ANEJO Nº 8

CÁLCULO MECÁNICO DE TUBERÍAS

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN 1
2 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL CÁLCULO MECÁNICO DE LAS TUBERÍAS 1
3 TUBERÍAS DE HORMIGÓN POSTESADO CON CAMISA DE CHAPA 2
3.1 MÉTODO DE CÁLCULO 2
3.2 LISTADOS DE COMPROBACIÓN 9
4 CONCLUSIONES 11

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 para la tubería de impulsión a ejecutar conjuntamente entre las Fases SEIASA e ITACYL.

En este caso, la tubería a ejecutar es la correspondiente a HPCCH DN 1500 mm PN 11, por ello y 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.

2 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL CÁLCULO MECÁNICO DE LAS TUBERÍAS

El comportamiento mecánico de las tuberías depende de la propia tubería y del material en el que se apoya y que la rodea. Por ello, se ha realizado el cálculo de las acciones que actuarán sobre la tubería. Estas son:

- Cargas sobre los tubos procedentes del material de relleno de la propia zanja.
- Acciones debidas al nivel freático (empuje hidrostático generado por el agua subterránea).
- Sobrecargas debidas al tráfico rodado de maquinaria sobre el suelo en el que se encuentra enterrada la tubería.

Las tubería se instalan dentro de terrenos de titularidad de la Comunidad de Regantes con uso exclusivo para paso de riego, por lo que no sería necesario considerar cargas de tráfico, pese a este hecho se ha considerado cargas de tráfico en todas las tuberías, pensando mayormente en el tránsito de maquinaria agrícola por dentro de las parcelas agrícolas en su circulación en zonas de ocupación de las tuberías.

Los tubos se dimensionan con el procedimiento desarrollado en la Instrucción del Instituto Eduardo Torroja para tubos de hormigón armado o pretensado de septiembre de 2007, recogido en la norma UNE-EN-1295-1 de julio de 1997: “Cálculo de la resistencia mecánica de tuberías enterradas bajo diferentes condiciones de carga” y su actualización del año 2021.

3 TUBERÍAS DE HORMIGÓN POSTESADO CON CAMISA DE CHAPA

El tubo de hormigón, postesado transversalmente, con camisa de chapa es el formado por un núcleo de hormigón que contiene una camisa cilíndrica de chapa, que le confiere estanqueidad, un alambre de acero de alta resistencia que se enrolla helicoidalmente alrededor del núcleo, a una tensión previamente fijada, que se designa "tensión de zunchado", y una capa exterior, de espesor y naturaleza variables, cuya misión principal es la protección del alambre. El núcleo zunchado, sin el revestimiento exterior, se denomina primario.

3.1 MÉTODO DE CÁLCULO

Los tubos se dimensionan con el procedimiento desarrollado en la Instrucción del Instituto Eduardo Torroja para tubos de hormigón armado o pretensado de septiembre de 2007 y que a continuación pasamos a detallar.

Las acciones que se consideran en el dimensionamiento de los tubos son las acciones directas a las que hay que añadir las acciones debidas al postesado cuando se trata de tubos de hormigón postesado con camisa de chapa.

Las acciones directas que se tienen en cuenta son las siguientes:

1. Peso propio.
2. Cargas del fluido.
3. Cargas verticales del relleno.
4. Cargas concentradas.
5. Empuje lateral.
6. Presión de Diseño/Presión Máxima de Diseño.

1. <u>Peso propio</u>:

El peso propio, q1, por metro lineal, es:

$$q_1 = \gamma_t . \Pi . d_m . t \text{ (kN/m)}$$

Donde:

γt = Peso específico del material que constituye las paredes del tubo (kN/m3).
dm = Diámetro medio del tubo (m). = (d + de)/2
t = Espesor del tubo (m).

2. <u>Carga del fluido</u>:

La carga del fluido, q2, por metro lineal, es:

$$q_2 = \gamma_1 . \Pi . d_i^2 / 4 \text{ (kN/m)}$$

Donde:

γ_1= Peso específico del fluido (kN/m3).
di = Diámetro interior del tubo (m).

3. Cargas verticales del relleno:

Estas cargas se descomponen en dos:

La carga q3, debida al peso del relleno de los tímpanos:

$$q_3 = 0{,}11 \cdot \gamma_r \cdot d_e^2 \ (kN/m^2)$$

Donde:

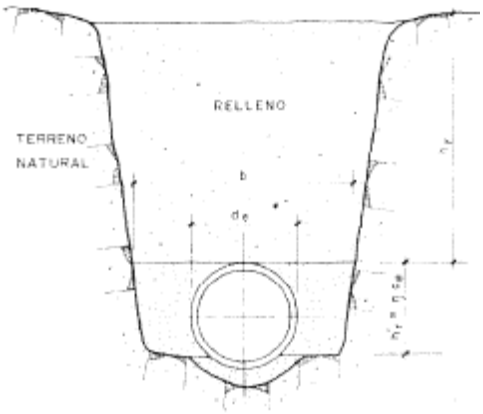
γ_r = Peso específico del relleno (kN/m3).

d_e = Diámetro exterior del tubo (m).

La carga qr, que actúa sobre el plano tangente a la generatriz superior del tubo, y que depende del tipo de colocación de la tubería.

Para el cálculo de las cargas verticales que producen los rellenos, se utiliza la teoría propuesta por Marston ampliada por Schilk y Spangler. Estas teorías consideran la compactación del relleno lateral, el peso del relleno, y las fuerzas de rozamiento que se originan en el mismo, y que producen aumento o disminución del peso del relleno que gravita directamente sobre el tubo, en función del tipo de instalación.

En este caso la instalación será en zanja:



En la instalación en zanja, el relleno y el apoyo sufren un asentamiento relativo frente al terreno primitivo, y se producen unas fuerzas de rozamiento que originan un aligeramiento del peso del relleno sobre la tubería.

Este efecto favorable disminuye a medida que aumenta la anchura de la zanja lo que obliga a calcular, también, el peso del relleno como si la tubería estuviera colocada en terraplén, y considerar como real el menor de ambos, ya que la carga para el caso de instalación en terraplén es la mayor que se puede producir para una altura de relleno determinada.

En este caso se estima que el peso del relleno es íntegramente soportado por la tubería, con el efecto favorable de su rozamiento contra los laterales de la zanja.

Entonces:

$$q_r = C_z . \gamma_r . h_r . d_e . b / d_e = C_z . \gamma_r . h_r . b \text{ (kN/m)}$$

Con hr en m, y donde Cz es el coeficiente de Marston para tubería colocada en zanja, vale:

$$C_z = 1 - e^{2\lambda\beta . hr/b} / 2\lambda\beta . h_r/b$$

Para tubos de hormigón armado o postensado con camisa de chapa, cuyo dimensionamiento se hace por cálculo, se considerará el valor de "de" en vez de "b", siempre que el relleno esté adecuadamente compactado (Proctor Normal 95%).

La distribución del peso, en el plano tangente a la generatriz superior del tubo, es virtualmente uniforme y, por lo tanto, la carga que actúa sobre la tubería será la correspondiente a su proyección vertical, es decir:

$$qr = Cz . \lambda r . hr . de \text{ (kN/m)}$$

A medida que aumenta la anchura de la zanja, disminuye el efecto reductor de las paredes laterales, y como qr es función de la anchura de la zanja, siempre es necesario comparar este valor de qr con el que se obtendría si la tubería estuviera colocada en terraplén, y tomar el menor de ambos, ya que, como se comentó anteriormente, la carga de terraplén es la mayor que se puede producir para una altura de relleno determinada.

4. <u>Cargas concentradas:</u>

a) Cargas concentradas, sin efecto de impacto.

Se admite que una carga concentrada Q, aplicada en la superficie del terreno, se transmite uniformemente en profundidad, en el interior de un tronco de pirámide, de igual pendiente, cuyas aristas están redondeadas y cuyas caras laterales forman un ángulo de 35º con la vertical.

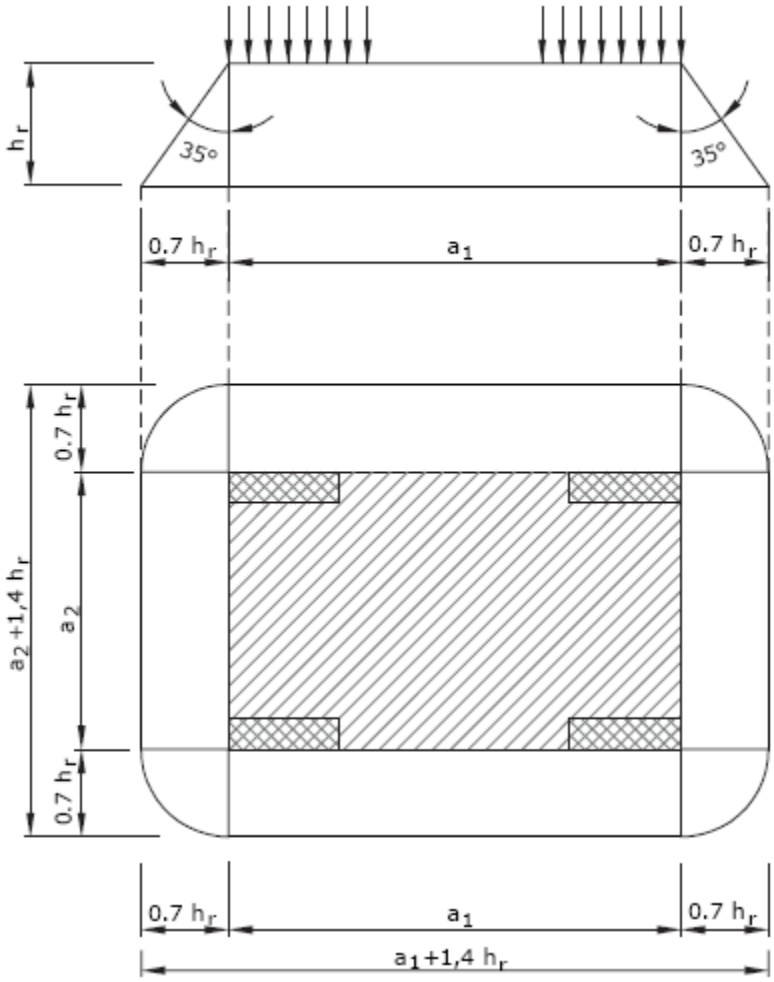
El valor de la carga q_0, que actúa sobre el plano tangente a la generatriz superior del tubo, y que depende del tipo de colocación de la tubería, zanja o terraplén, en la práctica se considera admisible utilizar las expresiones correspondientes al caso de terraplén.

$$Q_0 = q_Q . d_e \text{ (kN/m); siendo } q_Q = Q/A_r \text{ (kN/m)}$$

q_0 = Carga estática, en kN/m.

Q = Carga concentrada, en kN.

Ar = Área de reparto, en m2, a una profundidad hr, de la carga Q aplicada en la superficie del terraplén, según un rectángulo de dimensiones a1 y a2, en m.



Superficie de reparto a la profundidad hr

Esta área viene dada por la expresión:

$$A_r = 1{,}54.\ h_r^2 + 1{,}4\ .\ h_r\ (a_1 + a_2 (m^2)$$

d_e = Diámetro exterior del tubo, en m.

h_r = Profundidad del plano de reparto, en m.

Esto presupone la existencia de una hr mínima, para que la anchura de la zona de reparto a esa profundidad sea mayor o igual que el diámetro exterior del tubo, es decir, que dicho diámetro no sea mayor que la sección transversal de la superficie de reparto a la profundidad hr. De no cumplirse esta condición será preciso utilizar la sección transversal en lugar del diámetro exterior. Con lo que la altura límite a la que se interfieren las superficies de reparto es:

$$h_{rlim} = e_1 - a_1 /2\ .\ tg35º$$

siendo:

h_{rlim}. = profundidad hr a la que se interfieren varias cargas concentradas, próximas entre si.

e1 = distancia entre ejes de dos ruedas, en m.

a1 = ancho de la huella de la rueda, en m.

Cuando actúan varias cargas concentradas, próximas entre sí, cuyas superficies de reparto a la profundidad hr se interfieren, la cohesión de los rellenos permite, en general, considerarlas como una carga única cuya superficie de aplicación, al nivel del suelo es la envolvente de la superficie de reparto de las distintas cargas.

b) Cargas concentradas con efecto de impacto.

En este caso, los valores obtenidos para q0, han de mayorarse por un coeficiente de impacto igual a:

Para el tráfico carretero: $C_i=1+0,3/h_r$

Para el tráfico ferroviario: $C_i=1,67-0,1(h_r-1)\geq 1,0$

Donde:

hr = altura de relleno de las tierras, en m.

v = velocidad en km/h con un valor máximo de 200 km/h

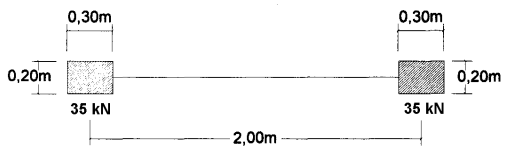
Para altura de relleno de tierras igual o superior a tres metros, Ci = 1.

Cargas producidas por el tráfico carretero.

Aplicación a algunos casos de cargas:

- Eje de 70 kN
- Eje de 130 kN
- Vehículo de 600 kN

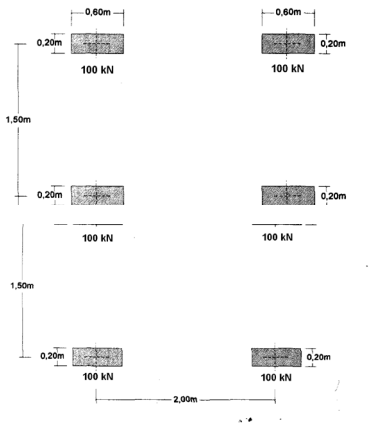
Los esquemas de cargas de cada uno de estos casos se indican a continuación:



Eje de 70 kN. Esquema de cargas.

Eje de 130 kN. Esquema de cargas.

- Vehículo de 600 kN (vehículo de tres ejes de la Instrucción de puentes de carreteras):



Vehículo de 600 kN. Esquema de cargas.

Las expresiones que dan, en estos casos, los valores de la presión vertical q0 a la profundidad hr, obtenidos considerando el caso de terraplén, y sin tener en cuenta el impacto, son las siguientes:

- Eje de 70 kN:

$h_{rlim}= e_1 – a_1 /2 . tg35º= (2-0,3)/ 1,4= 1,21$ m

$Q_0 = 35 / (1,54 . h_r^2 + 0,7 . h_r + 0,06)$ kN /m^2

Para $h_r > 1,21$ m

$Q_0 = 70 / (1,54 . h_r^2 + 3,5 . h_r + 0,46)$ kN /m^2

- Eje de 13 t:

$h_{rlim}= e_1 – a_1 /2 . tg35º= (2-0,6)/ 1,4= 1,00$ m

Para $h_r \leq 1,00$ m

$Q_0 = 65 / (1,54 . h_r^2 + 1,12 . h_r + 0,12)$ kN /m^2

Para hr > 1,00 m

$Q_0 = 130 / (1,54 . h_r^2 + 3,92 . h_r + 0,52)$ kN /m^2

Vehículo de 600 kN (vehículo de tres ejes de la Instrucción de puentes de carreteras):

$h_{rlim}= e_1 – a_1 /2 . tg35º= (1,5-0,2)/ 1,4= 0,93$ m

siendo:

e2: distancia entre ejes, en m
a2: ancho de la rueda, en m

y

h_{rlim}= $e_1 – a_1$ /2 . tg35º= (2-0,6)/ 1,4= 1,00 m

Para hr ≤ 0,93 m,
$Q_0 = 100 / (1,54 . h_r^2 + 1,12 . h_r + 0,12)$ kN /m^2

Para 0,93 < hr ≤ 1,00 m,
$Q_0 = 300 / (1,54 . h_r^2 + 5,32 . h_r + 1,92)$ kN /m^2

Para hr > 1,00 m,
$Q_0 = 600 / (1,54 . h_r^2 + 8,12 . h_r + 8,32)$ kN /m^2

5. Empuje lateral

La expresión del empuje lateral (fig. 21) es:

$$q_\beta=\lambda . \gamma_r (h_s + d_e/2 (1 – \cos\beta)) \quad kN /m^2$$

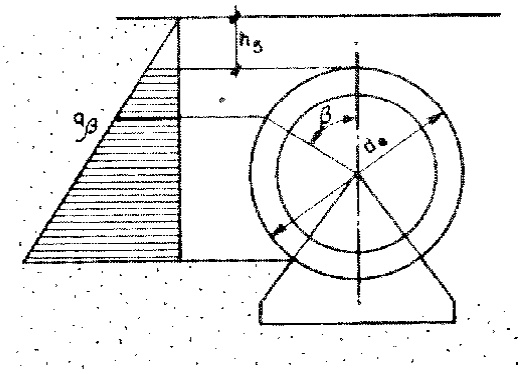


fig.-2 Empuje lateral

Según se encuentre la tubería en zanja o terraplén, la expresión de la altura de tierras equivalente, h5, es:

a) En zanja:

$$h_5 = C_z . h_r + q_0 /(\gamma_r . d_e)$$

A efectos prácticos de determinación de esfuerzos transversales, se denomina q_5 al producto $\lambda . \gamma_r . d_e$ en kN/m2.

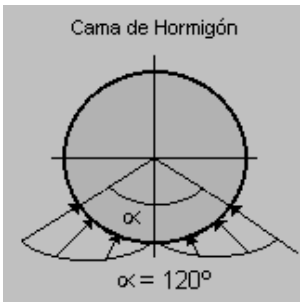
6. Presión interna

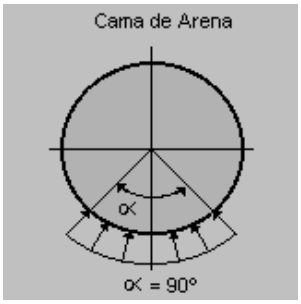
Se considera como presión interna la presión de diseño (DP), la presión máxima de trabajo (MDP), o la presión de prueba en zanja (STP) en función de la hipótesis de cálculo considerada.

· Determinación de esfuerzos transversales.

Como esquema estructural, se asimila la sección transversal del tubo a un arco elástico. Se considera media sección transversal del tubo, supuesta empotrada en la base y con empotramiento deslizante en la clave.

Los esfuerzos transversales producidos por cada una de las acciones que actúan sobre el tubo, se obtienen por superposición de dos estados: el de esa acción y el de su reacción sobre el apoyo.





Para la obtención de los esfuerzos en clave, riñones y solera debidos a las acciones ovalizantes, se incluyen a continuación los cuadros I y II que permiten obtener los momentos flectores y los esfuerzos axiles en función del tipo de apoyo y de la relación espesor/diámetro interior.

La presión interna produce un esfuerzo axil de tracción. Para el cálculo de dicho esfuerzo, se admite, como simplificación, utilizar la expresión correspondiente a los tubos de pared delgada.

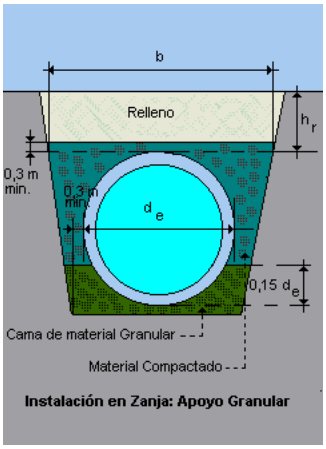
$$N = 0{,}5 \cdot MPD \cdot d_1 \ (N / mm)$$

3.2 LISTADOS DE COMPROBACIÓN

Para el cálculo de la tubería de hormigón postesado con camisa de chapa de acero se han adoptado las siguientes hipótesis de cálculo:

- Tipo de colocación: zanja con relleno sin compactar desde DN 700 a DN 1000 mm y zanja con relleno compactado para tuberías desde DN 1200 a DN 1600 mm.
- Apoyo Granular a 90°.
- Sobrecarga de tráfico correspondiente al eje de 13 Tn.
- Condiciones prueba en zanja:

DN	DP	MDP	STP	Sobrecarga trafico	Compactación zanja	Talud	Ancho Zanja	Cama de grava	Relleno grava	HT mínima	HT máxima	Cumple
(mm)	(atm)	(atm)	(atm)	(t/eje)	(Si/No)	(H/V)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	
1600	8	10	11	13	SI	1/1	6,10	0,15	No	1,1	3	Si
1600	8	10	11	13	Si	1/1	6,10	0,15	No	1,1	4,5	Si
1500	8	10	11	13	SI	2/1	9,15	0,15	No	1,1	3	Si
1500	8	10	11	13	Si	2/1	9,15	0,15	No	1,1	4,5	Si
1500	8	10	11	13	SI	1/1	5,58	0,15	No	1,1	3	Si
1500	8	10	11	13	Si	1/1	5,58	0,15	No	1,1	4,5	Si
1400	8	10	11	13	SI	1/1	5,29	0,15	No	1,1	3	Si
1400	8	10	11	13	Si	1/1	5,29	0,15	No	1,1	4,5	Si
1400	8	10	11	13	SI	2/1	8,66	0,15	No	1,1	3	Si
1400	8	10	11	13	Si	2/1	8,66	0,15	No	1,1	4,5	Si
1300	8	10	11	13	SI	1/1	4,98	0,15	No	1,1	3	Si
1300	8	10	11	13	Si	1/1	4,98	0,15	No	1,1	4,5	Si
1200	8	10	11	13	No	1/1	4,68	0,15	No	1,1	3	Si
1200	8	10	11	13	No	1/1	4,68	0,15	No	1,1	4,5	Si
1100	8	10	11	13	No	1/1	4,38	0,15	No	1,1	3	Si
1100	8	10	11	13	No	1/1	4,38	0,15	No	1,1	4,5	Si
1000	8	10	11	13	No	1/1	4,06	0,15	No	1,1	3	Si
1000	8	10	11	13	No	1/1	4,06	0,15	No	1,1	4,5	Si
900	8	10	11	13	No	1/1	3,74	0,15	No	1,1	3	Si
900	8	10	11	13	No	1/1	3,74	0,15	No	1,1	4,5	Si
800	8	10	11	13	No	1/1	3,40	0,15	No	1,1	3	Si
800	8	10	11	13	No	1/1	3,40	0,15	No	1,1	4,5	Si
700	8	10	11	13	No	1/1	3,10	0,15	No	1,1	4,5	Si



En el Apéndice 3 se adjuntan los resultados obtenidos de los cálculos realizados por la casa comercial Prefabricados DELTA S.A., siendo válido los diámetros estudiados para las condiciones planteadas y dimensionados de armado.

4 CONCLUSIONES

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

Para la tubería de HPCC se calcula el refuerzo y numero de espiras por metro con el fin de que la tubería cumpla con las condiciones de instalación del proyecto (zanjas con relleno sin compactar para diámetros de tubería desde DN 700 mm a DN 1000 mm y zanja con relleno compactado para tuberías desde DN 1200 mm hasta DN 1600 mm).

En concreto todas las tuberías están calculadas para recubrimientos de hasta 3 metros de tierras y de hasta 4,5 metros de tierra y taludes en todos los casos 1H/1V.

Igualmente se calcula el armado del tubo para los casos de las tuberías DN 1400 y 1500 mm con taludes 2H/1V.

APÉNDICE Nº 1. LISTADOS DEL CÁLCULO MECÁNICODE LAS TUBERÍAS DE HORMIGÓN POSTESADO CON CAMISA DE CHAPA DE ACERO