

Diseño y cálculo de tubos de hormigón armado para hinca

Los tubos de hormigón son un producto versátil para cualquier sistema de saneamiento o drenaje ya que permiten multitud de métodos de instalación (zanja, zanja terraplenada, terraplén, zanja inducida, hinca). Esto, unido a la posibilidad de escoger entre diversas clases resistentes para cada diámetro nominal, proporciona versatilidad de diseño permitiendo al prescriptor adaptarse lo mejor posible a las condiciones concretas de cada proyecto y tener posibilidad de decidir cuál resulta más conveniente para cada caso concreto.

Los tubos de hormigón son uno de los prefabricados de hormigón más empleados en los sistemas de saneamiento y drenaje debido fundamentalmente a las siguientes ventajas:

- Flexibilidad de diseño e integridad estructural
- Economía
- Durabilidad
- Calidad
- Estabilidad y seguridad

En España se comercializan tubos circulares, tubos circulares con andén, tubos ovoides y tubos de hinca. Estos últimos permiten la instalación sin necesidad de realizar zanja por ello se emplea cuando se proyecten cruces bajo carretera, ferrocarril y, en general, pasos de



difícil ejecución en los que no sea posible o recomendable la realización de una zanja a cielo abierto. También podrán utilizarse en aquellos otros casos en los que, por la profundidad de la zanja, la dificultad de ejecución o cualquier otra circunstancia, se justifique la conveniencia de este procedimiento

Tubos de hormigón armado para hinca

Definición

La norma europea UNE EN 1916 “Tubos y piezas complementarias de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibra de acero”, define tubo de hinca como “Tubo de hormigón armado o no, o de hormigón con fibra de acero, con una unión elástica contenida en el espesor de la pared, del tipo a medio espesor o con virola.”

Cuándo se emplean

Este tipo de tubería resulta idónea en situaciones extraordinarias o por problemas de ejecución, como pueden ser:

- La necesidad de realizar pasos bajo autopistas, ferrocarriles o edificaciones ya existentes.
- Vadeo de ríos o zonas donde el nivel freático sea muy alto.
- En ejecuciones donde la profundidad de la zanja sea excesiva. En ejecuciones en zanja a profundidades mayores de 8 metros que necesitan entibación y para longitudes de más de 50 metros, la tubería de hinca se considera una alternativa muy económica frente a la tubería en zanja.
- Renovación de redes de saneamiento en centros urbanos.

Características físicas. Estrictos controles de calidad

Este tipo de tubería, por los esfuerzos que debe soportar y por la complejidad del hincado (ya que se requiere un perfecto paralelismo entre sus caras), debe ser diseñada y fabricada siguiendo los más estrictos controles de calidad.

Las tolerancias permitidas para los diámetros exteriores de los tubos de hinca son determinantes para poder mantener el correspondiente espacio sobrante establecido entre el tubo y el túnel. A su vez, la perpendicularidad del frente de los tubos de hinca tanto en enchufe como en la virola es especialmente importante para transmitir la fuerza de empuje.

El diseño de la tubería de Hinca está caracterizado por tres aspectos fundamentales:

1. Longitud útil limitada a tres metros como máximo para evitar el pandeo.
2. Los tubos llevan un zuncho metálico galvanizado (virola) en uno de sus extremos de forma que, para conseguir la estanquidad de la conducción, se colocará una junta elástica en el extremo macho del tubo para que en la unión haga tope contra la virola. Además entre las testas de los tubos se intercalan aros de madera aglomerada

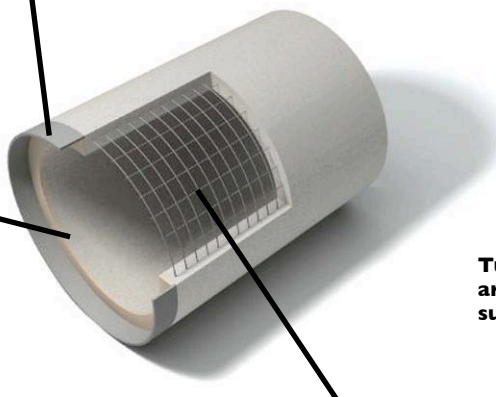


(sufrideras) que evitan el desconche del hormigón al recibir los esfuerzos de empuje.

3. Los tubos de Hinca llevan instalados unos taladros metálicos en las paredes del tubo (inyectores de bentonita) embebidos en la pared de la tubería distanciados unas de otras a 120º para facilitar la instalación en la obra reduciendo las fuerzas de rozamiento entre el terreno y el tubo y evitar que se desmorone el túnel realizado por la cabeza perforadora al paso de la conducción.

Virola: anillo metálico realizado en acero soldable y galvanizado en caliente que posteriormente se pintará con brea epoxi para retrasar el ataque químico al acero. La función principal de este elemento unido rígidamente al hormigón es conseguir una estanqueidad total a lo largo de toda la conducción mediante la utilización de juntas elastoméricas.

Sufridera: anillo de madera que se coloca en el frente donde se sitúa la virola. Su función principal es la de absorber las posibles irregularidades del enchufe o la no perpendicular de los frentes para que no aparezcan concentración de tensiones en el hormigón.



Tubo de hinca de hormigón armado con virola metálica y sufridera de madera colocada

Armaduras En el caso de juntas a medio espesor las armaduras de los tubos de hinca deben prolongarse desde el cuerpo del tubo hasta los extremos macho y hembra. La armadura transversal debe reforzarse en un 20% en ambos extremos del tubo, en una longitud de $0,25 \cdot D$ con un mínimo de 25 cm. Además se deben disponer estribos que conecten la armadura exterior e interior en los dos extremos del tubo. La cuantía de la armadura longitudinal debe ser de al menos un 10% de la armadura transversal, con una separación máxima entre barras de 40 cm.

Cálculo mecánico

Durante la instalación de tubos de hormigón armado hincados con empujador existen dos tipos de carga aplicados sobre el tubo: la carga de tierra debida al relleno, con la posibilidad de alguna sobrecarga debida al asentamiento del terreno de alrededor, y la compresión longitudinal provocada por las presiones aplicadas con el empujador al instalar el tubo.



Cargas de relleno para tubos hincados

Los factores que influyen en la carga vertical que se aplica sobre el tubo son:

- El peso del prisma de tierras sobre la perforación
- La fuerza de rozamiento entre el prisma de tierra situado sobre la perforación y los prismas adyacentes.
- La cohesión del terreno.

En función de todo ello la carga de tierras es igual al peso de la tierra sobre la perforación menos las fuerzas de rozamiento entre el prisma superior y los prismas adyacentes a la perforación y por la cohesión del terreno situado sobre la perforación.

$$q_r = C_z \gamma_r D_e^2 - 2 c_0 C_z D_e$$

Siendo:

q_r = Carga de tierra en condiciones de hincado

o perforado (kN/m)

C_z = Coeficiente de Marston o de carga

γ_r = Densidad del terreno (kN/m³)

D_e = Diámetro exterior del tubo (m)

c_0 = Cohesión del terreno (kN/m²)

Los valores de la cohesión, son los siguientes:

Tipo de suelo	Valores de c_0 (kN/m ²)
Arcilla	
Blanda	2,0
Media	12,2
Dura	48,8
Arena	
Desecada	0
Cenagosa	4,8
Compacta	14,6

Por ser el valor de la cohesión un valor incierto y depender de la humedad, se recomienda para el cálculo el valor $c_0 = 2$ kN/m².

El valor del coeficiente de Marston se obtiene de:

$$C_z = \frac{1 - e^{-2\lambda\mu' \frac{h_r}{D_e}}}{2\lambda\mu'}$$

Se consideran cinco tipos de terreno con los siguientes parámetros:

Tipo de relleno	$\lambda\mu'$	γ_r
Arcilla plástica	0,110	21,0
Arcilla ordinaria	0,130	19,2
Arena arcillosa	0,150	19,2
Arenas y gravas	0,165	17,6
Material granular sin cohesión	0,190	19,0

h_r = Altura de relleno (m)

γ = Coeficiente de Rankine ó relación entre el empuje lateral y la presión vertical.

μ' = Coeficiente de rozamiento entre el material del prisma superior y las paredes laterales.

Se deben tomar como valores de terreno tipo los de la arcilla plástica, ya que en general se desconoce la naturaleza del terreno en el que se va a ejecutar la perforación y estos valores están claramente del lado de la seguridad.

Determinación del factor de apoyo

El factor de apoyo F_a se define como la relación entre la capacidad resistente de la tubería enterrada y la capacidad resistente de esa misma tubería sometida al ensayo de flexión transversal.

La instalación por hincado proporciona una buena calidad de contacto entre la menor superficie exterior del tubo y el terreno circundante.

Si el método de perforación es sobre-excavando el diámetro exterior del tubo, el espacio entre la perforación y el tubo puede ser rellenado con arena, lechada, hormigón u otros materiales. En este caso se puede considerar un factor de apoyo de 3. Para ello, los tubos irán provistos de tres taladros pasantes que permiten realizar las inyecciones necesarias. Están situados en el centro del tubo y dispuestos formando un ángulo entre ellos de 120° . El diámetro de estos taladros pasantes será de 2,5 cm. Si el espacio no fuese rellenado se recomienda disminuir el factor de apoyo a 1,9.

En caso de que el método de perforación consista en que el propio tubo arrastre parte o todo el terreno, se deberán utilizar los factores de apoyo correspondientes a la instalación en zanja. Los distintos factores de apoyo en instalación en zanja oscilan entre 1,5 y 3,0. Se aconseja adoptar para el cálculo 1,5 por ser un valor incierto.

Determinación de la clase del tubo

La clase de tubería se asigna en función de su capacidad resistente expresada en kN/m^2 y del diámetro interior D expresado en metros. La carga de cálculo será:

$$Q_c = \frac{q_r \cdot Y_1}{F_a \cdot D}$$

Y_1 = Coeficiente de mayoración de acciones; es la relación que se admite entre la carga de rotura y la carga de fisuración.

Para las clases III y IV se toma un valor de 1,5. Para la clase V se toma un valor 1,25.

Como consecuencia de este cambio de valor del coeficiente de mayoración, se produce un solape en la carga de cálculo entre las clases IV y V, que se soluciona haciendo un cálculo previo

de fisuración y comparando con las cargas de fisuración de ambas clases (Carga de fisuración clase IV = 100 kN/m^2 ; Carga de fisuración clase V = 140 kN/m^2).

F_a = Factor de apoyo

Se considera como clase resistente mínima en el caso de la tubería de hincado la clase III de ASTM C-76M, que tiene como carga de cálculo última 100 kN/m^2 .

Clase de los tubos de hincado	
Unidades (kN/m^2)	Clase
Carga de cálculo ≤ 100	III
$100 \leq$ Carga de cálculo ≤ 150	IV
$125 \leq$ Carga de cálculo ≤ 175	V

Comprobación a compresión longitudinal

La fuerza del empuje se compone de la fuerza en el frente de avance y la fuerza del rozamiento envolvente.

1) Empuje en el frente de avance

Para el cálculo en el frente de avance (F') se tiene en cuenta la tensión de corte del terreno, cuyo valor oscila entre 300 y 600 kN/m^2 , tomándose en el cálculo un valor medio de 450 kN/m^2 .

$$F' = \frac{450 \cdot \pi \cdot D_e^2}{4}$$

Siendo:

F' = Fuerza ejercida en el frente de avance (kN)

D = Diámetro exterior (m)

2) Rozamiento envolvente

En el cálculo del rozamiento envolvente se considera que el terreno se aplica omnidireccionalmente al tubo, siendo este criterio el más desfavorable. Existen diversos factores que pueden reducir este valor, como por ejemplo el hecho de que se pueda constituir una bóveda sobre la tubería una vez que se haya realizado la perforación, con lo que el terreno no presionaría sobre toda la conducción. También se puede considerar el uso de productos lubricantes, como la bentonita, que reducen el rozamiento por debajo de 10 kN/m^2 , siendo el coeficiente de fricción tubo-relleno más restrictivo, $m_l = 20 \text{ kN/m}^2$.

$$F = \mu_1 \cdot \pi \cdot D_e \cdot L$$

siendo

F = Fuerza ejercida por el rozamiento (kN)

μ_1 = Coeficiente de fricción (kN/m²)

D_e = Diámetro exterior (m)

L = Longitud de hincado (m)

3) Empuje máximo admisible

El empuje máximo aplicable durante la instalación depende de las características de resistencia a compresión del hormigón f_{ck} dadas por el fabricante y de la superficie de empuje C_e .

La resistencia a compresión mínima de cálculo f_{cd} (40 N/mm²) no excederá del 40% de la resistencia de cálculo (f_{cd}). La resistencia de cálculo es:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Siendo:

γ_c = Coeficiente de minoración del hormigón = 1,5

El área de la superficie, C_e , sometida a compresión se obtiene a partir del menor espesor de la pared en la zona de empuje:

$$C_e = \frac{(D_e^2 - D_i^2) \cdot \pi}{4}$$

Por lo que debe cumplir:

$$f_c = \frac{F + F'}{C_e} \leq \frac{f_{ck} \cdot 0,4}{\gamma_c} \approx 10 \text{ MPa}$$