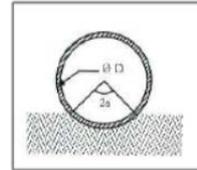
d = Deformación producida en el tubo, en m.

r_m = Radio medio de la tubería, en m.

D_1 = Coeficiente empírico de deformación diferida. Se toma un valor 1,25.

K_a = Coeficiente de factor de apoyo.

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



E' = Módulo de reacción del relleno, en kN/m^2

Terreno bien compactado	$E' = 5.000 \text{ kN/m}^2$
Terreno con compactación media	$E' = 2.000 \text{ kN/m}^2$
Terreno con mala compactación	$E' = 1.000 \text{ kN/m}^2$

W_e y W_t cargas debidas al peso de las tierras y al tráfico respectivamente, en kN/m^2

W_e , cargas debidas al peso de las tierras: En la tubería de acero, al ser una tubería flexible, habitualmente se calculan según la teoría de Marston, sin considerar ningún coeficiente reductor, suponiendo una seguridad adicional

$$w_e = \gamma \cdot H \cdot OD$$

$$w_e = (\gamma_w \cdot H_w + f \cdot \gamma \cdot H) \cdot OD \text{ (considerando el freático)}$$

W_e = cargas debidas al peso de las tierras, en kN/m^2

γ = peso específico del relleno. Por defecto puede tomarse 20 kN/m^3

H = Altura de tierras sobre la clave del tubo, en m.

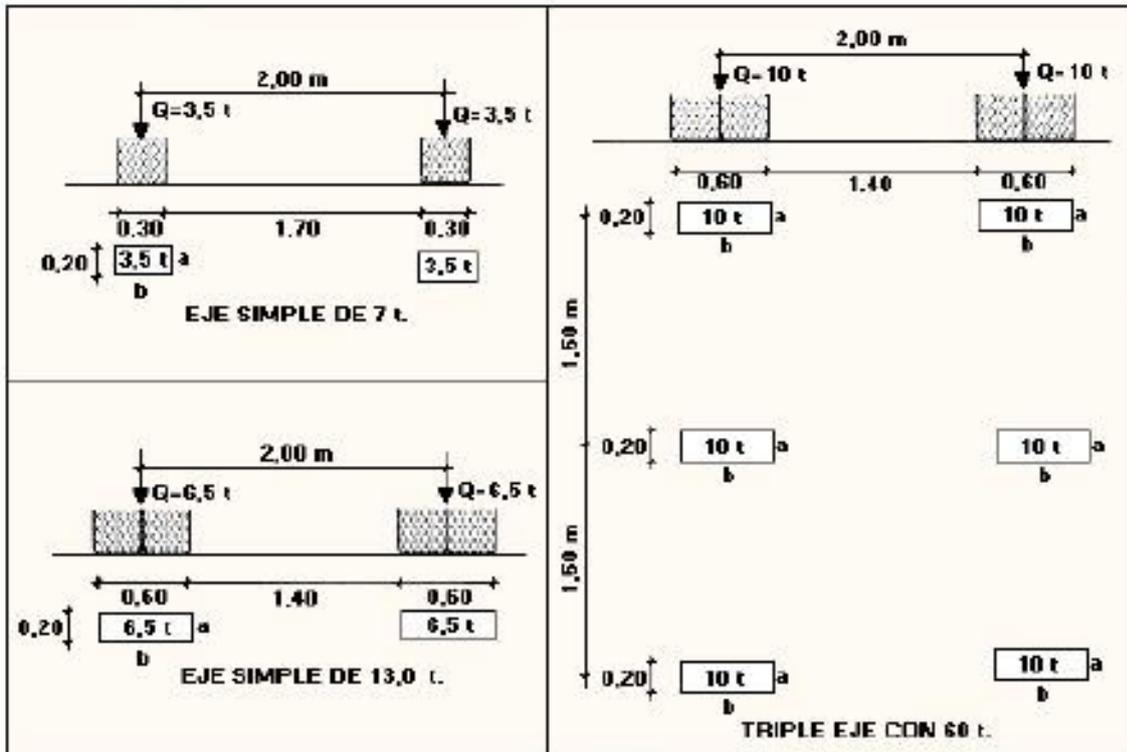
OD = Diámetro exterior del tubo, en m.

γ_w = peso específico del agua, en kN/m^3

H_w = Altura del nivel freático sobre el tubo, en m.

f (Factor de flotación) = $1 - 0,33 \cdot (H_w/H)$

W_t , cargas debidas al tráfico: Son sobrecargas puntuales, puede emplearse la formulación genérica de Boussinesq. Esta formulación ha sido simplificada y se suele considerar que se reparten uniformemente en una superficie que se va ampliando según un tronco de pirámide cuyas caras laterales forman un ángulo de unos 45° con la vertical.



A modo de resumen, para tubos menores de 2000mm de diámetro y una carga de triple eje con 60Ton, el valor de las cargas puntuales debidas al tráfico en t/m son las siguientes:

Para $OD > s$

$$w_t = 294,2 \cdot \frac{OD + S}{t \cdot l'_e}$$

Para $OD < s$

$$w_t = 588,4 \cdot \frac{OD}{t \cdot l'_e}$$

Item	Diámetro (mm.)	Espesor (mm.)	deformación admisible	Deformación calculada	D ₁ 1 - 1,5	E' 1000 - 5000 kN/m ²	Coef. Factor apoyo Ka	We (cargas tierras, kN/m ²)			cargas con freatico			Wt (kN/m)	Wt (cargas trafico kN/m ²)				Wt (cargas trafico kN/m ²)	
								We = We = y x H x OD			We = (y _w x H _w + f x y x H) x OD				Wt = 294,2 x (OD + S) / (t x l'e)				Wt = 588,4 x (OD) / (t x l'e)	
								We (kN/m)	y (kN/m ³)	H (m)	We (kN/m)	y _w (kN/m ³)	H _w (m)		Wt (kN/m)	S	t	l'e	Wt (kN/m)	l'e
Item 1	711	5,5	5%	4,54%	1,20	3000	0,102	21,330	20	1,50	23,0364	9,8	0,75	25,43	25,43	0,70	2,70	6,05	25,63	6,05
Item 2	813	5,5	5%	4,37%	1,20	3000	0,102	24,390	20	1,50	26,3412	9,8	0,75	26,79	26,79	0,70	2,70	6,15	12,40	6,15
Item 3	914	6,0	5%	4,22%	1,20	3000	0,102	27,420	20	1,50	29,6136	9,8	0,75	28,09	28,09	0,70	2,70	6,26	12,19	6,26
Item 4	1016	6,0	5%	4,10%	1,20	3000	0,102	30,480	20	1,50	32,9184	9,8	0,75	29,37	29,37	0,70	2,70	6,37	11,98	6,37
Item 5	1118	6,0	5%	4,00%	1,20	3000	0,102	33,540	20	1,50	36,2232	9,8	0,75	30,60	30,60	0,70	2,70	6,47	11,78	6,47
Item 6	1219	6,0	5%	3,91%	1,20	3000	0,102	36,570	20	1,50	39,4956	9,8	0,75	31,78	31,78	0,70	2,70	6,58	11,59	6,58
Item 7	1524	8,0	5%	3,71%	1,20	3000	0,102	45,720	20	1,50	49,3776	9,8	0,75	35,12	35,12	0,70	2,70	6,90	11,05	6,90
Item 8	1822	10,0	5%	3,57%	1,20	3000	0,102	54,660	20	1,50	59,0328	9,8	0,75	38,10	38,10	0,70	2,70	7,21	10,57	7,21
Item 9	2032	11,0	5%	3,49%	1,20	3000	0,102	60,960	20	1,50	65,8368	9,8	0,75	40,05	40,05	0,70	2,70	7,43	10,26	7,43

Como se puede observar en la tabla en la que se plantea una altura de tierras de 1,5m por encima de la clave del tubo los espesores definidos cumplirían. En función del módulo de reacción del terreno (2000, 3000, 4000, 5000) y el coeficiente de factor de apoyo se aseguraría la tubería frente a problemas de ovalización en caso de haber mayor altura de tierras en algún tramo concreto. Igualmente se ha tenido en cuenta un nivel freático de 75cm y carga de tráfico. Se puede observar que el espesor propuesto cumpliría con las alturas de tierras de 1,5m ajustando la calidad de la puesta en obra y comprobando una correcta compactación y buen ángulo de apoyo principalmente en los tramos con más carga de tierras sobre la tubería.

HIPOTESIS III. Presión hidráulica interior negativa (pandeo o colapso)

Considerando una situación excepcional en la que actuasen exclusivamente presiones interiores negativas, el colapso o pandeo debe verificarse comprobando que el coeficiente de seguridad C frente a dicho colapso sea al menos 2. La siguiente expresión verifica esta situación particular:

$$C = \frac{P_{crit}}{q_e} \geq 2,5 - 3$$

C = Coeficiente de seguridad, de valor igual o superior a 2 en tubería aérea (US army Corp of Engineers, 1970). Para tubería enterrada 2,5 (si H/DN>2) ó 3 (si H/DN<2)

Pcrit = Carga crítica de pandeo (N/mm²). Se puede calcular mediante la expresión de Luscher modificada o la expresión de Levy.

q_e= Depresión debida a posibles golpes de ariete, succiones, etc. (N/mm²).

$$q_e = \gamma_w H_w + f_f \frac{W_e}{DN} + \frac{W_t}{DN} + 0,1 P_v$$

γ_w = peso específico del agua, en N/mm³

H_w = Altura del nivel freático sobre el tubo, en mm.

f_f (Factor de flotación) = 1 - 0,33.(H_w/H)

H = Altura de tierras sobre la clave del tubo, en mm.

P_v = depresión interna debida a posibles golpes de ariete, succiones, etc. (en bar)

$$P_{crit} = 10 \times \sqrt{32 \times f_f \times B' \times E' \times \frac{EI}{D_m^3}}$$

$$f_f = 1 - 0,33 \times \frac{H_w}{H}$$

E = Módulo de elasticidad del material de la tubería (N/mm²).

e = Espesor del tubo reducido (mm).

D_m = Diámetro medio del tubo (mm).

I = momento de inercia de la pared de la tubería (mm³) (I=e³/12)

E' = Módulo de reacción del relleno (N/mm²)

B' = coeficiente de origen empírico

$$B' = \frac{1}{1 + e^{(-0,213H)}}$$

Para el caso que nos ocupa, no se consideraran depresiones ni golpe de ariete

ya que se dispondrán de elementos anti ariete y de ventosas en el trazado de la conducción.