

# Cálculo mecánico de tubos de hormigón para hinca

**José Rodríguez Soalleiro;** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Asesor Técnico de Canalizaciones de ANDECE

Cuando se ha de urbanizar una zona o se construye una infraestructura nueva como una carretera o una vía férrea, los sistemas de saneamiento y drenaje se instalan a cielo abierto utilizando uno de los siguientes sistemas de instalación: zanja; zanja terraplenada; terraplén; o zanja inducida.

Cuando debe instalarse un nuevo sistema de saneamiento o sustituir uno obsoleto en una zona urbana o bajo una infraestructura en uso cobra protagonismo otro tipo de instalación: la instalación por hinca de tubos de hormigón.

La ventaja fundamental es que con este sistema no es necesario destruir las infraestructuras existentes en superficie ni cortar el tráfico completamente, con lo que no sólo se puede ahorrar dinero en el importe total del proyecto, al conservar el resto de infraestructuras, no tener que realizar enormes movimientos de tierras, etc. sino que es posible evitar a los ciudadanos, en gran medida, las molestias de una obra de este estilo, que, por otro lado, también suponen una pérdida económica para la sociedad, al mermar la efectividad de los transportes de personas y mercancías.



## Proceso de cálculo

El cálculo mecánico de los tubos de hinca debe recoger no solamente los aspectos relativos a su carga de aplastamiento, sino también los correspondientes a la fuerza y longitud máxima de empuje.

Ambos se realizan en base a lo recogido en la norma europea UNE EN 1916 y su complemento nacional UNE 127916.

## Situación reglamentaria de los tubos de hormigón

El marcado CE de los tubos de hormigón queda establecido en el Anexo ZA de la Norma Europea EN 1916. Sin embargo, esta norma armonizada fue aprobada sin obtener un acuerdo completo sobre los requisitos correspondientes a las especificaciones nacionales existentes en los países miembros de CEN. Por este motivo, para la especificación de este producto, es necesario que en el ámbito nacional se dispongan unos requisitos complementarios que complementen el dominio de aplicación de estas normas europeas, por lo que se determinó la necesidad de desarrollar una norma nacional para que cubriesen las características no recogidas en la norma armonizada, en el caso de España, la UNE 127916.

## I. Determinación de las cargas actuantes sobre el tubo

### I.1. Cargas del relleno

La carga producida por el terreno se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$q_r = C_h \gamma_r D_e^2 - 2c C_h D_e$$

Con  $q_r$  se expresa en kN/m y siendo:  
 $h_r$  la altura sobre la clave del tubo (en metros).

$D_e$  el diámetro exterior (en metros).  
 $\gamma_r$  el peso específico del terreno (en )  
 $C_h$  es el coeficiente de Marston de valor

$$C_h = \frac{1 - e^{-2\lambda\mu(h_r/D_e)}}{2\lambda\mu}$$

$c$  es el coeficiente de cohesión, en kN/m<sup>2</sup>

## 1.2. Carga debida al tráfico

Para evaluar las cargas móviles se siguen los criterios establecidos en la UNE 127916, distinguiéndose los siguientes:

### 1.2.1. Tráfico carretero

Se consideran tres tipos de vehículos:

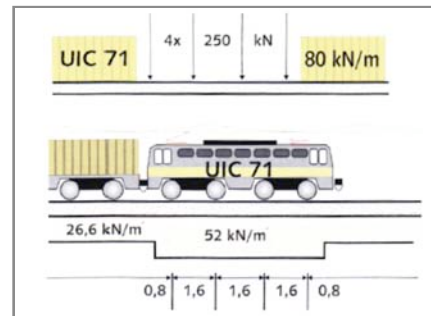
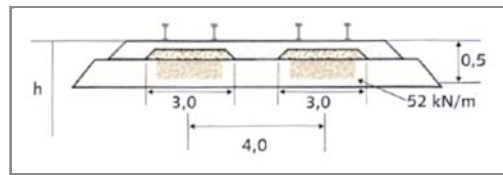
- Eje simple de 70 kN, a aplicar en viales para uso exclusivo de vehículos ligeros o tractores agrícolas. Se compone de 2 cargas de 35 kN separadas 2 m entre ejes de huella. La huella de cada carga tiene 0,20 m en dirección a la marcha y 0,30 m en dirección transversal.
- Eje simple de 130 kN a aplicar en vías principales. Se compone de 2 cargas de 65 kN separadas 2 m entre ejes de huella. La huella de cada carga tiene 0,20 m en dirección a la marcha y 0,60 m en dirección transversal.
- Vehículos definidos en 4.1.2 de la IAP-11, a aplicar en todas aquellas vías en las que se prescriba la Instrucción de acciones en puentes de carretera. Para este último caso y con alturas de relleno mayor o igual a 50 cm. como consecuencia de la cohesión de los rellenos, se permite considerar que las cargas actuantes en superficie y cuyas aéreas de reparto se interfieren, puedan tomarse como una carga única con un área de aplicación correspondiente a la envolvente de las distintas cargas.

Los coeficientes de impacto se definen en la UNE 127916.

### 1.2.2. Tráfico ferroviario

El tren de cargas considerado es el de la IAPF 08 con un coeficiente de clasificación de 1,21:

Para las dimensiones habituales de los tubos, los valores del coeficiente de impacto calculados con las fórmulas del anexo B de la IAPF, están en los siguientes máximos:



- 2,00 para velocidades de proyecto no superiores a 120 km/h
- 1,67 para velocidades de proyecto superiores a 220 km/h
- 1,84 para valores intermedios

Y considerando la reducción en profundidad de  $0,1(hr-1)$ , el valor del coeficiente de impacto será:

$C_i = 2,00 - (0,1 \cdot (hr-1))$  para velocidades de proyecto no superiores a 120 km/h

$C_i = 1,67 - (0,1 \cdot (hr-1))$  para velocidades de proyecto superiores a 220 km/h

$C_i = 1,84 - (0,1 \cdot (hr-1))$  para valores intermedios

Siendo  $C_i \geq 1$  y aplicable para  $hr \geq 1$ .

Dado el esquema transversal de la figura, se considera un reparto a 35°, teniéndose en cuenta la superposición de presiones debidas a locomotora y vagones y a la presencia de varias vías, si procede.

### 1.2.3. Tráfico aéreo

Se calcula como  $q_{aéreo} = D_e \cdot q_Q$  en kN/m, obteniéndose  $q_Q$  de la tabla siguiente:

$h_r$ (m)	$q_Q$ en kN/m <sup>2</sup> 900kN (DC9)	1800 (DC8) kN	3500 (Jumbo) kN	5500 kN	7500 kN
≤ 1,0	98	117,6	132,3	137,2	147
2,0	39,2	68,6	88,2	107,8	117,6
3,0	19,6	39,2	58,8	78,4	88,2
4,0	14,7	24,5	39,2	58,8	78,4
5,0	9,8	19,6	29,4	39,2	53,9
6,0	9,8	14,7	24,5	34,3	39,2
7,0	4,9	9,8	19,6	24,5	34,3
8,0	4,9	9,8	14,7	24,5	29,4
9,0	4,9	9,8	14,7	19,6	24,5
10,0	4,9	9,8	14,7	14,7	19,6
≥ 15,0	4,9	4,9	4,9	9,8	14,7

CLASE RESISTENTE PARA TUBOS DE HINCA - CLASIFICACION TIPO A	
Unidades (kN/m <sup>2</sup> )	Clase resistente tipo A
Carga de comparación ≤ 65	Clase III
65 < Carga de comparación ≤ 100	Clase IV
100 < Carga de comparación ≤ 140	Clase V

CLASE RESISTENTE PARA TUBOS DE HINCA - CLASIFICACION TIPO E	
Unidades (kN/m <sup>2</sup> )	Clase resistente tipo E
Carga de comparación ≤ 60	Clase 90
60 < Carga de comparación ≤ 90	Clase 135
90 < Carga de comparación ≤ 120	Clase 180

A profundidades no inferiores a 1 m, la presión determinada incluye el coeficiente de impacto si la carga de 150 kN/m<sup>2</sup>, producida por las aeronaves, se aplica en la superficie y no se considera el efecto de reparto de las cargas producido por el pavimento. Para valores intermedios de la tabla se interpola.

Para la correcta aplicación de estos valores es por tanto obligatorio que  $h_r \geq 1$  m.

Se recomienda que el recubrimiento mínimo de tierras por encima de la clave del tubo sea no menor de 1,5 m.

## 2. Determinación de la clase resistente

La clase resistente exigible al tubo se obtiene de las tablas siguientes, en función de la clasificación considerada y partiendo de la carga de comparación siguiente:

$$\text{Carga de comparación (kN/m}^2\text{)} = q_{\text{total}} / (F_{\text{ap}} \cdot D)$$

Siendo:

$q_{\text{total}}$  es la carga producida por el terreno, la carga móvil y otras que eventualmente pudieran afectar al tubo.

$F_{\text{ap}}$  es el factor de apoyo (se recomienda tomar el valor de 1,9)

D es el diámetro interior del tubo

## 3 .Determinación de la fuerza máxima de empuje

Según el anexo B de la Norma UNE-EN 1916, la fuerza de empuje máxima admisible para el caso de angulación cerrada es:

$$F_{\text{cj}} = 0,5 \cdot F_j \leq 0,5 \cdot f_{\text{ck}} \times A_c$$

Siendo:

$A_c$  es la superficie comprimida de la sección de la unión

En el caso de angulación abierta:

$$F_{\text{oj}} = e \cdot F_j \leq 0,3 \cdot f_{\text{ck}} \times A_c$$

Siendo:

$e \leq 1$  es la excentricidad y

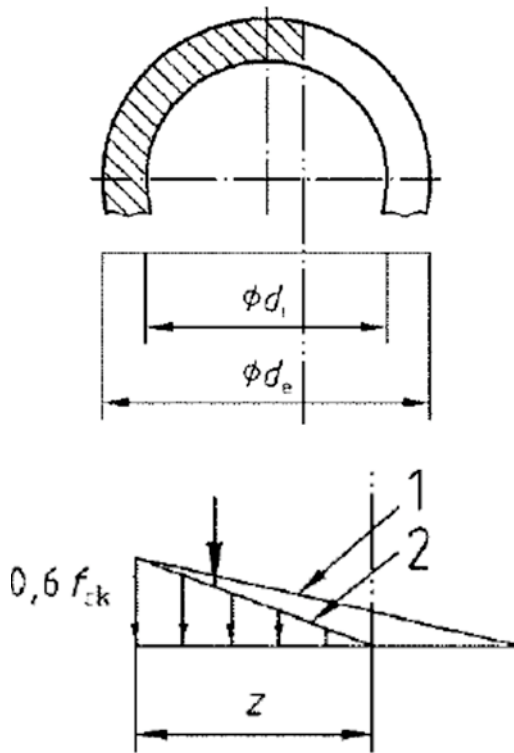
$f_{\text{ck}}$  es el valor característico de la resistencia a compresión del hormigón



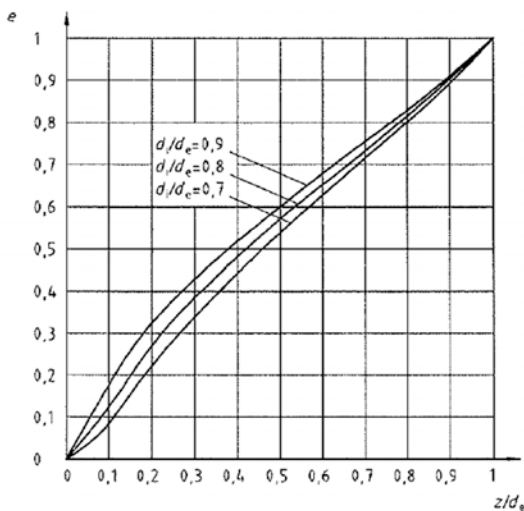
La fuerza de empuje máxima para angulación cerrada es la que corresponde a suponer una tensión nula en un extremo del diámetro y creciente de forma uniforme hasta alcanzar un valor del 60% de  $f_{\text{ck}}$  en el otro extremo.

Para el caso de angulación abierta, la compresión máxima tampoco debe superar el 60% de  $f_{\text{ck}}$ . El reparto de las tensiones en la unión es el de la figura, y por tanto la fuerza máxima de empuje es menor que en el caso de angulación cerrada.

En las figuras siguientes se representa la zona comprimida y los diagramas de esfuerzos correspondiendo el "1" al límite de la angulación cerrada y el "2" a la angulación abierta.



El valor de "e" se obtiene del diagrama siguiente:



#### 4. Determinación de la longitud máxima de empuje

Su valor es:

$$L_{\max} = F / (U_t \cdot \pi \cdot D_e)$$

Siendo:

$L_{\max}$  es la longitud máxima de empuje (m)

F es la fuerza de empuje obtenida en el apartado anterior (N)

$U_t$  es el coeficiente de rozamiento del terreno contra el tubo ( $N/m^2$ )

Sin estudios específicos de la obra, se recomienda no considerar un valor superior a  $20 \text{ kN/m}^2$

$D_e$  es el diámetro exterior del tubo (m)



ATHA es la Asociación de Fabricantes de Tubos de Hormigón Armado, que a su vez está integrada en la Asociación Nacional de la Industria del Prefabricado de Hormigón, ANDECE. La reciente publicación del nuevo complemento nacional UNE 127916 obligó a actualizar a su vez las Fichas de cálculo mecánico de tubos de hormigón, disponibles en su página web. Dentro de las actuaciones de promoción y formación técnica que realiza la asociación representante del sector de los prefabricados de hormigón en España, celebró a finales de enero un encuentro técnico online abierto en el que se presentaron varios ejemplos prácticos de las funcionalidades de estas fichas de cálculo, vídeo tutorial que se puede visualizar para un mejor conocimiento del manejo de dichas fichas.

Referencias:

[www.andece.org](http://www.andece.org)

[www.atha.es](http://www.atha.es)

Contacto: [tubos@andece.org](mailto:tubos@andece.org)