

Manual de Cálculo, Diseño e Instalación de Tubos de Hormigón Armado

Manual de Cálculo, Diseño e Instalación de Tubos de Hormigón Armado

Editado por:
Asociación de Fabricantes
de Tubos de Hormigón
Armado ATHA

c/ Príncipe de Vergara, 211 - 1º
28002 Madrid

Diseño: Estudio Gráfico A.F.
Ilustración: J. Gorines

Impreso en:

Manual de Cálculo, Diseño e Instalación de
Tubos de Hormigón Armado

Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción
total o parcial del contenido de este manual sin la autori-
zación de ATHA.

Dirección y Coordinación:

José Luis Almazán Gárate.
Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.
Ldo. en Ciencias Económicas y Empresariales.
Profesor Titular Universitario de la E.T.S. de Caminos,
Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid

Comité de Redacción:

Arenzana Castillo, José Ramón.	Arenzana Prefabricados, S.A.
Fernández Fernández, Fermín	Hormitubo, S.A.
Gadea Sanchís, Juan Bautista..	Gadea Hermanos, S.A.
García Guijarro, José Antonio.	Tuberías y Prefabricados Palau, S.A
Gogearcochea Alberdi, Josu.	Prefabricados Alberdi, S.A.
Hernández Milán, José Fernando.	Forte Hormigones Tecnológicos, S.L.
Iglesias Fernández, José Miguel.	A.T.H.A.
Ibáñez Bardales, Luis.	El Caleyó. Nuevas Tecnologías, S.A.
Jofré Ibáñez, Carlos.	I.E.C.A.
Martín Frías, Javier.	Tubos Hurtado, S.L.
Montull Gómez, José María.	Prefraga, S.A.
Navarro Arcas, Manuel.	Industrias del Cemento Aglomerado, S.A.
Porres Ferradas, Olimpia.	A.T.H.A.
Pujante Escribano, Pedro.	Bortubo, S.A.
Reguero Amado, Juan.	S.A.E. Tubos Fábrega.
Rodríguez Soalleiro, José.	Tubos Borondo, S.A.
Servent Roviroza, Joaquín.	Formo Unicon, S.A.
Sesma Alcalde José, Alberto.	Prefabricaciones y Contratas, S.A.



Este manual se ha elaborado con la finalidad de divulgar los conocimientos actuales sobre la tubería de Hormigón Armado.

Expresamos nuestro reconocimiento a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, al Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, a los fabricantes de tubos y a las industrias suministradoras y auxiliares. Todos ellos han hecho posible con su esfuerzo conjunto esta publicación.

Confiamos sea de utilidad a los profesionales del sector y agradecemos cuantas observaciones y sugerencias nos hagan llegar sobre la misma.

Alvaro Gómez
Presidente de ATHA



INDICE

Introducción

1. Los tubos de hormigón armado

- 1.1 Historia y desarrollo. 9
- 1.2 Tipología actual de los tubos de hormigón armado. 13
- 1.3 Usos y ventajas diferenciales de los tubos de hormigón armado. 16

2. Normativa

- 2.1 Normativa española. 19
- 2.2 Normativa Europea. prEN 1.916 y prEN 1.917. 21
- 2.3 Norma Europea de Cálculo e instalaciones UNE-EN 1610. 22
- 2.4 Otras Normas. 22
- 2.5 Norma Americana ASTM. 23
- 2.6 Pliegos de Organismos Públicos. 24
- 2.7 Recomendaciones para la redacción del Pliego de prescripciones técnicas para tuberías circulares en infraestructuras de saneamiento. 24

3. Diseño y Cálculo

- 3.1 Durabilidad. 27
- 3.2 Adecuación medioambiental. 39
- 3.3 Aspectos económicos. 43
- 3.4 Cálculo hidráulico de tuberías sin presión. 43
- 3.5 Cálculo mecánico. 61
- 3.6 Criterios de dimensionamiento resistente. 119
- 3.7 Piezas especiales. 121
- 3.8 Uniones. 137
- 3.9 Diseño y Cálculo de tubos de Hormigón Armado para Hinca. 142

4. Fabricación de tubos, pruebas y controles en planta, recepción y pruebas en obra.

- 4.1 Introducción. 149
- 4.2 Métodos de fabricación de tubos de hormigón armado. 150
- 4.3 Control de calidad. 157
- 4.4 Marcado de tubos. 160
- 4.5 Condiciones de aceptabilidad de los tubos. 161

5. Puesta en obra e instalación.

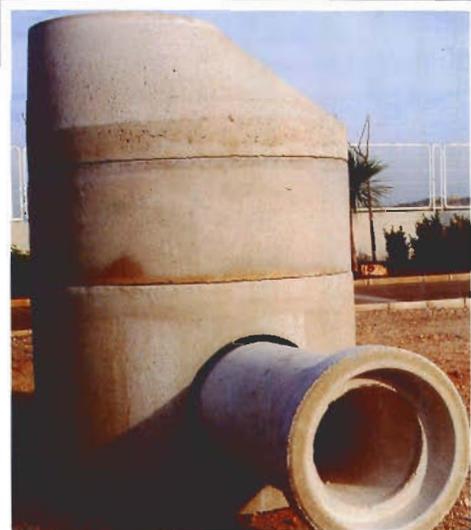
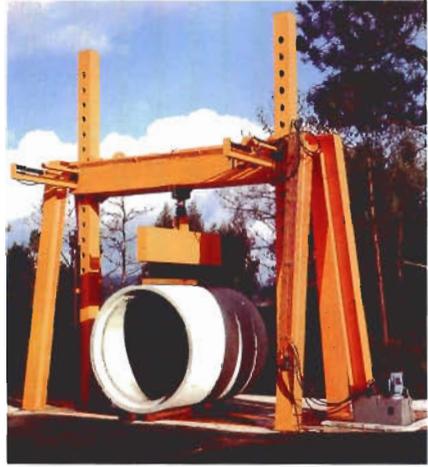
- 5.1 Generalidades. 165
- 5.2 Transporte, descarga y acopio de los tubos de hormigón. 165
- 5.3 Ejecución de zanjas. 174
- 5.4 Alojamiento de tuberías en instalaciones especiales. 186
- 5.5 Montaje de los tubos. 191
- 5.6 Relleno y compactación. 203
- 5.7 Instalación de pozos y otros elementos complementarios. 212
- 5.8 Inspección y/o pruebas de tuberías instaladas. 215

6. Limpieza, conservación y rehabilitación de conducciones de saneamiento.

- 6.1 Personal y equipos. 227
- 6.2 Sistemas de limpieza. 227
- 6.3 Útiles de limpieza. 229
- 6.4 Inspección con equipos de TV para realizar el mantenimiento. 230
- 6.5 Sistemas de ventilación. 231
- 6.6 Eliminación de problemas de septicidad y H₂S. 231
- 6.7 Control de una red de saneamiento. 232
- 6.8 Salud y seguridad en los trabajos de limpieza de redes de saneamiento. 233
- 6.9 Patología y rehabilitación de conducciones de saneamiento. 235

Normativa y Bibliografía

- Normativa. 243
- Bibliografía. 244



INTRODUCCIÓN

El hormigón armado es un material muy adecuado para la fabricación de tuberías, tanto de saneamiento como de abastecimiento, con o sin presión, cuyas características hidráulicas y comportamiento mecánico, en general, mejoran con el paso del tiempo, requiriendo esfuerzos mínimos en su conservación.

La experiencia en el uso de tubos de hormigón armado para la ejecución de conducciones de abastecimiento y de saneamiento, tanto en lámina libre como a baja presión, es muy amplia tanto en el tiempo como en la geografía. Los buenos resultados obtenidos con su empleo permiten asegurar que el uso de este material se verá incrementado en el futuro. Contribuirá a ello la creciente preocupación por los aspectos medioambientales que se aprecia en el ámbito de la Unión Europea además de las propias características del material

Por este motivo la Asociación de Fabricantes de Tubos de Hormigón Armado (ATHA) y el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), han decidido impulsar la redacción del presente Manual, que pretende ser una recopilación de la información existente,



que facilite la comprensión y el uso adecuado de los tubos de hormigón armado, así como la aplicación de soluciones concretas a los problemas habituales a aquellas personas que, sin ser especialistas en el tema, precisen disponer de un conocimiento general del producto.

Cualquiera de los servicios técnicos de las empresas miembros de ATHA (Asociación de Fabricantes de Tubos de Hormigón Armado) podrá, en caso necesario, ampliar cuanta información adicional pudiera requerir el lector del presente Manual de Tuberías de Hormigón Armado.

Cualquiera de los servicios técnicos de las empresas miembros de ATHA (Asociación de Fabricantes de Tubos de Hormigón Armado) podrá, en caso necesario, ampliar cuanta información adicional pudiera requerir el lector del presente Manual de Tuberías de Hormigón Armado.

Este Manual que, como se ha dicho, tan solo pretende favorecer la divulgación de los principales aspectos de los tubos de hormigón armado, comienza contemplando su tipología, la normativa nacional y europea que afecta a los tubos de hormigón armado, así como los aspectos generales a contemplar en el cálculo mecánico e hidráulico, junto con ciertos comentarios sobre los criterios a considerar en el dimensionamiento tanto de los tubos y juntas como de las tuberías, completándose el manual con una breve descripción de los distintos métodos de fabricación y de los estrictos controles de calidad a que son sometidos los tubos durante su muy cuidado proceso de fabricación industrial.

1 LOS TUBOS DE HORMIGÓN ARMADO

1.1 Historia y Desarrollo

Desde el principio de la Historia hay datos que indican que las civilizaciones que se asentaban comenzaban a construir fortalezas para defenderse del enemigo, templos a sus dioses y, por último, obra civil para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Dentro de la obra civil, la construcción de sistemas de alcantarillado es muy antigua: alrededor del 3750 AC se construyó en Nippur, India, el más antiguo del que se tienen referencias. Numerosas excavaciones arqueológicas han descubierto sistemas de drenaje como los de Tell Asmar, cerca de Bagdad, que datan del 2600 AC. Los minoicos en Creta (1700 AC) fueron maestros constructores. En el palacio de Minos en Knosos tenemos un conocimiento muy completo de los sistemas empleados tanto en la distribución de aguas para abastecimiento del palacio como en la evacuación de las aguas residuales del mismo. Los restos más antiguos corresponden a tuberías cerámicas de abastecimiento que se enchufaban de un modo casi perfecto y se conseguían juntas cementadas casi impermeables con pendientes muy reducidas. Los tubos cerámicos, muy perfeccionados, son troncocónicos y con cabezas de enchufe verdaderamente sofisticadas, para evitar que los remolinos disminuyeran la capacidad de transporte y produjeran sedimentación de arrastres. Además, permitían realizar alineaciones curvas mediante ligeros quiebros angulares en los empalmes.

Algunos de estos tubos troncocónicos llevan unos asideros, cuatro por pieza, muy útiles para su transporte y colocación. Una observación interesante es que conocían ya el comportamiento de los vasos comunicantes, es decir, en último término, el fundamento del sifón.

Para evacuación tenían grandes canales de losas de piedra unidas con cemento para llevar las aguas de lluvia. Son cajas tubulares de sección rectangular con capacidad para el paso de un hombre que los inspeccionase. El más importante de esos canales de evacuación es el del drenaje de la entrada Norte del palacio de Knosos, que recogía la mayor parte del agua del mismo y de sus aledaños. A este gran dren afluían otros conductos que realizan la evacuación de tejados de toda la manzana o ínsula de dicho palacio.

Como ya se ha indicado, en los pueblos del Asia Menor y del Oriente Próximo se utilizaron los canales de fábrica para evacuar las aguas excedentes de la ciudad, pero cuando el sistema se puso verdaderamente a punto fue en Grecia, concretamente en Atenas y en Corinto con canales rectangulares cubiertos con losas planas, que a veces formaban parte del pavimento de las plazas o calles. El denominado Gran Dren tenía sección normal rectangular de 1,00 x 1,00 m. A él afluían otros drenes secundarios.

También existieron redes de alcantarillado mediante canales rectangulares cerrados en Atenas, así como algunas cloacas importantes. Una de ellas atravesaba la ciudad de Este a Oeste, con pozos de registro de hasta 6 m de profundidad. En uno de sus tramos había una cubierta abovedada en cañón de 4,20 m de diámetro, construida con piedra del Pireo en sillares avanzando por hiladas sucesivas en voladizo, lo que parece indicar época micénica. En otras zonas era de fábrica de ladrillo con dimensiones menores.

El dominio romano supuso una revolución en cuanto a obra civil se refiere. Así, la construcción de grandes acueductos para abastecer a las pobladas ciudades romanas (Roma llegó a superar el millón de habitantes) junto con los sistemas de alcantarillado para transportar las aguas residuales, fueron los pilares del progreso urbano romano. Uno de los grandes éxitos de la ingeniería romana fue resolver el problema del saneamiento de las ciudades mediante el sistema de la red de cloacas que seguimos usando en la actualidad. Este venía ya facilitado por la organización geométrica de sus ciudades, con retícula rectangular de *cardus* y *decumanus*, y por el ejemplo de la organización también en retícula, pero ahora arborescente, de la distribución del agua.

Como ejemplo, podemos citar la Cloaca Máxima, que fue construyéndose paulatinamente desde el 200 a de C. Comenzó recogiendo el agua que discurría libremente en los valles que separaban las colinas del Septimontium, donde se habían asentado los primeros pobladores de la zona. La obra en sí se construyó en varias etapas: primero se excavó una gran zanja abierta a todo lo largo de cada valle, llevando sus aguas en el fondo, para desembocar en el Tíber. En una segunda fase la zanja se afirmó y cubrió, apeándola con hastiales de madera y techo de tablas, para después, en una tercera época, voltear una bóveda en cañón seguido, con hermosas dovelas de piedra. La última prolongación fue una desviación para recoger el arroyo del valle entre el Viminal y el Quirinal donde estuvo el primer establecimiento latino.

En la embocadura de esta gran obra se observa hoy una bóveda de 5,00 m de diámetro con tres rosas de dovelas de peperino de juntas alternadas. El detalle de la triple rosca hace indicar que no puede ser anterior al siglo I d.C. No se conoce la altura de la galería, aunque se dice que era igual al diámetro de la bóveda, otros autores la estiman en 10 m. En la actualidad el fango ha llegado hasta el nivel de arranque del arco.

La sección transversal varía según el trayecto, pues se tuvo que construir en épocas muy diversas. En la primera zona, hasta el Foro Romano, tiene 2,10 m de altura, pero luego se ensancha llegando a 5 m en la zona de la desembocadura.

Las secciones de las cloacas romanas son de hastiales verticales y bóvedas de medio punto de dovelas radiales o bien con hastiales ligeramente inclinados y cubiertas de losa plana o también de ladrillo con cubierta en avances por vuelcos sucesivos. Las acometidas a la red se realizaban mediante tubos unidos a enchufe y cordón. Al ir haciéndose éstos más importantes se convertían en conductos rectangulares muy superficiales, que incluso se cubrían con las mismas losas del pavimento de la calzada o de las aceras. Los últimos ramales de la red iban en galería subterránea visitable con bóveda propia, dentro de la cual podían ir los conductos en tubería o en canal libre. En los nudos importantes de la red se disponían arquetas de bifurcación o de rotura de presión. Las redes de distribución del agua potable y las de evacuación de aguas negras y pluviales se disponían totalmente independientes para evitar la contaminación, tal y como se hace en la actualidad.



En las antiguas ciudades de Babilonia, en Jerusalén, en Bizancio y en París también se construyeron burdos pero funcionales drenajes. No sorprende el hecho de que estas ciudades eran conocidas por sus olores peculiarmente penetrantes y repugnantes.

En España una ciudad donde se ha podido llegar a establecer un plano de la red de saneamiento es Mérida, en la cual se han encontrado tuberías al realizar obras urbanas. En Toledo, cerca de la puerta musulmana de Bib el Mardon existe una salida de galería romana con un hermoso emboquillado del frente, que se atribuye al desagüe de una cloaca principal de la red correspondiente, aunque podría ser también una galería de desagüe del depósito romano correspondiente a las denominadas Cuevas de Hércules.

Existía la tendencia de construir las ciudades cerca de vías fluviales. Los antiguos británicos construyeron Londonium, el Londres actual, donde se unen el río Támesis y el riachuelo Fleet Street, porque querían estar cerca de aguas navegables y de las limpias aguas potables del riachuelo. A medida que el asentamiento creció, el agua se contaminó tanto con las aguas negras, que los residentes tuvieron que emigrar a otros lugares para conseguir agua potable. Cuando Londres se convirtió en una ciudad, el riachuelo Fleet Street se cubrió con piedra y se convirtió en drenaje combinado para aguas negras y pluviales. Por tanto podemos constatar que el hombre ha seguido, a través de los tiempos, este patrón universal: un asentamiento cerca del agua potable que finalmente se contaminaba con las aguas negras. Esa corriente natural se convertía en un drenaje que posteriormente se cubría con mampostería.

A medida que crecieron las grandes ciudades y la gente construyó casas permanentes, cada vez se arrojaban mayores cantidades de aguas negras, basura y desechos a las calles. Esta situación continuó hasta principios de siglo XIX cuando, gracias a los sistemas de distribución de agua, fue posible utilizar el agua para transportar aguas negras.

Hasta comienzos del siglo XIX no se registraron avances importantes en lo que se refiere a técnicas constructivas o modelos matemáticos de sistemas de saneamiento. En 1775 un ingeniero francés, Antoine Chezy, desarrolló una fórmula primitiva precursora de las desarrolladas posteriormente sobre cinemática y dinámica de fluidos.

La Revolución Industrial supuso una ruptura sin precedentes en la Historia de la Humanidad. Por primera vez los trabajos que el hombre hacía, eran realizados por máquinas. Aparece el consumo masivo, crecen las ciudades vertiginosamente, con todos los problemas sanitarios y de abastecimiento que ello conlleva. En este ambiente fue obligado el desarrollo de los primeros sistemas de alcantarillado y abastecimiento modernos, para no frenar el crecimiento urbano.

Los factores determinantes en el desarrollo de los sistemas de transporte de aguas se debieron a necesidades de abastecimiento, transporte y depuración de aguas residuales por motivos de salud pública, y de transporte de aguas para riego agrícolas. Al crecer espectacularmente la población, se multiplicaron las necesidades de alimentación, lo que produjo la aparición de la producción agrícola masiva.

Los métodos de saneamiento no se desarrollaron hasta comienzos de 1840, cuando se construyó el primer alcantarillado moderno en Hamburgo (Alemania). El avance de este sistema

consistía en que, por vez primera, las casas se conectaron al sistema de alcantarillado. Más tarde, las epidemias de cólera de Londres y París mediado el siglo XIX, pusieron de manifiesto la necesidad de construcción de sistemas de saneamiento más adecuados. En América, los sistemas de saneamiento se construían en pequeñas ciudades y con fondos particulares, razón por la cual no se pueden fechar muchas redes americanas. De la que se tiene constancia como más antigua es de la de Mohawk, en Nueva York, construida con hormigón en 1842.

La industria de tuberías de hormigón apareció durante el siglo XIX, una vez que los Estados de la Unión se dieron cuenta de la necesidad de los sistemas de saneamiento. Muchas de las redes de hormigón se construyeron antes de 1880, y muy pronto sus características de durabilidad comenzaron a ser patentes.

La red de París, fue construida a mitad de siglo XIX a base de piedra y cemento; en 1915, se examinó dicha red, concluyendo que su estado de conservación y uso era excelente. Con anterioridad, en 1881, se examinó la red de Viena de 20 años de antigüedad, determinando que su estado era idóneo para el transporte de aguas residuales.

En 1868 se instaló la red de saneamiento de San Luis, Missouri, fabricada con hormigón; dicha red fue revisada en profundidad en 1962 no encontrando ningún desperfecto de consideración.

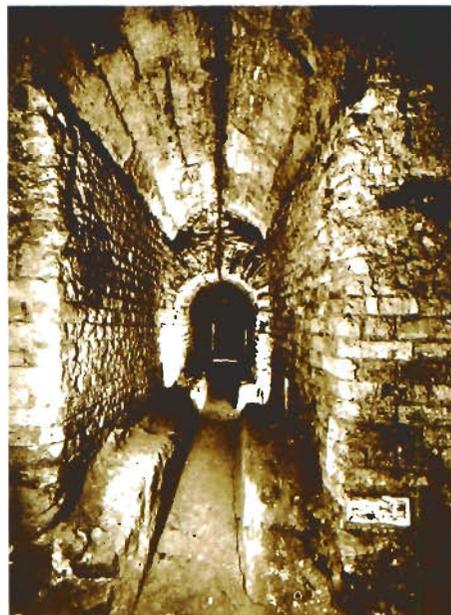
Este comienzo esperanzador de la industria de las tuberías de hormigón se vio acrecentado con el desarrollo de teorías hidráulicas, mecánicas y la aparición de ensayos y normas que regulan la fabricación y puesta en obra de estas tuberías.

Hasta comienzos del siglo XVII Madrid no tenía alcantarillado. Es en esta época cuando el Corregidor Villorias inicia la construcción de los colectores de la Plaza de Leganitos y de la Carrera de San Jerónimo. Sólo los privilegiados podían evacuar sus aguas residuales a través de esas alcantarillas, ya que el resto de los madrileños se veían obligados a lanzar las suyas a la vía pública mediante el consabido grito "¡Agua va!".

Hasta el año 1760, bajo el reinado de Carlos III, no se adoptaron medidas serias para resolver el problema del saneamiento de la ciudad. Bajo este mandato se construyeron 1.840 metros de alcantarillado, que paliaron en parte los problemas higiénicos de la creciente población madrileña.

Entre los años 1850 y 1864 se realiza la construcción de 15 colectores que constituyen, de hecho, una verdadera red primaria de 75 km de longitud y que afecta a las zonas más pobladas de Madrid. En esta época la población de Madrid asciende a 217.000 habitantes.

A partir de esa fecha el crecimiento de la ciudad es vertiginoso, agravando con ello los problemas sanitarios que se derivan del aumento de aguas residuales y desechos sólidos. En cien años, desde 1843 a 1940, la población aumenta en 800.000 habitantes.



Entre 1950 y 1960, el número de habitantes es de 2.259.931, y en 1970 la cifra salta a 3.201.234.

En 1977 la red de alcantarillado de la ciudad de Madrid tenía una longitud de 4.571.130 metros. Esta red era totalmente insuficiente así como los sistemas de depuración de Madrid, que vertía en ese mismo año a los ríos Manzanares y Jarama 400 toneladas diarias de sólidos con el agua residual.

Mediante el Plan de Saneamiento Integral de Madrid se amplía y mejora el sistema de depuración de las aguas y se construyen 160 colectores de la Red Secundaria y otros 12 de la Red Principal. Mediante este Plan, finalizado en 1983, y una constante mejora y renovación del sistema se consiguió satisfacer provisionalmente las necesidades de la Villa y Corte.

El ensanche de la ciudad con la creación de los nuevos barrios ha requerido la ejecución y puesta en marcha del Segundo Plan de Saneamiento Integral de la ciudad que se está construyendo en la actualidad.

1.2 Tipología actual de los Tubos de Hormigón Armado

1.2.1. Generalidades

Entendemos por tubería el sistema integrado por un conjunto de tubos, sus uniones y las piezas especiales correspondientes.

Los sistemas de tuberías se clasifican según el fluido interior esté en presión o no y, en este último caso, ocupe toda la sección del tubo o no; también según la forma de la sección interior del tubo y de la sección exterior del tubo, atendiendo al material constitutivo del tubo o al tipo de junta utilizada en la unión de los tubos entre sí.

Los tubos que integran el sistema de tuberías pueden clasificarse atendiendo al material con el que están fabricados, siendo, en general, desaconsejable el empleo de diferentes materiales dentro de un mismo sistema.

Un material muy adecuado, y de uso extendido desde la década de los cincuenta para fabricar tubos y los accesorios de las tuberías, es el hormigón armado, donde junto a las tradicionales virtudes del hormigón como material de construcción se une el hecho de que al ser pasivante el medio donde se encuentran las armaduras metálicas éstas quedan así fuertemente protegidas contra los procesos de corrosión metálica.

El hormigón armado es un material muy indicado para la fabricación de tuberías sin presión, tanto a sección llena como en lámina libre, siendo admisible su uso también en tuberías a sección llena con baja presión.

Aunque el hormigón en masa tiene unas buenas cualidades para ser utilizado en tuberías sin presión, de pequeño diámetro y siempre que el proceso de fabricación sea muy cuidado, presenta el riesgo de rotura frágil, que se evita utilizando hormigón armado. Además de esta ventaja, la resistencia a las cargas exteriores y la durabilidad, hacen que el tubo de hormigón armado sea un magnífico elemento para la construcción de redes de saneamiento y drenaje.

1.2.2. Clasificación de los Sistemas de Tuberías atendiendo a la presión del fluido

Los tubos pueden agruparse según se utilicen en conducciones forzadas o cuando el fluido circule por ellas sin presión, bien en lámina libre o a sección llena; así distinguiremos:

- Tubos de presión
- Tubos sin presión
 - A sección llena
 - En lámina libre

1.2.3 Clasificación de los Sistemas de Tuberías atendiendo a la forma de la sección interior del tubo

La forma de la sección interior del tubo permite establecer una clasificación, siendo la sección circular la más habitual para el conjunto de los materiales, hormigón armado incluido, aunque este último permite el diseño y construcción de tuberías con secciones no circulares.

Así por ejemplo, cuando la variación de caudales que se espera circule por una red de saneamiento sea grande, puede resultar aconsejable acudir a secciones interiores ovoides en hormigón armado, que reduzcan posibles problemas de sedimentación con caudales bajos, dada la mayor velocidad a la que circulan estos últimos por las secciones ovoides frente a las secciones circulares equivalentes.

El uso de tubos de sección rectangular se enfoca principalmente a canalizaciones de cursos naturales de agua y a colectores de gran caudal.

Aunque pueden fabricarse tubos de cualquier forma de sección y tamaño, las secciones y espesores de los tubos circulares y ovoides se encuentran normalizadas -norma UNE 127.010-, y son las que figuran a continuación.

TUBOS CIRCULARES DE HORMIGÓN ARMADO

Dimensión nominal D (mm)													
300	400	500	600	800	1.000	1.200	1.400	1.500	1.600	1.800	2.000	2.500	3.000

TUBOS OVOIDES DE HORMIGÓN ARMADO

Ancho Alto WN/HN (mm)						
600/900	700/1.050	800/1.200	900/1.350	1.000/1.500	1.200/1.800	1.400/2.100

Tabla 1.2.3

1.2.4 Clasificación de los Sistemas de Tuberías atendiendo a la forma de la sección exterior del tubo

Se clasifican en:

- Tubos de sección exterior circular constante.
- Tubos con la base de apoyo exterior plana (interiormente pueden tener una sección circular, ovoide o elíptica).
- Tubos de sección rectangular o cuadrada.

1.2.5 Clasificación de los Sistemas de Tuberías atendiendo al empleo del tubo

El uso más generalizado, aunque no exclusivo, del tubo de hormigón armado es el transporte de aguas, tanto limpias (colectores de pluviales, riegos) como sucias (de saneamiento).

Los tubos de hormigón armado pueden clasificarse según su uso en:

- Tubos para saneamiento sin presión
- Tubos para saneamiento con baja presión
- Tubos para drenaje
- Tubos para redes de riego por gravedad
- Tubos para redes de riego en baja presión
- Tubos para redes de abastecimiento de agua en baja presión
- Tubos para usos industriales
- Tubos para colectores de pluviales

1.2.6 Clasificación de los Sistemas de Tuberías atendiendo al tipo de unión y la junta de estanquidad empleada

Los tubos han de resistir las cargas exteriores y han de ser estancos, por lo que debe prestarse una especial atención a las uniones.

La unión de tubos suele estar constituida por un extremo macho y un extremo hembra especialmente diseñados para comprimir la junta de estanquidad.

La estanquidad de las conducciones, condición elemental entre los requisitos que se deben exigir, ha de dar garantía de la estabilidad de la conducción, asegurar que no se produce contaminación del agua circulante por filtración desde el exterior, así como que no se produce contaminación de los acuíferos por fugas en conducciones de aguas residuales y que impida el paso de las raíces.

El dispositivo de unión recomendable es el de unión enchufe/campana por compresión y deslizamiento con:

- Extremo macho escalonado (junta delta o arpón)
- Extremo macho acanalado (junta delta o arpón, junta prefabricada)

Para todos estos dispositivos el extremo macho debe de tener un acabado liso, sin oquedades y sin rebabas para que se produzca un perfecto asiento de la junta. El diseño y tolerancias dimensionales deben garantizar que las juntas cumplen su función de estanquidad. La alta tecnología actual permite obtener estos acabados incorporando a las cadenas de producción, líneas de fresado que proporcionan tolerancias de décimas de milímetros en el diámetro de asiento de la junta de estanquidad en el enchufe del tubo.

1.3 Usos y ventajas diferenciales de los Tubos de Hormigón Armado

1.3.1 Usos y aplicaciones de los Tubos de Hormigón Armado

Los principales usos de las tuberías de hormigón son:

- Saneamiento por gravedad
- Saneamiento a baja presión
- Drenaje
- Riego
- Abastecimiento a baja presión
- Usos industriales específicos
- Conducción de instalaciones (Galerías de servicio)
- Tuberías hincadas

Los tubos de hormigón armado, con junta elástica de goma, tienen también una aplicación característica en tomas de agua del mar y en emisarios submarinos para vertidos al mar de los efluentes de aguas residuales o industriales, siempre y cuando se utilice un tipo de juntas entre tubos que sea capaz de soportar los esfuerzos de tracción a que están sometidas las tuberías de los emisarios submarinos. En efecto, los tubos de hormigón armado tienen las cuatro ventajas fundamentales para instalaciones submarinas: ser estancos, ser inalterables por el agua del mar, ser un producto pesado para evitar la flotación y ser rígidos (de pared gruesa) para permitir los anclajes de cualquier tipo que sean precisos, por lo que resulta un material particularmente adecuado para su uso en el mar.

1.3.2 Ventajas de los Tubos de Hormigón Armado

Una de las ventajas diferenciales del tubo de hormigón armado es que permite adecuar el tubo a las cargas del terreno y sobrecargas externas a que en cada posición del trazado esté sometida la tubería, pudiendo adaptarse la resistencia de la tubería a las sollicitaciones reales a que vaya a estar sometida.

La estabilidad química del hormigón y la pasivación de las armaduras que así quedan protegidas de la corrosión metálica, hacen que las tuberías de hormigón armado sean durables aún en ambientes agresivos, permitiendo además la composición del hormigón y posibilitando la adecuación a ciertas situaciones de terrenos excepcionalmente agresivos, adecuando la dosificación al caso concreto, e incluso añadiendo algunos elementos específicos a la composición del hormigón correspondiente.

Una tubería de hormigón con juntas apropiadas y bien construida es garantía de la preservación de la contaminación de los freáticos por fugas y roturas.

Los costes de inspección y vigilancia de las tuberías de hormigón armado se reducen considerablemente al ser muy elevado el porcentaje de tubulares donde está mecanizada la limpieza. Los costes de conservación también descienden al reducirse las roturas, como consecuencia de ser el hormigón armado un material de construcción de gran calidad estructural.

Abundamos en la conveniencia del empleo de tubos de hormigón armado de calidad, en instalaciones de saneamiento, por los siguientes motivos:

- El tubo de hormigón armado soporta mejor las cargas exteriores de tierra y tráfico.
- Las paredes del tubo de hormigón son prácticamente impermeables.
- Estos tubos resisten mejor la posible presión interior, lo que trae como consecuencia que la puesta en carga puntual de la red no preocupe en cuanto a su conservación.
- El uso de la junta elástica permite que el tubo se adapte mejor a los pequeños movimientos del terreno y mantenga la estanquidad de la red.

Resumimos pues las ventajas de los tubos de hormigón armado:

- Gran durabilidad: existen conducciones de hormigón armado con más de 75 años sin ningún deterioro de las tuberías, con un comportamiento impecable.
- Mejora de sus condiciones con la edad.
- Los tubos pueden fabricarse según la demanda específica de uso, pudiendo atender situaciones excepcionales de: sobrecargas fijas, sobrecargas móviles y agresividad del terreno y de los efluentes.
- Resistencia a esfuerzos dinámicos.
- No tienen rotura frágil, como ocurre con los tubos de material homogéneo.
- Mayor resistencia a los esfuerzos ovalizantes.
- Mayor resistencia a los esfuerzos de impacto.

- Una vez instalada y en servicio requiere una mínima conservación ulterior.
- Las condiciones hidráulicas de las tuberías de hormigón mejoran con el paso del tiempo cuando en ellas se produce una circulación permanente de aguas, limpias o negras.
- Las piezas especiales se fabrican del mismo material.
- La colmatación y autosellado son otras provechosas propiedades de las tuberías de hormigón en su autodefensa contra los poros y/o las fisuras que pudieran existir inicialmente.
- La industria de los tubos de hormigón no es contaminante.
- Los tubos de hormigón armado no precisan, generalmente, revestimientos interiores.
- Los tubos de hormigón armado no precisan, en condiciones normales, de las especiales medidas de protección contra la corrosión, ya que las reacciones de hidratación de los constituyentes del hormigón producen el conocido efecto de la pasivación de las armaduras metálicas.

Otra ventaja muy importante, que no se destaca como merece, es la referente a la energía incorporada en los distintos tipos de tuberías del mercado. Entendemos como la energía globalizada la que se requiere en distintas etapas de fabricación de cada uno de los tipos de tubería que hay en el mercado, sin olvidar las energías individuales provenientes de la extracción y transporte de materias primas. Desde esta óptica, la tubería de hormigón es la que menos energía consume en su proceso total de producción.

2 NORMATIVA

Actualmente se encuentran en proceso de elaboración un conjunto de Normas Europeas que irán siendo transpuestas al cuerpo normativo español a medida que vayan aprobándose en Europa; en particular, y por lo que a las tuberías de hormigón armado se refiere, se encuentra en proceso de elaboración el Proyecto de Norma prEN 1.916, sobre tuberías de hormigón, y el prEN 1.917, sobre pozos de hormigón. Existe un conjunto de cuatro normas europeas que ya han sido transpuestas a la normativa española que, aunque se refieren fundamentalmente a tubería de presión, tanto en hormigón armado con camisa de chapa como en hormigón pretensado, tienen algunos aspectos que pudieran resultar de interés para las tuberías sin presión, de hormigón armado, a las que se refiere el presente manual de tubos.

En España, pendientes de probable revisión cuando los actuales Proyectos de Norma Europea prEN 1.916 y prEN 1.917 estén aprobados, se encuentran en vigor las Normas UNE 127.010 "Tubos prefabricados de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibra de acero, para conducciones sin presión" y UNE 127.011 "Pozos prefabricados de hormigón para conducciones sin presión".

2.1 Normativa Española

2.1.1. Introducción

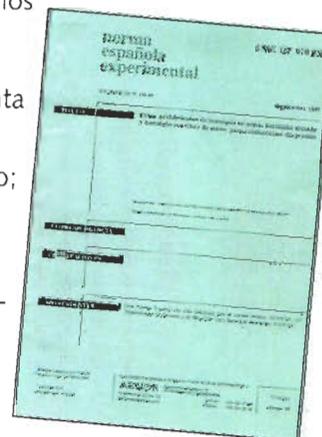
En la elaboración de las Normas Españolas UNE 127.010 "Tubos prefabricados de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibra de acero, para conducciones sin presión" y UNE 127.011 "Pozos prefabricados de hormigón para conducciones sin presión" se han tomado en consideración los proyectos de normas europeas comentados, que han sido adaptados a las condiciones habituales de utilización de estos productos en el mercado español.

Además, relativa a elastómeros para juntas de estanquidad de tuberías empleadas en canalizaciones de agua y en drenaje, se ha elaborado y aprobado la norma UNE – EN 681-1.

2.1.2. Norma UNE 127.010

La Norma UNE 127.010 "Tubos prefabricados de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibra de acero, para conducciones sin presión", trata los siguientes temas:

- Tubos circulares y ovoides, considerando únicamente junta elástica como modo de unión entre tubos.
- Tubos de hormigón en masa, armado y con fibra de acero; y como caso particular, incluye los tubos de hinca.
- Tratamiento de la durabilidad del hormigón.
- Longitud mínima para tubos armados y espesores mínimos recomendados.
- Clases resistentes para tubos de hormigón en masa, tubos de hormigón armado y tubos con fibra de acero.



- Incluye métodos de comprobación de dimensiones de los tubos.
- Describe el ensayo de aplastamiento y los ensayos de estanquidad (estanquidad del tubo, de la junta con deflexión angular, de la junta bajo esfuerzo cortante y de la junta con deflexión angular y bajo esfuerzo cortante).
- Desarrolla los ensayos de absorción de agua, permeabilidad al oxígeno, resistencia del hormigón y resistencia de la superficie de empuje en tubos de hinca.
- Marcado de tubos.
- Condiciones de conformidad y recepción y frecuencias de ensayos.

ANEXOS

- Cálculo mecánico de tubos.
- Cálculo estructural de tubos de hinca, criterios de cálculo.
- Método para la determinación de la permeabilidad al oxígeno del hormigón.
- Características de los hormigones de tubos en caso de riesgo de corrosión por presencia de sulfídrico (H₂S).

2.1.3. Norma UNE 127.011

La norma UNE 127.011 "Pozos prefabricados de hormigón para conducciones sin presión" trata:

- Elementos circulares para pozos, de hormigón en masa, armado y con fibra de acero.
- Características de los materiales, entre ellas durabilidad del hormigón.
- Condiciones de acabado y características geométricas: dimensiones interiores, espesores, alturas, conexiones, cunas hidráulicas, relación de diámetros entre módulos base y tubos incidentes.
- Pates.
- Definición de clases resistentes: serie normal y serie reforzada.
- Estanquidad (del módulo base, de módulos ensamblados y en la unión entre pozo y tubo).
- Armado de pozos.
- Comprobación de dimensiones.
- Ensayo de aplastamiento, prueba de estanquidad, absorción de agua, permeabilidad al oxígeno y resistencia del hormigón.
- Marcado.
- Condiciones de conformidad y recepción.

ANEXOS

- Método para la determinación de la permeabilidad al oxígeno del hormigón.
- Recomendaciones para el transporte y almacenamiento en obra.
- Características de los hormigones de pozos en caso de riesgo de corrosión por presencia de sulfhídrico (H₂S).

2.1.4 Norma UNE – EN 681-1

La norma UNE-EN 681-1 "Juntas elastoméricas. Requisitos de los materiales para juntas de estanquidad de tuberías empleadas en canalizaciones de agua y en drenaje. Parte 1: Caucho vulcanizado", especifica los requisitos necesarios para los materiales usados en juntas de caucho vulcanizado para sistemas de drenaje, evacuación de aguas residuales y de lluvia.

Se recogen también los requisitos generales para juntas de estanquidad acabadas. Los requisitos adicionales impuestos para una aplicación particular están especificados en las normas de producto correspondientes.

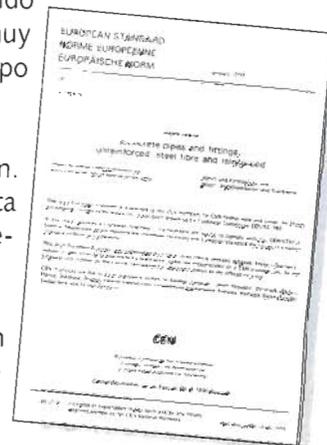
2.2 Normativa Europea. prEN 1.916 y prEN 1.917

Actualmente, y dentro de la estructura de CEN (Comité Europeo de Normalización), se encuentran en proceso de elaboración los proyectos de norma europea prEN 1.916 sobre tuberías de hormigón en masa, armado y con fibras de acero, y prEN 1.917 sobre pozos de hormigón.

Estas normas se encuentran pendientes de voto formal, habiendo superado ya las fases de encuesta, por lo que se espera que en un no muy dilatado plazo de tiempo pueda procederse a su transposición al cuerpo normativo español.

Merece especial mención la norma UNE 83900:1.996 "Hormigón. Prestaciones, fabricación, puesta en obra y criterios de aceptación". Trata sobre la producción de hormigón, constituyente fundamental de las tuberías de hormigón armado.

Aunque específicamente redactadas para el caso de tuberías en presión, tanto de hormigón armado con camisa de chapa como de hormigón pretensado, citamos la normativa europea actualmente transpuesta a España, sobre este tipo de tuberías, que se resume en las cuatro normas siguientes:



- UNE-EN 639:1.995: Prescripciones comunes para tubos de presión de hormigón, incluyendo juntas y accesorios.
- UNE-EN 640: 1.995: Tubos de presión de hormigón armado y tubos de presión de hormigón con armadura difusa (sin camisa de chapa), incluyendo juntas y accesorios.
- UNE-EN 641: 1.995: Tubos de presión de hormigón armado con camisa de chapa, incluyendo juntas y accesorios.
- UNE-EN 642: 1.995: Tubos de presión de hormigón pretensado, con y sin camisa de chapa, incluyendo juntas, accesorios y prescripciones particulares relativas al acero de pretensar para tubos.

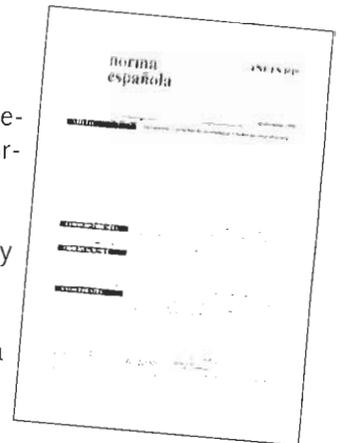
Insistimos en que estas últimas cuatro normas se refieren al caso de tuberías de hormigón para conducciones con presión y, por tanto, no son objeto del presente manual de tubos de hormigón armado para conducciones sin presión o en condiciones de muy baja presión.

2.3. Norma Europea de Cálculo e Instalaciones. UNE-EN 1.610

La norma UNE-EN 1.610 “Instalación y pruebas de acometida y redes de saneamiento” aplicable a las redes de saneamiento y alcantarillado en construcción que normalmente trabajan por gravedad

Esta norma europea es aplicable a la construcción de redes de saneamiento y alcantarillado que normalmente trabajan por gravedad.

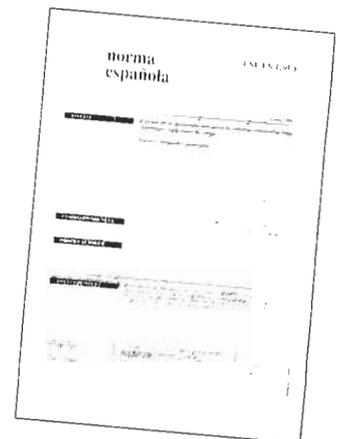
En ella se especifican los mecanismos de instalación de las redes, desde la recepción del material hasta las pruebas de la tubería ya instalada, así como las características de construcción de las mismas y los materiales de relleno.



2.4. Otras Normas.

Se relacionan a continuación otras normas europeas, transpuestas al cuerpo normativo español, relacionadas con el saneamiento.

- Norma UNE-EN 752-3: “Sistemas de desagües y de alcantarillado exteriores a edificios . Parte 3: Proyecto.”
- Norma UNE-EN 476: “Requisitos generales para componentes empleados en tuberías de evacuación, sumideros y alcantarillas para sistemas de gravedad.”
- Norma UNE-EN 1.295-1: “Cálculo de la resistencia mecánica de tuberías enterradas bajo diferentes condiciones de carga. Parte 1: Requisitos generales”.



2.5. Normativa Americana ASTM

En los E.E.U.U. la calidad del hormigón en general y del hormigón utilizado en la construcción de tuberías recibió gran atención a comienzos del siglo XX debido al desarrollo y creciente uso de los mismos.



El mayor centro de estudios del hormigón lo constituyó la ASTM (American Society for Testing and Materials); así podemos afirmar que la historia de la normalización de tuberías de hormigón nació con la aparición de la ASTM en 1.898.

Desde entonces hasta nuestros días la ASTM ha venido elaborando normas, las cuales son tenidas en cuenta en muchos países aparte de los E.E.U.U., en los que la legislación en cuanto a tuberías de hormigón armado no está claramente definida, habiendo sido prácticamente exclusivo su empleo en España hasta la aparición de las normas UNE 127.010 y UNE 127.011.

La norma ASTM C-76M "Standard Specification for reinforced concrete culvert, storm drain, and sewer pipe " establece la definición de la tubería en función de su capacidad resistente por m y mm de diámetro en clases I a V, con lo que se establece un valor índice de resistencia de la tubería con independencia del diámetro.

Dicho en otras palabras, la carga por metro calculada hay que referirla al diámetro de la tubería, con lo cual podremos compararla directamente con los valores establecidos en las clases I a V de la de la Norma y conocer la clase resistente que debe ser exigida.

Una vez conocida la clase resistente de la tubería, las tablas ASTM establecen, para las cinco clases, la definición de la tubería en cada uno de los diámetros. Definición que alcanza a fijar las características geométricas (espesor y cuantía de armaduras) y resistencia característica del hormigón, con lo cual el dimensionamiento de la tubería bajo el punto de vista resistente queda definido.

Dentro de la normativa ASTM relativa a tuberías de hormigón armado, merecen citarse las normas:

- ASTM C 443M "Standard specification for joints for circular concrete sewer and culvert pipe, using rubber gaskets", relativa a las juntas flexibles para tuberías y pozos de hormigón.
- ASTM C 497M "Standard methods of testing concrete pipe, sections, or tile", relativa a pruebas y criterios de aceptación de los tubos.
- ASTM C 655M "Standard Specification for reinforced concrete D-Load culvert, storm drain, and sewer pipe", relativa a pruebas y criterios de aceptación de los tubos.
- ASTM C 361M "Standard Specification for Reinforced Concrete Low-Head Pressure Pipe" relativa a especificaciones de tubos de hormigón armado de baja presión.

- ASTM C 923M "Standard specification for resilient connectors between reinforced concrete manhole structures and pipes", relativa a las conexiones elásticas entre la tubería de hormigón armado y los pozos de registro.
- ASTM C 478M "Standard specification for precast reinforced concrete manhole sections", relativa a pozos de registro prefabricados, de hormigón armado.
- ASTM 395, 412, 471, 1149, 1171 y 2.240, relativas a los ensayos de las gomas para las juntas.

2.6. Pliegos de Organismos Públicos

En ausencia hasta el año 1.995 de una normativa española de referencia, circunstancia que se daba antes de la aprobación de las mencionadas normas UNE 127.010 y UNE 127.011, han sido varios los organismos públicos de la Administración que han elaborado unos Pliegos de Prescripciones Técnicas, de aplicación, entre otros productos, a las tuberías de hormigón armado, en las obras de su ámbito de competencia respectivo.

Entre éstos cabe mencionar los siguientes:

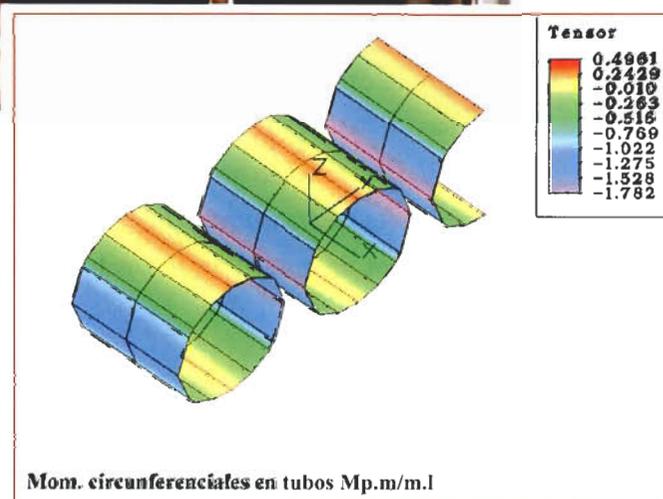
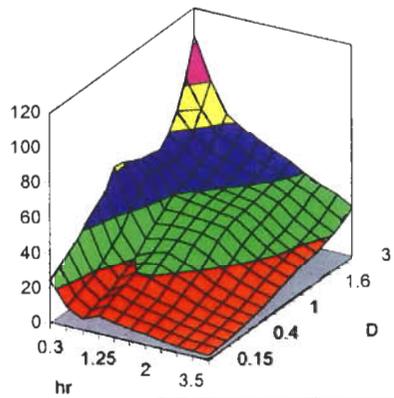
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de Tuberías de Saneamiento de Poblaciones, del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1.986.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de Tuberías de Saneamiento de hormigón en masa o armado, de la Confederación Hidrográfica del Norte.
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Saneamiento del Consorcio del Gran Bilbao.
- Normativa sobre Redes de Saneamiento, de la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona, 1.993.
- Pliego de la Junta de Saneamiento de la Entitat Metropolitana de Catalunya.

Existen otros Pliegos relativos a tuberías de riego sin presión, de hormigón en masa, por ejemplo el del IRYDA, y Pliegos para tuberías de hormigón en presión, por ejemplo el " Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Tuberías de Abastecimiento de Agua", que se encuentra actualmente en fase de revisión en el seno del Ministerio de Fomento, y que incluye también otros materiales para tuberías en presión.

2.7. Recomendaciones para la redacción del pliego de prescripciones técnicas para tuberías circulares en infraestructuras de saneamiento

Estas recomendaciones elaboradas por la Comisión Técnica constituida por la Confederación Hidrográfica del Tajo, la Comunidad Autónoma de Madrid, Canal de Isabel II, Ayuntamiento de Madrid y ATHA constituyen un Pliego de Bases que complementa la normativa vigente, incorporando aspectos fundamentales referidos a:

- Consideraciones sobre durabilidad
 - Características de áridos.
 - Clases generales de exposición relativas a la corrosión de las armaduras.
 - Clases específicas de exposición relativas a otros procesos de deterioro distintos de la corrosión.
 - Clasificación de la agresividad química.
 - Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento.
 - Recubrimiento mínimo de la armadura según la clase de exposición.
- Tablas de armado según clase resistente.
- Uniones:
 - Tipos de uniones recomendadas.
 - Materiales de las gomas.
 - Condiciones de almacenaje de las juntas de goma.
- Elementos complementarios a la red de saneamiento:
 - Pases.
 - Pozos de salto y resalto.
 - Aliviaderos.
 - Imbornales y sumideros.
 - Acometidas.
 - Elementos de ventilación.
 - Elementos de medición y control.
- Cálculo de cargas del relleno para instalaciones en zanja inducida.
- Cálculo de cargas del relleno para tubos de hinca.
- Cálculo de cargas ferroviarias, de aeropuertos y debidas a compactadores.
- Condiciones de transporte, descarga y acopio de los tubos de hormigón armado.
- Condiciones de instalación de los tubos de hormigón armado.



3 DISEÑO Y CÁLCULO

3.1 Durabilidad

3.1.1. Generalidades

Se define como durabilidad de una tubería la capacidad de ésta de mantener sus funciones hidráulicas y estructurales en el tiempo. Una de las consideraciones de mayor interés desde el punto de vista del técnico proyectista es la capacidad de una tubería de continuar trabajando con resultado económico favorable durante un periodo de tiempo aceptable. Lo que ocurre es que las predicciones sobre durabilidad no pueden hacerse con el mismo grado de precisión que las hechas sobre diseño estructural o hidráulico.

Hasta hoy no se conoce ningún material completamente inerte a la acción química e inmune al deterioro físico. El hormigón no es ninguna excepción, aunque, bajo condiciones de exposición normales, su periodo de vida útil es muy largo, así por ejemplo, el hormigón hecho por los romanos con cemento natural se mantiene en buenas condiciones después de 2000 años.

La durabilidad se relaciona con la expectativa de vida o el mantenimiento de las características resistentes del material o estructura. Se ha dedicado mucha atención al estudio de la durabilidad de las tuberías, pero los caprichos del clima, suelos y geología, características diferentes de los fluidos, materiales y procesos constructivos, han impedido el desarrollo de una teoría sistemática de predicción sobre la durabilidad.

En cualquier caso las tuberías de hormigón han tenido, históricamente, una vida útil muy larga, lo que puede atribuirse entre otros factores a la durabilidad del material y al hecho de que estén enterradas, lo que implica que la variación térmica es pequeña, no hay exposición atmosférica y los materiales próximos a las tuberías no suelen ser agresivos.

Son los terrenos los que, por su naturaleza, pueden resultar potencialmente agresivos a los materiales colocados en ellos; sin embargo para que esta acción perjudicial se lleve a cabo es necesaria la presencia de humedad en el terreno, que disuelva y movilice las sustancias agresivas que contiene. Por esta razón, los terrenos permanentemente secos no ejercen ataque alguno.

Del mismo modo, las aguas que entran en contacto con los materiales pueden ejercer sobre ellos una acción perjudicial. Esta acción puede ser de dos tipos: mecánica y química. La primera comprende: la erosión producida por el agua al fluir sobre los materiales, y el efecto disruptivo del hielo que se forma en la oquedades y poros del material. La acción química de agua incluye: la disolución del material y la reacción de éste con las sustancias que contiene el agua.

Las acciones mecánicas ejercidas por el agua sobre los tubos quedan reducidas al mínimo, dada la compacidad del hormigón con que están fabricadas.

Las acciones de tipo químico afectan con mayor intensidad al acero, ya que de los dos materiales que componen estos tipos de tubos, es el más sensible al efecto de los agentes agresivos. No obstante esta acción perjudicial puede alcanzar también al propio hormigón, en los casos menos frecuentes que se mencionan más adelante.

Sin embargo, con las excepciones antes aludidas, el propio hormigón constituye una excelente protección del acero, que lo preserva de las acciones citadas; por lo que los tubos, por sí mismos, presentan una gran resistencia a la corrosión. La protección que ejerce el hormigón sobre el acero, reside en un triple característica del material. En primer lugar, el hormigón interpone una barrera física entre el acero y el medio exterior; en segundo lugar, el hormigón posee una alcalinidad elevada especialmente si está fabricada con áridos calizos, lo que confiere al acero un estado de pasivación; y por último, el hormigón presenta, después de endurecido, una baja conductividad eléctrica, lo que hace que a través de su masa quede poco favorecido el paso de corriente eléctrica.

Las tuberías de hormigón armado son de gran calidad. Están fabricadas en plantas modernas bajo estrecha supervisión y controles de calidad en cada fase del procedimiento de fabricación. Todos los materiales agregados, aceros, cemento, aditivos y agua de mezcla deben pasar controles de calidad antes de su uso. Los sistemas de mezclado están desarrollados para proporcionar al hormigón la densidad óptima; así una relación baja de agua-cemento se considera esencial para la resistencia y durabilidad del hormigón, característica básica de las tuberías de hormigón armado prefabricado.

Además de usar materiales de alta calidad, los procedimientos de fabricación de tuberías de hormigón armado están altamente desarrollados. La colocación precisa de las armaduras se logra por medios mecánicos para posteriormente verter el hormigón y compactarlo bajo altas presiones y vibración, con lo que resulta uniforme, con óptima compactación y densidad.

Después de un proceso de curado controlado, la fabricación del tubo se da por concluida tras pasar los ensayos prescritos en las normas vigentes, con lo que se obtiene un producto de la máxima garantía y calidad.

3.1.2. Condicionantes en la durabilidad del hormigón

Los condicionantes que influyen en la durabilidad de las tuberías de hormigón armado son: el contenido y tipo de cemento utilizado, la resistencia a compresión del hormigón, la relación agua-cemento, la absorción, las características de los áridos, la alcalinidad total, el recubrimiento de hormigón sobre la armadura y los aditivos.

La resistencia a compresión mínima del hormigón dependerá de la clase de exposición contemplada en la EHE.

PARÁMETRO DE DOSIFICACIÓN	CLASE DE EXPOSICIÓN						
	IIa	IIIb	IV	Qa	Qb	Qc	E
RESISTENCIA MÍNIMA (N/mm ²)	25	30	30	30	30	35	30

Tabla 3.1.2.a Resistencia a compresión mínima

Esta resistencia depende de la relación agua-cemento, del tipo y contenido del cemento utilizado, de los áridos y aditivos del proceso de fabricación y curado del hormigón. Alta resistencia implica, normalmente, alta calidad o lo que es lo mismo, gran resistencia a la abrasión, baja permeabilidad y gran resistencia a las inclemencias del tiempo y al ataque químico.

La absorción es un indicador de la porosidad, que es un factor clave en la durabilidad del hormigón. La absorción del hormigón curado depende de la absorción de cada componente del hormigón, así como del proceso de fabricación del hormigón. La norma UNE 127.010 limita el valor admisible de la absorción al 6%.

Las dosificaciones y relaciones agua/cemento mínimas dependerán de la clase de exposición contemplada en la EHE.

PARÁMETRO DE DOSIFICACIÓN	CLASE DE EXPOSICIÓN						
	Ila	IIIb	IV	Qa	Qb	Qc	E
MÁXIMA RELACIÓN a/c	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,45	0,50
MÍNIMO CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	275	325	325	325	350	350	300

Tabla 3.1.2.b Máxima relación agua/cemento y mínimo contenido de cemento

Además, un alto contenido en cemento conlleva un hormigón con nivel de absorción más bajo, mayor resistencia a compresión, mayor resistencia a las heladas y a los cambios térmicos bruscos y mejor resistencia a los ataques químicos. No obstante, un incremento en la cantidad de cemento debe acompañarse de un curado más cuidadoso, para evitar la aparición de posibles microfisuras por retracción que pudieran producirse.

En España, los cementos Portland usados en la fabricación de tuberías de hormigón armado deben cumplir con los requerimientos de la Instrucción para la recepción de cementos RC 97, siendo además recomendable que estén en posesión de la marca AENOR. En caso necesario pueden emplearse cementos resistentes a los sulfatos, o al agua de mar.

Los áridos usados en tuberías de hormigón deben cumplir los requerimientos de la Instrucción vigente para obras de hormigón. El fabricante establece la serie de áridos a utilizar, para hacerlos compatibles con el proceso de fabricación del hormigón con el fin de alcanzar la resistencia a compresión óptima. La resistencia a abrasión y dureza de los áridos tiene mucha importancia en la durabilidad de las tuberías de hormigón armado, así por ejemplo, la utilización de áridos con alta densidad y dureza produce hormigones con gran resistencia a abrasión.

La alcalinidad del hormigón tiene gran influencia en su capacidad de resistir ambientes ácidos. La alcalinidad se define en términos de cantidad de ácido que una masa conocida de material puede neutralizar, comparada con la capacidad de neutralización del carbonato cálcico (CaCO_3). El valor de la alcalinidad final de un tubería de hormigón depende de los valores de la alcalinidad de cada componente del hormigón, por lo tanto, si se desea obtener un valor final de la alcalinidad en una tubería, deberán conocerse previamente los valores del mencionado parámetro de cada uno de los materiales que forman el hormigón. Una tubería de hormigón fabricada con áridos silíceos, como el granito, tendrá una alcalinidad total del 16 al 24%, dependiendo del tipo de cemento utilizado. Usando áridos reactivos de tipo calcáreo, como calizas o dolomitas, se puede elevar la alcalinidad del hormigón hasta el 100%. Cualquier cemento Portland es alcalino, lo que significa que tiene un pH superior a 7.

A menudo, los fabricantes de tuberías de hormigón armado usan aditivos como aireantes, fluidificantes o aceleradores de fraguado y del endurecimiento. Los agentes aireantes elevan la resistencia del hormigón a las heladas. Los fluidificantes se utilizan para mejorar la manejabilidad del hormigón sin aumentar la cantidad de agua, por lo que se reduce la absorción y aumenta la resistencia a compresión del hormigón. Recientemente se están empezando a utilizar aditivos poliméricos para mejorar la resistencia al ataque de efluentes procedentes de instalaciones industriales y plantas químicas con alta concentración de ácidos.

La relación agua/cemento en este tipo de tubos viene limitada por la EHE. Las diferentes relaciones agua/cemento en función de la clase de exposición vienen recogidas en la tabla 3.1.2.b.

La obtención del valor de la alcalinidad se realiza mediante un sencillo ensayo. Las muestras de material utilizadas en la realización del ensayo deben ser representativas de la masa global de hormigón. Las muestras de hormigón deben obtenerse mediante dos perforaciones de 2,5 cm de diámetro, desde el interior del tubo hasta la profundidad correspondiente a la armadura. Las dos muestras se guardan en recipientes separados y se secan en un horno durante una o dos horas a una temperatura entre 100°C y 110°C. Posteriormente son pulverizadas hasta que el 100% de cada muestra pase por el tamiz de 0,16 mm (norma UNE 7-295-76).

Aproximadamente 1 gramo de la muestra se coloca en una probeta a la que se añaden 10 ml de agua. Posteriormente se vierten despacio, 40 ml de solución 1 N de ácido clorhídrico (HCl). Cuando la efervescencia inicial ha concluido, se calienta hasta ebullición, se mantiene durante 30 segundos y posteriormente se deja enfriar. Enfriada la muestra, se añaden de 50 a 100 ml de agua. La disolución es posteriormente tratada con una solución 1 N de hidróxido sódico (NaOH) durante un periodo de dos minutos hasta que el valor del pH supere 6,8. El valor final del pH deberá situarse entre 6,8 y 7,8.

De cada muestra se realizarán dos ensayos, siendo la alcalinidad del material la media obtenida. El carbonato cálcico equivalente (alcalinidad) es :

$$\text{CaCO}_3 \text{ equivalente} = 5 \cdot (\text{ml de HCl} - \text{ml de NaOH}) / \text{peso de la muestra en g}$$

Nota: Otro aspecto a tener en cuenta para garantizar la durabilidad de la tubería de hormigón armado es el recubrimiento de las armaduras del tubo.

3.1.3. Aspectos físicos de las condiciones de instalación

Hidrocínética de la pared del tubo.

Como se muestra en la figura 3.1.3.a, ejemplo 1, si la presión a ambos lados de la pared del tubo es la misma, el hormigón se satura y no se producirán filtraciones a través de la pared del tubo. En el ejemplo 2, hay una diferencia de presión, y el gradiente hidráulico produce el movimiento de agua junto con las sales, sulfatos y otras sustancias que lleve disueltas. La dirección del flujo tiene importancia: si el agua agresiva se encuentra en el lado de la pared donde hay depresión, el movimiento del agua no agresiva tenderá a mitigar cualquier efecto. En cualquier caso, si no hay exposición a la atmósfera del tubo, no se producirán efectos derivados de la concentración de sustancias agresivas.

En los ejemplos 3 y 4 se considera el caso de que la superficie externa del tubo esté en contacto con la atmósfera. Las filtraciones de agua se producen bien por gradiente hidráulico o por capilaridad. En cualquier caso se producirá una concentración de sustancias agresivas en o cerca de la de la superficie expuesta a evaporación. Estas consideraciones no son relevantes en el caso de que se trate de un ambiente ácido, puesto que el ataque por ácidos se produce exclusivamente en la superficie expuesta. Sin embargo son relevantes en la evaluación de exposición a sulfatos o a cloruros.



Figura 3.1.3.a

El caso de exposición total a la atmósfera se ilustra en la figura 3.1.3.b, ejemplo 1. Dependiendo del clima y de la localización de la tubería, la superficie exterior del tubo podrá estar sometida a heladas, variaciones bruscas de temperaturas, exposición a cloruros en zonas costeras, y a los efectos de la concentración de sales y sulfatos que se encuentren disueltos en el efluente.

Si el tubo se encuentra parcialmente enterrado, como se muestra en la figura 3.1.3.b ejemplo 2, los efectos de la concentración de sustancias nocivas en la superficie exterior del tubo son más complejos de evaluar. Las posibles direcciones del movimiento del agua se muestran en la figura.

El tubo enterrado no está expuesto a heladas o a variaciones bruscas de temperaturas. Cuando están instalados por encima del nivel freático se producirán flujos de efluente hacia el exterior y, en caso contrario, se producirán filtraciones del agua del terreno circundante. El primer caso es crítico para efluentes con altos contenidos de sulfatos y cloruros, mientras que el segundo caso es crítico si el agua del terreno es agresiva.

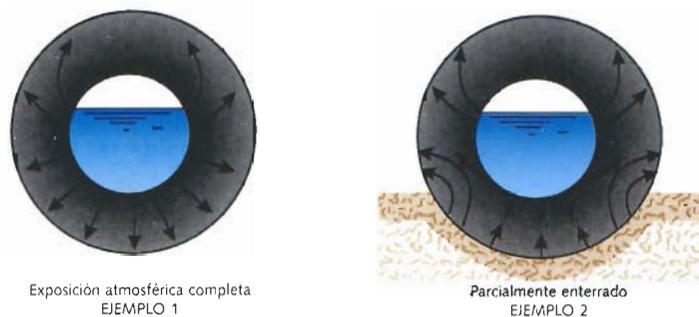


Figura 3.1.3.b

3.1.4. Principales Factores Agresivos.

Los factores físicos y químicos que pueden agredir a tuberías de hormigón armado y que son, en conjunto, destacables desde el punto de vista de los problemas de durabilidad aparecidos en las aplicaciones normales de este producto son:

- Ácidos
- Sulfatos
- Cloruros
- Heladas
- Velocidad-abrasión
- Corrientes eléctricas derivadas o "vagabundas"

3.1.4.1. Ácidos

Cuando un ácido se encuentra en contacto con un hormigón de cemento Portland, la superficie expuesta del hormigón neutraliza, por la alcalinidad del hormigón, al ácido que ataca. Una cantidad dada de ácido destruirá una masa dada de hormigón, la cual es inversamente proporcional a la alcalinidad total del hormigón. Si no se añade ácido, la reacción se frena.

El ataque por ácido se puede producir desde dentro de la tubería (por el fluido que por ella circula), o desde fuera (por el tipo de terreno que está en contacto con la tubería).

Se han encontrado dos tipos de ataques interiores. Uno es un fenómeno bioquímico consecuencia de procesos anaerobios, que se pueden llegar a dar en ciertas situaciones muy especiales y desafortunadas en redes de saneamiento con poca pendiente, muy horizontales, en zonas muy cálidas y sin caudales ni aireación. El segundo tipo lo producen efluentes de tipo ácido, que circulen indebidamente por una red de saneamiento no preparada específicamente para recibirlos.

El ataque bioquímico tiene como características:

- Presencia de ácido sulfúrico.
- Aunque el volumen total de ácido sea escaso, la concentración del mismo es elevada, hasta un 5%, por lo que en alto porcentaje reaccionará con las superficies expuestas de hormigón.

La existencia de un medio ácido depende de un tipo de condiciones muy poco frecuentes en las tuberías de saneamiento. Actualmente existen medios de predicción y detección de estas condiciones específicas, y medios para prevenirla, aunque ninguno mejor que el de una red proyectada con pendientes adecuadas por la que circulen caudales suficientes con la ventilación adecuada.

La circulación de disoluciones ácidas está prohibida, puesto que un efluente de tipo ácido resultaría dañino para el proceso de tratamiento del mismo. La medida de la acidez se consigue mediante la lectura del pH; así un efluente con pH 5,5 se considera agresivo, mientras que por debajo de 5 se considera altamente agresivo. Frecuentemente se utilizan corrientes de efluente intermitentes con incrementos cíclicos del valor del pH para mitigar los efectos de la acidez del efluente sobre las tuberías de saneamiento.

El ataque exterior a las tuberías de un sistema de saneamiento depende de un número de parámetros elevado, ya que implica muy diversas condiciones. Este fenómeno es por tanto menos predecible. Además, la cantidad de ácido debido a corrientes entre los materiales del suelo será mucho menor que en el caso anterior, por lo que el pH no es el único dato necesario para evaluar la agresividad. El otro valor necesario se mide en miligramos equivalentes de ácido por cada 100 gramos de suelo, y mide la acidez total del suelo.

La medida del pH puede conseguirse de manera suficientemente exacta en campo con un medidor normalizado. Para obtener la acidez total del suelo, es necesario tomar muestras en la profundidad en la que va a situarse la tubería, por que en caso contrario, obteniendo muestras solamente de la superficie, los resultados pueden dar lugar a errores.

Cuando aparece un problema de ataque por ácido, tanto interior como exterior, se aconseja:

- Usar un hormigón con baja permeabilidad y usar áridos calizos para neutralizar el ácido.
- Aumentar el recubrimiento de hormigón como hormigón de sacrificio.
- Cuando el ataque es exterior es posible el uso de recubrimientos protectores.

Los hormigones expuestos a ataque de ácido sulfúrico sufren, además, el efecto añadido de las reacciones producidas por los sulfatos formados en el ataque. De estos sulfatos el más importante es el de calcio que, al cristalizar como yeso y/o formar con el aluminato tricálcico del cemento compuestos expansivos, contribuye en segunda pero principal instancia a la destrucción del hormigón. Por ello, el uso de cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico, los cuales apenas afectan a la resistencia al ataque meramente químico del hormigón por el ácido sulfúrico, puede mitigar substancialmente el efecto destructivo añadido debido a las reacciones expansivas del sulfato de calcio formado en primera instancia por el ataque sulfúrico (Véase 3.1.4.2. Sulfatos).

Dentro del grupo de ácidos debe hacerse mención especial al ácido sulfhídrico (H_2S). Dicho ácido, en forma gaseosa, resulta tóxico; se produce mediante digestión anaerobia de los fangos que circulan por la red de saneamiento a altas temperaturas. Este gas puede oxidarse resultando ácido sulfúrico (H_2SO_4) altamente agresivo; para que dicha oxidación tenga lugar es necesaria la participación de una serie de bacterias que pueden llegar a encontrarse en zonas cálidas, y cuando no hay circulación ni de aire ni de aguas por la red de saneamiento.



Para evitar la presencia de ácido sulfhídrico, han de asegurarse condiciones aerobias, para lo que se ha de cuidar la pendiente de proyecto y construcción evitando situaciones de estancamiento de aguas, asegurando un caudal suficiente así como la debida aireación de la tubería. Para evitar estancamientos debidos a depósitos de sedimentos en los tubos, se considera normal no bajar de 0,3 m/s la velocidad cuando el efluente no contenga arena y de 0,6 m/s cuando en el efluente esté presente la arena. La temperatura del efluente puede limitarse pero deberá controlarse al mismo, sobre todo si es de tipo industrial, mediante análisis periódicos que registren el pH, la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, la demanda de oxígeno y la temperatura.

La norma UNE 127.010 en su Anejo D, da una serie de características para el hormigón utilizado en zonas en las que, por su escasa pendiente, poco caudal o escasa ventilación, sea posible la aparición del ácido sulfhídrico:

- El cemento deberá ser resistente a los sulfatos. (Se recomienda el uso de cemento SR).
- El árido empleado será como mínimo de un 80% calizo.
- El contenido de sulfatos de los áridos, expresado en SO_3 , se limita al cuatro por mil del peso total del árido.
- La relación agua/cemento. será como máximo de 0,45.
- Se podrá añadir aditivos que mejoren la trabajabilidad del hormigón con el objeto de reducir la relación agua/cemento. La resistencia a compresión del hormigón deberá ser como mínimo de 40 MPa.
- El recubrimiento de las armaduras longitudinales respecto a las superficies interior y exterior de los tubos será de 25 mm. Cuando los tubos tengan un espesor de pared menor de 60 mm, el recubrimiento no podrá ser inferior a 19 mm. Los extremos macho y hembra del tubo deberán ir armados de forma que no exista ninguna sección transversal de la tubería montada sin armadura y con un recubrimiento mínimo a la superficie interior y exterior de 15 mm.
- Cuando la distancia del borde de la armadura a la superficie extrema sea inferior a 10 mm, se colocará una protección adecuada (topes de plástico, pinturas especiales,...).
- Aunque no está recogido en la norma UNE 127.010, actualmente se está extendiendo el uso de aditivos poliméricos que, incorporados al hormigón, mejoran su comportamiento ante el ataque de ácidos.

3.1.4.2. Sulfatos

Los sulfatos de sodio, magnesio y calcio presentes en los suelos, aguas subterráneas o efluentes, pueden resultar agresivos al hormigón hecho con cemento Portland, mediante reacciones químicas con ciertos componentes del hormigón, principalmente con hidratos de aluminato tricálcico para formar sulfoaluminato de calcio. Esta reacción se acompaña de una expansión por lo que puede llegar a producirse un agrietamiento del hormigón. La situación es típica de aquellas condiciones donde la concentración de sulfatos, y en particular de calcio, en la superficie del tubo ha sido producida por la exposición de éste a atmósferas gaseosas, (industriales, lluvia ácida), que contienen gases sulfurosos capaces de dar por disolución (y en casos también por oxidación) ácido sulfúrico. La exposición de los tubos a estas atmósferas es más dañina que la correspondiente a cualquier concentración de sulfatos en el agua.

Ante este tipo de ataques se dan las siguientes recomendaciones:

- La reducción del contenido de aluminato tricálcico del hormigón es la forma más directa de aumentar la resistencia del hormigón ante ataques producidos por sulfatos.
- Suponiendo una cantidad fija de aluminato tricálcico, un alto contenido de cemento aumenta la resistencia del hormigón ante ataques producidos por sulfatos.

3.1.4.3. Cloruros

El efecto más perjudicial de los cloruros sobre las tuberías de hormigón es la posible corrosión de los redondos de acero de las armaduras de los tubos de hormigón armado.

El hormigón con cemento Portland protege los redondos de acero de la corrosión en condiciones altamente agresivas para el acero. La protección es un fenómeno electroquímico, en el que la alta alcalinidad del hormigón, con un pH alrededor de 12 normalmente, pasiva el acero. Este efecto permanece mientras el valor del pH del hormigón sea igual o superior a 10, incluso en presencia de oxígeno libre; lo que ocurre es que el ion cloro es capaz de romper la película oxidica que produce la pasivación del acero. Se ha establecido una cantidad de ion cloro por encima de la cual aparecen fenómenos de corrosión, siempre y cuando exista oxígeno que contribuya a apoyar la corrosión. Cuanto mayor sea la concentración de ion cloro, suponiendo presencia de hormigón, más rápidamente aumentará la corrosión, siempre que exista oxígeno en cantidad suficiente.

Para prevenir los fenómenos de corrosión debidos al ataque de cloruros se dan las siguientes recomendaciones:

- Es conveniente evitar el uso de hormigones porosos y permeables.
- Deben prevenirse agrietamientos en el hormigón.
- Se recomienda aumentar el recubrimiento de hormigón, aunque este aumento no siempre podrá evitar que aparezca puntualmente el fenómeno de corrosión en ambientes muy agresivos.
- Bajo condiciones de exposición muy agresivas se recomienda el uso de recubrimientos protectores.

3.1.4.4. Heladas

Los daños causados por ciclos de hielo-deshielo se producen debido a que el agua penetra en los poros y fracturas del hormigón; se hiela, aumentando su volumen, lo que produce un aumento de tensión suficiente para poder llegar a fracturar el hormigón; el caso contrario, es decir el deshielo de un poro lleno de agua, produce una disminución del volumen de agua en el poro, lo que implica la aparición de tensiones igualmente perjudiciales para el hormigón. La agresividad de las condiciones de exposición viene dada por la frecuencia de los ciclos de hielo-deshielo.

Para este tipo de fenómenos se recomienda el uso de hormigones de alta compacidad, en los que se cuide de manera especial el acabado de las superficies libres del hormigón. En condiciones de exposición muy agresivas es posible el uso de recubrimientos protectores. Habitualmente, y por el hecho de estar las tuberías enterradas, los tubos no están expuestos a la acción de las heladas.

3.1.4.5. Velocidad-Abrasión

Se han realizado estudios acerca de los efectos de abrasión sobre las tuberías debidos a la excesiva velocidad del fluido, si bien no se han obtenido conclusiones generalizables debido a que las observaciones realizadas en campo han dado resultados muy limitados. Este fenómeno ha sido estudiado en alcantarillas, donde muchas veces se combina con fenómenos de corrosión debidos a aguas muy agresivas.

La velocidad de la corriente no produce efectos negativos sobre el hormigón por si misma, siempre que se mantenga dentro de los rangos normales. Dentro de estos rangos, el efecto de la velocidad sobre las tuberías depende de la carga de partículas, es decir, de la cantidad de sólidos que se mueven por la tubería debido a la corriente. La carga de partículas puede ser continua o intermitente, y variar según el tamaño, dureza o densidad de los sólidos. Normalmente, es más un problema técnico de diseño que un problema de abrasión, sobre todo en sistemas de alcantarillado, puesto que tanto el tamaño como la densidad de las partículas son, normalmente, muy pequeños en sistemas de alcantarillado de aguas negras y un poco mayores en sistemas no separativos.

En sistemas de alcantarillado en los que el efluente no tenga arena, la velocidad máxima de diseño es normalmente de 3 m/s admitiéndose esporádicamente valores de hasta 6 m/s. Si el efluente contiene arenas, la velocidad de diseño debe reducirse a 2 ó 3 m/s para evitar problemas de erosión.

La principal recomendación para evitar los efectos de abrasión sobre los tubos debido a la velocidad de la corriente es utilizar áridos en el hormigón cuya dureza sea superior a la de las partículas en suspensión que la corriente de aguas residuales pueda arrastrar.

Cuando fuera necesaria una consideración especial de resistencia a la erosión se utilizarán áridos finos de cuarzo u otro material de dureza similar, un árido grueso con desgaste de Los Angeles inferior a 30 y una cantidad máxima de cemento de 375 kg/m³.

3.1.4.6. Corrientes eléctricas derivadas

Cuando las tuberías de hormigón armado enterradas corren paralelas a líneas de tracción eléctrica, (tren o metropolitano), y el terreno entre ambas se hace más conductor, por humedad y/o por sales, es posible que, si la conducción eléctrica está mal aislada, la corriente busque el camino de mínima resistencia y derive hacia la armadura de la tubería, sobre todo si el hormigón que la recubre no es lo suficientemente compacto e impermeable. Entonces, la corriente entra por un determinado punto en la armadura, circula por ella a lo largo de un cierto trecho y la abandona en otro punto para volver a la conducción principal. El punto de penetración se erige en cátodo de un sistema electroquímico, es decir, en zona protegida, y en él no suele suceder nada. Pero en el punto de abandono se establece el correspondiente ánodo y en él tiene lugar una corrosión muy extensa e intensa que provoca la destrucción de la armadura, la del hormigón que la recubre y, por lo tanto, la de la tubería en dicho punto.

Este fenómeno es más peligroso en tuberías donde hay continuidad en las armaduras de los distintos tubos (unión soldada, camisa de chapa conjunta, etc.). En el caso de tuberías de saneamiento hay interrupción en la continuidad de las armaduras en cada tubo (unión elástica).

Cuando por el trazado de la tubería sea posible y probable la intervención de las citadas corrientes derivadas, llamadas también "vagabundas", se hace preciso tomar precauciones previas para dar a la armadura y a la tubería una protección catódica, bien sea mediante ánodos "de sacrificio" o mediante corriente "impresa".

3.1.5. Importancia de la fisuración en la durabilidad

Uno de los principios del diseño de cualquier estructura de hormigón armado (por lo tanto, incluyendo los tubos), es la aceptación de la fisura del hormigón como condición necesaria para que el acero pueda ejercer función resistente, debiendo distinguirse esta fisuración de la rotura del hormigón en el que éste aparece fisurado.

Por diversas razones, entre las que mencionamos el aumento de resistencia frente a los factores agresivos desarrollada anteriormente, debe controlarse el tamaño de la fisura admisible en el hormigón. Así, según el criterio de la norma UNE 127.010, "se permiten fisuras de la capa superficial, fisuras de retracción o temperatura, con ancho máximo de 0,15 mm; y para tubos armados, fisuras ocasionadas en ensayos con ancho máximo de 0,15 mm". Asimismo la mencionada norma permite embeber el producto hasta 24 horas antes de medir la fisura, y concluye diciendo que aquellos tubos que presenten otro tipo de fisuras diferentes a las citadas en la norma no serán conformes con aquella, entendiéndose como no aceptables las superiores al valor de 0,15 mm.

La fisuración no admisible, además de reflejar una rotura de la estructura de hormigón armado, es vía de penetración de otros ataques comentados anteriormente

3.1.6. Criterios de diseño para mejorar el comportamiento frente a factores agresivos: alcalinidad, velocidad

A continuación se comentan el conjunto de criterios y recomendaciones para mitigar los efectos de los factores agresivos sobre el hormigón, anteriormente citados.

Como hemos comentado, en los casos en que la tubería se encuentra en un ambiente muy agresivo es posible el uso de protectores como alternativa al ataque de ácidos o cloruros. Puesto que no es normal que una tubería se encuentre en condiciones de exposición muy agresivas, es necesario la realización previa de un estudio económico, de un análisis de las condiciones de servicio de la conducción y de los factores agresivos encontrados para mitigar los efectos de éstos, incluso en el corto plazo o cuando se presentan de manera intermitente.

Asimismo es necesario un estudio acerca de la posibilidad de reducción de la agresividad del entorno, como por ejemplo controlar sanitariamente la cantidad de sulfuros que circulan por el sistema. También deben realizarse estudios de durabilidad del hormigón destinados a prevenir los efectos de ataques concretos, como por ejemplo ante un caso de ataque ácido aumentar la alcalinidad total para aumentar la resistencia del hormigón.

El uso de protectores específicos de sellado de la superficie de la tubería debería limitarse a aquellos casos que así lo requieran, una vez realizados los estudios de durabilidad teniendo en cuenta también factores económicos.

Una primera división de este tipo de productos puede hacerse atendiendo al espesor de la capa aplicada sobre el tubo; así distinguiremos protectores de pequeño espesor, los cuales se aplican normalmente con brocha o con pistola, variando el grosor de protector aplicado entre 0,25 mm y 1,2 mm según las normas de uso americanas; su uso es diferente dependiendo del tipo de protector. Es fundamental lograr una buena y uniforme adherencia al hormigón si se quieren conseguir buenos resultados a largo plazo, por lo que es necesaria una cuidada preparación de la superficie de hormigón sobre la que se desea aplicar el protector. El tipo de material utilizado va desde resinas epoxi hasta productos bituminosos, como asfaltos o alquitranes. Los materiales bituminosos son utilizados, en la mayoría de los casos, para recubrimientos exteriores, con la función de sellar la tubería contra ataques producidos por cloruros.

Los recubrimientos protectores de espesor grueso (superior al 1,2 mm según norma de uso americana), son bastante más caros y proporcionan una protección más duradera. Existen dos materiales de uso común para este tipo de recubrimiento: mortero de resina epoxi y placas de cloruro de polivinilo. El mortero de resina epoxi se aplica mecánicamente una vez los tubos están fabricados o después del periodo de curado.

La protección de tuberías frente a fenómenos de abrasión producidos por la velocidad del fluido consiste en analizar el tipo y dureza de sólidos que van a circular por la red, para fabricar el hormigón con un tipo de árido de dureza superior al de los sólidos circulantes.

3.2 Adecuación Medioambiental

Durante las dos últimas décadas se ha producido un importante cambio en la mentalidad de la sociedad, pasando de un concepto en que la producción era lo más importante a otro en que la producción debe ir acompañada de un conjunto de medidas que aseguren el futuro. Esta no es una posición conservacionista sino medioambientalista.



En el campo de la construcción, el reflejo de esta nueva filosofía se observa en los estudios de impacto ambiental, necesarios en estudios previos, anteproyectos y proyectos. No se realizará una determinada obra si no se asegura que una vez terminada la misma se restituirá la situación inicial sin que la obra produzca un deterioro en una serie de factores ambientales valorados cuantitativa y cualitativamente.

Estos estudios se encuadran dentro del movimiento de desarrollo sostenible propugnado a nivel mundial.

Los estudios de impacto ambiental deben contener:

- Acciones de proyecto.
- Inventario ambiental de la zona afectada.
- Análisis ambiental. Matrices de impacto.
- Criterios para la integración ambiental. Propuesta de medidas correctoras de restauración, mejora y aprovechamiento del medio natural.
- Programa de vigilancia ambiental.

El primer punto comprende el conjunto de actuaciones a realizar sobre la zona, que en el caso de instalación de tuberías comprenderá los movimientos de tierras, excavación de la zanja, ejecución de la cuna de apoyo de la tubería, instalación de la tubería, colocación de las juntas, relleno de la zanja, etc..

El inventario ambiental es un estudio exhaustivo de la zona afectada y comprende: calidad del aire, geología y geomorfología, suelos, hidrología superficial y subterránea, flora, fauna, paisaje, población humana -demografía, actividad económica por sectores y aspectos culturales e históricos.

El análisis ambiental es un estudio detallado del impacto ambiental de cada acción de proyecto sobre los factores ambientales. Se representa en forma de matriz. El impacto se registra según diversos métodos existiendo dos principales: cualitativos y cuantitativos.

Definidos los impactos se elabora una propuesta de medidas correctoras para la integración ambiental y por último, se establece un programa de vigilancia y control ambiental que debe desarrollarse.

3.2.1. Análisis del ciclo de vida

Otra herramienta actualmente disponible para la evaluación medioambiental es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de procesos y productos. Se define como el proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales debidas a una actividad, proceso o producto, mediante la identificación y cuantificación de la energía y los materiales usados y de los residuos emitidos al entorno, analizar el impacto de estos en el medioambiente, y evaluar y aplicar posibles mejoras.

Se considera como carga ambiental todo efecto sobre el medio ambiente: consumo de energía, consumo de materiales, emisiones a la atmósfera, vertidos a ríos y mares, residuos sólidos, ocupación de espacio, etc..

En un estudio de impacto ambiental se diferencian de forma clara dos etapas:

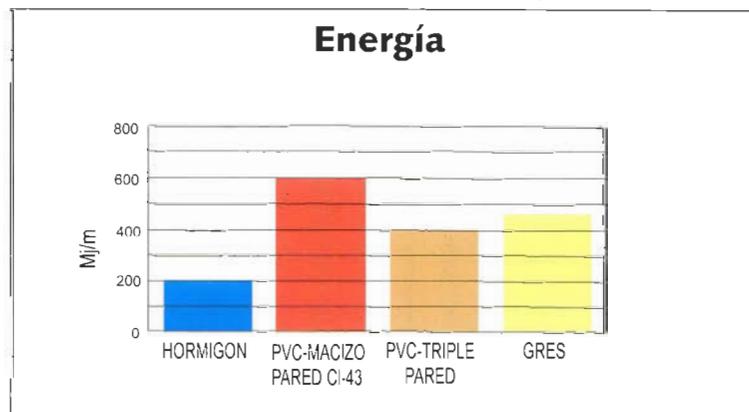
- 1 Definición del objetivo y ámbito del estudio: definición de los procesos y subprocesos considerados, definición de la unidad funcional de referencia, procedimiento de obtención y fiabilidad de los datos utilizados.

2 Inventario: evaluación de las distintas cargas ambientales de los procesos incluidos entre los límites del sistema, determinación de las fuentes de datos, asignación de impactos.

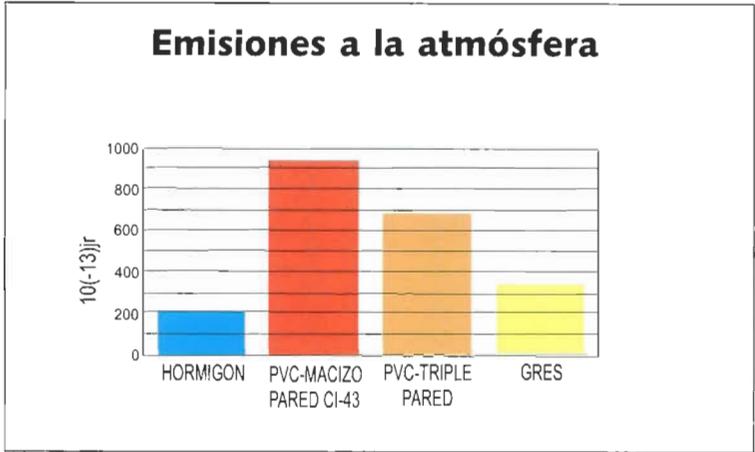
El inventario del tubo de hormigón es:

- Materias primas muy abundantes y fácilmente accesibles (caliza, sílice, arcilla).
- Materiales locales.
- Inerte (no contaminante ni tóxico).
- Reciclable (ahorro de materias primas, menor impacto en canteras de cemento y de áridos).
- No contaminante si va al vertedero.
- Fácil de fabricar.
- Moldeable.
- Ejecutable tanto para piezas pequeñas, como para elementos grandes o masivos.
- Ejecutables con tolerancias bajas de geometría.
- Bajo mantenimiento (coste y molestias a usuarios).
- Alta durabilidad (pétreo).
- Alta resistencia química (protección ante fugas, durabilidad, contacto con agua o con sustancias agresivas en tuberías, pavimentos o muros).
- Amplia gama de densidades.
- Amplia gama de permeabilidades.
- Amplia gama de texturas.
- Pigmentable.

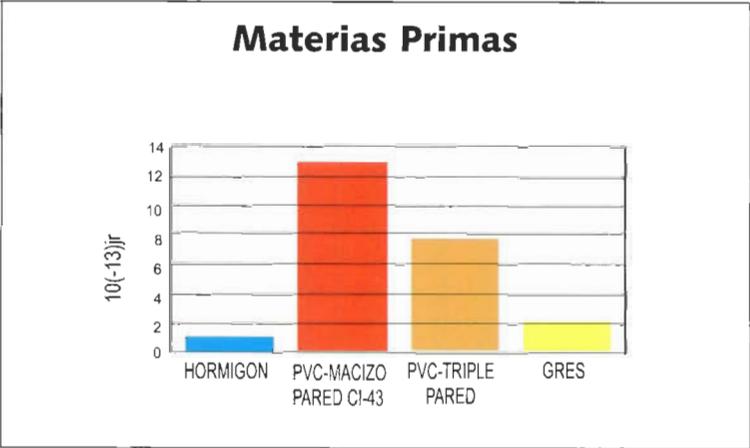
Además, comparando los tubos de hormigón armado con los tubos de PVC y con los tubos de gres, los de hormigón armado obtienen una mejor puntuación en todos los aspectos del perfil medioambiental, tal como se observa en los gráficos siguientes:



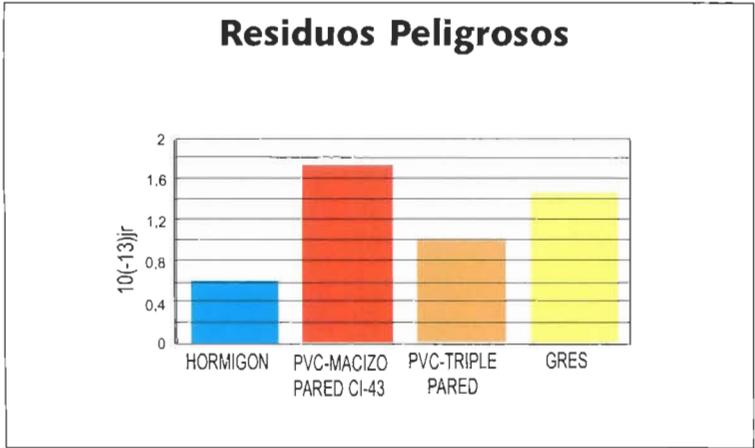
(Valores por metro representativo de tubo de saneamiento).



(Valores por metro representativo de tubo de saneamiento).



(Valores por metro representativo de tubo de saneamiento).



(Valores por metro representativo de tubo de saneamiento).

3.3 Aspectos Económicos

Se pretende la optimización de la red a diseñar, desde el punto de vista hidráulico y económico, teniendo en cuenta que el fluido que va a circular por el sistema está sujeto a una serie de condiciones como lo son la velocidad mínima de circulación para evitar fenómenos de sedimentación y la velocidad máxima de circulación para evitar fenómenos de abrasión sobre la tubería.

Si la red constase de un solo tramo, el estudio técnico-económico sería muy sencillo: partiendo del caudal previamente calculado (véanse los puntos 3.4. CALCULO HIDRÁULICO DE TUBERÍAS SIN PRESIÓN y 3.6 CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO), se obtendrían los diámetros que originan velocidades comprendidas entre 0,3 m/s y 3 m/s, teniendo en cuenta que para el caudal máximo, en redes de saneamiento, se aconseja que un 20% del diámetro máximo de la tubería (en tubos ovoides o circulares) quede libre, con el objeto de evitar fenómenos anaerobios. Una vez obtenidos los diámetros, se determinarán las pérdidas de carga correspondientes a cada diámetro y se compararán con la pérdida de carga admisible de la instalación. Las tuberías con pérdidas de carga superiores a la admisible serán rechazadas y se adoptará, si no hay otras razones técnicas en contra, el menor de los diámetros de las tuberías no rechazadas.

Un mayor ajuste, desde el punto de vista económico, puede lograrse calculando la instalación para el diámetro menor de los no rechazados y para el diámetro mayor de los rechazados, fijando, a continuación, una longitud parcial de cada uno de ellos de forma tal que la pérdida de carga del conjunto sea igual a la admisible. Se recuerda que el diámetro del tubo a emplear es independiente del material empleado en la instalación, ya que los coeficientes de rozamiento se ven afectados únicamente por las características del diseño del colector y no por el material del tubo (véase apartado 3.4.2).

La producción de tubos de hormigón es rápida y ofrece un gama muy variada de elementos. Todos los accesorios, piezas de conexión y pozos de registro están fabricados con gran precisión, están disponibles y ofrecen total flexibilidad. Puede realizarse por consiguiente una conducción completa de un mismo material, sin la menor interrupción. La colocación de los tubos de hormigón armado no requiere precauciones especiales ni accesorios complicados. Cualquiera que sea la naturaleza del suelo, son cómoda y fácilmente instalados en la zanja. El relleno y la compactación no son tan críticos como en otros materiales alternativos. Por tanto, el empleo de los tubos de hormigón armado se puede considerar como la solución más económica existente, tanto en la adquisición inicial como en el mantenimiento ulterior de la red. Elegir un sistema de conducción basado en el hormigón es elegir a la vez la opción con mejor relación calidad/precio del mercado y la más segura a largo plazo.

3.4 Cálculo Hidráulico de Tuberías sin Presión

3.4.1. Generalidades

Los sistemas de transporte de aguas urbanas son de dos tipos: sistemas de abastecimiento y de alcantarillado. Las redes de abastecimiento se diseñan siempre por encima, topográficamente de las de alcantarillado, con el fin de evitar que malfunciones en cualquiera de los dos sistemas, produzcan la contaminación de las aguas de abastecimiento.

Los sistemas de alcantarillado se clasifican, diseñan y construyen para conseguir tres aplicaciones: sistemas de saneamiento, sistemas de transporte de aguas blancas y alcantarillas. Los sistemas de saneamiento transportan aguas residuales negras procedentes de domicilios particulares, industrias y comercios. Los sistemas de aguas blancas transportan las aguas de lluvia, superficiales y, en algunos casos, subterráneas. Otro tipo son los sistemas mixtos diseñados para transportar aguas residuales negras y blancas. Por último las alcantarillas permiten el paso de las aguas superficiales a los sistemas de saneamiento descritos.

El propósito del diseño hidráulico es establecer el tamaño y tipo de tubo, pendientes del sistema y características internas y externas; por tanto este capítulo resume los principios hidráulicos de diseño y su aplicación a tubos de hormigón.

3.4.2. Ecuación de Manning. Valores del Coeficiente de Rugosidad para Tuberías de Hormigón

Para el cálculo de la pérdida de carga debida a rozamientos en tubos de hormigón armado sin presión se utiliza frecuentemente la fórmula de Manning. Dicha fórmula esta sancionada por la práctica, de tal modo que no queda la menor duda sobre los resultados que se obtienen empleándola. Así pues,

$$v = R_h^{2/3} \frac{I^{1/2}}{n}$$

siendo I, la pendiente de la conducción en m/m

v, la velocidad media en m/s

R_h , el radio hidráulico en m (superficie mojada / perímetro mojado)

n, coeficiente de Manning

El coeficiente de Manning varía con el tipo de material del lecho y con otras circunstancias. Con el paso del tiempo las condiciones hidráulicas tienden a ser iguales con independencia del material de la tubería. Para tuberías de hormigón se da el siguiente valor:

"n" DE LABORATORIO	"n" DE DISEÑO
0,009 - 0,011	RED UNITARIA 0,012 RED A. RESIDUAL 0,013

Estos valores están avalados por el estudio "Cálculo hidráulico de la conducciones de saneamiento y drenaje. Valor del coeficiente de rugosidad recomendado para la fórmula de Manning". Informe de la Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.

Tabla 3.4.2

Se ha demostrado con ensayos en laboratorio así como en instalaciones reales que los coeficientes de rozamiento son, en la práctica, independientes del material del tubo, afectándoles mucho más las características del diseño del colector (excesivos cambios de pendiente longitudinal, obstáculos para el movimiento libre del agua dentro de la tubería, características especiales del agua residual, incumplimiento de las normas UNE de calidad en la fabricación de las tuberías, etc.).

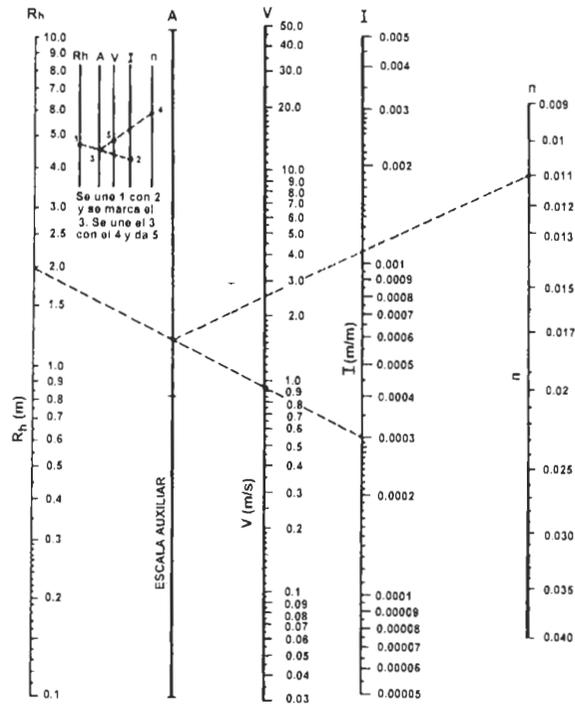


Gráfico 3.4.2

3.4.3. Fórmula de Darcy Prandtl-Colebrook

Aunque resulta recomendable utilizar la ecuación de Manning, anteriormente comentada, en los cálculos hidráulicos con tuberías de hormigón, a veces se utilizan otras formulaciones, entre las que destaca la de Darcy Prandtl-Colebrook, aunque esta formulación está fundamentalmente orientada al cálculo de tuberías en presión.

Partiendo como en el punto anterior de la expresión de Darcy-Weisbach, que es muy apropiada para el cálculo de tuberías con presión:

$$I = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

en la que:

I , es la pérdida de carga en m/m

λ , es el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach, adimensional

D , es el diámetro interior de la tubería en m

v , es la velocidad media en m/s

g , es la aceleración de la gravedad en m/s²

Procediendo a numerosas observaciones sobre el comportamiento de tuberías nuevas y en servicio, Colebrook y White (1938) establecieron la siguiente fórmula empírica para el coeficiente de fricción de Darcy-Weisbach:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{K_a}{3,71D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

siendo:

K_a , la rugosidad absoluta equivalente en m

Re , el número de Reynolds = vD/ν

ν , la viscosidad cinemática del fluido en m²/s

y el resto de parámetros los ya mencionados anteriormente

Así, pues, eliminando λ de las ecuaciones (1) y (2), se obtiene:

$$v = -2\sqrt{2gDI} \log \left(\frac{K_a}{3,71D} + \frac{2,51\nu}{D\sqrt{2gDI}} \right)$$

denominada fórmula de Prandtl-Colebrook.

En las conducciones de aguas residuales intervienen factores específicos no presentes normalmente en las de aguas limpias, como son: depósitos sobre el fondo y paredes de los conductos, pozos de registro y gran número de juntas.

Ello hace que la rugosidad uniforme equivalente de una misma tubería sea distinta según circulen por ella aguas limpias o aguas residuales.

Análogamente será también distinta la viscosidad cinemática. Para aguas residuales urbanas se suele tomar un valor de $1,301 \cdot 10^{-6}$ m²/s, a la temperatura habitual de 10°C.

Teniendo en cuenta el efecto del uso sobre el valor de la rugosidad equivalente de las conducciones, en el siguiente cuadro se especifican los valores a considerar de dicha rugosidad para tuberías de hormigón utilizadas en conducciones de aguas residuales.

TIPO DE TUBERÍA	K _a
HORMIGÓN LISO ALTA CALIDAD	0,40 - 0,80
HORMIGÓN LISO DE CALIDAD MEDIA	0,80 - 1,50

Tabla 3.4.3.a

A pesar de que los tubos de hormigón armado producidos en las fábricas de los miembros asociados a ATHA (Asociación de Fabricantes de Tuberías de Hormigón Armado) deben considerarse siempre como tubos de hormigón liso de alta calidad, las acometidas, pozos, etc., existentes en la tubería hacen que deba tomarse un coeficiente K_a entre 1 y 1,5 según que la conducción tenga muchas acometidas y pozos o pocas acometidas. Los valores inferiores son especialmente aplicables a tuberías con tramos rectos y largos entre pozos de registro, colectores principales y emisarios; los valores superiores corresponden al caso contrario.

Para conducciones a sección parcialmente llena, la fórmula de Prandtl-Colebrook debe aplicarse con los coeficientes correctores de Thormann-Franke.

$$W = \frac{v_p}{v} = \left[\frac{2\beta - \text{sen}2\beta}{2(\beta + \gamma \text{sen}\beta)} \right]^{0,625} \quad q = \frac{Q_p}{Q} = \frac{(2\beta - \text{sen}\beta)^{1,625}}{9,69(\beta + \gamma \text{sen}\beta)^{0,625}}$$

donde:

V= velocidad a sección llena

V_p= velocidad a sección parcialmente llena

Q= caudal a sección llena

Q_p= caudal a sección parcialmente llena

2β= arco de la sección mojada

γ= coeficiente de THORMANN que introduce la consideración del rozamiento entre el líquido y el aire del interior del conducto.

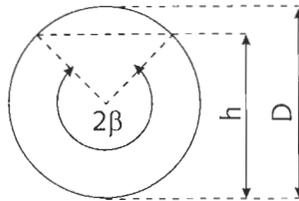


Figura 3.4.3

Para $\eta = \frac{h}{D} \leq 0,5; \gamma = 0$

Para $\eta = \frac{h}{D} > 0,5; \gamma = \frac{\eta - 0,5}{20} + \frac{20(\eta - 0,5)^3}{3}$

Tabla de Thormann y Franke.
Variaciones de caudales y velocidades en función de la altura de llenado

$\frac{Q'}{Q}$	$\frac{h}{S}$	$\frac{v'}{v}$												
0,001	0,023	0,17	0,041	0,135	0,51	0,081	0,189	0,62	0,210	0,309	0,80	0,610	0,568	1,04
0,002	0,032	0,21	0,042	0,137	0,51	0,082	0,191	0,62	0,220	0,316	0,81	0,620	0,575	1,04
0,003	0,038	0,24	0,043	0,138	0,51	0,083	0,192	0,62	0,230	0,324	0,82	0,630	0,581	1,05
0,004	0,044	0,26	0,044	0,140	0,52	0,084	0,193	0,63	0,240	0,331	0,83	0,640	0,587	1,05
0,005	0,049	0,28	0,045	0,141	0,52	0,085	0,194	0,63	0,250	0,339	0,84	0,650	0,594	1,05
0,006	0,053	0,29	0,046	0,143	0,52	0,086	0,195	0,63	0,260	0,346	0,85	0,660	0,600	1,05
0,007	0,057	0,30	0,047	0,145	0,53	0,087	0,196	0,63	0,270	0,353	0,86	0,670	0,607	1,06
0,008	0,061	0,32	0,048	0,145	0,53	0,088	0,197	0,63	0,280	0,360	0,86	0,680	0,613	1,06
0,009	0,065	0,33	0,049	0,148	0,53	0,089	0,199	0,63	0,290	0,367	0,87	0,690	0,620	1,06
0,010	0,068	0,34	0,050	0,149	0,54	0,090	0,200	0,63	0,300	0,374	0,88	0,700	0,626	1,06
0,011	0,071	0,35	0,051	0,151	0,54	0,091	0,201	0,64	0,310	0,381	0,89	0,710	0,633	1,06
0,012	0,074	0,36	0,052	0,152	0,54	0,092	0,202	0,64	0,320	0,387	0,89	0,720	0,640	1,07
0,013	0,077	0,36	0,053	0,153	0,55	0,093	0,203	0,64	0,330	0,394	0,90	0,730	0,646	1,07
0,014	0,080	0,37	0,054	0,155	0,55	0,094	0,204	0,64	0,340	0,401	0,91	0,740	0,653	1,07
0,015	0,083	0,38	0,055	0,156	0,55	0,095	0,205	0,64	0,350	0,407	0,92	0,750	0,660	1,07
0,016	0,086	0,38	0,056	0,158	0,55	0,096	0,206	0,65	0,360	0,414	0,92	0,760	0,667	1,07
0,017	0,088	0,39	0,057	0,159	0,56	0,097	0,207	0,65	0,370	0,420	0,93	0,770	0,675	1,07
0,018	0,091	0,40	0,058	0,160	0,56	0,098	0,208	0,65	0,380	0,426	0,93	0,780	0,682	1,07
0,019	0,093	0,41	0,059	0,162	0,56	0,099	0,210	0,65	0,390	0,433	0,94	0,790	0,689	1,07
0,020	0,095	0,41	0,060	0,163	0,57	0,100	0,211	0,65	0,400	0,439	0,95	0,800	0,697	1,07
0,021	0,098	0,42	0,061	0,164	0,57	0,105	0,216	0,66	0,410	0,445	0,95	0,805	0,701	1,08
0,022	0,100	0,42	0,062	0,166	0,57	0,110	0,221	0,67	0,420	0,451	0,96	0,810	0,705	1,08
0,023	0,102	0,43	0,063	0,167	0,57	0,115	0,226	0,68	0,430	0,458	0,96	0,815	0,709	1,08
0,024	0,104	0,43	0,064	0,168	0,58	0,120	0,231	0,69	0,440	0,464	0,97	0,820	0,713	1,08
0,025	0,106	0,44	0,065	0,170	0,58	0,125	0,236	0,69	0,450	0,470	0,97	0,825	0,717	1,08
0,026	0,108	0,45	0,066	0,171	0,58	0,130	0,241	0,70	0,460	0,476	0,98	0,830	0,721	1,08
0,027	0,110	0,45	0,067	0,172	0,58	0,135	0,245	0,71	0,470	0,482	0,99	0,835	0,725	1,08
0,028	0,112	0,45	0,068	0,174	0,59	0,140	0,250	0,72	0,480	0,488	0,99	0,840	0,729	1,07
0,029	0,114	0,45	0,069	0,175	0,59	0,145	0,254	0,72	0,490	0,494	1,00	0,845	0,734	1,07
0,030	0,116	0,46	0,070	0,176	0,59	0,150	0,259	0,73	0,500	0,500	1,00	0,850	0,738	1,07
0,031	0,118	0,47	0,071	0,177	0,59	0,155	0,263	0,74	0,510	0,506	1,00	0,855	0,742	1,07
0,032	0,120	0,47	0,072	0,179	0,59	0,160	0,268	0,74	0,520	0,512	1,01	0,860	0,747	1,07
0,033	0,122	0,48	0,073	0,180	0,60	0,165	0,272	0,75	0,530	0,519	1,01	0,865	0,751	1,07
0,034	0,123	0,48	0,074	0,181	0,60	0,170	0,276	0,76	0,540	0,525	1,02	0,870	0,756	1,07
0,035	0,125	0,48	0,075	0,182	0,60	0,175	0,281	0,76	0,550	0,531	1,02	0,875	0,761	1,07
0,036	0,127	0,49	0,076	0,183	0,60	0,180	0,285	0,77	0,560	0,537	1,02	0,880	0,766	1,07
0,037	0,129	0,49	0,077	0,185	0,61	0,185	0,289	0,77	0,570	0,543	1,03	0,885	0,770	1,07
0,038	0,130	0,50	0,078	0,186	0,61	0,190	0,293	0,78	0,580	0,550	1,03	0,890	0,775	1,07
0,039	0,132	0,50	0,079	0,187	0,61	0,195	0,297	0,78	0,590	0,556	1,03	0,895	0,781	1,07
0,040	0,134	0,50	0,080	0,188	0,61	0,200	0,301	0,79	0,600	0,562	1,04	0,900	0,786	1,07

Los coeficientes correctores de Thormann-Franke se reflejan en las tablas siguientes:

3.4.4. Transiciones en movimiento permanente

Estudiamos ahora distintas situaciones que producen una variación importante de los parámetros de cálculo del fluido. Dichas variaciones son las transiciones en movimiento permanente, como estrechamientos, elevación de la solera o cambios bruscos de pendientes que producen fenómenos de resalto hidráulico, que deben ser controlados para evitar disfunciones en el sistema.

En transiciones con movimiento no uniforme, admitiendo que el cambio se efectúa en un tramo corto de tubería, obtenemos la carga hidráulica o energía específica H_o en función del caudal Q :

$$H_o = y + \frac{Q^2}{2gS^2} = \text{cte} \quad (1)$$

siendo:

y , el calado
 S , la sección

En cada sección, el calado y el caudal estarán determinados por las condiciones aguas abajo y aguas arriba. Si se supone conocido el valor H_o , la ecuación permite representar el caudal, Q en función del calado.

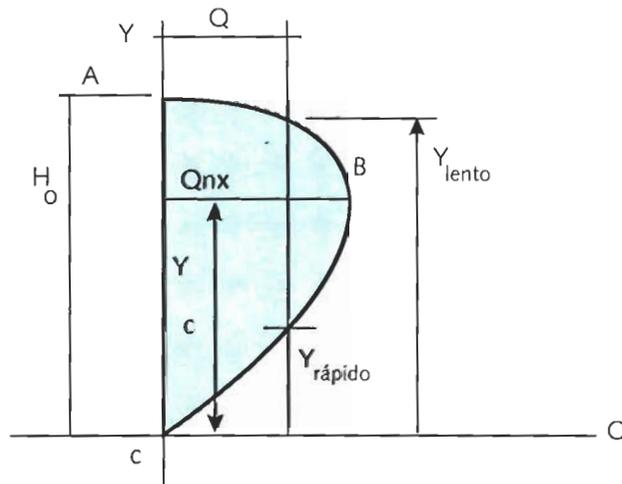


Figura 3.4.4

La curva presenta un valor máximo del caudal, que se obtiene derivando la ecuación (1) respecto al calado.

$$0 = 1 - \frac{Q^2}{gS^3} \frac{dS}{dy} + \frac{Q}{gS^2} \frac{dQ}{dy}$$

y haciendo $dQ / dy = 0$, teniendo en cuenta que $dS / dy = T$, resulta

$$\frac{(Q/S)^2}{g \cdot (S/T)} = 1$$

o bien en función de la velocidad V y el calado medio $y_m = S/T$

$$V / (g \cdot y_m)^{1/2} = 1$$

es decir, el número de Froud, $F=1$, se produce cuando el movimiento es crítico. Al calado correspondiente se le llama crítico.

3.4.5. Resalto Hidráulico

La transición, en movimiento permanente, de régimen rápido a lento se realiza con una gran disipación local de energía presentándose un frente abrupto muy turbulento conocido con el nombre de resalto hidráulico.

Como se observa en la figura 3.4.5, este fenómeno provoca un aumento apreciable del calado, consideración que debe ser tenida en cuenta en el dimensionamiento de la red, en los puntos en que, por sus características geométricas, se den las condiciones de posible aparición de un resalto hidráulico.

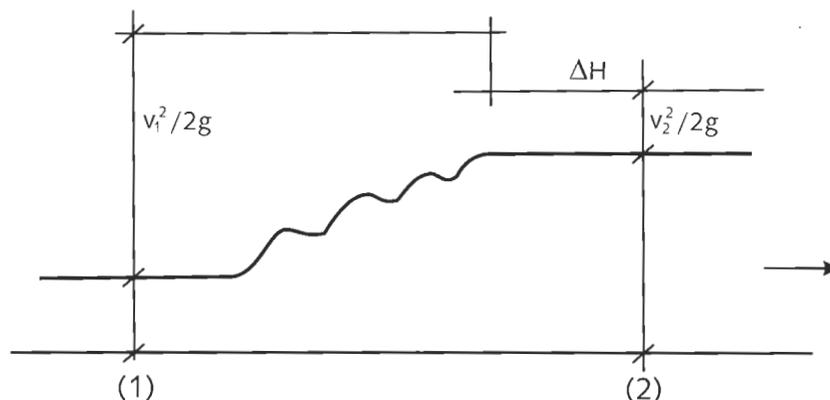


Figura 3.4.5

Se considera la sección (1) en régimen rápido justo antes del resalto y la (2), ya en movimiento uniforme después del resalto, en régimen lento. En las secciones (1) y (2) puede suponerse una distribución hidrostática de presiones.

La relación de calados resultante aguas arriba y abajo del resalto se obtiene de aplicar las ecuaciones de la cantidad de movimiento y de continuidad:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right)$$

siendo $F_1^2 = V_1^2 / (g \cdot y_1)$

La longitud del resalto (L) no puede determinarse teóricamente, existiendo varias correlaciones experimentales. Aproximadamente, puede tomarse:

$$L = 6 \cdot (y_2 - y_1)$$

Experimentalmente se ha comprobado que el resalto se presenta para $F > 3^{1/3}$; para $F < 3^{1/3}$ el resalto es ondulado y su situación más estable se produce para

$$4,5 < F < 9$$

Cuando las condiciones en los límites no corresponden con las determinadas por las ecuaciones del resalto, el resalto no es estable y se presenta un resalto móvil, que se puede estudiar considerando unos ejes móviles que se trasladen a la velocidad del resalto.

3.4.6. Encuentros y cambios de diámetro

En las redes unitarias y de fecales, los colectores de igual diámetro que incidan en un pozo deberán hacer coincidir sus cotas de rasante hidráulica. En el caso de ser colectores de diferente diámetro deberán hacer coincidir las cotas de la clave-excepto en el caso en que el conducto de salida tenga el diámetro menor.

Si en el pozo se produce un cambio de dirección se recomienda dar un resalto de unos 12 mm para compensar las pérdidas de carga que se producen.

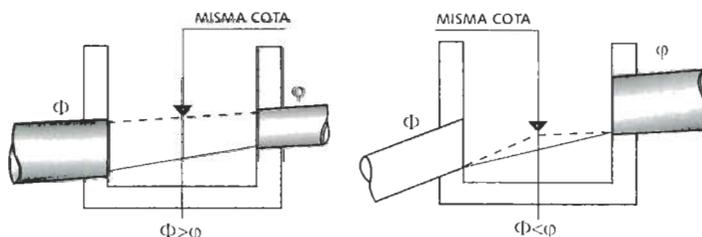


Figura 3.4.6

3.4.7. Dimensionamiento en función del caudal

Como se ha dicho anteriormente, una de las principales consideraciones a tener en cuenta a la hora del dimensionamiento de un tubo de hormigón armado es la capacidad hidráulica. Ello quiere decir que debe conocerse cual será el objeto de la red, esto es, si será una red de distribución, de saneamiento unitaria, separativa, etc. Además es preciso conocer el lugar en el que se va a situar dicha red, ya que dependiendo de la población así será la dotación de agua, con la que podrá aproximarse el caudal de aguas residuales. Por último será necesario conocer la pluviometría de la zona, tanto si la red es unitaria como si es separativa.

3.4.7.1. Sistema unitario y separativo

Se denomina sistema unitario a aquel por el que circulan aguas blancas y negras, mientras que un sistema separativo es el que diferencia entre aguas blancas y negras.

La red única de alcantarillado (sistema unitario) es más sencilla de instalación y de servicio ya que implica un solo ramal de alcantarillado en cada calle y una sola acometida a las fincas.

La red doble o separativa de alcantarillado exige doble red de alcantarillado en casi todas las calles, salvo las que por ser muy cortas no requieren sumideros, y



doble acometida en cada casa. Desde el punto de vista de la economía de construcción y gastos de primer establecimiento, existe una indudable ventaja para el sistema unitario, pues el coste de las dos tuberías, equivalentes hidráulicamente en su conjunto a la única, es de 1,5 a 2 veces mayor como término medio, habida cuenta de la imposibilidad práctica de utilizar diámetros de tubos inferiores a 20 cm, que en muchos pueblos y calles cortas de ciudades, con pendientes más bien fuertes, son suficientes para el caudal total.

Sin embargo, existen casos en los que resulta más rentable utilizar un sistema separativo; por ejemplo, el caso en el que el agua residual haya de elevarse. Este sistema tiene una ventaja adicional: en los casos en los que al final de la red exista una depuradora se ajustarán las necesidades reales de agua a depurar, no teniendo que sobredimensionarla.

3.4.7.2 Caudales de aguas negras a considerar

Las principales aportaciones de agua en una ciudad son: vertidos domésticos, vertidos industriales, vertidos ecológicos y vertidos agrícolas. Debido a esta diversificación, índice de crecimiento, movimientos migratorios, etc., se hace difícil determinar los caudales y se dificulta el cálculo de los conductos para su transporte. Es necesario estimar la población y su dotación de agua como parámetros fundamentales de base de partida.

Así pues, el primer parámetro a definir es la población y su evolución, ya que hay que tener en cuenta que los estudios deben realizarse con un plazo horizonte de veinticinco años, teniéndose en especial consideración la posible urbanización de terrenos contiguos que puedan servirse de la red de saneamiento proyectada.

a) Evolución de la población

Los factores que influyen en la estimación de la población son muchos: económicos, industriales, sociales, políticos, etc., por lo que los sistemas de predicción son complejos. Debe acudirse a formulaciones estadísticas con grandes dispersiones, debiendo el técnico, finalmente, decidir. Por tanto, el crecimiento de la población de un núcleo urbano se puede representar mediante métodos basados en datos estadísticos anteriores, estableciéndose de esta manera varios modelos de crecimiento:

- El modelo aritmético consiste en considerar un incremento de la población constante. Así, conocidos dos censos P_1 y P_2 , y el periodo de tiempo comprendido entre ambos t_1-t_2 , la población estimada P en un tiempo futuro t será:

$$P = P_2 + \frac{(P_2 - P_1)}{(t_1 - t_2)} \cdot (t - t_2)$$

- El modelo geométrico consiste en considerar para iguales periodos de tiempo el mismo porcentaje de incrementos de población:

$$P = P_2 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\left(\frac{t-t_2}{t_2-t_1} \right)}$$

- El modelo utilizado por la Administración toma como base poblaciones del último censo realizado y las de los censos de 10 y 20 años antes; calcula las tasas de crecimiento anual acumulativo correspondientes a los intervalos entre cada uno de estos censos y el último realizado:

$$P_a = P_{a-10} \cdot (1 + \beta)^{10}, \text{ deduciéndose } \beta$$

$$P_a = P_{a-20} \cdot (1 + \gamma)^{20}, \text{ deduciéndose } \gamma$$

Como tasa de crecimiento aplicable a la prognosis se adoptará un valor:

$$\alpha = (2 \cdot \beta + \gamma) / 3$$

estimándose la población futura mediante el modelo:

$$P = P_a \cdot (1 + \alpha)^t$$

siendo P_a ,la población actual

P , la población futura en el tiempo t

b) Caudal de aguas negras urbanas

Una vez estimada la población, lo siguiente es hacer lo mismo con la dotación, que se mide como el volumen medio diario de agua por cada habitante. Así, a partir de una población de cálculo y fijada la dotación, se obtendrá el consumo teórico para una población.

Los caudales normales de abastecimiento son los establecidos en el cuadro siguiente:

POBLACIÓN EN Nº DE HABITANTES	CONSUMOS URBANOS EN (L/HAB)/DIA
1000	100
1000 A 6000	150
6000 A 12000	200
12000 A 50000	240
50000 A 250000	300
MÁS DE 250000	400

Tabla 3.4.7.2

Los consumos de estas dotaciones están sometidos a variaciones estacionales y horarias según el intervalo del día. Se define así el coeficiente punta o factor punta, como la relación entre el consumo máximo horario, dentro del día de consumo máximo, y el consumo horario medio, dentro del día de consumo medio.

Por tanto, podemos calcular el caudal punta mediante alguna formulación de tipo empírico, como la siguiente:

$$Q_M = Q_m (1 + 14 / (4 + P^{1/2}))$$

$$Q_{\min} = 0,2 Q_m$$

siendo:

Q_M , el caudal punta horario

Q_m , el caudal medio horario

Q_{\min} , el caudal mínimo horario

P , la población en miles de habitantes

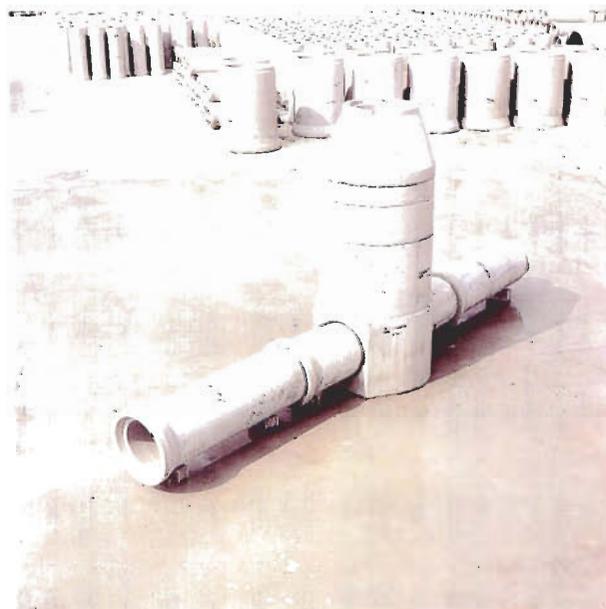
El caudal de aguas negras urbanas se suele considerar en pequeños núcleos urbanos igual al de abastecimiento. Realmente la variación horaria sufrirá las mismas oscilaciones que el de abastecimiento con un cierto retraso, si bien los vertidos disminuirán cuando se consume realmente el agua (Evaporación, riego, etc).

Para los vertidos de aguas negras se consideran los caudales suministrados con las mismas puntas, pero reducidos en un 25% equivalente a pérdidas. Sólo en núcleos muy pequeños se adoptará el caudal suministrado.

c) Caudal de aguas residuales industriales

Normalmente, dentro de las cifras correspondientes a caudales de aguas negras urbanas, se encuentra la proporción correspondiente a aguas residuales industriales. Deberá prestarse atención individualizada a industrias puntuales ubicadas en pequeños núcleos, ya que los vertidos, en cuanto a cantidad, son totalmente diferentes de unas industrias a otras. Un mismo tipo de industria variará considerablemente los caudales vertidos atendiendo a factores tales como productos y subproductos, proceso adoptado, recirculación de aguas para reutilización, constitución de la red de alcantarillado (unitario, separativo), etc.

Por tanto es difícil establecer unas cifras concretas de vertido, aunque es también necesario disponer de algunos datos como referencia para establecer una buena aproximación de los caudales vertidos. La dotación de agua para uso industrial puede oscilar entre 30 y 60 m³/ha·día.



3.4.7.3 Intensidad de lluvia

Tanto en redes unitarias como en separativas es imprescindible realizar un estudio previo acerca del caudal de aguas blancas que va a soportar la red. Para ello se hace imprescindible tratar la intensidad de lluvia.

La primera característica a analizar en la intensidad de lluvia es su variación en el tiempo, y estudiar qué intensidad de lluvia hay que contemplar en cada caso. Conviene admitir como válido el caudal de lluvias ordinarias y no el de chubascos extraordinarios y menos el de tormentas máximas, que conviene aplicar en los casos de grandes poblaciones.

Existen numerosas fórmulas empíricas para determinar la intensidad de lluvia. Deberá tenerse en cuenta que dichas fórmulas son aplicables sólo a determinadas zonas en las que se validó la fórmula.

La expresión adoptada en el programa de Cálculo de Redes de Saneamiento, editado por ATHA, para la curva intensidad-duración de lluvia es la siguiente:

$$I_m = k_1 \cdot (t + k_2)^{k_3}$$

Donde:

I_m : Intensidad de lluvia en l/s-ha

t : Duración de la lluvia en minutos para las lluvias de corta duración y en horas para las de larga duración.

k_1, k_2, k_3 : Constantes.

Primeramente hemos de observar que la forma de la curva de intensidad de lluvia depende de la situación geográfica de la obra y, por el carácter de extremos de los datos (valores máximos), depende también del periodo de retorno considerado.

Método directo:

- Es posible que, por la proximidad a una estación meteorológica existente, pueda obtenerse directamente o mediante elaboración de los registros pluviométricos, la curva intensidad-duración para un determinado periodo de retorno, en cuyo caso no hace falta realizar ninguna estimación para la curva intensidad-duración.

Métodos indirectos:

- En caso de que no se disponga de la curva intensidad-duración de forma directa, es necesario realizar una estimación de ésta, para ello indicamos dos métodos, ambos se basan en la intensidad máxima de 1 hora, I_h , y la intensidad máxima diaria I_d , cuyos valores pueden obtenerse de los mapas de precipitaciones máximas P_h y P_d o mediante información proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología.

Método directo curvas intensidad-duración-frecuencia

Curvas intensidad-duración para distintas estaciones meteorológicas según Francisco Elias y Luis Ruiz tomados de la referencia [1]

LLUVIAS DE CORTA DURACION									
	Coeficiente por periodo de retorno						Constantes curva		
	2 años	5 años	10 años	20 años	30 años	50 años	k1	k2	k3
Albacete	0,5123	0,8035	1,0000	1,1895	1,2947	1,4281	1707,4	0	-0,75
Alicante	0,5446	0,8169	1,0000	1,1753	1,2739	1,4006	9812,7	24	-0,98
Almería	0,4967	0,7996	1,0000	1,1938	1,3007	1,4410	3580,6	18	-0,82
Badajoz	0,5696	0,8259	1,0000	1,1646	1,2595	1,3797	905,8	0	-0,57
Barcelona	0,5876	0,8340	1,0000	1,1581	1,2477	1,3623	4301,0	27	-1,03
Caceres	0,5977	0,8391	1,0000	1,1571	1,2452	1,3563	1222,5	0	-0,69
Igueldo	0,5678	0,8286	1,0000	1,1662	1,2609	1,3811	1492,3	0	-0,64
La Coruña	0,6090	0,8459	1,0000	1,1504	1,2368	1,3459	702,5	0	-0,55
Logroño	0,5995	0,8398	1,0000	1,1550	1,2403	1,3540	12418,4	21	-1,16
Madrid	0,5907	0,8340	1,0000	1,1583	1,2510	1,3629	3662,3	12	-0,96
Murcia	0,5650	0,8250	1,0000	1,1675	1,2625	1,3825	7234,8	24	-1,02
Ponferrada	0,5374	0,8178	1,0000	1,1776	1,2804	1,4065	721,9	0	-0,61
Salamanca	0,5567	0,8227	1,0000	1,1675	1,2660	1,3892	12006,1	27	-1,14
Soria	0,5589	0,8219	1,0000	1,1671	1,2658	1,3863	6603,2	15	-1,02
Toledo	0,5882	0,8353	1,0000	1,1569	1,2471	1,3608	2599,0	0	-0,88
Tortosa	0,5775	0,8330	1,0000	1,1635	1,2572	1,3731	1163,3	0	-0,48
Valencia	0,5006	0,7993	1,0000	1,1926	1,3022	1,4394	7203,1	21	-0,83
Valladolid	0,5766	0,8288	1,0000	1,1622	1,2568	1,3739	998,7	0	-0,68
Vigo	0,5709	0,8284	1,0000	1,1642	1,2612	1,3769	904,2	0	-0,61
Zaragoza	0,5610	0,8239	1,0000	1,1667	1,2629	1,3850	15452,0	24	-1,19

LLUVIAS DE LARGA DURACION									
	Coeficiente por periodo de retorno						Constantes curva		
	2 años	5 años	10 años	20 años	30 años	50 años	k1	k2	k3
Albacete	0,5970	0,8358	1,0000	1,1592	1,2488	1,3632	55,8	0	-0,66
Alicante	0,5677	0,8255	1,0000	1,1641	1,2604	1,3802	106,7	0	-0,71
Almería	0,5238	0,8063	1,0000	1,1841	1,2889	1,4222	87,5	0	-0,75
Badajoz	0,5662	0,8245	1,0000	1,1656	1,2616	1,3808	83,9	0	-0,71
Barcelona	0,5749	0,8282	1,0000	1,1630	1,2555	1,3722	126,1	0	-0,73
Caceres	0,5321	0,8107	1,0000	1,1786	1,2821	1,4107	77,8	0	-0,71
Igueldo	0,6540	0,8616	1,0000	1,1349	1,2111	1,3080	80,3	0	-0,58
La Coruña	0,6623	0,8640	1,0000	1,1316	1,2061	1,3026	63,3	0	-0,65
Logroño	0,6497	0,8122	1,0000	1,1371	1,2132	1,3096	54,7	0	-0,73
Madrid	0,6609	0,8627	1,0000	1,1288	1,2060	1,2961	64,7	0	-0,76
Murcia	0,5504	0,8184	1,0000	1,1671	1,2680	1,3890	96,4	0	-0,71
Ponferrada	0,6387	0,8581	1,0000	1,1419	1,2194	1,3226	43,1	0	-0,61
Salamanca	0,6094	0,8438	1,0000	1,1458	1,2344	1,3385	53,3	0	-0,72
Soria	0,6377	0,8551	1,0000	1,1401	1,2222	1,3237	57,5	0	-0,69
Toledo	0,6808	0,8732	1,0000	1,1268	1,1972	1,4038	59,2	0	-0,77
Tortosa	0,5383	0,8131	1,0000	1,1773	1,2780	1,4058	173,9	0	-0,73
Valencia	0,4642	0,7839	1,0000	1,2055	1,3227	1,4719	182,5	0	-0,74
Valladolid	0,6448	0,8579	1,0000	1,1366	1,2131	1,3115	50,8	0	-0,71
Vigo	0,5990	0,8406	1,0000	1,1498	1,2367	1,3430	57,5	0	-0,49
Zaragoza	0,5756	0,8296	1,0000	1,1640	1,2572	1,3762	86,4	0	-0,75

Ejemplo:

- Para Madrid y para un periodo de retorno 10 años, las constantes serán:

A partir de las dos tablas anteriores obtenemos:

Lluvias de corta duración: $F_{pr} = 1,0000$; $k_1 = 3662,3$; $k_2 = 12$; $k_3 = -0,96$

Lluvias de larga duración: $F_{pr} = 1,0000$; $k_1 = 64,7$; $k_2 = 0$; $k_3 = -0,76$

3.4.7.4 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la parte de la precipitación que circula superficialmente y la precipitación total, entendiendo que la parte superficial es menor que la precipitación total al descontar la evaporación, evapotranspiración, almacenamiento, etc. Como puede comprenderse, el proceso de escorrentía es complejo y en la práctica deben introducirse simplificaciones.

$$\varphi = \frac{Q_c}{Q_t}$$

El coeficiente de escorrentía es un valor adimensional comprendido entre 0 y 1.

Además, para una misma cuenca depende además de la duración de la lluvia: para las lluvias largas el coeficiente es superior al de las lluvias cortas.

La escorrentía dependerá de la zona urbana a que corresponda y a los materiales constituyentes de la superficie. Atendiendo a la zonificación pueden adoptarse los siguientes valores:

Coeficiente de escorrentía. Calc. de caudales. F. Catalá.

Tipo area	C lluvias corta	C lluvias largas
Residencial >150 viviendas/ha	0.70 a 1.00	1.00
Residencial de 100 a 150 v/ha	0.75 a 1.00	1.00
Residencial de 50 a 100 v/ha	0.65 a 0.80	1.00
Residencial de 25 a 50 v/ha	0.40 a 0.70	1.00
Residencial de 10 a 25 v/ha	0.30 a 0.50	0.80 a 0.90
Residencial de 5 a 10 v/ha	0.25 a 0.35	0.60 a 0.80
Residencial de 0 a 5 v/ha	0.10 a 0.25	0.50 a 0.60
Comercial céntrica	0.70 a 0.95	1.00
Comercial periférica	0.50 a 0.70	1.00
Industrial	0.50 a 0.90	1.00
Deportiva	0.20 a 0.35	0.50
Parques y jardines	0.10 a 0.25	0.40
Pavimentos hormigón, aglomerado..	0.90 a 1.00	1.00
Pavimentos adoquinados	0.60 a 0.80	1.00
Pavimentos de ladrillo	0.70 a 0.85	1.00
Pavimentos empedrados	0.40 a 0.50	1.00
Pavimentos de grava	0.20 a 0.30	1.00
Cubierta	0.90 a 1.00	1.00
Cultivos (según pendiente)	0.05 a 0.20	0.15 a 0.50
Bosques (según pendiente)	0.05 a 0.15	0.10 a 0.35

En el caso de subcuencas heterogéneas debe contenerse el coeficiente medio equivalente. Para ello se descompone la superficie en sectores y se calcula la escorrentía equivalente como media ponderada.

Por tanto, podremos calcular el caudal teórico que circula procedente de aguas de lluvia:

$$Q_t = S I$$

siendo S , la superficie de la cuenca
 I , la intensidad de lluvia

Mientras que, con más aproximación, suponiendo una cuenca pequeña el caudal real será:

$$Q_r = S I \varphi$$

3.4.7.5 Tiempo de escorrentía superficial.

A efectos de establecer el hidrograma de entrada en la red de las aportaciones de cada una de las subcuencas, es preciso estimar el tiempo de escorrentía superficial, que corresponde al tiempo transcurrido entre el inicio de la lluvia y el momento en que llega el agua al punto hidráulicamente más lejano. (Tiempo de retraso en el recorrido superficial).

Este tiempo depende de la longitud, de la superficie de la cuenca, de la pendiente etc, con valores usuales entre 5 y 10 min para zonas muy densas con imbornales muy próximos entre sí, y entre 10 y 20 min para zonas poco densas con imbornales bastante espaciados.

Para evaluarlo más exactamente pueden emplearse fórmulas tales como la propuesta en la Instrucción 5.2 - IC.

$$T_{es} = 0,4 \left| \frac{L}{J^4} \right|^{0,76}$$

En la que:

T_{es} : Tiempo de escorrentía superficial en horas.

L: Longitud del cauce principal en km.

J: Pendiente en m/m

3.4.7.6 Coeficiente de retraso

En una alcantarilla corta no cabe duda de que si S es la superficie de la cuenca vertiente y $\varphi.I$ el agua escurrida, $\varphi.I.S$ será el máximo caudal por segundo. Pero en caso de alcantarilla larga puede ocurrir que un elemento líquido que haya de recorrer toda la longitud esté aún en camino al cesar el aguacero. En este caso, la zona del extremo inferior de la alcantarilla cesa de enviar agua a la misma antes de que el agua de la zona del extremo superior haya recorrido toda la alcantarilla. O lo que es igual, que el máximo caudal sea ya inferior al teórico $\varphi.I.S$.

Este es el fenómeno de retraso que ha de tenerse en cuenta al calcular grandes redes de alcantarillado.

3.4.7.7 Caudal de aguas de drenaje

En colectores y alcantarillas debe tenerse en cuenta la inevitable presencia de aguas procedentes de infiltración y conexiones incontroladas, que constituyen un caudal adicional al de la propia agua residual. Los caudales a prever por la infiltración en alcantarillas existentes deben basarse en datos de medidas de caudales, si se dispone de ellos, teniendo en cuenta las pérdidas previsibles en el futuro.

3.4.7.8 Flotación

Otro de los factores que debe ser tenido en cuenta a la hora del dimensionamiento es la flotación de la tubería, ya que puede darse el caso que ésta quede inundada.

La densidad del hormigón es aproximadamente 2,4 veces la del agua, pero existen numerosos casos en que, debido a las condiciones de la instalación, la posibilidad de flotación de la tubería existe. Así por ejemplo, en zonas con inundaciones frecuentes, pasos inferiores de ríos o lagos y en el caso de emisarios submarinos se dan condiciones tales que debe realizarse un estudio que determine la probabilidad de flotación.

La flotación de una tubería de hormigón depende de una serie de factores:

- Peso de la tubería de hormigón.
- Peso del volumen de agua desalojado.
- Peso del líquido conducido.
- Fuerzas ascensionales debidas a la corriente.

El estudio comenzaría estableciendo el peso de la tubería de hormigón por metro lineal, conociendo la densidad del hormigón armado y las características geométricas de la tubería (diámetro exterior e interior).

Posteriormente debe determinarse el peso de líquido desalojado por metro lineal de tubería, para lo cual conocemos el volumen de tubería y la densidad del agua, que variará según sea agua salada o dulce, con lo que tendremos el empuje de Arquímedes (fuerza ascensional) que produce la flotación.

También debe calcularse el peso del líquido que circula por la tubería, conocida su densidad y volumen, si bien muchos autores desprecian este término considerándolo como coeficiente de seguridad.

Por último pueden existir fuerzas ascensionales debidas a la corriente. Estas sólo deben considerarse en el caso de emisarios submarinos suponiendo que puedan quedar suspendidos en el agua por variaciones en los perfiles de apoyo debidos a temporales, cambios estacionales, etc..

Así pues, tendremos fuerzas gravitatorias: peso del tubo y del líquido que por él circula, y fuerzas ascensionales: empuje de Arquímedes. Siempre y cuando las ascensionales sean inferiores a las gravitatorias podremos concluir que no se producirá flotación de la tubería.



Los procedimientos preventivos para evitar flotación consisten en aumentar el grosor del tubo, aumentar la densidad del hormigón o diseñar una serie de sujeciones del tubo al suelo, de forma que aumenten el peso del tubo o mejoren la fijación.

3.5 Cálculo Mecánico

3.5.1 Generalidades

El cálculo mecánico de una tubería consiste en la determinación de las características mecánicas del tubo que son necesarias en función de las cargas actuantes y de las condiciones de ejecución.

Las características del tubo se tipifican habitualmente en las normas como clases resistentes (UNE; ASTM, BSI, NF, ...), en función de la carga de rotura en el ensayo de tres aristas.

Las cargas que pueden actuar sobre una tubería enterrada son:

- peso propio
- carga del relleno
- carga del fluido
- cargas móviles
 - carga de tráfico de vehículos
 - carga de tráfico ferroviario
 - carga de tráfico aeroportuario
 - carga debida a compactadores
- cargas puntuales
- empujes laterales
- acciones producidas por la hinca

Para las tuberías de saneamiento habitualmente no se considera la carga del fluido, y los empujes laterales solamente se tienen en cuenta en instalaciones de tipo terraplén.

La carga del relleno depende del tipo de instalación, profundidad y ancho de zanja y tipo de terreno.

Las condiciones de ejecución se tipifican, caracterizan y cuantifican con los diferentes factores de apoyo.



3.5.2 Tipos de Instalación

La colocación de los tubos puede ser en zanja, terraplén, zanja terraplenada ó zanja inducida en terraplén.

La primera distinción entre instalación en zanja o terraplén la encontramos según que la cota de la generatriz superior del tubo esté situada por debajo o por encima, respectivamente, de la rasante del terreno primitivo. Un tubo está colocado en zanja terraplenada cuando sobre la zanja que hay que rellenar se efectúa un terraplén (figura 3.5.2.a) o cuando se ha realizado una prezanja para seguidamente, sobre su base, continuar con una zanja (figura 3.5.2.b).

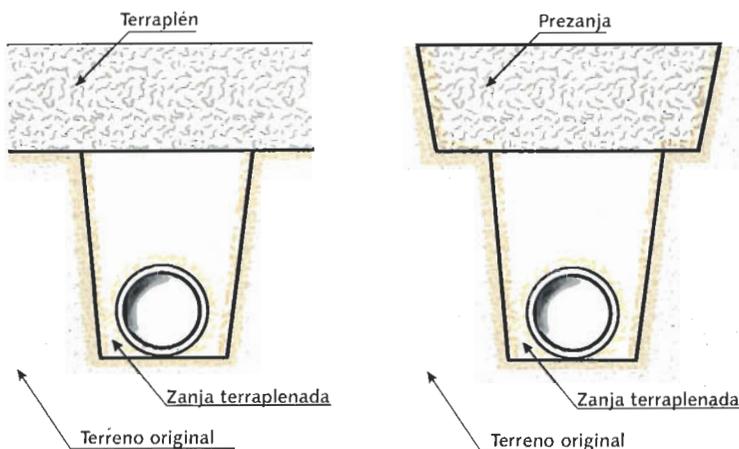


Figura 3.5.2.a

Figura 3.5.2.b

Por último un tubo está colocado en zanja inducida en terraplén cuando sobre el terraplén ya compactado se excava una zanja, o se provoca la descarga parcial del prisma de relleno situado sobre el tubo con desiguales grados de compactación o tipos de relleno.

Para el cálculo de las cargas verticales que producen los rellenos se utiliza la teoría propuesta por Marston, válida en principio para instalaciones en zanja, pero que fue ampliada por Schilk y Spangler posteriormente. Estas teorías consideran: la compactación del terreno 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.

El esquema de la tubería colocada en zanja aparece en la figura 3.5.2.c.

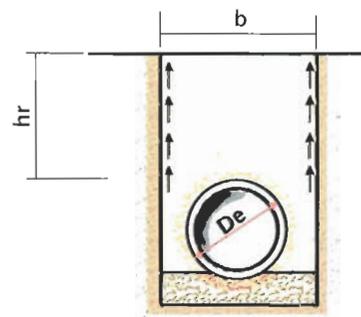


Figura 3.5.2.c

En este tipo de instalación, 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.

Esta consideración resulta obligada para cualquier tipo de zanja incluso la terraplenada o inducida.

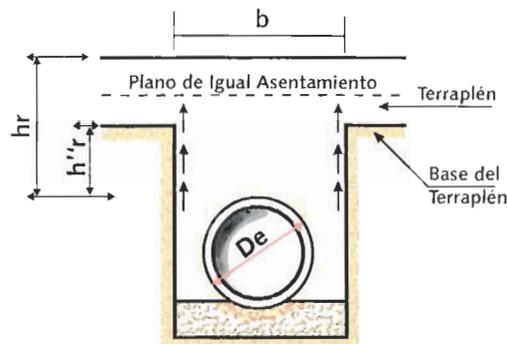


Figura 3.5.2 d

En la instalación en zanja terraplenada el prisma central, que está limitado por los planos que contienen las paredes de la zanja, es de mayor altura que los prismas exteriores y, por tanto, estos prismas asientan menos que el prisma central, y se producen unas fuerzas de rozamiento sobre este último, que originan un aligeramiento del peso del relleno sobre la tubería.

Al aumentar la altura del relleno, disminuye la diferencia de asentamiento que se hace nula en el llamado plano de igual asentamiento.

En este tipo de instalación se denomina:

Razón de proyección o coeficiente de proyección, η' , al cociente cuyo numerador es la distancia de la generatriz superior del tubo a la base del terraplén y cuyo denominador es la anchura de la zanja al nivel de la generatriz superior:

$$\eta' = h_r'' / b$$

Razón de asentamiento, δ' , al valor definido por la expresión:

$$\delta' = (S_1 - (S_2 + S_3 + a_v)) / S_2$$

donde: S_1 es el asentamiento de la superficie del terreno natural.

S_2 es el asentamiento del relleno en la zanja, entre el nivel del terreno natural y la generatriz superior del tubo.

S_3 es el asentamiento de la generatriz inferior del tubo.

a_v es la deformación vertical del tubo.

Las instalaciones en zanja inducida surgen al reducir la carga que recibe una conducción instalada en terraplén, invirtiendo artificialmente el sentido del deslizamiento, esto es, haciendo que el prisma central descienda más que los exteriores, generando de esta forma unas fuerzas de rozamiento dirigidas hacia arriba, las cuales equilibran parte del peso del prisma central, y por lo tanto aligeran la carga sobre la conducción. De esta forma se transforma una instalación en terraplén en otra en zanja terraplenada.

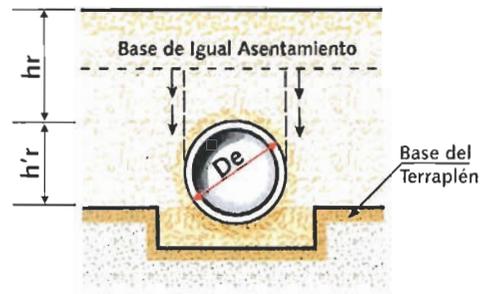


Figura 3.5.2.e

En las instalaciones en terraplén, cuyo esquema aparece en la figura 3.5.2.e, el prisma central, que está limitado por los planos verticales tangentes a la tubería, es de menor altura que los prismas exteriores, y por tanto, estos prismas asientan más que el prisma central y se producen unas fuerzas de rozamiento, sobre este último, que originan un aumento del peso del relleno sobre la tubería.

Al aumentar la altura del relleno, disminuye la diferencia de asentamiento, que se hace nula en el plano de igual asentamiento.

En este tipo de instalación se denomina:

Razón de proyección o coeficiente de proyección, η , al cociente cuyo numerador es la distancia de la generatriz superior del tubo a la superficie del terreno natural y cuyo denominador es el diámetro exterior del tubo.

$$\eta = h_r' / D_e$$

Razón de asentamiento, δ , al valor definido por la expresión:

$$\delta = ((S_4 + S_1) - (S_3 + a_v)) / S_4$$

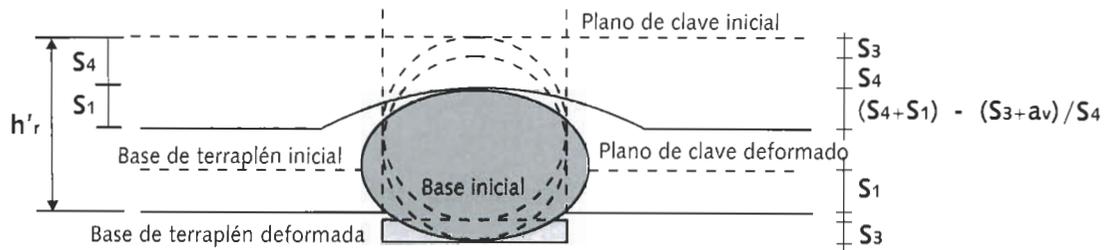


Figura 3.5.2.f

3.5.3 Determinación de las cargas producidas por el relleno

3.5.3.1 Características de las tierras de relleno

Para abordar la determinación de la carga de relleno que incide sobre la conducción es necesario establecer los siguientes valores:

γ = peso específico del relleno, generalmente expresado en t/m³ o en kN/m³

μ = $\text{tg}\varphi$ = coeficiente de rozamiento interno del relleno, en que φ es su ángulo de rozamiento interno

μ' = $\text{tg}\varphi'$ = coeficiente de rozamiento del relleno contra los paramentos de la zanja, en que φ' es el correspondiente ángulo de rozamiento

Conocidos estos valores, se calcula el coeficiente de Rankine que relaciona la presión vertical que recibe el relleno con la presión horizontal que aquella origina.

$$\lambda = \text{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

La fuerza de rozamiento producida en los paramentos de una zanja, al asentar el relleno situado en su interior, es función de $\lambda\mu'$.

En el caso de no conocerse los valores de φ y φ' correspondientes a las condiciones particulares de que se trate, pueden adoptarse los siguientes valores de $\lambda\mu'$, tomados del manual de la ACPA, citado en la bibliografía.

TIPO	CLASE DE RELLENO	$\lambda\mu'$	γ (kN/m ³)
1	ARCILLA PLÁSTICA	0,110	21,0
2	ARCILLA ORDINARIA	0,130	19,2
3	ARENA ARCILLOSA	0,150	19,2
4	ARENA Y GRAVA	0,165	17,6
5	ARENA SIN COHESIÓN	0,192	19,0

Tabla 3.5.3.1

En cuanto al peso específico γ , su determinación experimental es sencilla. En el cuadro anterior se dan unos valores orientativos.

Calculada la carga de tierras sobre una conducción, para unos valores $\lambda\mu'$, γ_{r1} , determinados, la carga para otro peso específico γ_{r2} se obtiene multiplicando la anterior por $\gamma_{r2} / \gamma_{r1}$.

3.5.3.2 Instalación en zanja

EXPOSICIÓN

La carga producida por el relleno de la zanja sobre un metro de longitud de la conducción se determina como sigue:

Sea h_r la altura de relleno sobre el plano de clave de la conducción (figura.3.5.3.2.a). Consideraremos dividida h_r en rebanadas horizontales de altura dh tan pequeña como queramos. El peso de cada rebanada, para una longitud de 1m y una anchura b , será

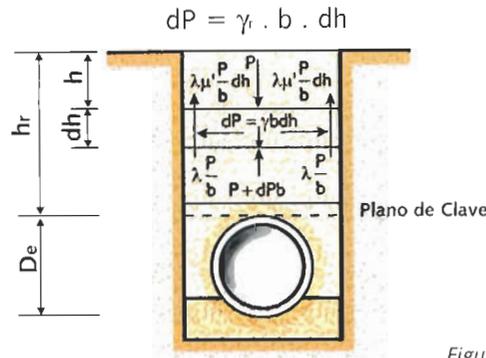


Figura 3.5.3.2.a

Cada rebanada que recibe un peso P , se encuentra sometida a una presión vertical P/b , y produce una presión de empuje horizontal sobre los paramentos de la zanja, de valor $\lambda P/b$.

Al asentar el relleno deslizando respecto a los paramentos de la zanja, se produce en ellos una fuerza de rozamiento, de sentido contrario al del corrimiento, es decir hacia arriba, igual al coeficiente de rozamiento $\mu' = \text{tg}\phi'$ por la presión horizontal y por la superficie $2 \times l \times dh$ sobre la que se aplica.

$$2\lambda\mu' \frac{P}{b} dh$$

Estableciendo el equilibrio de fuerzas que actúan, en dirección vertical, sobre la rebanada se obtiene

$$P + dP + 2\lambda\mu' \frac{P}{b} dh - (P + \gamma_r b \cdot dh) = 0 \quad dP + \left(\frac{2\lambda\mu'}{b} P - \gamma_r b \right) dh = 0$$

ecuación diferencial cuya solución es

$$P = \frac{\gamma_r b^2}{2\lambda\mu'} + K e^{-\frac{2\lambda\mu'}{b} h}$$

Si no existe sobrecarga sobre el terreno, debe ser $P=0$ para $h=0$, lo que permite determinar la constante de integración

$$K = -\frac{\gamma_r b^2}{2\lambda\mu'}$$

Sustituyendo y haciendo $h = h_r$, se obtiene la carga q_r que produce el relleno de la zanja a la cota del plano de clave

$$q_r = \frac{\gamma_r b^2}{2\lambda\mu'} \left(1 - e^{-2\lambda\mu' \frac{h_r}{b}} \right)$$

que puede expresarse en la forma

$$q_r = C_z \gamma_r h_r b \quad \text{con} \quad C_z = \frac{1 - e^{-2\lambda\mu' \frac{h_r}{b}}}{2\lambda\mu' \frac{h_r}{b}}$$

en que $\gamma_r \cdot h_r \cdot b$ es el peso del relleno de la zanja, y C_z es el coeficiente reductor correspondiente al rozamiento de este relleno con los paramentos de la zanja.

El coeficiente C_z recibe el nombre de coeficiente de MARSTON en honor de quién, hacia 1913, estableció las teorías y métodos para el cálculo de las cargas producidas por el peso del relleno en tuberías enterradas. El subíndice z indica que en este caso, el coeficiente es el correspondiente a la instalación en zanja (ver gráfico 3.5.3.2).

Expresando γ_r en kN/m^3 , h_r y b en m , se obtiene el valor de q_r en kN/m .

Cuando la tubería es menos deformable que el relleno dispuesto a sus lados, se considera que la conducción acaba soportando toda la carga q_r de modo que, dentro de ciertos límites, la carga sobre ésta crece con la anchura de la zanja con independencia del diámetro exterior de del tubo.

Esta es la hipótesis habitual para el cálculo de tuberías de hormigón.

Al aumentar la anchura b de la zanja, la carga q_r que recibe la conducción crece más rápidamente que aquella, debido a que, para una misma altura h_r , el coeficiente de Marston crece también al hacerlo b (figura 3.5.3.2.a) como corresponde a la menor incidencia relativa del efecto reductor del rozamiento.

Este crecimiento tiene un límite. Cuando la anchura de la zanja alcanza un valor llamado "anchura de transición", para el cual la carga q_r que recibe la conducción iguala a la carga que recibiría en condiciones de instalación en terraplén con igual altura y relleno, se ha llegado a dicho límite.



Para cualquier tipo de instalación el valor de q_r correspondiente a terraplén representa la máxima carga que el relleno produce sobre la conducción.

Por ello debe compararse el valor de q_r obtenido para la conducción en zanja, con el que le correspondería, en iguales condiciones, si estuviera instalada en terraplén, y tomar el menor de ambos valores.

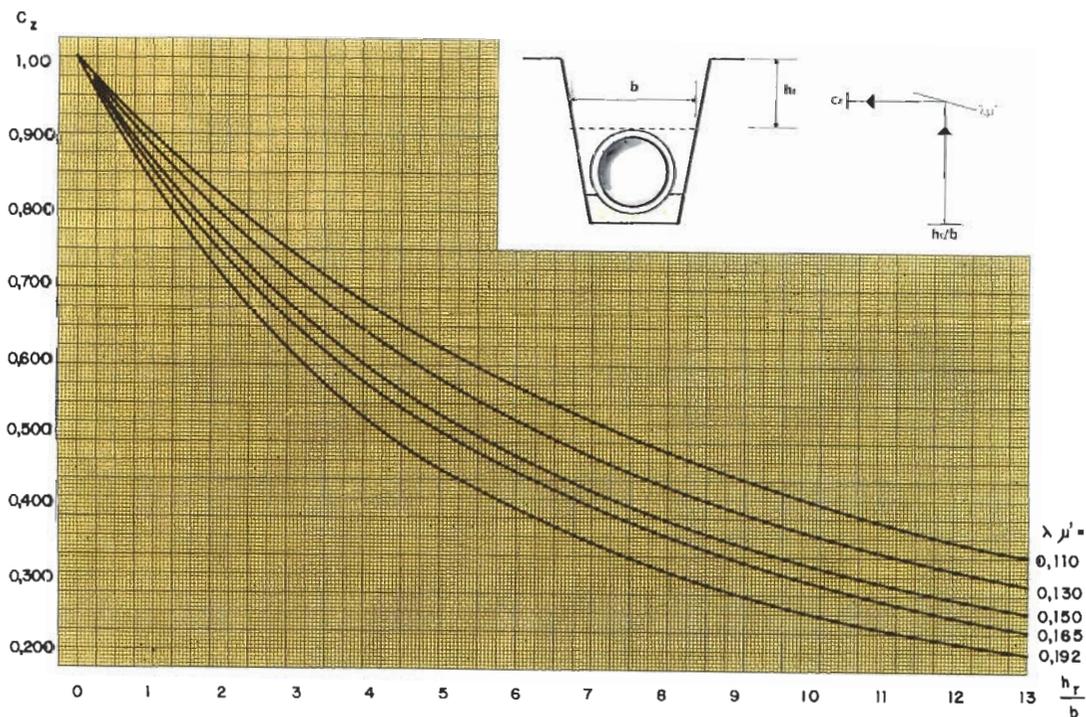


Gráfico 3.5.3.2

En el caso de que sea necesario disponer de talud en los laterales de la zanja (figura 3.5.3.2.b.I), su anchura es variable creciendo hacia arriba. Schlick demostró que la carga q_r sobre la conducción corresponde a la anchura b al nivel del plano de clave. Esta anchura es mayor que la del fondo de zanja; como ésta viene determinada por necesidades constructivas, la zanja en talud da lugar a mayores cargas que la que tiene paramentos verticales, supuesta igual anchura de fondo.

Si es posible, iniciar el talud por encima del plano de clave (figura 3.5.3.2.b.II) permite reducir la carga q_r . La comparación con la carga correspondiente a terraplén, como antes se dijo, puede evitar la adopción de valores de q_r exagerados cuando b se hace muy grande en relación con el diámetro exterior D_e de la tubería.

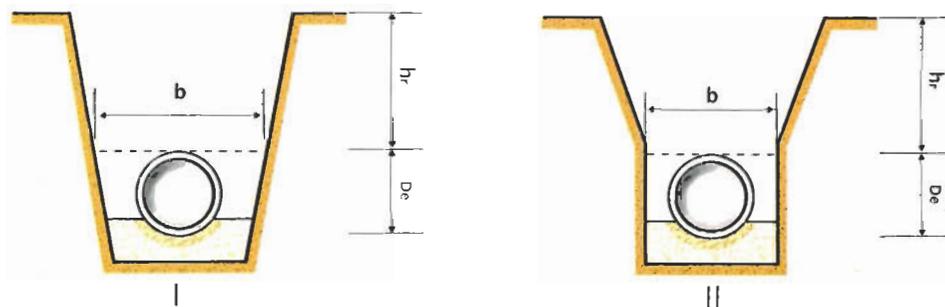


Figura 3.5.3.2.b

Cuando puede confiarse en que el relleno lateral a la conducción, hasta el plano de clave, sea compactado de manera que su deformabilidad bajo carga pueda asimilarse a la de la tubería, es aceptable considerar que la carga q_r se reparte uniformemente sobre todo el plano de clave. En este caso resulta

$$q_r = C_z \gamma_r h_r D_e$$

obteniéndose valores de carga sobre la conducción muy inferiores a los correspondientes al caso en que

$$q_r = C_z \gamma_r h_r b$$

Cuando sobre el relleno de la zanja existe una sobrecarga uniforme cuyo valor por m de longitud es q_s (figura 3.5.3.2.c) debe ser $P=q_s$ para $h=0$, con lo que la constante de integración resulta

$$K = q_s - \frac{\gamma_r b^2}{2\lambda\mu'}$$

y la carga sobre la conducción será

$$q_r + q_s e^{-2\lambda u \frac{h_r}{b}} = c_z \gamma_r h_r b + q_s \cdot e^{-2\lambda u \frac{h_r}{b}}$$

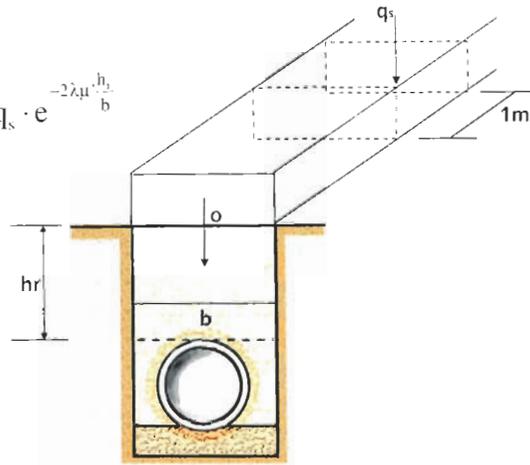


Figura 3.5.3.2.c

Si la carga corresponde a un material extendido sobre la superficie del terreno, que pueda asimilarse a un terraplenado, la carga sobre la conducción se obtendrá como si se tratara de una zanja terraplenada, aprovechando el posible efecto favorable del rozamiento interno de dicho material.

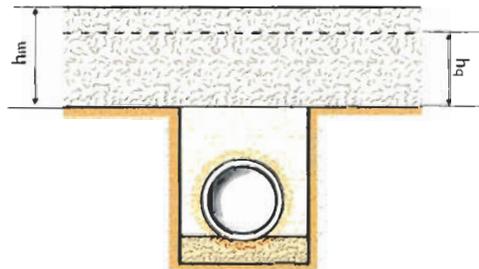


Figura 3.5.3.2.d

Para utilizar las fórmulas y tablas de zanja terraplenada, conviene considerar un único peso específico; siendo γ_m el del material dispuesto sobre el terreno, su carga sobre éste puede equipararse a la que produciría un relleno como el utilizado en la zanja, que tuviera una altura equivalente h_q (figura 3.5.3.2.d) tal que

$$\gamma_m \cdot h_m = \gamma_r h_q \text{ de donde } h_q = h_m \frac{\gamma_m}{\gamma_r}$$

en que h_m es la altura del material almacenado.

Cuando sobre el terreno actúen cargas estáticas localizadas se procederá como en el caso de cargas móviles, que se expone más adelante, excluido el coeficiente de impacto (figura 3.5.3.2.e).

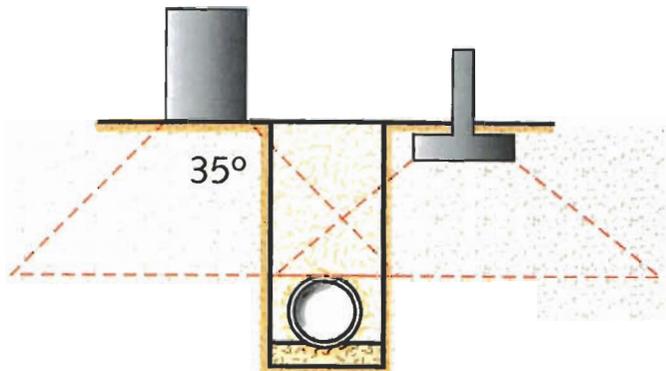


Figura 3.5.3.2.e

Ejemplo:

Se considera un tubo circular de diámetro interior $D=60\text{cm}$ y diámetro exterior $D_e=75\text{cm}$. Este tubo irá instalado en una zanja de paredes verticales, cuya anchura es $b=1,20\text{m}$. Las características del relleno son: $\gamma_r=1,92\text{ t/m}^3$; $\gamma\mu'=0,150$.

Se desea conocer el valor de la carga q_r que producirá dicho relleno sobre el tubo, para una altura $h_r = 5,0\text{m}$.

Para determinar la carga, se acude a la tabla II y se obtiene $q_r=6,576\text{ t/m} \approx 65,76\text{ kN/m}$

O bien:

$$q_r = \frac{1 - e^{-2 \times 0,15 \frac{5,0}{1,2}}}{2 \cdot 0,15 \frac{5,0}{1,2}} \cdot 19,2 \cdot 5,0 \cdot 1,2 = 65,76\text{ kN / m}$$

En el caso de que se adoptase $\gamma_r=20\text{ kN/m}^3$, sin variar los restantes datos, resultaría una carga

$$q_r = \frac{20,0}{19,2} 65,76 = 68,50\text{ kN / m}$$

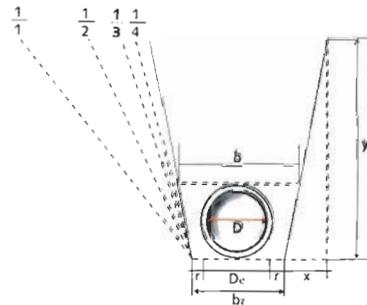
Si además resultase $h_r=5,50\text{m}$; $b=1,25\text{m}$; $h_r/b=4,40$; acudiendo al gráfico 3.5.3.2 se obtiene $C_z = 0,555$.

$$q_r = 0,555 \cdot 20 \cdot 5,50 \cdot 1,25 = 76,31\text{ kN / m}$$

En el caso de que los paramentos de la zanja formasen un talud de razón $\frac{1}{4}$, con una anchura en fondo de zanja $b_z=1,15\text{m}$, acudiendo a la tabla I obtenemos una anchura en clave $b=1,53\text{m}$.



Tabla I
 Instalación Zanja en Talud
 Anchura en clave D en m

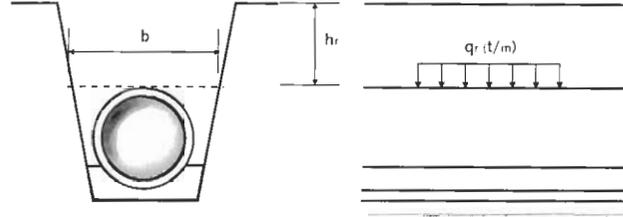


D (m)	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	1,00	1,20	1,50	1,80	2,00	2,50
D _p (m)	0,21	0,26	0,33	0,38	0,51	0,63	0,75	0,99	1,22	1,45	1,80	2,16	2,40	2,86
b _s (m)	0,60	0,65	0,75	0,80	0,90	1,00	1,15	1,40	1,60	1,85	2,25	2,70	3,00	3,50
x/y	b (m) =													
1/5	0,69	0,76	0,86	0,93	1,11	1,28	1,45	1,79	2,11	2,43	2,92	3,56	3,76	4,64
1/4	0,72	0,79	0,90	0,97	1,17	1,35	1,53	1,89	2,23	2,58	3,10	3,78	4,00	4,93
1/3	0,75	0,83	0,95	1,03	1,25	1,45	1,65	2,04	2,43	2,91	3,39	4,14	4,38	5,40
1/2	0,82	0,92	1,06	1,16	1,42	1,66	1,90	2,38	2,84	3,30	4,00	4,86	5,20	6,36
1/1	1,03	1,18	1,39	1,54	1,93	2,29	2,65	3,37	4,06	4,75	5,80	7,02	7,60	9,22

Tabla II

Instalación en zanja
Carga Producida por el relleno
 q_r en t/m

Observación: Compárese la carga obtenida con la correspondiente a terraplén y tómese la menor



b (m)		0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
h_r (m)	$\lambda \mu'$	q_r (t/m) =											
0,60	0,110	0,679	0,741	0,804	0,867	0,929	1,055	1,180	1,306	1,432	1,558	1,683	1,809
	0,130	0,609	0,666	0,723	0,780	0,837	0,952	1,067	1,181	1,296	1,411	1,526	1,641
	0,150	0,597	0,654	0,711	0,768	0,825	0,940	1,054	1,169	1,284	1,399	1,513	1,628
	0,165	0,540	0,592	0,644	0,696	0,748	0,853	0,958	1,063	1,168	1,273	1,379	1,484
	0,192	0,568	0,624	0,680	0,736	0,792	0,905	1,018	1,131	1,244	1,358	1,471	1,585
1,00	0,110	1,055	1,158	1,261	1,365	1,469	1,677	1,885	2,094	2,302	2,511	2,721	2,930
	0,130	0,935	1,029	1,123	1,217	1,311	1,501	1,691	1,881	2,071	2,262	2,453	2,644
	0,150	0,907	1,000	1,093	1,187	1,281	1,470	1,659	1,848	2,039	2,229	2,420	2,610
	0,165	0,812	0,897	0,982	1,068	1,154	1,326	1,499	1,673	1,846	2,021	2,195	2,370
	0,192	0,842	0,932	1,023	1,115	1,207	1,391	1,577	1,764	1,951	2,138	2,326	2,514
1,25	0,110	1,263	1,391	1,520	1,648	1,777	2,036	2,295	2,555	2,815	3,076	3,337	3,598
	0,130	1,112	1,228	1,344	1,461	1,578	1,813	2,049	2,286	2,523	2,761	2,999	3,237
	0,150	1,071	1,185	1,301	1,416	1,533	1,766	2,001	2,237	2,473	2,710	2,948	3,185
	0,165	0,955	1,059	1,164	1,269	1,375	1,588	1,803	2,018	2,234	2,451	2,668	2,885
	0,192	0,980	1,091	1,202	1,313	1,428	1,656	1,885	2,116	2,348	2,581	2,814	3,048
1,50	0,110	1,454	1,606	1,758	1,911	2,065	2,373	2,683	2,994	3,305	3,617	3,929	4,241
	0,130	1,271	1,408	1,546	1,684	1,824	2,103	2,385	2,667	2,951	3,235	3,519	3,804
	0,150	1,216	1,351	1,487	1,624	1,762	2,040	2,319	2,600	2,882	3,165	3,448	3,732
	0,165	1,079	1,201	1,325	1,449	1,575	1,828	2,082	2,339	2,596	2,854	3,113	3,373
	0,192	1,098	1,228	1,359	1,491	1,624	1,893	2,165	2,439	2,715	2,992	3,270	3,549
1,75	0,110	1,627	1,803	1,979	2,156	2,334	2,691	3,050	3,411	3,773	4,135	4,498	4,862
	0,130	1,413	1,571	1,729	1,889	2,050	2,374	2,699	3,027	3,356	3,685	4,016	4,347
	0,150	1,344	1,498	1,655	1,812	1,971	2,291	2,614	2,939	3,266	3,594	3,923	4,252
	0,165	1,187	1,327	1,468	1,611	1,755	2,046	2,340	2,636	2,934	3,233	3,533	3,835
	0,192	1,199	1,346	1,495	1,646	1,798	2,107	2,420	2,735	3,054	3,374	3,695	4,018
2,00	0,110	1,786	1,983	2,183	2,383	2,584	2,990	3,398	3,808	4,219	4,632	5,046	5,460
	0,130	1,541	1,718	1,897	2,077	2,259	2,625	2,994	3,366	3,739	4,114	4,491	4,868
	0,150	1,456	1,630	1,805	1,982	2,161	2,522	2,888	3,256	3,626	3,999	4,372	4,747
	0,165	1,281	1,437	1,595	1,756	1,917	2,245	2,577	2,912	3,249	3,588	3,929	4,272
	0,192	1,285	1,448	1,614	1,782	1,953	2,299	2,651	3,007	3,366	3,728	4,093	4,459
2,50	0,110	2,062	2,303	2,545	2,790	3,037	3,535	4,038	4,545	5,054	5,565	6,078	6,593
	0,130	1,759	1,972	2,189	2,408	2,629	3,076	3,530	3,987	4,447	4,910	5,376	5,843
	0,150	1,644	1,851	2,062	2,276	2,492	2,931	3,377	3,828	4,283	4,741	5,203	5,666
	0,165	1,435	1,620	1,809	2,001	2,196	2,593	2,996	3,405	3,818	4,235	4,655	5,077
	0,192	1,420	1,611	1,807	2,007	2,211	2,626	3,051	3,483	3,921	4,363	4,810	5,259
3,00	0,110	2,292	2,572	2,855	3,142	3,432	4,018	4,612	5,211	5,815	6,422	7,033	7,645
	0,130	1,934	2,180	2,431	2,686	2,943	3,467	3,999	4,538	5,082	5,631	6,183	6,737
	0,150	1,790	2,027	2,269	2,516	2,766	3,277	3,798	4,327	4,863	5,403	5,949	6,497
	0,165	1,551	1,762	1,978	2,199	2,423	2,882	3,352	3,830	4,314	4,805	5,299	5,798
	0,192	1,518	1,733	1,954	2,182	2,414	2,890	3,381	3,883	4,393	4,911	5,435	5,964
3,50	0,110	2,484	2,799	3,120	3,446	3,776	4,445	5,126	5,814	6,510	7,210	7,915	8,623
	0,130	2,075	2,351	2,632	2,919	3,211	3,805	4,412	5,028	5,652	6,283	6,918	7,557
	0,150	1,904	2,166	2,436	2,712	2,994	3,570	4,160	4,763	5,374	5,993	6,619	7,249
	0,165	1,640	1,872	2,111	2,357	2,608	3,123	3,653	4,195	4,747	5,306	5,872	6,444
	0,192	1,589	1,823	2,066	2,316	2,573	3,104	3,653	4,218	4,796	5,383	5,980	6,583
4,00	0,110	2,644	2,991	3,347	3,708	4,076	4,824	5,586	6,360	7,143	7,934	8,731	9,532
	0,130	2,189	2,490	2,799	3,116	3,438	4,098	4,774	5,464	6,164	6,872	7,588	8,309
	0,150	1,992	2,277	2,571	2,873	3,182	3,818	4,472	5,143	5,826	6,519	7,221	7,930
	0,165	1,707	1,958	2,217	2,484	2,758	3,323	3,909	4,510	5,124	5,748	6,382	7,023
	0,192	1,641	1,891	2,151	2,421	2,699	3,276	3,878	4,500	5,139	5,791	6,454	7,128
4,50	0,110	2,776	3,154	3,540	3,935	4,337	5,158	5,999	6,854	7,722	8,599	9,485	10,377
	0,130	2,280	2,604	2,938	3,281	3,631	4,351	5,093	5,851	6,623	7,406	8,198	8,999
	0,150	2,061	2,365	2,680	3,005	3,338	4,027	4,741	5,474	6,224	6,987	7,762	8,545
	0,165	1,758	2,024	2,300	2,586	2,880	3,490	4,125	4,780	5,452	6,137	6,834	7,541
	0,192	1,678	1,941	2,216	2,501	2,797	3,415	4,064	4,737	5,431	6,142	6,868	7,607
5,00	0,110	2,887	3,291	3,706	4,131	4,564	5,454	6,368	7,301	8,249	9,210	10,182	11,162
	0,130	2,354	2,698	3,054	3,420	3,796	4,571	5,372	6,195	7,035	7,889	8,755	9,631
	0,150	2,115	2,435	2,768	3,113	3,468	4,205	4,972	5,764	6,576	7,404	8,247	9,103
	0,165	1,797	2,075	2,366	2,668	2,979	3,629	4,309	5,013	5,738	6,480	7,237	8,006
	0,192	1,706	1,978	2,265	2,564	2,875	3,528	4,217	4,935	5,679	6,445	7,229	8,029
6,00	0,110	3,056	3,504	3,968	4,446	4,936	5,948	6,996	8,071	9,170	10,288	11,422	12,569
	0,130	2,461	2,837	3,229	3,635	4,054	4,925	5,833	6,772	7,736	8,721	9,724	10,743
	0,150	2,189	2,534	2,896	3,273	3,664	4,482	5,342	6,236	7,160	8,107	9,076	10,063
	0,165	1,849	2,146	2,459	2,786	3,126	3,841	4,597	5,387	6,205	7,048	7,912	8,794
	0,192	1,740	2,026	2,330	2,650	2,984	3,692	4,447	5,242	6,072	6,932	7,818	8,726

Peso específico del relleno $\gamma_r = 1,92 \text{ t/m}^3$. Para otro peso específico γ'_r sera $q'_r = \frac{\gamma'_r}{\gamma_r} q_r$

Para valores de h_r , b , $\lambda \mu'$, distintos de los dados en la tabla obténgase C_z , en la figura de la Tabla II. Será $q_r = C_z \cdot \gamma_r \cdot h_r \cdot b$

	1,60	1,70	1,80	1,90	2	2,25	2,50	2,75	3	3,25	3,50	3,75	4	b (m)	
	$q_r \text{ (t/m)} =$													$\lambda \mu'$	$h_r \text{ (m)}$
1,935	2,061	2,187	2,313	2,439	2,753	3,068	3,383	3,698	4,013	4,328	4,643	4,958	0,110	0,60	
1,756	1,871	1,986	2,101	2,216	2,504	2,792	3,080	3,368	3,656	3,943	4,231	4,519	0,130		
1,743	1,858	1,973	2,088	2,203	2,491	2,779	3,067	3,354	3,642	3,930	4,218	4,506	0,150		
1,589	1,695	1,800	1,905	2,011	2,274	2,538	2,802	3,066	3,330	3,593	3,857	4,121	0,165		
1,699	1,812	1,926	2,040	2,153	2,438	2,722	3,007	3,292	3,576	3,861	4,146	4,431	0,192		
3,139	3,349	3,558	3,768	3,977	4,501	5,026	5,550	6,075	6,599	7,124	7,648	8,173	0,110	1,00	
2,835	3,027	3,218	3,409	3,601	4,080	4,559	5,038	5,517	5,997	6,476	6,956	7,436	0,130		
2,801	2,992	3,183	3,375	3,566	4,044	4,523	5,002	5,481	5,961	6,440	6,920	7,399	0,150		
2,545	2,720	2,895	3,070	3,245	3,683	4,122	4,561	5,000	5,439	5,879	6,318	6,757	0,165		
2,702	2,891	3,079	3,268	3,457	3,929	4,402	4,876	5,350	5,823	6,297	6,772	7,246	0,192		
3,859	4,120	4,382	4,643	4,905	5,560	6,214	6,870	7,525	8,180	8,836	9,491	10,147	0,110	1,25	
3,475	3,714	3,952	4,191	4,430	5,028	5,626	6,225	6,824	7,423	8,022	8,621	9,220	0,130		
3,223	3,461	3,700	3,938	4,177	4,774	5,372	5,970	6,568	7,167	7,766	8,365	8,964	0,150		
3,103	3,321	3,539	3,757	3,976	4,523	5,070	5,618	6,166	6,715	7,264	7,812	8,361	0,165		
3,282	3,517	3,751	3,987	4,222	4,811	5,401	5,992	6,583	7,175	7,767	8,359	8,951	0,192		
4,554	4,867	5,181	5,494	5,808	6,592	7,377	8,163	8,949	9,735	10,521	11,308	12,094	0,110	1,50	
4,089	4,375	4,661	4,947	5,233	5,949	6,666	7,384	8,102	8,820	9,539	10,257	10,976	0,130		
4,017	4,302	4,587	4,872	5,158	5,873	6,589	7,306	8,023	8,741	9,459	10,177	10,896	0,150		
3,633	3,894	4,155	4,416	4,677	5,332	5,988	6,644	7,301	7,959	8,616	9,274	9,933	0,165		
3,828	4,108	4,389	4,670	4,951	5,656	6,362	7,070	7,778	8,487	9,196	9,906	10,616	0,192		
5,226	5,591	5,955	6,321	6,686	7,600	8,515	9,431	10,347	11,263	12,180	13,097	14,015	0,110	1,75	
4,679	5,011	5,344	5,677	6,010	6,845	7,680	8,516	9,353	10,190	11,028	11,866	12,704	0,130		
4,583	4,914	5,246	5,578	5,910	6,743	7,577	8,412	9,247	10,084	10,920	11,758	12,595	0,150		
4,137	4,439	4,743	5,046	5,350	6,112	6,875	7,640	8,405	9,171	9,938	10,705	11,472	0,165		
4,342	4,667	4,993	5,319	5,646	6,466	7,287	8,110	8,935	9,760	10,586	11,413	12,241	0,192		
5,875	6,291	6,707	7,123	7,540	8,583	9,628	10,673	11,720	12,766	13,814	14,861	15,909	0,110	2,00	
5,246	5,624	6,003	6,383	6,763	7,714	8,667	9,622	10,577	11,533	12,489	13,446	14,403	0,130		
5,123	5,500	5,878	6,256	6,635	7,584	8,535	9,487	10,441	11,396	12,351	13,307	14,264	0,150		
4,615	4,959	5,304	5,650	5,996	6,864	7,734	8,606	9,479	10,353	11,228	12,104	12,980	0,165		
4,827	5,196	5,566	5,937	6,309	7,241	8,177	9,115	10,055	10,997	11,939	12,883	13,827	0,192		
7,108	7,625	8,143	8,661	9,180	10,480	11,782	13,085	14,391	15,697	17,004	18,312	19,620	0,110	2,50	
6,311	6,781	7,252	7,724	8,196	9,380	10,567	11,756	12,947	14,139	15,332	16,526	17,721	0,130		
6,131	6,598	7,066	7,535	8,005	9,184	10,367	11,553	12,741	13,931	15,122	16,314	17,507	0,150		
5,501	5,926	6,353	6,781	7,211	8,288	9,369	10,454	11,541	12,629	13,720	14,811	15,904	0,165		
5,712	6,167	6,623	7,082	7,541	8,696	9,857	11,022	12,191	13,362	14,536	15,711	16,888	0,192		
8,260	8,876	9,493	10,112	10,732	12,285	13,842	15,403	16,965	18,530	20,096	21,663	23,231	0,110	3,00	
7,294	7,853	8,414	8,976	9,539	10,952	12,370	13,792	15,216	16,643	18,072	19,502	20,933	0,130		
7,049	7,603	8,159	8,717	9,277	10,682	12,093	13,509	14,929	16,352	17,777	19,203	20,632	0,150		
6,299	6,804	7,310	7,819	8,329	9,611	10,900	12,194	13,492	14,793	16,096	17,402	18,709	0,165		
6,497	7,034	7,574	8,116	8,661	10,032	11,413	12,801	14,194	15,592	16,994	18,398	19,805	0,192		
9,334	10,048	10,764	11,482	12,201	14,005	15,815	17,629	19,448	21,269	23,092	24,917	26,743	0,110	3,50	
8,200	8,846	9,495	10,145	10,798	12,436	14,082	15,734	17,389	19,049	20,711	22,375	24,042	0,130		
7,884	8,523	9,165	9,809	10,456	12,082	13,718	15,361	17,010	18,663	20,320	21,979	23,641	0,150		
7,020	7,600	8,184	8,770	9,359	10,841	12,333	13,832	15,338	16,849	18,364	19,881	21,402	0,165		
7,193	7,808	8,428	9,051	9,678	11,259	12,853	14,459	16,073	17,694	19,320	20,951	22,585	0,192		
10,338	11,147	11,959	12,774	13,591	15,642	17,702	19,769	21,840	23,916	25,995	28,077	30,161	0,110	4,00	
9,036	9,766	10,500	11,237	11,977	13,837	15,707	17,586	19,471	21,360	23,254	25,151	27,051	0,130		
8,645	9,365	10,090	10,818	11,550	13,393	15,249	17,115	18,990	20,870	22,756	24,647	26,540	0,150		
7,670	8,323	8,980	9,642	10,307	11,983	13,674	15,376	17,086	18,804	20,527	22,254	23,985	0,165		
7,810	8,499	9,195	9,896	10,602	12,385	14,187	16,005	17,835	19,675	21,522	23,375	25,234	0,192		
11,275	12,177	13,084	13,994	14,907	17,202	19,508	21,824	24,147	26,476	28,809	31,146	33,485	0,110	4,50	
9,806	10,618	11,436	12,257	13,082	15,159	17,250	19,352	21,463	23,581	25,705	27,833	29,964	0,130		
9,337	10,136	10,941	11,751	12,566	14,619	16,690	18,776	20,873	22,978	25,091	27,209	29,332	0,150		
8,256	8,979	9,707	10,441	11,180	13,045	14,930	16,829	18,741	20,661	22,590	24,524	26,464	0,165		
8,357	9,117	9,885	10,660	11,441	13,418	15,422	17,447	19,488	21,542	23,606	25,679	27,759	0,192		
12,149	13,143	14,142	15,145	16,153	18,686	21,236	23,799	26,371	28,950	31,535	34,126	36,720	0,110	5,00	
10,516	11,408	12,306	13,210	14,118	16,406	18,714	21,037	23,371	25,715	28,066	30,423	32,784	0,130		
9,968	10,842	11,724	12,613	13,507	15,765	18,048	20,348	22,664	24,991	27,327	29,671	32,022	0,150		
8,785	9,574	10,371	11,174	11,984	14,032	16,105	18,198	20,306	22,427	24,558	26,697	28,843	0,165		
8,843	9,668	10,504	11,350	12,203	14,367	16,566	18,971	21,038	23,301	25,579	27,867	30,166	0,192		
13,727	14,896	16,073	17,257	18,447	21,447	24,473	27,519	30,581	33,654	36,738	39,830	42,928	0,110	6,00	
11,774	12,816	13,869	14,930	15,998	18,696	21,425	24,177	26,949	29,735	32,533	35,341	38,157	0,130		
11,065	12,080	13,108	14,145	15,192	17,842	20,530	23,248	25,988	28,748	31,522	34,309	37,107	0,150		
9,692	10,604	11,528	12,462	13,406	15,801	18,235	20,701	23,191	25,701	28,227	30,766	33,317	0,165		
9,654	10,600	11,562	12,537	13,524	16,038	18,605	21,213	23,855	26,523	29,213	31,921	34,645	0,192		

3.5.3.3 Instalación en terraplén

EXPOSICIÓN

En los casos en que la generatriz superior del tubo tenga que quedar por encima del terreno natural es necesario terraplenar hasta alcanzar la cota final prevista. En estas condiciones, la base de la conducción puede situarse por debajo del terreno natural, lo que obliga a abrir una zanja más o menos profunda.

Cuando la conducción sobresale de dicha zanja, diremos que su proyección es positiva y la instalación es en terraplén.

Cuando la conducción se encuentra totalmente en el interior de la zanja, diremos que su proyección es negativa y se tratará de una instalación en zanja terraplenada.

Se llama "razón de proyección" positiva η , al cociente de dividir la altura h_r' del relleno de terraplén, medida desde la base de éste hasta el plano de clave (figura 3.5.3.a), por la dimensión D_e del diámetro exterior de la conducción.

$$\eta = \frac{h_r'}{D_e}$$

Si la anchura de zanja es superior a la de transición, se toma $\eta = 1,0$.

Consideremos el prisma de tierras situado sobre el plano de clave, entre los dos planos verticales tangentes a la superficie exterior de la conducción; este prisma, situado directamente sobre la conducción, cuya anchura es D_e y cuya longitud tomaremos igual a 1 metro, recibe el nombre de "prisma central" (figura 3.5.3.3.a). Llamaremos "prismas exteriores" a los constituidos por el relleno situado a ambos lados del prisma central y que se apoya en el terreno natural.

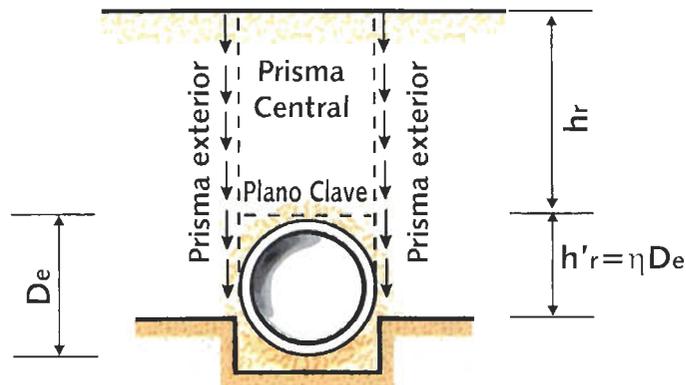


Figura 3.5.3.3.a

En condiciones de proyección positiva, la altura h_i del relleno que forma el prisma central será menor que la altura $h_r + h_r'$ del relleno situado en los prismas exteriores.

$$h_i < h_r + h_r' = h_r + \eta D_e$$

En consecuencia, el relleno de los prismas exteriores asentará más que el del prisma central, siendo la diferencia de asentamientos el asiento correspondiente a la altura $h_r' = \eta D_e$. El rozamiento entre los prismas exteriores y el central hará que, si no existieran otras deformaciones, aquellos "tiren" hacia debajo de éste, con lo que la conducción recibirá una carga superior al peso del prisma central, es decir, lo contrario de lo que ocurría en la instalación en zanja.

Sin embargo, es necesario considerar otras deformaciones, además de la producida por dicha diferencia de asentamientos. En conjunto, estas deformaciones, son (figura 3.5.3.3.b):

- s_1 = deformación de la base en que se apoyan los prismas exteriores
- s_3 = deformación de la base de la conducción
- a_v = deformación vertical de la propia conducción
- s_4 = deformación correspondiente a la altura de relleno h_r'

Los puntos pertenecientes al plano de clave habrán experimentado descensos, que para el prisma central presentan un valor mínimo $s_3 + a_v$, y para los prismas exteriores un valor máximo de $s_1 + s_4$. El deslizamiento entre prismas, que originan las fuerzas de rozamiento que se oponen a él, tienen un valor

$$(s_1 + s_4) - (s_3 + a_v)$$

el cual dividido por s_4 nos da la "razón de asentamiento" δ

$$\delta = \frac{(s_1 + s_4) - (s_3 + a_v)}{s_4}$$

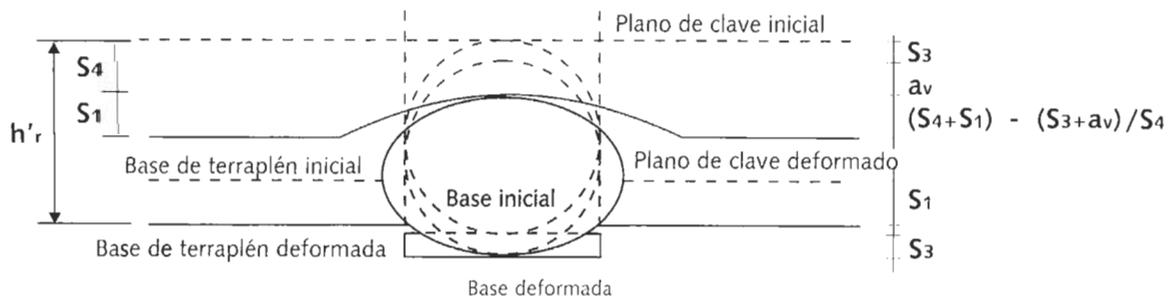


Figura 3.5.3.3.b

Para $\delta = 0$, la carga de relleno q_r que soporta la conducción es igual al peso de las tierras contenidas en el prisma central, al ser nulo el deslizamiento y no aparecer, por tanto, fuerzas de rozamiento.

Cuando el terreno natural sobre el que descansan el terraplén y la conducción es muy rígido, es decir, con un módulo de deformación longitudinal relativamente grande (por ejemplo roca), y además la tubería es prácticamente indeformable, pueden considerarse $s_1 = s_3 = a_v = 0$ y resulta $\delta = 1$, razón de asentamiento para la que puede considerarse que la carga q_r ha alcanzado su máximo valor para una razón de proyección dada, aunque puedan considerarse casos en que $\delta > 1$.



Cuando $(s_3 + a_v) > (s_1 + s_4)$, la razón de asentamiento se hace negativa; entonces el prisma central desciende más que los exteriores y las fuerzas de rozamiento invierten su sentido con lo que q_r se hace menor que el peso del prisma central. Diremos que se trata de una instalación en terraplén en "condición de zanja inducida". Esto puede producirse cuando la base en la que descansa el terraplén y la conducción es muy compresible, por ejemplo cuando esta base se ha formado por terraplenado. En estas condiciones, al ir compactando, a medida que las tierras se elevan a ambos lados de la conducción, la base de los prismas exteriores queda más compactada que la base de la tubería, con lo que ésta sufrirá mayores asientos ($s_3 > s_1$). Si además los tubos son muy deformables (a_v relativamente grande) es fácil que resulte $\delta < 0$. Una razón de proyección pequeña (h_1' y s_4 pequeños) colabora a este resultado. En estos casos, tomando $\delta \geq 0$ se estará del lado de la seguridad.

La determinación de la razón de asentamiento exige calcular las deformaciones s_1 y s_3 conociendo la presión que sufren las bases bajo el peso de las tierras, así como su módulo de deformación longitudinal; la deformación s_4 , teniendo en cuenta la compactación; y la deformación a_v de la tubería bajo las acciones verticales y horizontales que la solicitan.

No siendo fácil llegar a conocer con precisión el valor de δ , se acostumbra a adoptar los siguientes:

Base rígida (roca o suelo muy compacto)	$\delta = 1,0$
Base de suelo natural ordinario	$\delta = 0,5$
Base muy asentable (terraplén no bien compactado, etc.)	$\delta = 0,3$

En caso de duda, un valor superior de δ sitúa del lado de la seguridad.

A medida que el terraplén se eleva sobre el plano de clave, las diferencias de asiento entre el prisma central y los exteriores se van haciendo menores, hasta alcanzar un nivel para el que se igualan. El plano horizontal considerado a este nivel se denomina "plano de igual asentamiento", y su distancia al de clave "altura de igual asentamiento", h_0 .

Por encima del plano de igual asentamiento no existen deslizamientos entre el prisma central y los exteriores, ni por tanto fuerzas de rozamiento. Las tierras sobre él pueden considerarse como una sobrecarga uniforme sobre dicho plano, correspondiente al peso de relleno con una altura $h_r - h_0$ (figura 3.5.3.3.c).

El valor de h_0 puede obtenerse de la ecuación

$$e^{2\lambda\mu\frac{h_0}{D_e}} - 2\lambda\mu\frac{h_0}{D_e} = 2\lambda\mu\delta\eta + 1$$

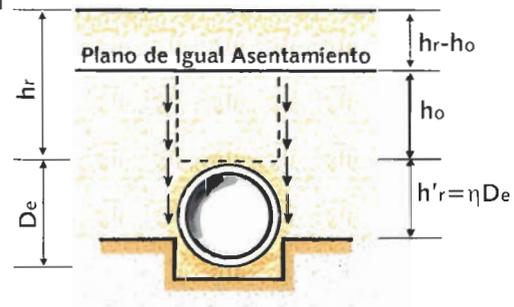


Figura 3.5.3.3.c

Fijados los valores de λ , μ , δ , η , el segundo miembro es una constante. Basta entonces dar valores a h_0/D_e hasta encontrar el que verifica la igualdad, lo que se consigue rápidamente.

Por ejemplo, para $\lambda\mu = 0,15$ y $\eta = 0,763$ se obtienen los siguientes valores de h_0/D_e para los valores de δ antes indicados.

δ	$2\lambda\mu\delta\eta+1$	h_0/D_e
1,0	1,229	2,026
0,5	1,114	1,475
0,3	1,069	1,170

Tabla 3.5.3.3

Multiplicando el valor de h_0/D_e obtenido por el diámetro exterior D_e de la conducción, hallamos la altura de igual asentamiento h_0 .

Cuando $h_r < h_o$, las fuerzas de rozamiento llegan hasta la superficie del terraplén (figura 3.5.3.3.a). En estas condiciones, por un razonamiento análogo al visto para el caso de instalación en zanja, la carga que el relleno produce sobre la conducción, resulta

$$q_r = C_t \cdot \gamma_r \cdot h_r \cdot D_e$$

con q_r en kN/m, γ_r en kN/m³ y, h_r y D_e en m.

En dicha expresión, el coeficiente de Marston para terraplén, C_t , tiene el valor

$$h_r < h_o \quad C_t = \frac{e^{\frac{2\lambda\mu}{D_e} h_r} - 1}{2\lambda\mu \frac{h_r}{D_e}}$$

Cuando $h_r > h_o$, es necesario añadir a la carga sobre la conducción producida por el relleno hasta la altura h_o la correspondiente a la sobrecarga de relleno con altura $h_r - h_o$. Esta última carga se calcula mediante una expresión semejante a la obtenida en el caso de instalación en zanja.

La carga q_r producida sobre la conducción por la altura de relleno h_r se obtiene por la misma expresión dada anteriormente.

$$q_r = C_t \cdot \gamma_r \cdot h_r \cdot D_e$$

Pero tomando ahora como coeficiente de Marston

$$h_r > h_o \quad C_t = \frac{e^{\frac{2\lambda\mu}{D_e} h_r} - 1}{2\lambda\mu \frac{h_r}{D_e}} + \frac{h_r - h_o}{h_r} \cdot e^{\frac{2\lambda\mu}{D_e} h_r}$$

Ejemplo

Supongamos el mismo tubo considerado en el apartado anterior, instalado ahora en terraplén con los siguientes datos: $D=60\text{cm}$; $D_e=75\text{cm}$; $h_r=5,0\text{m}$; $\gamma_r=1,92\text{t/m}^3$; $\lambda\mu=0,150$; $\eta=0,763$. El terreno natural sobre el que se apoya la conducción y que sirve de base al relleno, es un suelo ordinario, ni muy rígido ni muy deformable, por lo que se toma como razón de asentamiento $\delta=0,5$.

Acudiendo a la tabla III, se obtiene directamente $q_r = 107,32$ kN/m.

Veamos cómo se ha calculado este valor:

La altura h_o del plano de igual asentamiento, se obtiene resolviendo

$$e^{\frac{2 \cdot 0,15}{D_e} h_o} - 2 \cdot 0,15 \frac{h_o}{D_e} = 2 \cdot 0,15 \cdot 0,5 \cdot 0,763 + 1$$

$$C_1 = \frac{e^{20,151,475} - 1}{2 \cdot 0,15 \cdot \frac{5,00}{0,75}} + \frac{5,00 - 1,106}{5,00} e^{-20,151,475} = 1,491$$

$$q_r = 1,491 \cdot 19,2 \cdot 5,00 \cdot 0,75 = 107,32 \text{ kN/m}$$

se verifica para $h_0/D_e = 1,475$, es decir $h_0 = 1,475 \times 0,75 = 1,106 \text{ m} < h_r$

Puede observarse que este valor de q_r ($q_r = 107,32 \text{ kN/m}$) es muy superior al obtenido en el ejemplo del apartado 3.5.3.2, cuando el tubo se encontraba instalado en una zanja de anchura $b = 1,20 \text{ m}$ ($q_{rz} = 65,76 \text{ kN/m}$).

Si en este caso fuéramos aumentando b , manteniendo $h_r = 5,00 \text{ m}$, el valor q_r iría aumentando (véase la tabla II) hasta igualar al de q_{rt} para una anchura comprendida entre $b = 1,60 \text{ m}$ y $b = 1,70 \text{ m}$; la anchura correspondiente sería la de transición. Para $b = 1,70 \text{ m}$, la carga sobre el tubo instalado en zanja será $q_r = q_{rt} = 107,32 \text{ kN/m}$, y no $108,42 \text{ kN/m}$ como se lee en la tabla II.

Tabla III

Instalación en terraplén

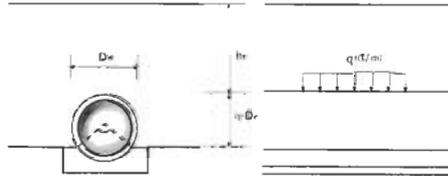
Carga producida por el relleno q_r en t/m

$\alpha = 120^\circ$ $\eta = 0,763$ $\lambda\mu = 0,150$

Peso específico del relleno $\gamma_r = 1,92 \text{ t/m}^3$

Para otro peso específico γ'_r $q'_r = \frac{\gamma'_r}{\gamma_r} q_r$

δ = Razón de asentamiento en terraplén; h_r y D_e en metros.



δ	h_r/D_e	0,21	0,26	0,33	0,38	0,51	0,63	0,75	0,99	1,22	1,45	1,80	2,16	2,40	2,86
		1,00	0,590	0,720	0,894	1,014	1,304	1,547	1,771	2,220	2,656	3,093	3,761	4,449	4,908
1,50	0,904	1,108	1,387	1,581	2,066	2,488	2,886	3,609	4,249	4,897	5,890	6,916	7,602	8,920	
2,00	1,218	1,497	1,880	2,149	2,828	3,430	4,007	5,088	6,033	6,897	8,203	9,561	10,470	12,219	
2,50	1,532	1,885	2,374	2,717	3,590	4,371	5,128	6,568	7,856	9,055	10,718	12,396	13,523	15,696	
3,00	1,846	2,274	2,867	3,285	4,353	5,313	6,249	8,047	9,679	11,222	13,397	15,434	16,773	19,360	
3,50	2,159	2,662	3,360	3,853	5,115	6,254	7,369	9,526	11,502	13,389	16,087	18,647	20,232	23,222	
4,00	2,473	3,051	3,853	4,421	5,877	7,196	8,490	11,006	13,325	15,555	18,777	21,875	23,818	27,291	
4,50	2,787	3,440	4,346	4,988	6,639	8,137	9,611	12,485	15,148	17,722	21,467	25,102	27,404	31,544	
5,00	3,101	3,828	4,839	5,556	7,401	9,078	10,732	13,965	16,972	19,889	24,157	28,330	30,991	35,817	
5,50	3,415	4,217	5,332	6,124	8,163	10,020	11,852	15,444	18,795	22,056	26,846	31,558	34,577	40,091	
6,00	3,728	4,605	5,825	6,692	8,925	10,961	12,973	16,923	20,618	24,222	29,536	34,786	38,163	44,365	
7,00	4,356	5,382	6,812	7,828	10,449	12,844	15,215	19,882	24,264	28,556	34,916	41,241	45,336	52,912	
8,00	4,984	6,159	7,798	8,963	11,974	14,727	17,456	22,841	27,910	32,890	40,295	47,697	52,509	61,460	
9,00	5,611	6,936	8,784	10,099	13,498	16,610	19,698	25,800	31,556	37,223	45,675	54,152	59,682	70,008	
10,00	6,239	7,713	9,770	11,235	15,022	18,493	21,939	28,758	35,202	41,557	51,055	60,608	66,854	78,555	
11,00	6,866	8,490	10,757	12,370	16,546	20,376	24,181	31,717	38,849	45,890	56,434	67,063	74,027	87,103	
12,00	7,494	9,267	11,743	13,506	18,071	22,258	26,422	34,676	42,495	50,224	61,814	73,519	81,200	95,650	
13,00	8,122	10,044	12,729	14,642	19,595	24,141	28,664	37,635	46,141	54,557	67,193	79,974	88,373	104,198	
14,00	8,749	10,822	13,715	15,777	21,119	26,024	30,905	40,594	49,787	58,891	72,573	86,430	95,546	112,745	

δ	$\frac{h_r}{D_s}$	$\delta = 0,3$													
		0,21	0,26	0,33	0,38	0,51	0,63	0,75	0,99	1,22	1,45	1,80	2,16	2,40	2,86
Base del terraplén: Terreno muy deformable $\delta = 0,3$	1,00	0,551	0,675	0,846	0,964	1,261	1,520	1,764	2,220	2,656	3,093	3,761	4,449	4,908	5,790
	1,50	0,837	1,030	1,296	1,482	1,956	2,379	2,787	3,560	4,247	4,897	5,890	6,916	7,602	8,920
	2,00	1,123	1,384	1,746	2,001	2,652	3,238	3,810	4,910	5,911	6,858	8,203	9,561	10,470	12,219
	2,50	1,410	1,739	2,196	2,519	3,347	4,097	4,833	6,260	7,574	8,836	10,653	12,396	13,523	15,696
	3,00	1,696	2,094	2,646	3,037	4,043	4,956	5,855	7,610	9,238	10,813	13,108	15,341	16,758	19,360
	3,50	1,983	2,448	3,096	3,555	4,738	5,815	6,878	8,960	10,902	12,790	15,563	18,286	20,030	23,212
	4,00	2,269	2,803	3,546	4,073	5,434	6,674	7,901	10,310	12,565	14,768	18,017	21,232	23,303	27,112
	4,50	2,555	3,157	3,996	4,592	6,129	7,534	8,924	11,660	14,229	16,745	20,472	24,178	26,576	31,012
	5,00	2,842	3,512	4,446	5,110	6,825	8,393	9,946	13,010	15,893	18,722	22,926	27,123	29,849	34,912
	5,50	3,128	3,866	4,896	5,628	7,520	9,252	10,969	14,360	17,556	20,700	25,381	30,069	33,122	38,812
	6,00	3,414	4,221	5,346	6,146	8,216	10,111	11,992	15,710	19,220	22,677	27,836	33,014	36,394	42,712
	7,00	3,987	4,930	6,246	7,183	9,607	11,829	14,037	18,411	22,547	26,631	32,745	38,905	42,940	50,513
	8,00	4,560	5,639	7,146	8,219	10,998	13,547	16,083	21,111	25,875	30,586	37,654	44,796	49,486	58,313
	9,00	5,133	6,348	8,046	9,255	12,388	15,266	18,128	23,811	29,202	34,541	42,563	50,687	56,031	66,113
10,00	5,705	7,057	8,946	10,292	13,779	16,984	20,174	26,511	32,529	38,493	47,472	56,578	62,577	73,913	
11,00	6,278	7,766	9,846	11,328	15,170	18,702	22,219	29,211	35,857	42,450	52,382	62,469	69,122	81,713	
12,00	6,851	8,475	10,746	12,364	16,561	20,420	24,265	31,911	39,184	46,405	57,291	68,360	75,668	89,513	
13,00	7,424	9,185	11,646	13,401	17,952	22,138	26,310	34,611	42,512	50,359	62,200	74,251	82,214	97,314	
14,00	7,996	9,894	12,546	14,437	19,343	23,857	28,356	37,311	45,839	54,314	67,109	80,142	88,759	105,114	
Base del terraplén: Terreno muy poco deformable $\delta = 1,0$	1,00	0,661	0,796	0,969	1,081	1,333	1,549	1,771	2,220	2,656	3,093	3,761	4,449	4,908	5,790
	1,50	1,032	1,254	1,550	1,751	2,232	2,621	2,960	3,610	4,249	4,897	5,890	6,916	7,602	8,920
	2,00	1,402	1,712	2,132	2,421	3,131	3,732	4,282	5,226	6,051	6,897	8,203	9,561	10,470	12,219
	2,50	1,772	2,171	2,714	3,091	4,030	4,843	5,604	6,972	8,089	9,115	10,718	12,396	13,523	15,696
	3,00	2,142	2,629	3,296	3,761	4,929	5,953	6,926	8,717	10,240	11,573	13,452	15,434	16,773	19,360
	3,50	2,513	3,087	3,877	4,431	5,828	7,064	8,248	10,462	12,390	14,129	16,423	18,692	20,232	23,222
	4,00	2,883	3,546	4,459	5,101	6,727	8,175	9,570	12,208	14,541	16,685	19,585	22,183	23,914	27,291
	4,50	3,253	4,004	5,041	5,771	7,626	9,285	10,893	13,953	16,692	19,242	22,758	25,918	27,834	31,579
	5,00	3,623	4,463	5,623	6,441	8,525	10,396	12,215	15,698	18,843	21,798	25,931	29,725	31,997	36,099
	5,50	3,993	4,921	6,204	7,111	9,424	11,506	13,537	17,443	20,994	24,354	29,105	33,533	36,228	40,861
	6,00	4,364	5,379	6,786	7,780	10,323	12,617	14,859	19,189	23,144	26,910	32,278	37,341	40,459	45,858
	7,00	5,104	6,296	7,950	9,120	12,122	14,838	17,504	22,679	27,446	32,023	38,625	44,957	48,921	55,942
	8,00	5,844	7,213	9,113	10,460	13,920	17,060	20,148	26,170	31,747	37,135	44,971	52,573	57,383	66,026
	9,00	6,585	8,129	10,277	11,800	15,718	19,281	22,792	29,661	36,049	42,248	51,318	60,189	65,845	76,110
10,00	7,325	9,046	11,449	13,140	17,516	21,502	25,437	33,151	40,351	47,360	57,664	67,805	74,307	86,194	
11,00	8,066	9,963	12,604	14,480	19,314	23,724	28,081	36,642	44,652	52,473	64,011	75,421	82,769	96,278	
12,00	8,806	10,880	13,767	15,819	21,113	25,945	30,726	40,132	48,954	57,585	70,357	83,037	91,231	106,362	
13,00	9,547	11,796	14,931	17,159	22,911	28,166	33,370	43,623	53,255	62,595	76,704	90,652	99,694	116,446	
14,00	10,287	12,713	16,094	18,499	24,709	30,387	36,014	47,114	57,557	67,810	83,050	98,268	108,156	126,530	
δ	$\frac{h_r}{D_s}$	0,21	0,26	0,33	0,38	0,51	0,63	0,75	0,99	1,22	1,45	1,80	2,16	2,40	2,86

3.5.3.4 Instalación en zanja terraplenada

EXPOSICIÓN

Cuando la conducción situada bajo un terraplén va en el interior de una zanja, excavada en el terreno natural que le sirve de base, en condiciones de proyección negativa se trata de zanja terraplenada.

La razón de proyección es, en este caso (figura 3.5.3.4.a):

$$\eta' = \frac{h_r''}{b}$$

en que h_r'' es la altura de la zanja sobre el plano de clave (que a efectos de cálculo consideramos positiva), y b la anchura de la zanja al nivel de este plano.

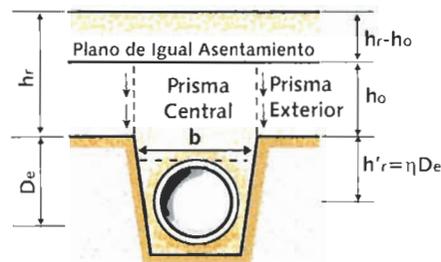


Figura 3.5.3.4.a

En estas condiciones, la altura del prisma central, medida sobre el plano de clave, es superior a la altura de los prismas exteriores, medida sobre la base del terraplén. El prisma central experimentará mayor asiento que los exteriores y las fuerzas de rozamiento (que se oponen a este movimiento) irán dirigidas hacia arriba, aligerando la carga sobre la conducción.

El descenso relativo del prisma central es igual a $(s_2 + s_3 + a_v)$, mientras que el de los prismas exteriores es igual a s_1 . s_2 representa el asiento del relleno de la zanja y, s_1 , s_3 y a_v tienen los significados indicados al tratar de la instalación en terraplén.

El sentido del deslizamiento es opuesto al visto en la instalación en terraplén, con lo que su signo debería ser ahora negativo. No obstante, conviene considerar su valor como positivo, puesto que en los cálculos las razones de proyección y de asentamiento intervienen con su valor absoluto. En consecuencia tomaremos como razón de asentamiento para la instalación en zanja terraplenada

$$\delta' = \frac{(s_2 + s_3 + a_v) - s_1}{s_2} \leq 1$$

A igualdad de los restantes parámetros, cuanto mayor sea h_r'' (y en consecuencia η'), mayor será s_2 (y en consecuencia δ'). Por ello en la práctica se acostumbra a tomar como razón de asentamiento un valor dependiente de el de la razón de proyección.

η'	δ'	$\eta\delta'$
0,5	0,1	0,05
1,0	0,3	0,3
1,5	0,5	0,75
2,0	1,0	2,00

Tabla 3.5.3.4.a

La altura h_0 del plano de igual asentamiento sobre el de clave (figura 3.5.3.i), se obtiene de la ecuación

$$e^{-2\lambda\mu \frac{h_0}{b}} + 2\lambda\mu \frac{h_0}{b} = 2\lambda\mu\eta'\delta' + 1$$

que puede resolverse como se indicó al tratar de la instalación en terraplén.

Por ejemplo, con $\lambda\mu=0,15$ y los valores de $\eta'\delta'$ dados en el cuadro anterior, se obtienen los siguientes valores de h_0/b .

$\eta'\delta'$	$2\lambda\mu\eta'\delta'+1$	h_0/b
0,05	1,015	0,600
0,30	1,090	1,520
0,75	1,225	2,515
2,00	1,600	4,460

Tabla 3.5.3.4.b

Conocido el valor de h_0 , la carga q_r producida por el relleno sobre la conducción, se obtiene aplicando

$$q_r = C_{zt} \cdot \gamma_r \cdot h_r \cdot b$$

en que el coeficiente de Marston para zanja terraplenada C_{zt} toma los valores

$$h_r < h_0 \quad C_{zt} = \frac{1 - e^{-2\lambda\mu \frac{h_r}{b}}}{2\lambda\mu \frac{h_r}{b}} \quad h_r > h_0 \quad C_{zt} = \frac{1 - e^{-2\lambda\mu \frac{h_0}{b}}}{2\lambda\mu \frac{h_r}{b}} + \frac{h_r - h_0}{h_r} \cdot e^{-2\lambda\mu \frac{h_0}{b}}$$

A igualdad de las restantes condiciones, q_r crece al hacerlo b . Puede llegarse así a una anchura de zanja para la que la carga de relleno que incide sobre la conducción iguale a la que le correspondería si estuviera instalada en terraplén; esta anchura es la de transición, y a partir de ella q_r se mantiene constantemente igual al valor correspondiente a la instalación en terraplén, que es la máxima que cabe considerar.

Siempre que el valor de q_r obtenido para cualquier tipo de instalación supere la carga que recibiría la conducción instalada en terraplén, ésta será la carga que habrá de considerarse en los cálculos, por lo que deben compararse ambos valores de q_r para adoptar el menor.

Ejemplo

Continuando con el tubo circular utilizado en los ejemplos anteriores ($D = 60$ cm; $D_e = 75$ cm), supongamos ahora que se encuentra instalado en una zanja de anchura $b = 1,20$ m, que sobresale de la clave del tubo una altura $h''_r = 1,80$ m (véase figura 3.5.3.i); sobre esta zanja se rellena en terraplén hasta una altura $h_r = 5,00$ m medida a partir del plano de clave del tubo. Se mantienen los valores $\lambda\mu = 0,150$ y $\gamma_r = 1,92$ t/m³.

La razón de proyección η' tendrá el valor

$$\eta' = \frac{h''_r}{b} = \frac{1,80}{1,20} = 1,5$$

Entrando en la tabla VI ($\delta' = 0,5$) se encuentra $q_r = 7,030$ t/m $\approx 70,30$ kN/m, valor intermedio entre los obtenidos para la instalación en zanja ($q_r = 65,76$ kN/m) y para la instalación en terraplén ($q_r = 107,32$ kN/m). La anchura de transición se encuentra comprendida entre $b = 1,60$ m ($q_r = 100,89$ kN/m) y $b = 1,70$ m ($q_r = 109,10$ kN/m).

La altura de plano de igual asentamiento, sobre el de clave, es

$$h_0 = 2,525 \cdot 1,20 = 3,018 \text{ m} < h_r$$

$$C_{r1} = \frac{1 - e^{-20,15 \cdot 2,515}}{2 \cdot 0,15 \cdot \frac{5,00}{1,20}} + \frac{5,00 - 3,018}{5,00} e^{-20,15 \cdot 2,515} = 0,610$$

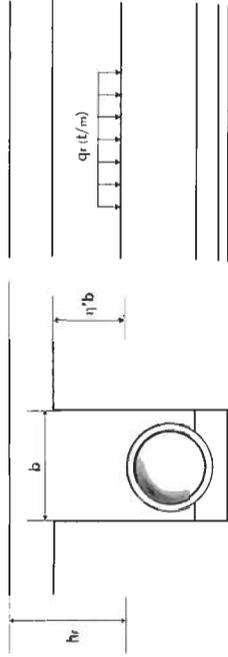
$$q_r = 0,610 \cdot 19,2 \cdot 5,00 \cdot 1,2 = 70,20 \text{ kN / m}$$

Tabla IV

Instalación en zanja terraplenada

Carga producida por el relleno q_r en t/m

h_r y b en m



$$\eta' = 0,5$$

$$\lambda\mu = 0,150 \text{ Peso específico del relleno } \gamma = 1,92 \text{ t/m}^3$$

$$\delta' = 0,1 \text{ Para otro peso específico } \gamma, \quad q_r' = \frac{\gamma'}{\gamma} q_r$$

Observación: Compárese la carga obtenida con la correspondiente a terraplén y tómese la menor.

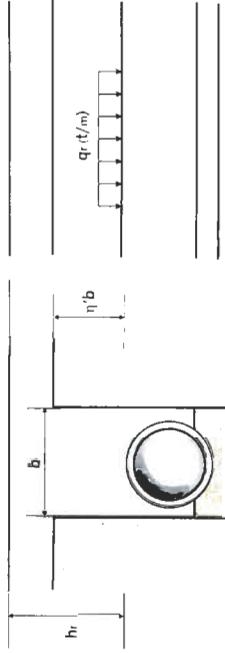
$\frac{b}{h_r}$	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	$\frac{b}{h_r}$
1,00	0,995	1,081	1,168	1,255	1,342	1,518	1,696	1,875	2,057	2,240	2,426	2,613	2,802	2,992	3,183	3,375	3,566	4,044	4,523	5,002	5,481	5,961	6,440	6,920	7,399	1,00
1,50	1,476	1,603	1,729	1,856	1,983	2,240	2,498	2,758	3,019	3,283	3,548	3,815	4,085	4,355	4,628	4,903	5,179	5,879	6,589	7,306	8,023	8,741	9,459	10,177	10,896	1,50
2,00	1,958	2,124	2,290	2,457	2,625	2,961	3,299	3,640	3,981	4,325	4,671	5,018	5,368	5,719	6,072	6,426	6,783	7,683	8,594	9,517	10,451	11,396	12,351	13,307	14,264	2,00
2,50	2,439	2,645	2,852	3,059	3,266	3,683	4,101	4,522	4,944	5,368	5,793	6,221	6,650	7,082	7,515	7,950	8,387	9,487	10,598	11,722	12,856	14,002	15,160	16,329	17,510	2,50
3,00	2,920	3,166	3,413	3,660	3,908	4,405	4,903	5,404	5,906	6,410	6,916	7,424	7,933	8,445	8,958	9,473	9,990	11,291	12,603	13,927	15,262	16,608	17,967	19,336	20,717	3,00
3,50	3,401	3,687	3,974	4,262	4,549	5,126	5,705	6,286	6,868	7,452	8,039	8,627	9,216	9,808	10,402	10,997	11,594	13,095	14,608	16,132	17,667	19,214	20,773	22,343	23,925	3,50
4,00	3,882	4,209	4,536	4,863	5,191	5,848	6,507	7,168	7,830	8,495	9,161	9,829	10,499	11,171	11,845	12,521	13,198	14,899	16,612	18,337	20,073	21,821	23,580	25,350	27,132	4,00
4,50	4,363	4,730	5,097	5,464	5,832	6,570	7,309	8,050	8,793	9,537	10,284	11,032	11,782	12,534	13,288	14,044	14,802	16,704	18,617	20,542	22,479	24,427	26,386	28,357	30,340	4,50
5,00	4,844	5,251	5,658	6,066	6,474	7,291	8,111	8,932	9,755	10,580	11,406	12,235	13,065	13,898	14,732	15,568	16,405	18,508	20,622	22,747	24,884	27,033	29,193	31,364	33,547	5,00
5,50	5,325	5,772	6,219	6,667	7,115	8,013	8,912	9,814	10,717	11,622	12,529	13,438	14,348	15,261	16,175	17,091	18,009	20,312	22,626	24,952	27,290	29,639	31,999	34,371	36,754	5,50
6,00	5,807	6,293	6,781	7,269	7,757	8,735	9,714	10,696	11,679	12,665	13,652	14,641	15,631	16,624	17,618	18,615	19,613	22,116	24,631	27,157	29,695	32,245	34,806	37,378	39,962	6,00
7,00	6,769	7,336	7,903	8,471	9,040	10,178	11,318	12,460	13,604	14,749	15,897	17,046	18,197	19,350	20,505	21,662	22,820	25,725	28,640	31,568	34,506	37,457	40,419	43,392	46,377	7,00
8,00	7,731	8,378	9,026	9,674	10,323	11,621	12,922	14,224	15,528	16,834	18,142	19,452	20,763	22,077	23,392	24,709	26,028	29,333	32,650	35,978	39,318	42,669	46,032	49,406	52,792	8,00
9,00	8,693	9,421	10,149	10,877	11,606	13,065	14,526	15,988	17,453	18,919	20,387	21,857	23,329	24,803	26,278	27,756	29,235	32,941	36,659	40,388	44,129	47,881	51,645	55,420	59,207	9,00
10,00	9,655	10,463	11,271	12,080	12,889	14,508	16,129	17,752	19,377	21,004	22,632	24,263	25,895	27,529	29,165	30,803	32,443	36,550	40,668	44,798	48,940	53,095	57,258	61,434	65,621	10,00
11,00	10,618	11,505	12,394	13,282	14,172	15,951	17,733	19,516	21,302	23,089	24,878	26,668	28,461	30,256	32,052	33,850	35,650	40,158	44,678	49,209	53,751	58,305	62,871	67,448	72,036	11,00
12,00	11,580	12,548	13,516	14,485	15,455	17,395	19,337	21,280	23,226	25,174	27,123	29,074	31,027	32,982	34,939	36,897	38,857	43,766	48,687	53,619	58,562	63,517	68,484	73,462	78,451	12,00
13,00	12,542	13,590	14,639	15,688	16,738	18,838	20,940	23,045	25,151	27,258	29,368	31,480	33,593	35,708	37,825	39,944	42,065	47,375	52,696	58,029	63,373	68,729	74,097	79,476	84,866	13,00
14,00	13,504	14,633	15,762	16,891	18,021	20,281	22,544	24,809	27,075	29,343	31,613	33,885	36,159	38,435	40,712	42,991	45,272	50,983	56,705	62,439	68,185	73,941	79,710	85,490	91,281	14,00
$\frac{b}{h_r}$	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	$\frac{b}{h_r}$

Tabla V

Instalación en zanja terraplenada

Carga producida por el relleno q_r en t/m

h_r y b en m



$$\eta' = 1,0$$

$$\delta' = 0,3$$

$\lambda_{\mu} = 0,150$ Peso específico del relleno $\gamma_r = 1,92$ t/m³

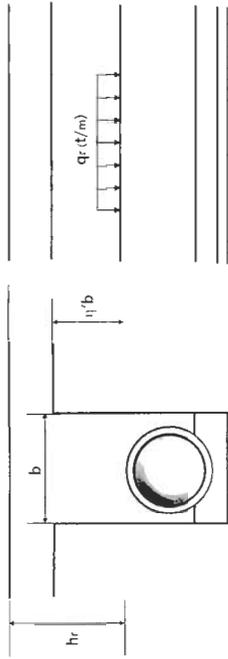
Para otro peso específico γ_r $q_r' = \frac{\gamma_r'}{\gamma_r} q_r$

Observación: Compárese la carga obtenida con la correspondiente a terraplén y tómesela la menor.

$h_r \backslash b$	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	$h_r \backslash b$
1,00	0,908	1,000	1,093	1,187	1,281	1,470	1,659	1,848	2,039	2,229	2,420	2,610	2,801	2,992	3,183	3,375	3,566	4,044	4,523	5,002	5,481	5,961	6,440	6,920	7,399	1,00
1,50	1,273	1,395	1,520	1,647	1,776	2,043	2,319	2,600	2,882	3,165	3,448	3,732	4,017	4,302	4,587	4,872	5,158	5,873	6,589	7,306	8,023	8,741	9,459	10,177	10,896	1,50
2,00	1,638	1,791	1,946	2,103	2,263	2,590	2,928	3,275	3,632	3,999	4,372	4,747	5,123	5,500	5,878	6,256	6,635	7,584	8,535	9,487	10,441	11,396	12,351	13,307	14,264	2,00
2,50	2,003	2,186	2,372	2,560	2,750	3,138	3,536	3,944	4,362	4,790	5,227	5,675	6,132	6,598	7,066	7,535	8,005	9,184	10,367	11,553	12,741	13,931	15,122	16,314	17,507	2,50
3,00	2,368	2,582	2,798	3,016	3,237	3,686	4,145	4,613	5,092	5,581	6,079	6,587	7,106	7,634	8,172	8,719	9,277	10,682	12,093	13,509	14,929	16,352	17,777	19,203	20,632	3,00
3,50	2,733	2,977	3,223	3,472	3,723	4,233	4,753	5,283	5,822	6,372	6,931	7,500	8,079	8,668	9,267	9,875	10,494	12,083	13,718	15,361	17,010	18,663	20,320	21,979	23,641	3,50
4,00	3,098	3,373	3,649	3,929	4,210	4,781	5,362	5,952	6,552	7,163	7,783	8,413	9,053	9,702	10,362	11,031	11,711	13,453	15,256	17,115	18,990	20,870	22,756	24,647	26,540	4,00
4,50	3,463	3,768	4,075	4,385	4,697	5,329	5,970	6,621	7,283	7,954	8,635	9,325	10,026	10,737	11,457	12,188	12,928	14,822	16,777	18,794	20,873	22,978	25,091	27,209	29,332	4,50
5,00	3,829	4,164	4,501	4,841	5,184	5,876	6,578	7,291	8,013	8,745	9,486	10,238	11,000	11,771	12,552	13,344	14,145	16,191	18,298	20,468	22,699	24,991	27,327	29,671	32,022	5,00
5,50	4,194	4,559	4,927	5,298	5,671	6,424	7,187	7,960	8,743	9,536	10,338	11,151	11,973	12,806	13,648	14,500	15,362	17,560	19,819	22,141	24,524	26,969	29,476	32,037	34,612	5,50
6,00	4,559	4,955	5,353	5,754	6,157	6,971	7,795	8,629	9,473	10,327	11,190	12,066	12,947	13,840	14,743	15,656	16,579	18,929	21,341	23,814	26,349	28,946	31,605	34,326	37,107	6,00
7,00	5,289	5,746	6,205	6,667	7,131	8,067	9,012	9,968	10,933	11,909	12,894	13,889	14,894	15,909	16,933	17,968	19,012	21,667	24,383	27,161	30,000	32,901	35,864	38,889	41,976	7,00
8,00	6,019	6,537	7,057	7,579	8,104	9,162	10,229	11,307	12,394	13,491	14,598	15,714	16,841	17,977	19,124	20,280	21,446	24,405	27,425	30,507	33,651	36,856	40,124	43,453	46,843	8,00
9,00	6,749	7,328	7,909	8,492	9,078	10,257	11,446	12,645	13,854	15,073	16,301	17,540	18,788	20,046	21,314	22,592	23,880	27,143	30,467	33,854	37,302	40,811	44,383	48,016	51,711	9,00
10,00	7,479	8,119	8,760	9,405	10,051	11,352	12,663	13,984	15,314	16,655	18,005	19,365	20,735	22,115	23,505	24,904	26,314	29,881	33,510	37,200	40,952	44,766	48,642	52,580	56,579	10,00
11,00	8,209	8,910	9,612	10,317	11,025	12,448	13,880	15,322	16,775	18,237	19,709	21,190	22,682	24,184	25,695	27,217	28,748	32,619	36,552	40,547	44,603	48,721	52,901	57,143	61,446	11,00
12,00	8,940	9,701	10,464	11,230	12,000	13,533	15,079	16,661	18,235	19,819	21,412	23,016	24,629	26,253	27,886	29,529	31,182	35,357	39,594	43,893	48,254	52,676	57,161	61,707	66,314	12,00
13,00	9,670	10,492	11,316	12,143	12,972	14,638	16,314	18,000	19,695	21,401	23,116	24,841	26,576	28,321	30,076	31,841	33,615	38,095	42,637	47,240	51,905	56,631	61,420	66,270	71,182	13,00
14,00	10,400	11,283	12,168	13,055	13,946	15,733	17,531	19,338	21,155	22,983	24,820	26,667	28,523	30,390	32,267	34,153	36,049	40,833	45,679	50,586	55,556	60,586	65,679	70,833	76,050	14,00
$h_r \backslash b$	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	$h_r \backslash b$

Tabla VI

Instalación en zanja terraplenada
Carga producida por el relleno q_r en t/m
h_r y b en m



$$\eta' = 1,5$$

$$\delta' = 0,5$$

$\lambda\mu = 0,150$ Peso específico del relleno $\gamma_r = 1,92 \text{ t/m}^3$

Para otro peso específico γ_r $q_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_r} q_r$

Observación: Compárese la carga obtenida con la correspondiente a terraplén y tómesela la menor.

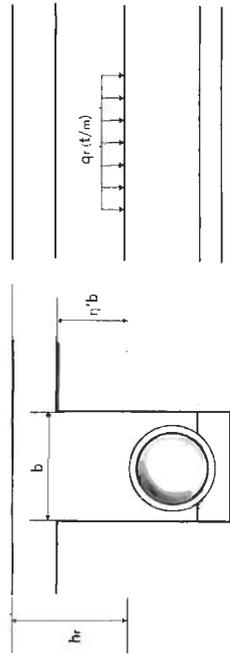
b	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	b	
h _r	1,00	0,907	1,000	1,093	1,187	1,281	1,470	1,659	1,848	2,039	2,229	2,420	2,610	2,801	2,992	3,183	3,375	3,566	4,044	4,523	5,002	5,481	5,961	6,440	6,920	7,399	1,00
	1,50	1,216	1,351	1,487	1,624	1,762	2,040	2,319	2,600	2,882	3,165	3,448	3,732	4,017	4,302	4,587	4,872	5,158	5,873	6,589	7,306	8,023	8,741	9,459	10,177	10,896	1,50
	2,00	1,487	1,647	1,813	1,984	2,161	2,522	2,888	3,256	3,626	3,999	4,372	4,747	5,123	5,500	5,878	6,256	6,635	7,584	8,535	9,487	10,441	11,396	12,351	13,307	14,264	2,00
	2,50	1,757	1,940	2,129	2,323	2,522	2,938	3,377	3,828	4,283	4,741	5,203	5,666	6,131	6,598	7,066	7,535	8,005	9,184	10,367	11,553	12,741	13,931	15,122	16,314	17,507	2,50
	3,00	2,028	2,234	2,445	2,661	2,884	3,345	3,828	4,334	4,863	5,403	5,949	6,497	7,049	7,603	8,159	8,717	9,277	10,682	12,093	13,509	14,929	16,352	17,777	19,203	20,632	3,00
	3,50	2,299	2,527	2,761	3,000	3,245	3,751	4,280	4,831	5,404	6,000	6,619	7,249	7,884	8,523	9,165	9,809	10,456	12,082	13,718	15,361	17,010	18,663	20,320	21,979	23,641	3,50
	4,00	2,570	2,821	3,077	3,338	3,606	4,157	4,731	5,327	5,946	6,587	7,251	7,937	8,645	9,365	10,090	10,818	11,550	13,393	15,249	17,115	18,990	20,870	22,756	24,647	26,540	4,00
	4,50	2,841	3,114	3,393	3,677	3,967	4,564	5,183	5,824	6,488	7,174	7,883	8,614	9,367	10,143	10,941	11,751	12,566	14,619	16,690	18,776	20,873	22,978	25,091	27,209	29,332	4,50
	5,00	3,112	3,407	3,709	4,016	4,328	4,970	5,634	6,321	7,030	7,761	8,515	9,291	10,089	10,910	11,754	12,619	13,507	15,765	18,048	20,348	22,664	24,991	27,327	29,671	32,022	5,00
	5,50	3,383	3,701	4,025	4,354	4,689	5,376	6,085	6,817	7,571	8,348	9,147	9,968	10,812	11,678	12,566	13,477	14,410	16,838	19,326	21,838	24,368	26,913	29,470	32,037	34,612	5,50
	6,00	3,653	3,994	4,341	4,693	5,050	5,782	6,537	7,314	8,113	8,935	9,779	10,645	11,534	12,445	13,379	14,335	15,313	17,857	20,530	23,248	25,988	28,748	31,522	34,309	37,107	6,00
	7,00	4,195	4,581	4,973	5,370	5,773	6,595	7,440	8,307	9,196	10,108	11,043	11,999	12,979	13,980	15,004	16,050	17,119	19,889	22,798	25,848	28,997	32,174	35,373	38,591	41,825	7,00
	8,00	4,737	5,168	5,605	6,047	6,495	7,408	8,343	9,300	10,280	11,282	12,307	13,354	14,423	15,515	16,629	17,766	18,925	21,920	25,056	28,331	31,746	35,297	38,908	42,544	46,202	8,00
	9,00	5,279	5,755	6,237	6,724	7,217	8,220	9,246	10,293	11,363	12,456	13,571	14,708	15,868	17,050	18,254	19,481	20,731	23,952	27,313	30,814	34,455	38,236	42,157	46,192	50,262	9,00
	10,00	5,820	6,342	6,869	7,401	7,940	9,033	10,148	11,286	12,447	13,630	14,835	16,062	17,312	18,585	19,880	21,197	22,536	25,983	29,570	33,297	37,163	41,170	45,317	49,604	54,030	10,00
	11,00	6,362	6,929	7,501	8,079	8,662	9,845	11,051	12,280	13,530	14,803	16,099	17,417	18,757	20,120	21,505	22,912	24,342	28,015	31,827	35,780	39,872	44,105	48,477	52,989	57,642	11,00
	12,00	6,904	7,515	8,133	8,756	9,384	10,658	11,954	13,273	14,614	15,977	17,363	18,771	20,202	21,655	23,130	24,628	26,148	30,046	34,084	38,263	42,581	47,039	51,637	56,375	61,253	12,00
	13,00	7,445	8,102	8,765	9,433	10,106	11,471	12,857	14,266	15,697	17,151	18,627	20,125	21,646	23,189	24,755	26,343	27,953	32,078	36,341	40,745	45,289	49,973	54,797	59,761	64,865	13,00
	14,00	7,987	8,689	9,397	10,110	10,829	12,283	13,760	15,259	16,781	18,325	19,891	21,480	23,091	24,724	26,380	28,059	29,759	34,109	38,599	43,228	47,998	52,908	57,957	63,147	68,476	14,00
h _r	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	b	

Tabla VII

Instalación en zanja terraplenada

Carga producida por el relleno q_r en t/m

h_r y b en m



$$\lambda\mu = 0,150 \text{ Peso específico del relleno } \gamma_r = 1,92 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Para otro peso específico } \gamma_r, \quad q_r = \frac{\gamma_r}{\gamma} q_r$$

$\eta' = 2,0$
$\delta' = 1,0$

Observación: Compárese la carga obtenida con la correspondiente a terraplén y tómese la menor.

$\frac{b}{h_r}$	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	$\frac{b}{h_r}$
1,00	0,907	1,000	1,093	1,187	1,281	1,470	1,659	1,848	2,039	2,229	2,420	2,610	2,801	2,992	3,183	3,375	3,566	4,044	4,523	5,002	5,481	5,961	6,440	6,920	7,399	1,00
1,50	1,216	1,351	1,487	1,624	1,762	2,040	2,319	2,600	2,882	3,165	3,448	3,732	4,017	4,302	4,587	4,872	5,158	5,873	6,589	7,306	8,023	8,741	9,459	10,177	10,896	1,50
2,00	1,456	1,630	1,805	1,982	2,161	2,522	2,888	3,256	3,626	3,999	4,372	4,747	5,123	5,500	5,878	6,256	6,635	7,584	8,535	9,487	10,441	11,396	12,351	13,307	14,264	2,00
2,50	1,644	1,851	2,062	2,276	2,492	2,931	3,377	3,828	4,283	4,741	5,203	5,666	6,131	6,598	7,066	7,535	8,005	9,184	10,367	11,553	12,741	13,931	15,122	16,314	17,507	2,50
3,00	1,797	2,028	2,269	2,516	2,766	3,277	3,798	4,327	4,863	5,403	5,949	6,497	7,049	7,603	8,159	8,717	9,277	10,682	12,093	13,509	14,929	16,352	17,777	19,203	20,632	3,00
3,50	1,949	2,191	2,447	2,714	2,994	3,570	4,160	4,763	5,374	5,993	6,619	7,249	7,884	8,523	9,165	9,809	10,456	12,082	13,718	15,361	17,010	18,663	20,320	21,979	23,641	3,50
4,00	2,100	2,355	2,623	2,903	3,195	3,818	4,472	5,143	5,826	6,519	7,221	7,930	8,645	9,365	10,090	10,818	11,550	13,393	15,249	17,115	18,990	20,870	22,756	24,647	26,540	4,00
4,50	2,251	2,519	2,799	3,092	3,397	4,044	4,741	5,474	6,224	6,987	7,762	8,545	9,337	10,136	10,941	11,751	12,566	14,619	16,690	18,776	20,873	22,978	25,091	27,209	29,332	4,50
5,00	2,402	2,682	2,975	3,281	3,598	4,271	4,993	5,764	6,576	7,404	8,247	9,103	9,968	10,842	11,724	12,613	13,507	15,765	18,048	20,348	22,664	24,991	27,327	29,671	32,022	5,00
5,50	2,553	2,846	3,152	3,470	3,800	4,498	5,245	6,041	6,887	7,776	8,684	9,607	10,542	11,489	12,445	13,409	14,381	16,838	19,326	21,838	24,368	26,913	29,470	32,037	34,612	5,50
6,00	2,704	3,010	3,328	3,659	4,001	4,724	5,497	6,318	7,190	8,110	9,076	10,063	11,065	12,080	13,108	14,145	15,192	17,842	20,530	23,248	25,988	28,748	31,522	34,309	37,107	6,00
7,00	3,006	3,337	3,681	4,036	4,404	5,178	6,000	6,873	7,794	8,765	9,786	10,856	11,974	13,118	14,279	15,454	16,642	19,659	22,732	25,847	28,997	32,174	35,373	38,591	41,825	7,00
8,00	3,309	3,665	4,033	4,414	4,807	5,631	6,504	7,427	8,399	9,420	10,491	11,612	12,782	14,001	15,270	16,571	17,889	21,249	24,684	28,178	31,719	35,297	38,908	42,544	46,202	8,00
9,00	3,611	3,992	4,386	4,792	5,210	6,084	7,008	7,981	9,003	10,075	11,197	12,367	13,588	14,858	16,177	17,546	18,964	22,641	26,416	30,268	34,182	38,146	42,152	46,192	50,262	9,00
10,00	3,913	4,320	4,739	5,170	5,613	6,538	7,512	8,535	9,608	10,730	11,902	13,123	14,394	15,714	17,084	18,503	19,971	23,859	27,952	32,142	36,410	40,743	45,129	49,560	54,030	10,00
11,00	4,215	4,647	5,091	5,548	6,016	6,991	8,015	9,089	10,212	11,385	12,607	13,879	15,200	16,570	17,990	19,460	20,979	24,993	29,315	33,822	38,427	43,111	47,862	52,670	57,525	11,00
12,00	4,518	4,975	5,444	5,925	6,419	7,445	8,519	9,643	10,817	12,040	13,312	14,634	16,006	17,427	18,897	20,417	21,986	26,126	30,576	35,329	40,251	45,270	50,371	55,540	60,767	12,00
13,00	4,820	5,302	5,796	6,303	6,822	7,898	9,023	10,197	11,421	12,695	14,018	15,390	16,812	18,283	19,804	21,374	22,994	27,260	31,835	36,720	41,902	47,239	52,673	58,189	63,776	13,00
14,00	5,122	5,629	6,149	6,681	7,225	8,351	9,527	10,751	12,026	13,349	14,723	16,145	17,618	19,139	20,711	22,331	24,001	28,393	33,094	38,105	43,424	49,035	54,786	60,635	66,566	14,00
$\frac{b}{h_r}$	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	$\frac{b}{h_r}$

3.5.3.5 Instalación en zanja inducida en terraplén

EXPOSICIÓN

La carga que recibe una conducción instalada en terraplén puede reducirse invirtiendo artificialmente el sentido del deslizamiento, es decir, haciendo que el prisma central descienda más que los exteriores y generando así unas fuerzas de rozamiento dirigidas hacia arriba, las cuales equilibran parte del peso del prisma central y, en consecuencia, aligeran la carga sobre la conducción.

De esta manera se transforma una instalación en terraplén en otra en zanja terraplenada.

El procedimiento se detalla a continuación en sus dos modalidades.

Modalidad A

- 1º Se comienza por instalar la conducción, que suponemos en condiciones de proyección positiva (figura 3.5.3.5.a).
- 2º Se realiza el terraplenado (figura 3.5.3.5.b), cubriendo la conducción hasta una altura, sobre el plano de clave, no inferior a su diámetro exterior D_e . A cada lado de la conducción, se compacta el relleno hasta una distancia que como mínimo será $2D_e$ ó 3,6m (la que sea menor).
- 3º En el relleno así compactado se excava una zanja hasta el plano de clave de la conducción, cuya anchura coincidirá con el diámetro exterior de aquella (figura 3.5.3.5.c) Esta zanja se rellena con material compresible como paja, serrín, suelo orgánico, o cualquier otro material que ofrezca garantía de un asentamiento claramente superior al del relleno compactado.
- 4º Se completa el relleno del terraplén en la forma habitual (figura 3.5.3.5.d).

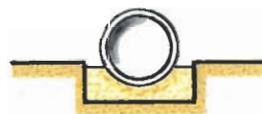


Figura 3.5.3.5. a

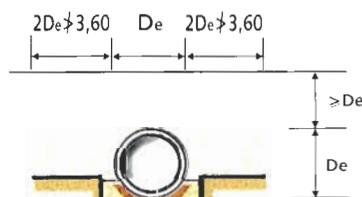


Figura 3.5.3.5. b

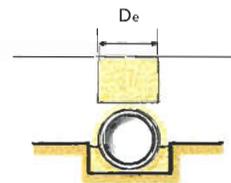


Figura 3.5.3.5. c

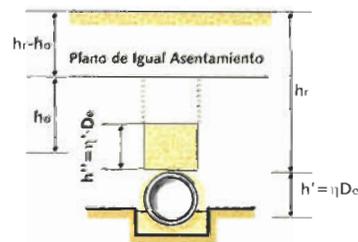
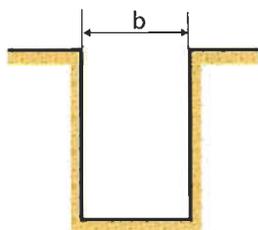


Figura 3.5.3.5. d

Modalidad B

- 1º Antes de instalar la conducción, se rellena el terraplén hasta una cota superior, al menos en D_e , a la del plano de clave. Una vez compactado este relleno, se abre en él una zanja capaz de alojar la conducción (figura 3.5.3.5.e).
- 2º En dicha zanja se coloca la tubería y se rellena con tierra hasta el plano de clave, y con el material compresible por encima hasta una altura no inferior a D_e (figura 3.5.3.5.f)
- 3º Se completa el terraplén en la forma habitual.



Figuras 3.5.3.5.e

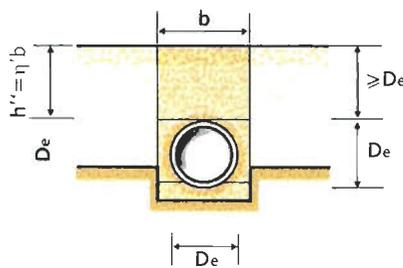


Figura 3.5.3.5.f

La verdadera zanja inducida es la realizada mediante la modalidad A. La modalidad B produce, en realidad, una simple zanja terraplenada.

En ambos casos la carga q_r sobre la conducción se determina como para la instalación en zanja terraplenada, siendo la anchura de esta zanja $b = D_e$ en la modalidad A, y $b > D_e$ en la modalidad B.

Como a mayor anchura de zanja corresponde mayor carga de relleno (hasta la anchura de transición), la modalidad A conduce a menores cargas sobre la conducción que la B.

Debido a la mayor compresibilidad del material colocado sobre la conducción, la razón de asentamiento δ' resulta mayor en el caso de zanja inducida (mayor valor de s_2) que en el caso de zanja terraplenada, a igualdad de las restantes circunstancias.

En correspondencia con los valores de la razón de proyección η' considerados en 3.5.3.4, se adoptan para la razón de asentamiento δ' los recogidos en el siguiente cuadro, en el cual figura también el valor de h_0/b en cada caso, para $\lambda\mu = 0,15$, obtenidos mediante la ecuación dada en 3.5.3.4.

En este caso η' es la razón de la altura h'' de la zanja inducida a su anchura (figuras 3.5.3.5.d, 3.5.3.5.f, 3.5.3.5.g).

η'	δ'	$\eta'\delta'$	$2\lambda\mu\eta'\delta'+1$	h_0/b
0,5	0,5	0,25	1,075	1,380
1,0	0,7	0,7	1,210	2,421
1,5	1,0	1,50	1,450	3,752
2,0	2,0	4,00	2,200	6,915

Tabla 3.5.3.5

Comparados los resultados con los correspondientes a zanja terraplenada, vemos que ahora el plano de igual asentamiento se encuentra a mayor altura, para iguales valores de η' , b , con lo cual las tensiones de rozamiento actúan sobre más superficie y el efecto aligerante es mayor.

En el caso de la instalación en zanja puede aplicarse la misma idea a fin de reducir la carga sobre la conducción. Kher y Wetzorke indican que una capa delgada de material suelto, dispuesta sobre la conducción, permite reducir considerablemente la carga que esta recibe. Pürschell, basándose en la DIN 4033, afirma que esta carga puede reducirse en un 25% cuando sobre la clave del tubo se coloca una capa de escorias granuladas de alto horno debidamente compactadas, con un espesor mínimo de 30 cm.

Se trata, en definitiva, de crear una zanja inducida dentro de la propia zanja (figura 3.5.3.5.g).

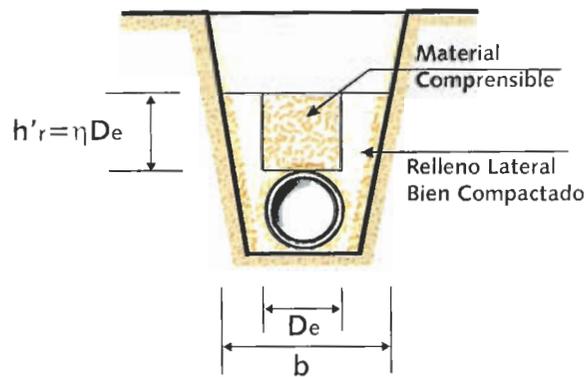


Figura 3.5.3.5.g

De esta forma al menos es posible calcular la carga sobre la conducción instalada en zanja considerando como anchura D_e en lugar de b , según se dijo en 3.5.3.2.

Igual procedimiento es aplicable al caso de zanja terraplenada.

Ejemplo

Con objeto de reducir la carga que incide sobre la conducción instalada en terraplén, que se calculó en el apartado 3.5.3.3 se dispone sobre ella una zanja inducida rellena de material compresible como se dijo en 3.5.3.5 (modalidad A). La anchura de esta zanja inducida en el terraplén coincide con el diámetro exterior del tubo $b=D_e=0,75m$, y su altura es $h_r''=0,75m$, con lo que resulta $\eta'=1,0$.

Acudiendo a la tabla IX, se obtiene (para $h_r=5,00m$) $q_r=40,77$ kN/m. Esta cara es la menor de las obtenidas para los distintos tipos de instalación.

El proceso de cálculo es idéntico al de zanja terraplenada, sin más que variar los valores de η' , δ' .

$$h_o / b = 2,421 \text{ (véase 3.5.3.5)} \quad h_o = 2,421 \cdot 0,75 = 1,816m < h_r$$

$$C_{zjt} = \frac{1 - e^{-2 \cdot 0,15 \cdot 2,421}}{2 \cdot 0,15 \cdot \frac{5,00}{0,75}} + \frac{5,00 - 1,816}{5,00} \cdot e^{-2 \cdot 0,15 \cdot 2,421} = 0,566$$

$$q_r = 0,566 \cdot 19,2 \cdot 5,00 \cdot 0,75 = 40,07 \text{ kN / m}$$

En este y demás ejemplos, téngase en cuenta que las tablas se han calculado mediante programas que al operar en secuencia continua pueden dar resultados ligeramente diferentes (pero más precisos) que los cálculos manuales en que se van despreciando decimales.



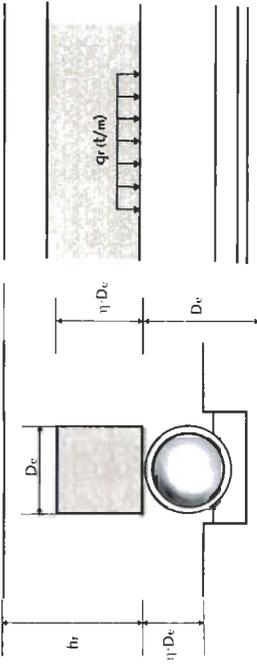


Tabla VIII
 Instalación con zanja inducida en terraplén $b=D_c$
 Carga producida por el relleno q_r en t/m (h_r , y D_c en m)

$$\lambda \mu = 0,150 \text{ Peso específico del relleno } \gamma_r = 1,92 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Para otro peso específico } \gamma_r \quad q_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_r} q_{r0}$$

$$\alpha = 120^\circ \quad \eta = 0,763$$

$\frac{D_c}{h_r}$	$\eta' = 0,5$										$\eta' = 1,0$										$\delta = 0,7$									
	0,21	0,26	0,33	0,38	0,51	0,63	0,75	0,99	1,22	1,45	1,80	2,16	2,40	2,86	0,21	0,26	0,33	0,38	0,51	0,63	0,75	0,99	1,22	1,45	1,80	2,16	2,40	2,86	$\frac{D_c}{h_r}$	
1,00	0,285	0,358	0,464	0,543	0,756	0,966	1,187	1,640	2,077	2,515	3,183	3,872	4,332	5,213	0,242	0,313	0,421	0,505	0,740	0,962	1,187	1,640	2,077	2,515	3,183	3,872	4,332	5,213	1,00	
1,50	0,418	0,523	0,674	0,784	1,080	1,365	1,663	2,295	2,938	3,590	4,587	5,616	6,303	7,621	0,339	0,434	0,575	0,682	0,985	1,297	1,624	2,291	2,938	3,590	4,587	5,616	6,303	7,621	1,50	
2,00	0,551	0,688	0,883	1,025	1,403	1,765	2,139	2,923	3,719	4,560	5,878	7,242	8,154	9,907	0,437	0,554	0,728	0,858	1,222	1,589	1,987	2,851	3,701	4,560	5,878	7,242	8,154	9,907	2,00	
2,50	0,685	0,853	1,093	1,266	1,727	2,165	2,615	3,551	4,493	5,480	7,066	8,759	9,894	12,076	0,534	0,675	0,881	1,035	1,459	1,882	2,335	3,333	4,374	5,434	7,066	8,759	9,894	12,076	2,50	
3,00	0,818	1,018	1,302	1,507	2,051	2,565	3,091	4,179	5,267	6,400	8,206	10,175	11,528	14,133	0,632	0,796	1,034	1,211	1,696	2,174	2,684	3,793	4,971	6,222	8,159	10,175	11,528	14,133	3,00	
3,50	0,951	1,183	1,511	1,748	2,374	2,964	3,567	4,807	6,042	7,320	9,350	11,546	13,069	16,086	0,729	0,916	1,188	1,388	1,932	2,487	3,032	4,253	5,537	6,933	9,165	11,496	13,063	16,086	3,50	
4,00	1,085	1,348	1,721	1,989	2,698	3,364	4,043	5,436	6,816	8,240	10,493	12,916	14,592	17,940	0,827	1,037	1,341	1,564	2,169	2,739	3,380	4,713	6,104	7,607	10,090	12,728	14,505	17,939	4,00	
4,50	1,218	1,513	1,930	2,231	3,021	3,764	4,519	6,064	7,590	9,160	11,635	14,287	16,115	19,754	0,924	1,158	1,494	1,741	2,406	3,052	3,728	5,172	6,670	8,280	10,944	13,877	15,860	19,697	4,50	
5,00	1,351	1,678	2,140	2,472	3,345	4,164	4,994	6,692	8,364	10,080	12,777	15,658	17,638	21,569	1,022	1,279	1,647	1,917	2,643	3,345	4,077	5,632	7,237	8,953	11,780	14,949	17,132	21,366	5,00	
5,50	1,484	1,843	2,349	2,713	3,669	4,563	5,470	7,320	9,138	11,001	13,919	17,028	19,161	23,384	1,119	1,399	1,801	2,093	2,889	3,637	4,425	6,092	7,803	9,627	12,615	15,960	18,328	22,949	5,50	
6,00	1,618	2,008	2,558	2,954	3,992	4,963	5,946	7,948	9,912	11,921	15,062	18,399	20,684	25,199	1,217	1,520	1,954	2,270	3,116	3,930	4,773	6,551	8,370	10,300	13,451	16,903	19,456	24,451	6,00	
7,00	1,884	2,338	2,977	3,436	4,640	5,763	6,989	9,205	11,461	13,761	17,346	21,140	23,730	28,829	1,412	1,762	2,260	2,623	3,590	4,515	5,470	7,471	9,303	11,646	15,123	18,969	21,685	27,230	7,00	
8,00	2,151	2,668	3,396	3,919	5,287	6,562	7,850	10,461	13,009	15,601	19,630	23,882	26,776	32,458	1,607	2,003	2,567	2,976	4,064	5,100	6,166	8,390	10,636	12,993	16,795	20,975	23,913	29,886	8,00	
9,00	2,417	2,998	3,815	4,401	5,934	7,362	8,802	11,718	14,557	17,441	21,915	26,623	29,822	36,088	1,802	2,245	2,873	3,329	4,537	5,685	6,863	9,310	11,769	14,340	18,466	22,981	26,142	32,542	9,00	
10,00	2,684	3,328	4,234	4,883	6,581	8,161	9,754	12,974	16,106	19,282	24,199	29,364	32,868	39,718	1,997	2,486	3,180	3,682	5,011	6,270	7,559	10,239	12,902	15,686	20,138	24,987	28,371	35,198	10,00	
11,00	2,950	3,658	4,652	5,365	7,229	8,961	10,705	14,231	17,654	21,122	26,484	32,106	35,914	43,347	2,192	2,727	3,486	4,034	5,485	6,855	8,256	11,148	14,035	17,033	21,810	26,993	30,600	37,854	11,00	
12,00	3,217	3,988	5,071	5,848	7,876	9,761	11,657	15,487	19,202	22,962	28,768	34,847	38,960	46,977	2,387	2,969	3,793	4,387	5,938	7,440	8,952	12,088	15,168	18,379	23,481	28,999	32,829	40,510	12,00	
13,001	3,483	4,318	5,490	6,330	8,523	10,560	12,609	16,743	20,751	24,802	31,052	37,588	42,005	50,607	2,582	3,210	4,099	4,740	6,432	8,025	9,649	12,987	16,301	19,726	25,153	31,005	35,688	43,166	13,001	
4,00	3,750	4,648	5,909	6,812	9,170	11,360	13,561	18,000	22,299	26,642	33,337	40,329	45,051	54,236	2,777	3,452	4,406	5,093	6,906	8,610	10,345	13,907	17,434	21,073	26,824	33,011	37,287	45,822	4,00	
$\frac{h_r}{D_c}$	0,21	0,26	0,33	0,38	0,51	0,63	0,75	0,99	1,22	1,45	1,80	2,16	2,40	2,86	0,21	0,26	0,33	0,38	0,51	0,63	0,75	0,99	1,22	1,45	1,80	2,16	2,40	2,86	$\frac{h_r}{D_c}$	

3.5.4 Determinación de las cargas producidas por el tráfico

PLANTEAMIENTO

Los vehículos que transitan sobre la superficie del relleno de un terraplén producen una acción dinámica que se transmite a la conducción en forma de carga adicional a la del peso de las tierras.

Esta sobrecarga puede calcularse aplicando la teoría de Boussinesq, supuesto el suelo como un material elástico e isótropo. Sin embargo, en la práctica se obtiene suficiente precisión considerando que una carga Q aplicada sobre la superficie se transmite, en profundidad, según un tronco de pirámide cuyas caras laterales forman un ángulo de 35° con la vertical (figura 3.5.4.a).

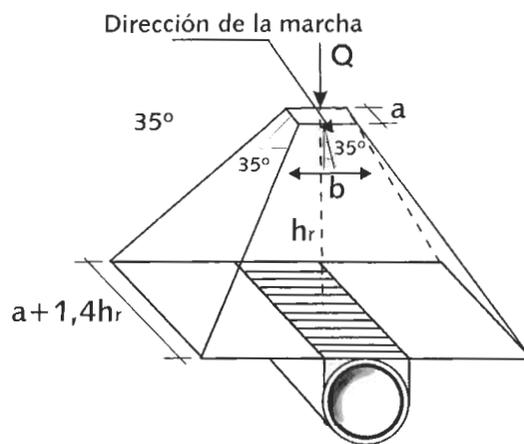


Figura 3.5.4.a

Sea " $a \times b$ " el área del rectángulo sobre el que se aplica la carga Q en la superficie del terreno; " a " es la medida del lado paralelo al eje de la conducción. Se considera que el vehículo circula según la dirección de la conducción, por ser éste el caso más desfavorable.

A la profundidad h_r en el plano de clave del tubo, la carga Q se encontrará aplicada sobre un área:

$$(a + 2h_r \cdot \text{tg}35^\circ) \cdot (b + 2h_r \cdot \text{tg}35^\circ) = (a + 1,4h_r) \cdot (b + 1,4h_r)$$

produciendo una presión

$$\frac{Q}{(a + 1,4h_r) \cdot (b + 1,4h_r)}$$

de la que incidirá sobre la conducción la parte correspondiente al área proyectada por la conducción sobre el plano de clave, dentro del tronco de pirámide.

$$(a + 1,4h_r)D_c$$

La longitud de conducción $(a + 1,4h_r)$, recibe una carga sobre su plano de clave

$$\frac{Q}{(a + 1,4h_r) \cdot (b + 1,4h_r)} \cdot (a + 1,4h_r) \cdot D_e = \frac{Q}{b + 1,4h_r} \cdot D_e$$

La conducción recibe esta carga, por su parte superior, en la longitud $(a + 1,4h_r)$, pero la reacción en su apoyo se extiende a una longitud mayor (figura 3.5.4.b). La carga unitaria resulta, por tanto, mayor en la clave que en la base de la tubería.

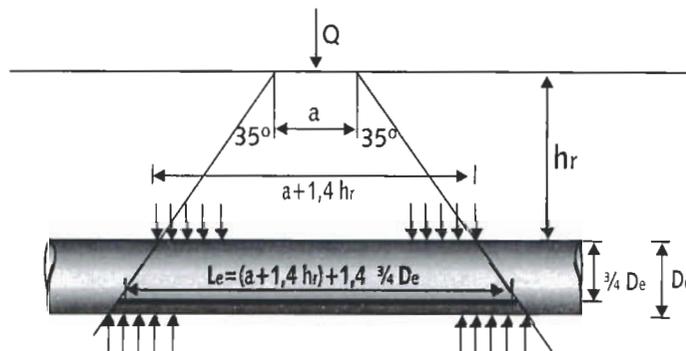


Figura 3.5.4.b

Como carga unitaria media se toma la correspondiente a una "longitud eficaz" obtenida a los $\frac{3}{4}$ de la altura de la conducción suponiendo que en ésta la carga se distribuye con el mismo ángulo que en el terreno:

$$L_e = (a + 1,4h_r) + 1,4 \cdot \frac{3}{4} D_e = a + 1,4h_r + 1,05D_e$$

Si la carga Q es móvil, debe multiplicarse su valor por un coeficiente de impacto C_i (siendo $C_i=1$ para carga estática), con lo que la carga q_m producida por Q sobre la unidad de longitud de la tubería resulta

$$q_m = \frac{C_i Q}{b + 1,4h_r} \cdot \frac{D_e}{L_e} = \frac{C_i Q}{t L_e} \cdot D_e \quad \text{con } t = b + 1,4h_r$$

en que q_m vendrá expresado en N/m si Q lo es en N, y b, h_r , D_e y L_e , en m.

Como valor del coeficiente de impacto C_i , de acuerdo con la ACPA, se adopta el dado por el siguiente cuadro, en correspondencia con la profundidad h_r .

h_r	C_i
$\leq 0,30 \text{ m}$	1,3
$\leq 0,60 \text{ m}$	1,2
$< 0,90 \text{ m}$	1,1
$\geq 0,90 \text{ m}$	1,0

Tabla 3.5.4.a

En la hipótesis anterior se ha supuesto que la conducción se encuentra a una profundidad tal que

$$t = b + 1,4h_r > D_e$$

Cuando $t \leq D_e$ (figura 3.5.4.c), la carga Q incide en su totalidad sobre la conducción y resulta

$$q_m = \frac{C_i Q}{L_e}$$

Si en la superficie actúa más de una carga, su efecto se superpone a partir de una cierta profundidad. Consideramos dos áreas cargadas entre las cuales existe una distancia c (figura 3.5.4.d). La superposición se inicia para una profundidad h_s definida por

$$1,4h_s = c, \text{ es decir, } h_s = \frac{c}{1,4}$$

A una profundidad $h_r > h_s$, la anchura s abarcada por la superposición, es

$$s = 1,4(h_r - h_s)$$

Suponiendo ambas cargas iguales a Q , la presión producida sobre el terreno en la anchura "s" será la correspondiente a una carga de valor $2Q$.

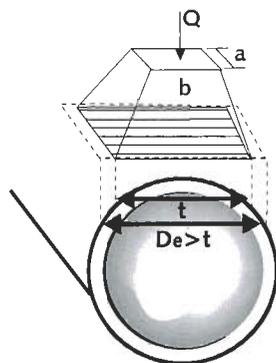


Figura 3.5.4.c

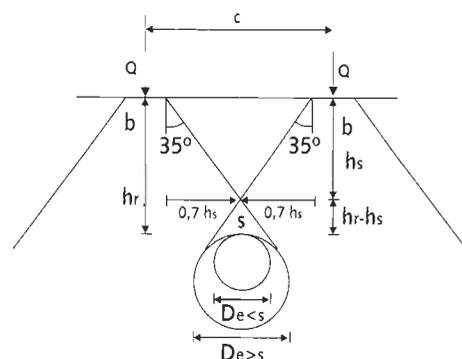


Figura 3.5.4.d

Una conducción enterrada a una profundidad $h_r > h_s$, y situada a igual distancia de ambas cargas, se encontrará (a nivel de su plano de clave) sometida a la presión producida por $2Q$ en una faja longitudinal de anchura "s", y a la presión originada por Q fuera de esta faja.

Si $D_e \leq s$ la carga sobre la conducción es la correspondiente a una carga de calor $2Q$, es decir

$$q_m = \frac{2 \cdot C_i \cdot Q}{t \cdot L_e} \cdot D_e$$

Cuando $h_r > h_s$, pero $D_e > s$, la carga es la producida por la presión debida a $2Q$ en la anchura s más la debida a Q en $D_e - s$

$$q_m = \frac{C_i \cdot Q}{t \cdot L_e} \cdot [2s + (D_e - s)] = \frac{C_i \cdot Q}{t \cdot L_e} (D_e + s)$$

En el caso de instalación en zanja, la distribución de presiones queda limitada a la anchura de aquella (figura 3.5.4.e). La carga a considerar puede verse en 2.4.1.b de la Instrucción del Instituto Eduardo Torroja para tubos de Hormigón Armado o Pretensado. No obstante, como allí se dice: "en la práctica se considera admisible utilizar la expresión correspondiente al caso de terraplén, ya que ésta es bastante más simple y la diferencia entre los valores que resultan de aplicar una u otra expresión es reducida".

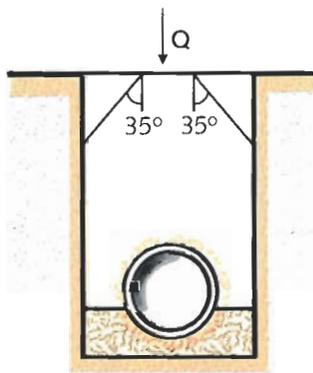


Figura 3.5.4.e

3.5.4.1. Cargas producidas por el tráfico de carreteras

TIPOS DE SOBRECARGA MÓVIL

Se han adoptado los casos de carga a que se refiere la "Instrucción del Instituto Eduardo Torroja para Tubos de Hormigón Armado o Pretensado" (Anejo 4-2.4.3). Sus características se recogen en la figura 3.5.4.1.a

En vías principales se considerará, en general, el eje simple de 13 t. La aplicación del eje triple con 60 t se reserva a los casos en que se prevea el paso de cargas excepcionalmente pesadas, como tanques de guerra.

El recubrimiento que establece el PPTG TSP del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (orden 15/septiembre/86) en el apartado 12.3.1 es de 1 metro sobre la generatriz superior del tubo, bajo calzadas o en terreno con posible tráfico rodado.

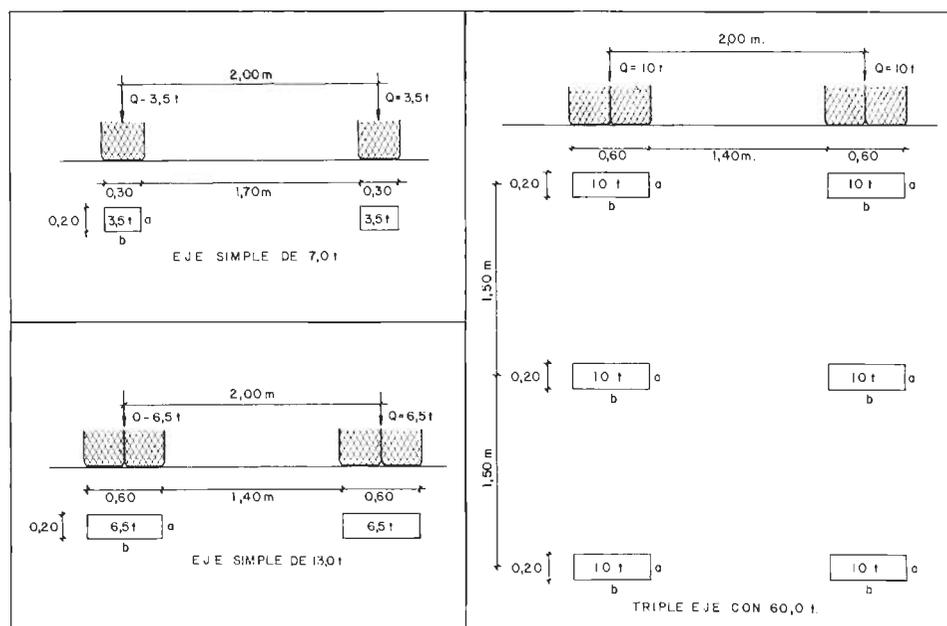
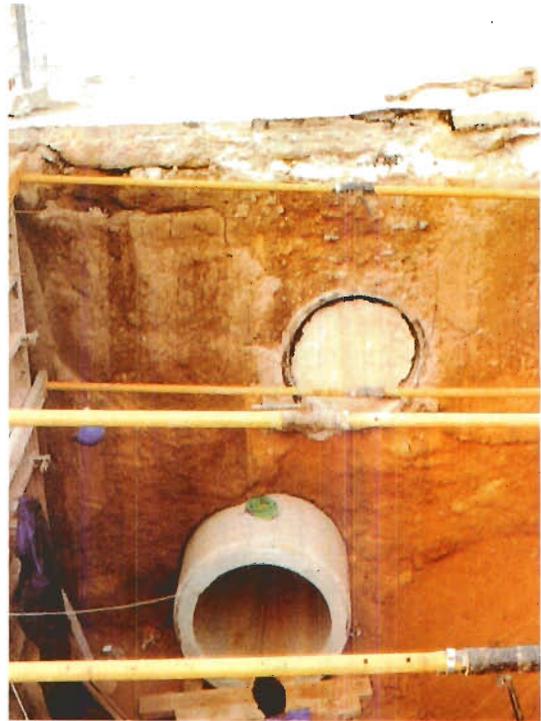


Figura 3.5.4.1.a

Carga producida por la sobrecarga móvil

Anteriormente se han definido las cargas Q correspondientes a cada apoyo de los vehículos tipificados, y el área "a x b" sobre la que actúan.

La menor dimensión de estas áreas ($a = 0,20$ m) es la orientada en la dirección de la marcha, de modo que, cuando ésta coincide con la dirección del eje de la conducción, se obtiene el menor valor de la longitud eficaz ($L_e = a + 1,4h_r + 1,05D_e$) para unos valores de h_r , D_e , dados, y en consecuencia el mayor valor de la carga q_m . Esta dirección es, por tanto, la considerada.

Cuando $h_r < h_s$, el caso más desfavorable es aquel en el que los apoyos (rueda o pares de ruedas) de un lado del vehículo se sitúan en vertical sobre la conducción. En cambio, si $h_r > h_s$, el caso más desfavorable corresponde a la conducción situada bajo el eje del vehículo, ya que de esta forma recibe la superposición de las cargas de uno y otro lado.

En ambas situaciones, debe distinguirse entre que sea $D_e \leq t$, o $D_e \geq t$. La figura 3.5.4.1.b muestra estos cuatro casos.

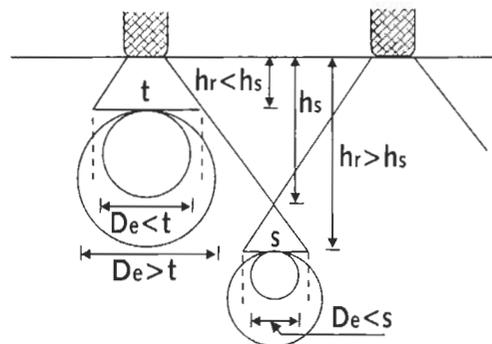


Figura 3.5.4.1.b

Cuando el diámetro exterior de la tubería es superior a la separación entre los ejes de las ruedas ($D_e > 2,0$ m), el caso más desfavorable corresponde a la conducción situada bajo el eje del vehículo, aún cuando $h_r < h_s$, ya que el tubo recibe entonces la carga de los apoyos de ambos lados del mismo (figura 3.5.4.1.c).

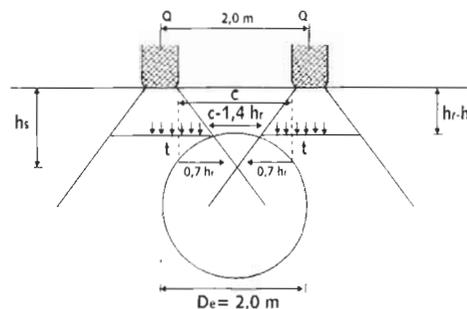


Figura 3.5.4.1.c

En este caso queda sin carga en el plano de clave una faja de anchura

$$c - 1,4h_r$$

A cada lado de esta faja, la conducción recibe la carga de un apoyo extendida a una anchura

$$\frac{D_e - (c - 1,4h_r)}{2}$$

con lo que la carga que soporta la conducción bajo ambos apoyos, es

$$q_m = \frac{C_i \cdot Q}{t \cdot L_c} v \quad \text{con } v = D_e + 1,4h_r - c$$

Particularizando a cada tipo de sobrecarga móvil, resulta

EJE SIMPLE DE 7 t \cong 70 kn

$a=0,20\text{m}$	$b=0,30\text{m}$	$Q=3,5 \text{ t} \cong 35 \text{ kN}$	$t=1,4h_r+0,30$	$L_e=0,20+1,4h_r+1,05D_e$
$c=2,0-0,30=1,70 \text{ m}$	$h_s=c/1,4=1,21\text{m}$		$s=1,4(h_r-1,21)$	$v=D_e+1,4h_r-1,70$

EJE SIMPLE DE 13 t \cong 130 kN

$a=0,20\text{m}$	$b=0,60\text{m}$	$Q=6,5 \text{ t} \cong 65 \text{ kN}$	$t=1,4h_r+0,60$	$L_e=0,20+1,4h_r+1,05D_e$
$c=2,0-0,60=1,40\text{m}$	$h_s=c/1,4=1,00\text{m}$		$s=1,4(h_r-1,00)$	$v=D_e+1,4(h_r-1,00)=D_e+s$

TRIPLE EJE CON 60 t \cong 600 kN

En este caso se produce una superposición de cargas en la dirección longitudinal de la marcha (figura 3.5.4.1.d), además de la transversal.

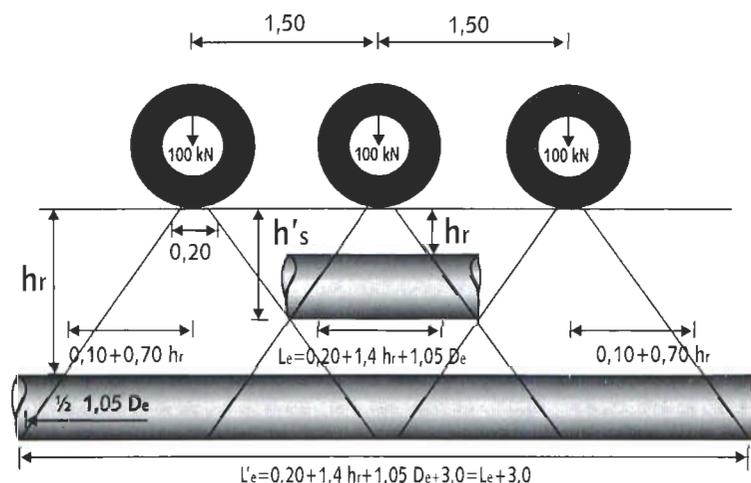


Figura 3.5.4.1.d

Esta superposición se verifica a partir de una profundidad h'_s tal que:

$$1,4h'_s = 1,50 - 0,2 = 1,30 \text{ m} \quad \text{es decir} \quad h'_s = \frac{1,30}{1,40} = 0,93 \text{ m}$$

Como en este caso $h_s = 1,00 \text{ m}$, al estar tan próximas ambas profundidades se toma como simplificación $h'_s = h_s = 1,00 \text{ m}$.

Según la profundidad h_r a que se encuentra la conducción, el valor de la longitud eficaz L_e a la que se extienden los 300 kN de las tres ruedas de un lado (figura 3.5.4.1.d), será

$$3L_e = 3(0,20 + 1,4h_r + 1,05D_c) \quad \text{o bien} \quad L'_e = 2(0,10 + 0,70h_r) + 1,05D_c + 3,0 = L_e + 3,0$$

Las cargas q_m se igualan cuando

$$\frac{300}{3L_e} = \frac{300}{L_e + 3,0} \quad \text{es decir} \quad 3L_e = L_e + 3,0 \Rightarrow L_e = \frac{3,0}{2} = 1,50 \text{ m}$$

Para $L_e < 1,50 \text{ m}$ resulta $3L_e < L_e + 3,0$, y se adopta como longitud eficaz $3L_e$ por ser lo más desfavorable.

Razonando de igual forma, tomaremos como longitud eficaz $L'_e = L_e + 3,0$ cuando $L_e \geq 1,5 \text{ m}$.

En el caso de que $D_c \geq t = 1,4 h_r + 0,6$, será

$$0,20 + 1,4h_r + 1,05(1,4h_r + 0,60) \leq L_e \leq 1,5 \text{ m} \quad \text{cuando} \quad h_r \leq 0,23 \text{ m}$$

No consideraremos profundidades tan pequeñas y, en consecuencia adoptaremos como longitud eficaz L'_e siempre que $D_c \geq t$.

La actuación conjunta de los tres ejes amortigua el efecto de cualquier irregularidad en el terreno, por lo que en este caso se toma $C_i = 1,0$ para cualquier profundidad.

Finalmente, los restantes valores coinciden con los dados para el eje simple de 130 kN, siendo $Q = 100 \text{ kN}$

Toda esta casuística se traduce en diferentes expresiones para el valor de q_m , las cuales se recogen en la tabla 3.5.4.1.

Formulario para el cálculo de la carga móvil q_m^* (kN/m) h_r = profundidad en m del plano de clave
 D_e = diámetro exterior de la conducción, en m

EJE SIMPLE DE 7 t = 70 kN			EJE SIMPLE DE 13 t = 130 kN			TRIPLE EJE CON 60 t = 600 kN					
$L_c = 0,20 + 1,4h_r + 1,05D_c$ $t = 1,4 h_r + 0,30$ $s = 1,4(h_r - 1,21)$ $v = D_c + 1,4h_r - 1,70$			$L_c = 0,20 + 1,4h_r + 1,05D_c$ $t = 1,4 h_r + 0,60$ $s = 1,4(h_r - 1,00)$			$L_c = 0,20 + 1,4h_r + 1,05D_c$ $t = 1,4 h_r + 0,60$ $s = 1,4(h_r - 1,00)$ $L'_c = L_c + 3,0$					
$D_c \leq 2,0m$	$h_r \leq 1,21 m$	$D_c \geq t$	$q_m = \frac{35}{L_c} C_i$	$D_c \leq 2,0m$	$h_r \leq 1,0 m$	$D_c \geq t$	$q_m = \frac{65}{L_c} C_i$	$D_c \leq 2,0m$	$h_r \leq 1,0 m$	$D_c \geq t$	$q_m = \frac{300}{L_c}$
		$D_c \leq t$	$q_m = \frac{35}{1 \cdot L'_c} D_c \cdot C_i$			$D_c \leq t$	$q_m = \frac{65}{1 \cdot L'_c} D_c \cdot C_i$			$D_c \leq t$	$q_m = \frac{100}{1 \cdot L'_c} D_c$
D_c cualquiera	$h_r \geq 1,21$	$D_c \geq s$	$q_m = \frac{35}{1 \cdot L'_c} (D_c + s)$	D_c cualquiera	$h_r \geq 1,0$	$D_c \geq s$	$q_m = \frac{65}{1 \cdot L'_c} (D_c + s)$	D_c cualquiera	$h_r \geq 1,0$	$D_c \geq s$	$q_m = \frac{300}{1 \cdot L'_c} D_c$
		$D_c \leq s$	$q_m = \frac{70}{1 \cdot L'_c} D_c$			$D_c \leq s$	$q_m = \frac{130}{1 \cdot L'_c} D_c$			$D_c \leq s$	$q_m = \frac{300}{t \cdot L'_c} (D_c + s)$
$D_c \geq 2,0m$	$h_r \leq 1,21$	$q_m = \frac{35}{1 \cdot L'_c} v \cdot C_i$		$D_c \geq 2,0m$	$h_r \leq 1,0$	$q_m = \frac{65}{1 \cdot L'_c} (D_c + s) \cdot C_i$		D_c cualquiera	$h_r \geq 1,0$	$D_c \leq s$	$q_m = \frac{600}{1 \cdot L'_c} D_c$
										$D_c \geq 2,0m$	$h_r \leq 1,0$

h_r	$\leq 0,30$	$\leq 0,60$	$\leq 0,90$	$\geq 0,90$
$C_i =$	1,3	1,2	1,1	1,0

Tabla 3.5.4.1

Ejemplo

Una conducción formada por tubos de $D=600$ mm y 2,40 m de longitud tiene su plano de clave 1,50 m por debajo de la superficie ($h_r=1,50$ m; $D_e=0,75$ m). Se desea saber la carga q_m que producirá sobre dicha conducción un triple eje con 600 kN.

Acudiendo a la tabla X, se obtiene $q_m = 26,47$ kN/m

y realizando el cálculo obtenemos (véase "Formulario para el cálculo de la carga móvil q_m ").

$$L_c = 0,20 + 1,4 \cdot 1,5 + 1,05 \cdot 0,75 = 3,088m \quad t = 1,4 \cdot 1,5 + 0,6 = 2,7m$$

$$s = 1,4(1,5 - 1,00) = 0,700m \quad L'_c = 3,088 + 3,0 = 6,088$$

$$h_r > 1,0m \quad , \quad D_c > s$$

$$q_m = \frac{300}{2,7 \cdot 6,088} (0,75 + 0,70) = 26,47 \frac{kN}{m}$$

Tabla X

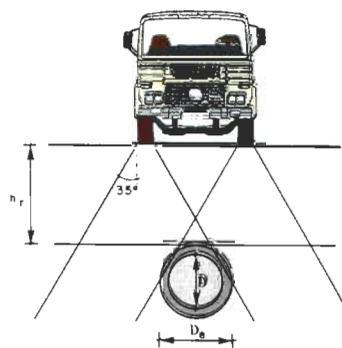
Sobre carga móvil

Carga sobre la conducción q_m t/m

D , D_e y h_r en m

Para $h_r > 4,0$ m puede tomarse $q_m = 0$

El valor de q_m dado por la tabla corresponde a instalación en terraplén y puede adoptarse para otros tipos de instalación.



TIPO DE CARGA	D_e	$D = 0,15$	$0,20$	$0,25$	$0,30$	$0,40$	$0,50$	$0,60$	$0,80$	$1,00$	$1,20$	$1,50$	$1,80$	$2,00$	$2,50$	D_e	
		h_r	$0,21$	$0,26$	$0,33$	$0,38$	$0,51$	$0,63$	$0,75$	$0,99$	$1,22$	$1,45$	$1,80$	$2,16$	$2,40$		$2,86$
EJE SIMPLE DE 7 t	0,30	1,599	1,867	2,195	2,401	2,852	3,185	3,233	2,742	2,393	2,124	1,813	1,926	2,254	2,756	0,30	
	0,60	0,619	0,737	0,887	0,986	1,212	1,390	1,544	1,797	1,810	1,639	1,433	1,448	1,594	1,823	0,60	
	1,00	0,239	0,288	0,352	0,395	0,498	0,582	0,657	0,787	0,891	0,979	1,003	0,990	1,049	1,145	1,00	
	1,25	0,209	0,243	0,287	0,317	0,389	0,448	0,503	0,597	0,674	0,740	0,825	0,897	0,938	1,005	1,25	
	1,50	0,243	0,295	0,364	0,411	0,471	0,510	0,546	0,610	0,662	0,708	0,768	0,819	0,849	0,898	1,50	
	1,75	0,186	0,226	0,280	0,317	0,408	0,484	0,555	0,602	0,640	0,673	0,717	0,755	0,777	0,814	1,75	
	2,00	0,147	0,179	0,223	0,252	0,326	0,389	0,447	0,553	0,613	0,638	0,671	0,700	0,717	0,746	2,00	
	2,50	0,099	0,121	0,150	0,171	0,222	0,266	0,308	0,385	0,451	0,511	0,593	0,612	0,623	0,641	2,50	
	3,00	0,071	0,087	0,108	0,123	0,161	0,194	0,225	0,283	0,334	0,381	0,445	0,504	0,539	0,564	3,00	
	3,50	0,053	0,065	0,082	0,093	0,122	0,147	0,171	0,217	0,257	0,295	0,347	0,395	0,424	0,475	3,50	
4,00	0,041	0,051	0,064	0,073	0,096	0,116	0,135	0,173	0,204	0,235	0,278	0,318	0,342	0,385	4,00		
EJE SIMPLE DE 13 t	0,30	2,070	2,412	2,829	3,089	3,656	4,073	4,414	4,942	4,445	3,944	3,367	3,385	3,746	4,299	0,30	
	0,60	0,902	1,073	1,289	1,430	1,753	2,006	2,223	2,579	2,847	3,044	2,662	2,620	2,800	3,081	0,60	
	1,00	0,375	0,451	0,551	0,618	0,776	0,905	1,021	1,219	1,376	1,509	1,676	1,815	1,893	2,019	1,00	
	1,25	0,535	0,647	0,795	0,860	0,957	1,038	1,111	1,240	1,344	1,434	1,549	1,646	1,702	1,793	1,25	
	1,50	0,401	0,487	0,600	0,678	0,866	1,024	1,131	1,218	1,291	1,354	1,436	1,507	1,548	1,616	1,500	
	1,75	0,312	0,379	0,469	0,531	0,682	0,811	0,930	1,144	1,231	1,277	1,338	1,391	1,422	1,474	1,75	
	2,00	0,249	0,304	0,372	0,427	0,552	0,658	0,757	0,937	1,090	1,205	1,251	1,292	1,316	1,357	2,00	
	2,50	0,170	0,207	0,259	0,294	0,382	0,458	0,530	0,662	0,777	0,880	1,021	1,132	1,147	1,173	2,50	
	3,00	0,123	0,151	0,188	0,214	0,280	0,337	0,392	0,493	0,582	0,663	0,775	0,877	0,939	1,035	3,00	
	4,00	0,073	0,090	0,113	0,129	0,169	0,204	0,239	0,304	0,361	0,415	0,491	0,561	0,605	0,681	4,00	
TRIPLE EJE CON 60 t	0,30	2,498	2,854	3,347	3,656	4,327	4,820	5,224	6,249	6,121	5,834	5,445	5,894	6,802	8,349	0,30	
	0,60	1,157	1,375	1,663	1,834	2,322	2,792	3,237	4,060	4,777	5,393	5,059	5,284	5,843	6,803	0,60	
	1,00	0,653	0,800	1,001	1,140	1,490	1,796	2,088	2,633	3,112	3,552	4,160	4,718	5,056	5,643	1,00	
	1,25	1,037	1,271	1,591	1,742	2,001	2,329	2,448	2,856	3,217	3,550	4,013	4,439	4,700	5,153	1,25	
	1,50	0,845	1,037	1,299	1,482	1,942	2,348	2,647	2,962	3,242	3,501	3,863	4,199	4,405	4,764	1,50	
	1,75	0,704	0,864	1,083	1,236	1,622	1,964	2,292	2,911	3,221	3,428	3,718	3,988	4,154	4,445	1,75	
	2,00	0,596	0,731	0,918	1,048	1,377	1,669	1,950	2,482	2,957	3,243	3,579	3,799	3,935	4,175	2,00	
	2,50	0,444	0,546	0,685	0,783	1,031	1,252	1,466	1,872	2,237	2,581	3,067	3,476	3,571	3,740	2,50	
	3,00	0,344	0,424	0,532	0,609	0,803	0,977	1,145	1,466	1,757	2,031	2,422	2,793	3,024	3,400	3,00	
	4,00	0,225	0,277	0,349	0,400	0,529	0,644	0,757	0,974	1,171	1,359	1,629	1,889	2,052	2,345	4,00	
TIPO DE CARGA	h_r	D_e	0,21	0,26	0,33	0,38	0,51	0,63	0,75	0,99	1,22	1,45	1,80	2,16	2,40	2,86	h_r

3.5.4.2 Cargas producidas por el tráfico ferroviario

VIA RENFE

El tren de cargas considerado es el tipo A de la instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de Ferrocarril.

Se considera la distribución siguiente:

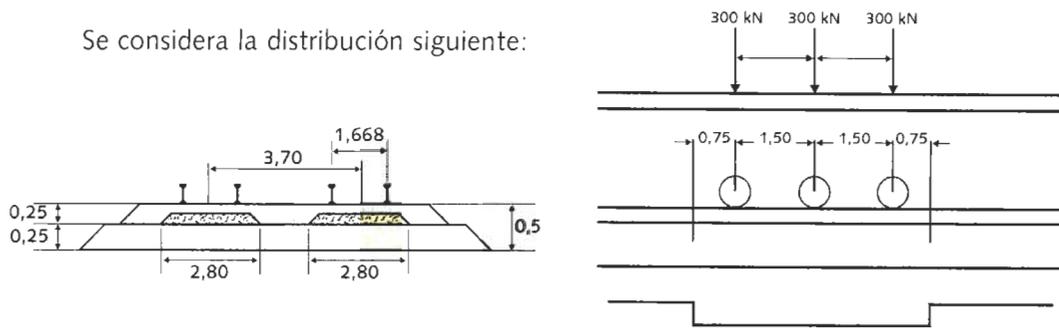


Figura 3.5.4.2.a

Con esta distribución la carga unitaria producida en la base del balasto resulta:

$$\frac{900}{4,50 \cdot 2,80} = 71 \text{ kN / m}^2$$

A esta carga habrá que aplicarle el coeficiente de impacto función de la velocidad y que se calcula con la expresión:

$$C_i = 1 + \frac{0,33 \cdot v}{100}$$

con v expresado en km/h, con un valor máximo de 200km/h.

La expresión dada es válida para el cálculo de piezas con hueco de vano $\leq 6\text{m}$.

Para profundidades mayores de 0,50 m se considerará un reparto a 35°, debiendo tener en cuenta la superposición de presiones debidas a la presencia de varias vías.

Se recomienda que el recubrimiento mínimo de tierras por encima de la generatriz superior del tubo, $h_r = D_e$ con h_r no menor de 1,5m.



VÍA UIC

El tren de cargas considerado es el de la UIC 71 cuya configuración es la del esquema siguiente:

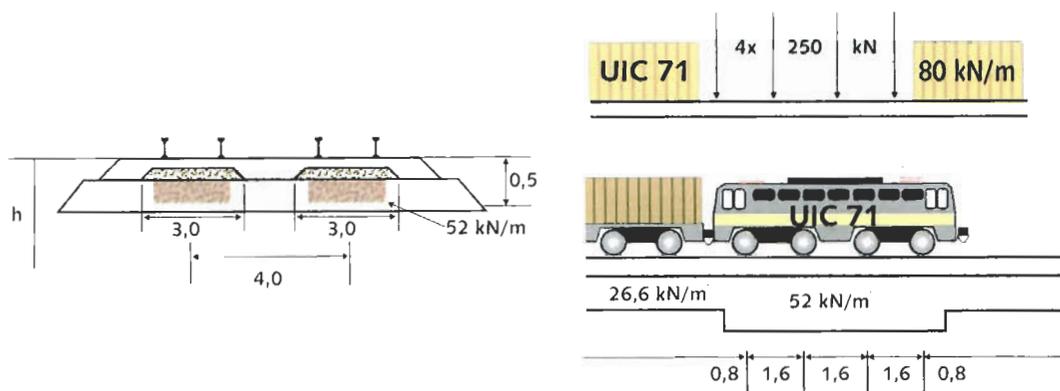


Figura 3.5.4.2.b

Con esta distribución, la carga unitaria repartida a 0,50 m (base habitual del balasto) es:

$$\frac{1000}{6,40 \cdot 3} = 52 \text{ kN / m}^2$$

El coeficiente de impacto a aplicar es:

$$C_i = 1,4 - 0,1(h_f - 0,5)$$

que será siempre ≥ 1 .

Para profundidades mayores de 0,50 metros se considerará un reparto a 35°, debiendo tener en cuenta la superposición de presiones debidas a la presencia de varias vías.

3.5.4.3. Cargas producidas por el tráfico aéreo

Los tubos situados bajo las pistas de rodaje, de aproximación y despegue y de estacionamiento de aviones del aeropuerto están sometidas a las cargas de los aviones.

La presión sobre el suelo que está por debajo de las ruedas de los aviones puede ser determinada usando los mismos modelos que para las cargas del tráfico rodado.

A profundidades no inferiores a 1,0 m, la presión determinada incluye el coeficiente de impacto si la carga de 150 kN/m² ($\cong 15 \text{ t/m}^2$) se aplica en la superficie y no se considera el efecto de reparto de las cargas producido por el pavimento.

Valores de la presión vertical a distintas profundidades:

h_r (m)	q_α (kN/m ²)				
	Aviones estándares				
	900 kN (DC9)	1800 kN (DC8)	3500 kN (Jumbo)	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
2,0	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	4,9	4,9	4,9	9,8	14,7

Para valores intermedios se interpola

Tabla 3.5.4.3

3.5.5. Otras cargas

3.5.5.1. Cargas puntuales

La acción que se produce debido a una carga puntual q_p cuyo eje de aplicación se sitúa a una distancia mínima d del eje del tubo se evalúa según la teoría de Boussinesq:

donde
$$\cos \alpha = \frac{h_r}{(h_r^2 + d^2)^{1/2}}$$

$$q = \frac{3D_e q_p \cdot \cos^5 \alpha}{2h_r^2}$$

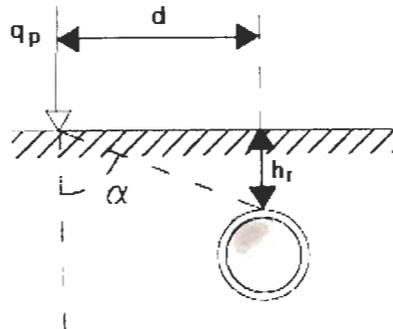


Figura 3.5.5.1

3.5.5.2 Cargas uniformemente distribuidas en superficie

Para instalación en zanja, la repercusión de la acción de una carga uniformemente distribuida en superficie será:

$$q = q_s e^{-2\lambda \mu' h_r / b}$$

donde q_s es la carga por metro de longitud y el resto de parámetros los ya definidos en formulaciones anteriores.

Para terraplenes y zanjas terraplenadas, la acción de estas cargas distribuidas se podrá asimilar a un sobreespesor de relleno de valor equivalente.

3.5.5.3 Cargas de compactación

Según la norma UNE 127.010, las cargas de compactación se evalúan teniendo en cuenta el tipo de compactador, la profundidad y el tipo y estado del relleno. En las zonas con recubrimientos inferiores a 1 metro se deben extremar las medidas de precaución tanto para la elección del compactador como para la ejecución de la compactación.

Las cargas debidas a compactadores se evalúan como sigue:

$$q_c = C_Q \cdot D_e$$

donde q_c : carga sobre el tubo (kN/m)

D_e : diámetro exterior del tubo (m)

C_Q : carga sobre la clave del tubo (kN/m²)

C_Q se obtiene por la expresión:

$$\text{para carga estática, } C_Q = \frac{2P}{\pi h_r}$$

$$\text{para carga dinámica, para } 0,3 \leq h_r \leq 2 \text{ m} \quad C_Q = \frac{12P}{\pi h_r}$$

$$2 < h_r \leq 3 \text{ m} \quad C_Q = \frac{10P}{\pi h_r}$$

$$h_r > 3 \text{ m} \quad C_Q = \frac{8P}{\pi h_r}$$

P = carga del compactador por metro de ancho de rodillo (kN/m)

En el proceso de compactación, en especial en el caso de terraplén, se deben tomar las adecuadas precauciones para impedir que los tubos queden sometidos a cargas superiores a las de proyecto por un inadecuado proceso de compactación, que habrá de realizarse tomando en consideración la posición de la tubería y el grado de ejecución y de compactación de la zanja en la que aquella se ubica.

3.5.6 Factores de apoyo.

Factor de apoyo es el coeficiente por el que habrá de multiplicar la carga obtenida en el ensayo de tres aristas para obtener la que le correspondería a la tubería, en unas condiciones de instalación dadas.

La norma UNE 127.010 recomienda, a efectos de cálculo, utilizar los valores del factor de apoyo (F_a) indicados a continuación.

3.5.6.1 Factores de apoyo en zanja y zanja terraplenada

a) Apoyo en hormigón en masa

La resistencia característica del hormigón de apoyo (f_{ck}), debe ser superior a 15 N/ mm².

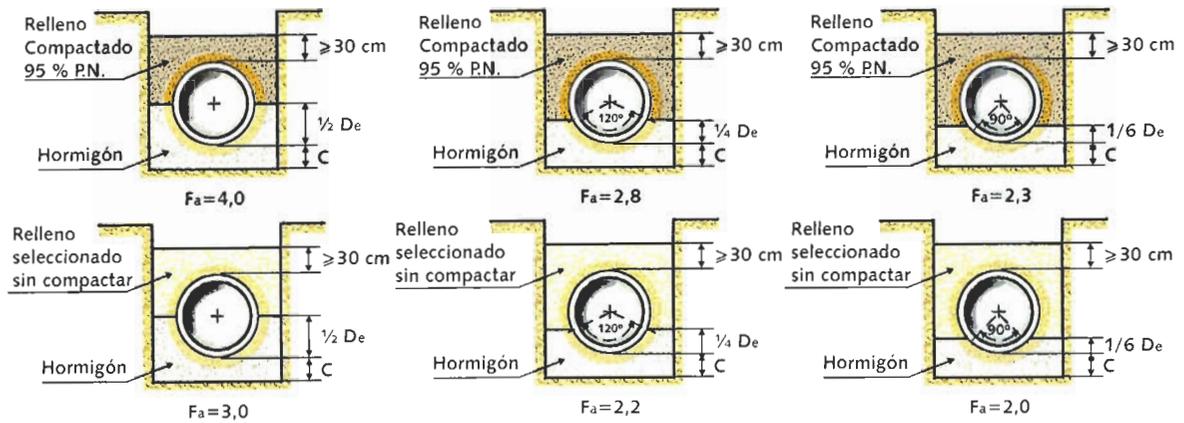


Figura 3.5.6.1.a

b) Apoyo granular

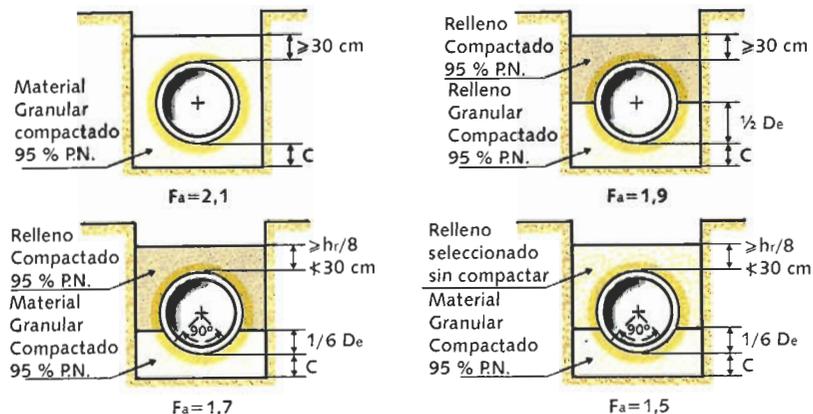


Figura 3.5.6.1.b

Los valores del parámetro c, en los gráficos anteriores son los siguientes:

VALORES DE c (cm)			
D (m)			
Terreno	< 0,7	0,7 a 1,5	> 1,5
Suelo	8	10	15
Roca	15	23	30

Tabla 3.5.6.1

c) Apoyo directo

La norma UNE 127.010 no recomienda este tipo de apoyo, aunque lo tipifica.

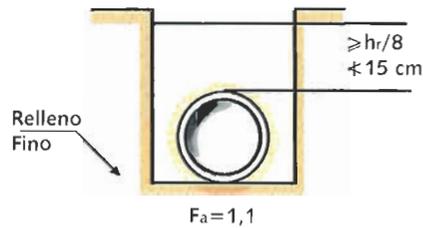


Figura 3.5.6.1.c

3.5.6.2 Factores de apoyo en terraplén y en zanja inducida en terraplén

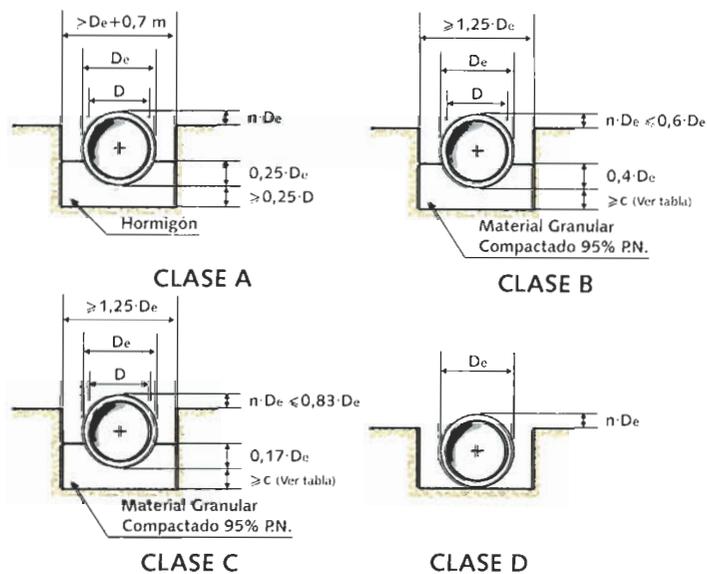


Figura 3.5.6.2.a

En los casos en que la razón de proyección es positiva, puede tomarse en consideración el empuje activo del relleno sobre una parte de la tubería, lo que conduce a valores del factor de apoyo mayores, a igualdad de las restantes condiciones, que en los casos de proyección negativa.

El valor del factor de apoyo sigue dependiendo del tipo de apoyo, pero ahora queda condicionado, además, por la superficie sobre la que actúa el empuje de las tierras del terraplén. No existe por tanto un único valor para cada tipo de apoyo, como ocurre en el caso de proyección negativa.

La resultante de las presiones laterales que actúan a cada lado de la conducción, es (para tubo circular)

$$\frac{\lambda \gamma_r (2h_r + \eta D_c)}{2} \eta D_c$$

que dividida por la carga vertical q_v da la razón θ de la carga horizontal a la vertical

$$\Theta = \frac{\lambda \eta}{C_v} \left(1 + \frac{\eta D_c}{2 h_r} \right)$$

El factor de apoyo F_a se obtiene mediante la fórmula

$$F_a = \frac{\alpha}{n - v\Theta}$$

en que "a" es una constante que depende de la forma de la directriz del tubo (para tubo circular $a=1,431$), y "n" es un parámetro que tiene en cuenta el tipo de apoyo. Sus valores en el caso de tubo circular se dan en el siguiente cuadro

CLASE DE APOYO	A	B	C	D
n=	0,505	0,707	0,840	0,310

Tabla 3.5.6.2.a

"v" es un parámetro que depende del área sobre la que se aplica la carga horizontal, por tanto de la razón de proyección η ; para tubo circular, sus valores se recogen en el siguiente cuadro

CLASE DE APOYO $\eta =$	A $v =$	B, C y D $v =$
0,0	0,150	0,000
0,3	0,743	0,217
0,5	0,856	0,423
0,7	0,811	0,594
0,9	0,678	0,655
1,0	0,638	0,638

Tabla 3.5.6.2.b

En el caso de zanja inducida en terraplén, lo único que varía es el valor de θ , que resulta mayor al reducirse la carga vertical que llega a la conducción.

Con estos criterios se han confeccionado gráficos que permiten obtener fácilmente los valores del factor de apoyo, tanto para conducción instalada en terraplén, como en el caso de zanja inducida en terraplén.

GRÁFICOS PARA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE APOYO F_a EN TERRAPLÉN.

Para la determinación del factor de apoyo de una conducción instalada en terraplén, es necesario conocer: la clase de apoyo, la relación h_r/D_e , la razón de proyección η y la razón de asentamiento δ .

Este último parámetro δ es difícil de establecer con precisión, por lo que se ha preferido dibujar gráficos que den valores de F_a válidos en la práctica para un intervalo $0,5 \leq \delta \leq 1,0$ que es el usual en el caso de tubos rígidos. Para $\delta < 0,5$ los valores de F_a obtenidos de los gráficos son menores que los reales, con lo que su adopción sitúa del lado de la seguridad.

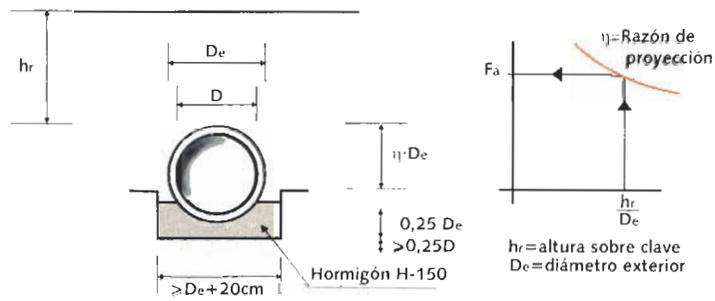
Resultan así únicamente tres gráficos, uno por cada clase, excluida la D por no ser aconsejable. Su utilización se aclara en la cabecera del gráfico.



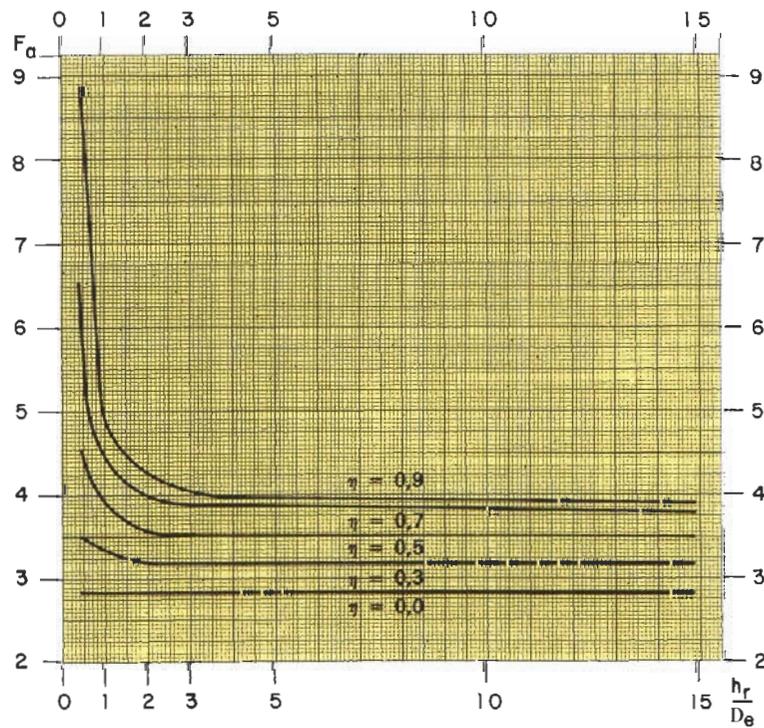
Factor de Apoyo F_a
Instalación en Terraplén

$0,5 \leq \delta \leq 1,0$

δ = razón de asentamiento



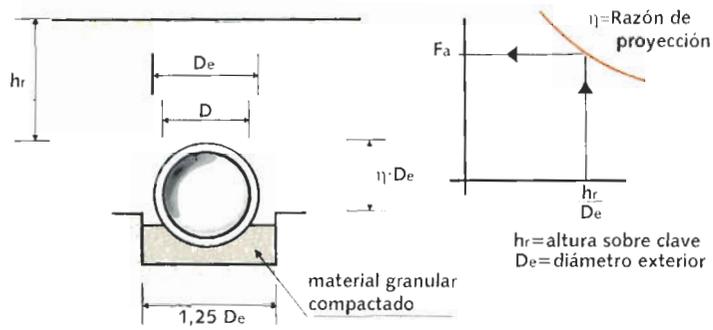
Apoyo: CLASE A



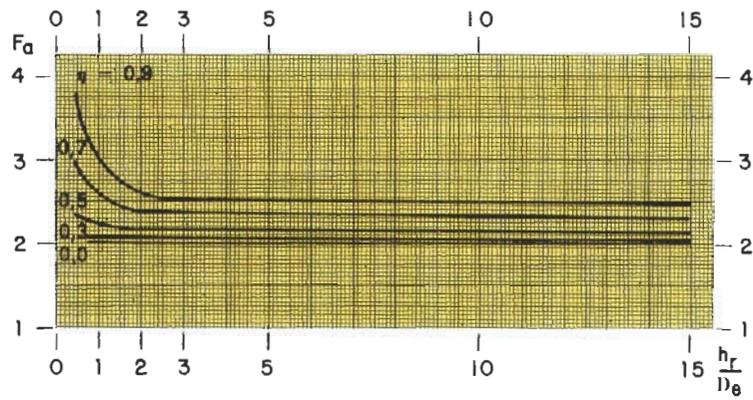
Factor de Apoyo F_a
Instalación en Terraplén

$0,5 \leq \delta \leq 1,0$

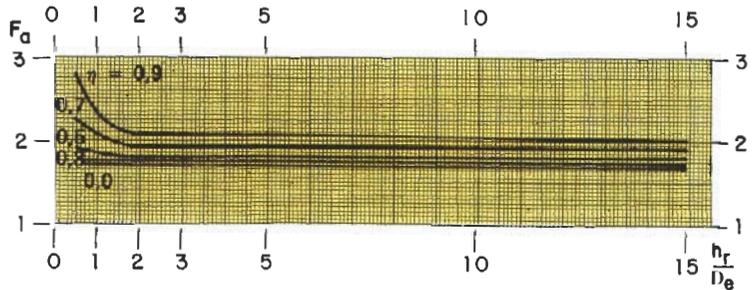
δ = razón de asentamiento



Apoyo: CLASE B



Apoyo: CLASE C



GRÁFICOS PARA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE APOYO F_a CON ZANJA INDUCIDA EN TERRAPLÉN CUYA ANCHURA COINCIDE CON EL DIÁMETRO EXTERIOR D_e

Al tratarse de un instalación en terraplén, con proyección positiva, los valores del factor de apoyo F_a se determinan como se ha dicho en 3.5.2.2 sin mas que tener en cuenta la reducción de q_r conseguida mediante la zanja inducida, por lo que θ resulta mayor en este caso.

La razón de asentamiento δ' , obtenida como se dice en 3.5.3.4, resulta mayor cuanto mayor es el asiento s_2 del material que rellena la zanja inducida, es decir cuanto más compresible sea éste.

A mayor valor de δ' , resulta mas efectiva la zanja inducida y menor la carga vertical q_r sobre la conducción, con lo que θ se hace mayor y también F_a .

Con estos criterios se han dibujado los gráficos que dan el factor de apoyo F_a en el caso de que la anchura b de la zanja inducida en el terraplén sobre la conducción coincida con el diámetro exterior de D_e ésta. No se ha considerado el caso $b > D_e$ por ser menos efectivo.

Como valor prudente se ha adoptado $\delta' = 0,3$, los valores de F_a dados por los gráficos se encuentran del lado de la seguridad, tanto más cuanto mayor es h_r/D_e .

El "Concrete Pipe Design Manual" de la ACPA contiene tablas que dan el valor de F_a para $0,1 \leq \delta' \leq 2,0$.

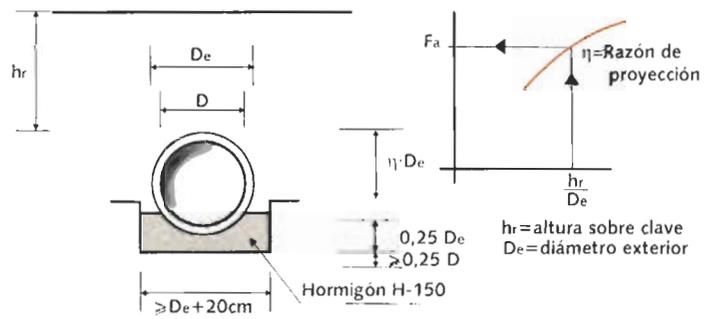
La escala h_r/D_e se desplaza hacia arriba respecto a los anteriores gráficos, puesto que la zanja inducida se utiliza habitualmente cuando existen importantes alturas h_r de relleno. Teniendo en cuenta que la altura de la zanja inducida debe ser, al menos, igual a D_e , se comienza por $h_r/D_e = 2,0$.



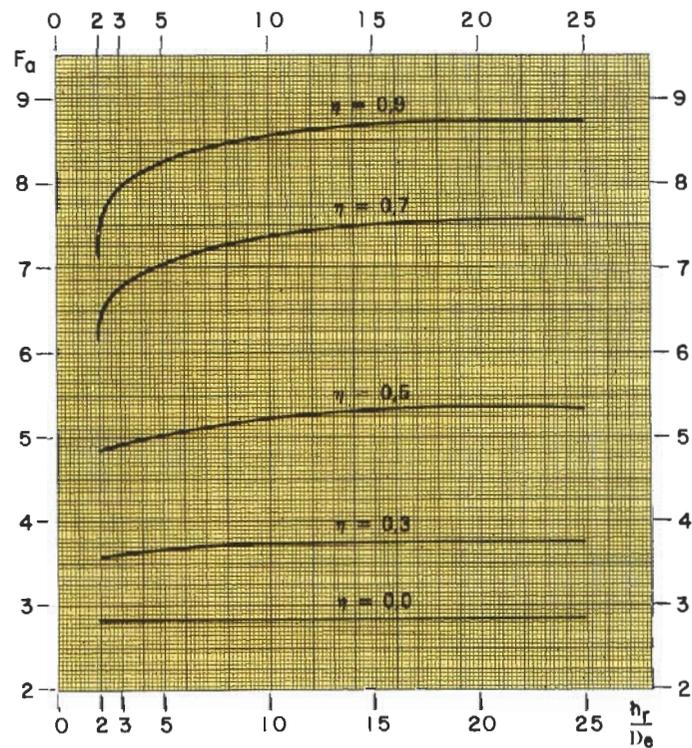
Factor de Apoyo F_a
Zanja inducida en Terraplén

$\delta' = 0,3$

δ = razón de asentamiento



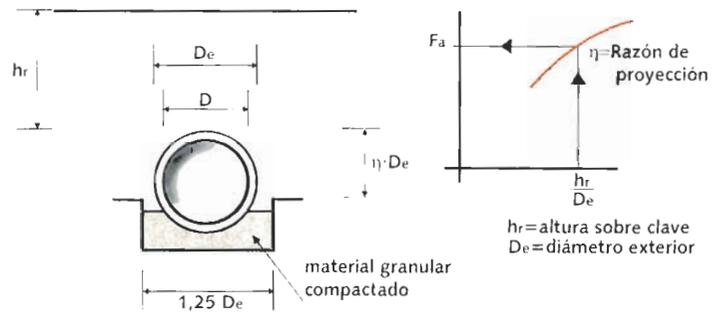
Apoyo: CLASE A



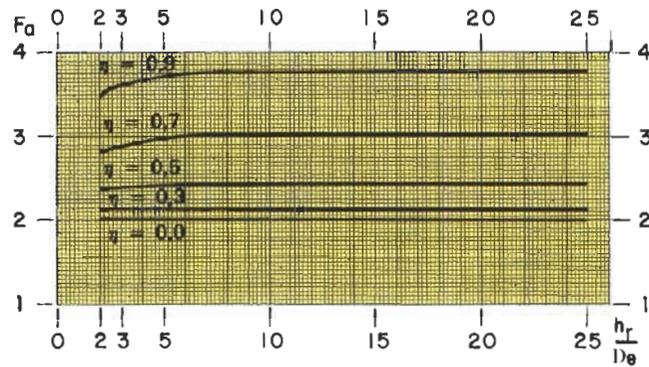
Factor de Apoyo F_a
Zanja inducida en Terraplén

$\delta = 0,3$

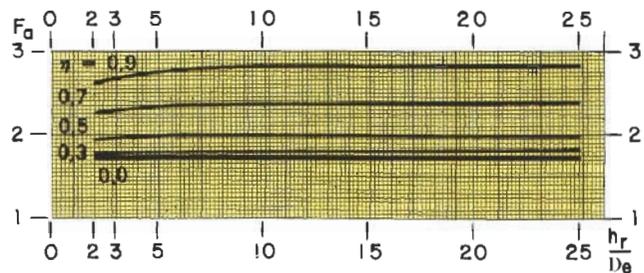
δ = razón de asentamiento



Apoyo: CLASE B



Apoyo: CLASE C



3.5.7 Determinación de la clase exigible al tubo

3.5.7.1 Obtención de la carga de cálculo

La carga de cálculo se obtendrá de la siguiente expresión:

$$\text{Carga de Cálculo (kN/m}^2\text{)} = q_{\text{total}} \gamma_{\text{seg}} / (F_a D)$$

donde q_{total} es la suma de la carga del relleno, la carga móvil y cualquier otra carga actuante sobre el tubo, expresada en kN/ m.

γ_{seg} =coeficiente de seguridad que normalmente se toma o igual a 1,5 a rotura y 1 a fisuración.

3.5.7.2 Clase exigible

La clase exigible al tubo será la que soporta una carga mayor o igual a la obtenida en el apartado anterior.

Si se ha seguido el criterio de carga de fisuración, habrá que compararla con una carga de fisuración mínima que exige la norma.

En el caso de seguir el criterio de rotura habrá que compararla con la carga de rotura..

Esa comparación nos define pues la clase resistente.

La UNE 127.010 define las clases N y R para tubos de hormigón en masa y las clases 60, 90, 135 y 180 como valores a rotura para tubos de hormigón armado. La norma ASTM C76M define 5 clases (I a V) con 40, 50, 65, 100 y 140 como valores a fisuración para tubos de hormigón armado.

3.5.8 Soluciones especiales para grandes cargas

En los casos especiales en los que hayan de soportarse cargas excepcionalmente altas han de adoptarse soluciones específicas al caso, tales como:

- Cuidado especial del proceso de compactación.
- Colocación de cojines de apoyo del tubo (por ejemplo, porexpan, tierra vegetal,...).
- Hormigonado completo alrededor del tubo.
- Construcción de soleras armadas.
- Cimentando sobre pilotes losas armadas colocadas a suficiente distancia sobre el tubo.
- Otras soluciones especiales particulares al caso.

3.6 Criterios de dimensionamiento resistente

3.6.1 Carga de rotura

La norma UNE 127.010 define carga de rotura, F_u , la que produce el colapso del tubo y se obtiene en el momento en que no se produce incremento de carga en el ensayo de aplastamiento. Así, un tubo de hormigón armado deberá soportar una carga de rotura superior a la carga de rotura mínima, según su dimensión y clase resistente.

3.6.2 Carga de fisuración

La norma UNE 127.010 entiende por carga de fisuración la que produce una fisura de apertura 0,3 mm en una longitud superior a 300 mm.

Así, todo tubo de hormigón armado deberá soportar una carga de fisuración que no puede ser inferior a $0,67 F_n$, según su dimensión y clase resistente, siendo F_n la carga de rotura mínima de ensayo medida en kN/m.

3.6.3 Armaduras

Para el cálculo de la cuantía de las armaduras de refuerzo de los tubos de hormigón se seguirá lo establecido en la reglamentación vigente, es decir, en la "Instrucción de Hormigón Estructural. EHE".

El cuadro de características de los distintos tipos de aceros que pueden emplearse son:

DESIGNACIÓN	CLASE ACERO	LÍMITE ELÁSTICO f_y (Mpa)	CARGA ROTURA f_s (Mpa)	ALARG. 5d (%)	RELACIÓN (f_g/f_y)
B-400S	SOLDABLE	400	440	14	1,05
B-500S	SOLDABLE	500	550	12	1,05
B-400SD	SOLDABLE	400	480	20	1,20
B-500T	SOLDABLE	500	550	8	1,03

Tabla 3.6.3 Características de los aceros

Las características de ductilidad de los aceros vienen dadas por los alargamientos bajo carga máxima (en su defecto, por los alargamientos A5d y por la relación f_s/f_y). Cuanto mayores sean estos valores, mayor es la ductilidad del acero.

Al igual que en el caso de los cementos, se recomienda que el acero empleado esté en posesión de la marca ARCER-AENOR de producto, que garantiza la calidad del producto y su adecuación a las necesidades previstas.

En cuanto al diseño de las armaduras, el más frecuente es el circular o el que sigue la forma del ovoide, en caso de ser éste el tipo de sección. También pueden utilizarse otro tipo de armaduras como elípticas o de otras formas geométricas, aunque se exige que siempre se señale la posición de la armadura o la de montaje del tubo.

Respecto al dimensionamiento longitudinal de las armaduras de los tubos, no existen criterios de cálculo, por ser la flexión longitudinal despreciable en condiciones normales. Por ello, esta armadura se dispone de acuerdo con criterios constructivos, ya que su principal fin es servir de soporte a las espiras para impedir la deformación de estas.

Las armaduras longitudinales deben ir soldadas con las transversales para mantener la forma y la separación deseadas entre redondos, siendo la separación máxima de la armadura transversal dependiente de la maquinaria empleada en la fabricación de la armadura correspondiente.

3.6.4 Recubrimientos

Los recubrimientos mínimos de hormigón deberán cumplir con lo que se establece en la norma UNE 127 010. La distancia desde la 1ª espira transversal hasta el extremo del tubo se contempla de diferente forma en ambas normas:

	DISTANCIA MÍNIMA		DISTANCIA MÁXIMA
	ENCHUFE	CAMPANA	
ASTM C-76M	● 6 mm	● 13 mm	● 75 mm \geq ● 1,5 espesor pared del tubo
UNE 127.010	● El armado será el necesario para obtener las cargas de rotura definidas en 3.5.7		● 76 mm

Tabla 3.6.4.b

3.6.5 Resistencia al fuego

Las redes de saneamiento, alcantarillas y otros sistemas de transporte por tubería están sujetos al riesgo de que un material combustible, como la gasolina y demás derivados del petróleo y basura industrial, se introduzca en la tubería de manera sistemática o por error. Las explosiones y fuegos en redes de tuberías en áreas urbanas no son inusuales. Miles de accidentes de tráfico, a nivel mundial, producen anualmente escapes de gasolina.

Existen numerosos establecimientos en los que se utilizan materiales altamente inflamables, como gasolineras, plantas de producción y distribución de fuel, plantas y redes de distribución de gas natural, y cantidad de industrias y domicilios particulares.

El hormigón puede resistir altas temperaturas; así, gran cantidad de fuegos ocurridos en redes de saneamiento de hormigón no han producido el menor daño en la red; es más, redes de tuberías construidas con este material han soportado explosiones con las que otras redes fabricadas con material diferente han quedado muy deterioradas estructuralmente, y han tenido que volver a ser fabricadas, esta vez con hormigón.

La resistencia al fuego del hormigón depende de la que intrínsecamente corresponde a sus principales materiales componentes: áridos y cemento. Será tanto mayor cuanto mayores sean las de éstos, así como la de la interfase o zona de adherencia entre ambos. Se deben utilizar áridos

resistentes a la descomposición térmica a altas temperaturas (silíceos mejor que calizos) y cementos que den hormigones asimismo térmicamente resistentes (con adiciones del tipo de las escorias de alto horno o de las cenizas volantes, que ya han experimentado procesos térmicos previos).

Considerando sólo la resistencia al fuego, una buena combinación es la formada por áridos silíceos y cemento con escorias de alto horno y cenizas volantes.

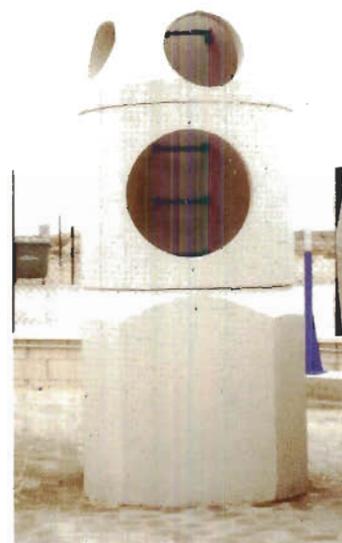
3.7 Piezas especiales

Son piezas especiales aquellas que, si bien por su forma y uso tienen una consideración diferenciada del resto de la tubería, tienen por objeto dar continuidad al sistema de saneamiento.

En algunos casos precisan un estudio particular, ya que debido a su forma y función tienen solicitaciones distintas a las que soporta un tramo cualquiera de tubería.

Entre las piezas estandarizadas cabe citar:

- Pozos de registro y elementos complementarios.
- Reducciones.
- Derivaciones o entronques.
- Tubos cortados a inglete.
- Codos.
- Curvas poligonales.
- Tubos para recibir acometidas directas.
- Sumideros.
- Acometidas.
- Cámaras de descarga.
- Aliviaderos de crecida.
- Anclajes.



Los pozos de registro son objeto de estudio específico independiente.

En las tuberías de hormigón armado, los cambios de alineación de la traza de la tubería se consiguen mediante el corte al bias y posterior unión de tubos, salvo las variaciones muy pequeñas, que pueden conseguirse con la deflexión de las juntas.

Los entronques, en general, se producen coincidiendo con los pozos de registro.

3.7.1 Pozos de registro y elementos complementarios

Los pozos prefabricados de hormigón permiten un considerable ahorro en mano de obra respecto a los pozos construidos "in situ" fábrica de ladrillo o cualquier otro material. También permiten un rápido montaje por lo que son requeridos al presentar una construcción integrada de la conducción y pronto tapado de la misma.

Se dispondrán pozos de registro que permitan el acceso para inspección y limpieza.

- En los cambios de alineación y de pendiente de la tubería.
- En las uniones de los colectores o ramales.
- En los tramos rectos de tubería en general a una distancia máxima de 50 m. Esta distancia máxima puede ser de hasta 75 m en función de los métodos de limpieza previstos.



a) Tipología de los pozos de registro

Un pozo de registro prefabricado de hormigón se compone de la combinación de diferentes elementos o módulos unidos entre sí por superposición, e intercalando juntas elásticas que confieran a estas uniones estanquidad suficiente.

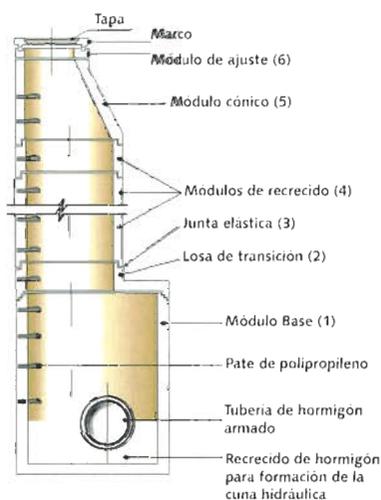


Figura 3.7.1.a Pozo tipo

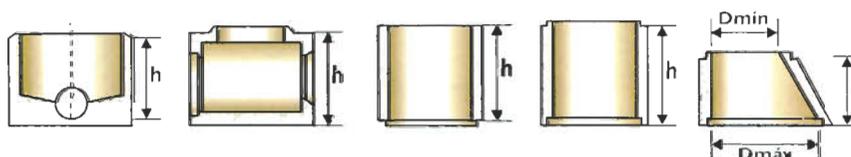


Figura 3.7.1.b Alturas útiles y diámetros nominales de los módulos

El **módulo base** (1) es la parte inferior del pozo de registro. Incluye la solera y un alzado circular de altura suficiente para permitir el entronque de los tubos incidentes.



El módulo base puede ser suministrado con los orificios necesarios para el entronque de los tubos mediante junta elástica, o bien podrá ser suministrado con unos tubos cortos incorporados.

En el caso de ser suministrados con orificios aptos para juntas elásticas, éstos pueden realizarse en la fase de moldeo o posteriormente mediante taladro.



Los módulos base también pueden ser del tipo **pozo chimenea**. Estos pozos chimenea pueden utilizarse para la conexión de tubos de hormigón armado para diámetros nominales mayores de 800 mm. Estos pozos son complementarios a la red de saneamiento de gran interés debido a que reúnen las siguientes ventajas.

- Facilitan enormemente la colocación al montarse de la misma forma que un tubo, de manera que la conexión con la tubería que llega hasta el pozo se realiza mediante uniones de tipo tubo-tubo en lugar de uniones de tipo pozo-tubo.
- Se hace innecesario ensanchar las zanjas en las trazas al ser el diámetro del pozo igual al del colector.
- Permiten el acceso, paso de hombre, para operaciones de inspección y limpieza.
- Son visitables al ser su diámetro nominal o igual a 800 mm.
- Incorporan orificios para pates de bajada o los pates ya instalados.
- El recrecimiento del pozo se realiza con anillos y conos estancos.
- En áreas urbanas la instalación de este tipo de pozos no demora el relleno de las zanjas y permite una rápida entrada en servicio de la conducción.

Es posible que el módulo base se suministre con las cunas hidráulicas incorporadas. Si es éste el caso, la pendiente superior de las mismas hacia la acanaladura debe ser como mínimo del 5%, y de acuerdo a lo estipulado en los documentos de fabricación.

La altura de las cunas desde el fondo de la acanaladura será:

- Tipo A. El menor valor del diámetro nominal del tubo de salida ó 400 mm.
- Tipo B. La mitad del diámetro nominal del tubo de mayor diámetro que incida en el pozo.

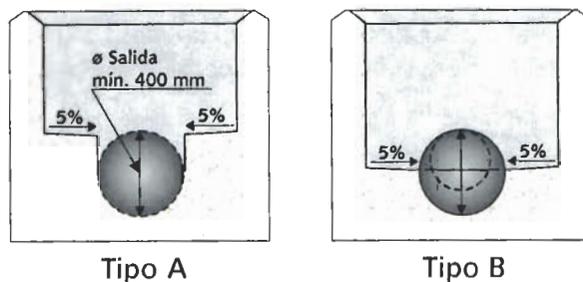


Figura 3.7.1.c

La **losa de cierre o de transición** (2) es el elemento plano circular que incluye un orificio circular excéntrico.

Estos elementos permiten:

- El cierre superior de un pozo, en sustitución del elemento cónico, en cuyo caso el orificio de la losa es el correspondiente a la boca de acceso.
- La transición entre elementos de alzado de diferente diámetro, en cuyo caso el orificio de la losa corresponde al diámetro del módulo superior.

Las **juntas** (3) que intervienen en un pozo de registro son:

- Aros elásticos que se intercalan entre los diferentes módulos de un pozo.
- Aros elásticos que sirven para la unión elástica y estanca entre los tubos y el pozo de registro.

Para pozos de diámetro ≥ 1.000 se dispondrán elementos partidores de altura cada 3 m como máximo.



Figura 3.7.1.d. Elemento partidor de pozos profundos.

El **módulo de recrecido** (4) corresponde a los alzados del pozo. Es un tramo circular abierto en sus dos extremos.

El **módulo cónico** (5) es el elemento que permite la transición entre el diámetro interior del pozo y el diámetro de la boca de acceso, o bien la transición entre módulos de alzado de diferente diámetro.

Los conos son generalmente asimétricos, de manera que la escala de pates puede llegar hasta la abertura superior manteniendo la misma dirección vertical que en los anillos, pero también pueden ser simétricos.

El **módulo de ajuste** (6) es el elemento que sirve para ajustar la altura total sobre el cono o losa de cierre y/o para acomodar de forma apropiada el marco de la tapa de registro.

Los **pates** son elementos individuales que empotrados en la pared interna de los elementos, forman la escalera de acceso al interior de los pozos de saneamiento.

El material constitutivo de los pates debe tener las características precisas y suficientes para garantizar su durabilidad y en las condiciones ambientales propias del interior de una red de saneamiento. No deben emplearse pates de acero al carbono, ni pates de fundición sin la protección adecuada.

Los pates conformados en U, requieren las siguientes condiciones geométricas, recogidas en la norma UNE 127.011:

- El travesaño de apoyo debe tener una longitud mínima entre extremos de 300 mm y máxima de 400 mm.
- La separación de la pared del pozo en su punto medio estará comprendida entre 120 mm y 160 mm.
- La longitud de empotramiento mínima en la pared del pozo debe ser de al menos de 75 mm y máxima de 85 mm.
- La sección transversal mínima del travesaño del apoyo estará comprendida entre los \varnothing 20 mm y \varnothing 35 mm.
- El pate tendrá el diseño adecuado para que el travesaño de apoyo tenga topes laterales que impidan el deslizamiento lateral del pie.
- El travesaño de apoyo contará con estrías, resaltes, etc. que eviten el deslizamiento.
- Los pates deben situarse en alineación perfectamente vertical de forma que la separación entre ellos esté comprendida entre 250 mm y 350 mm. En todo caso la diferencia de separación entre pates respecto del diseño tendrá una tolerancia de \pm 10 mm. La separación del pate superior más próximo a la boca de acceso en un módulo cónico estará comprendida entre 400 y 500 mm.

Es conveniente que los elementos prefabricados se suministren con pates incorporados, en cuyo caso el fabricante garantiza que una vez colocados los módulos en obra la separación entre ellos cumpla los requisitos anteriores así como su correcto anclaje.

En este supuesto deben cumplirse los siguientes requisitos señalados en la precitada norma.

- Resistir una carga vertical de 2 kN sin presentar una deformación superior a 10 mm bajo carga, ni de 2 mm remanente.
- Resistir una carga de tracción horizontal de 3,5 kN.

El **tubo corto** es un tubo de hormigón armado de longitud máxima la del espesor de la pared de la base más la mitad del diámetro nominal del mismo, con un máximo de 500 mm medido desde la pared exterior del pozo. Los tubos cortos se encuentran sólidamente empotrados a la pared del módulo base.

El **tubo biela** es un tubo de hormigón armado, situado a continuación del tubo corto, cuya longitud no puede exceder la del tubo componente de la conducción y como máximo de 1,5 m.

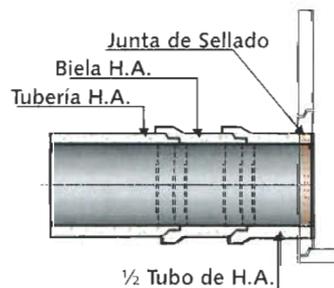
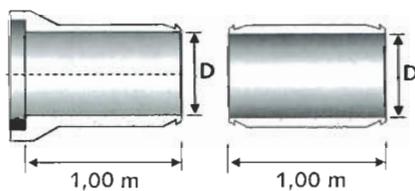


Figura 3.7.1.e

El **diámetro nominal** es el que da a las dimensiones de fabricación en mm para el diámetro interior de los elementos circulares, así como el diámetro interior máximo del elemento cónico, y el diámetro interior útil de las losas de cierre o transición. Los módulos cónicos y las losas de cierre o transición se definen también por el diámetro útil del orificio superior.

La **altura útil "h"** de un módulo de pozo de registro es la distancia entre las superficies de junta, en general entre el fondo del extremo hembra y el borde más saliente del extremo macho.

b) Acabado de los módulos

El diseño del módulo base y sus espesores está directamente relacionado con el sistema de colocación de junta entre módulo y tubo, de forma que se garantice una correcta posición geométrica.

La superficie de los módulos no presentará daños que pudieran influir negativamente en su comportamiento estructural, estanquidad o durabilidad.

Se pueden admitir burbujas u oquedades cuyas dimensiones no superen los 15 mm de diámetro y 6 mm de profundidad.

Las secciones extremas de los módulos que constituyen la junta no deben tener irregularidades que afecten negativamente a la estanquidad.

Se admitirán fisuras de retracción o térmicas con una anchura máxima de 0,15 mm, así como elementos de hormigón armado sometidos a pruebas de fisuración con fisuras remanentes de hasta 0,15 mm de anchura, siempre y cuando se compruebe que no afectan a la resistencia o estanquidad del módulo. Antes de medir las fisuras se podrá humedecer el elemento durante 24h.

Los módulos podrán ser:

- Armados: aquellos que llevan armadura con función estructural.
- En masa: aquellos que no llevan armadura, o la que llevan no tiene función estructural.

Las reparaciones y repasos serán admisibles, siempre que el producto final cumpla todos los requisitos exigidos en la norma UNE 127.011.

c) Características geométricas. Dimensiones

Dimensiones interiores

Las dimensiones nominales para módulos circulares se definen en la siguiente tabla:

DIÁMETRO INTERIOR D	TOLERANCIAS (mm)		
	DIMENSIÓN INTERIOR	ORTOGONALIDAD DE EXTREMOS	REGULARIDAD PLANA DE EXTREMOS
800	± 10	± 10	± 10
1000	± 12	± 10	± 10
1200	± 14	± 12	± 12
1500	± 15	± 15	± 15
1800	± 15	± 18	± 18

Tabla 3.71.a

En elementos circulares el cálculo de la dimensión interior se realizará tomando tres medidas del diámetro interior en cada uno de los extremos y separadas entre sí 60°.

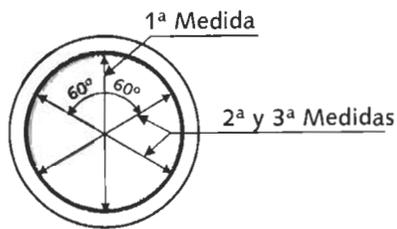


Figura 3.7.1.f

Las medidas se tomarán a una distancia de entre 50 mm y 200 mm de cada extremo, y se medirá redondeando al milímetro.

Para la evaluación de la desviación respecto a la ortogonalidad de los extremos debe ser determinada la máxima diferencia entre las distancias verticales h_1 y h_2 tomadas desde el apoyo horizontal entre dos puntos diametralmente opuestos.

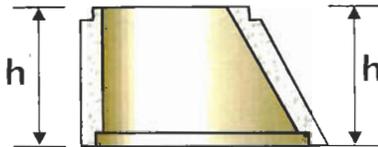


Figura 3.7.1.g

La desviación máxima admisible para la ortogonalidad de los extremos de los módulos base o módulos de recrecido es la indicada en la tabla 3.7.1.a

Espesores

Se establecen los siguientes espesores mínimos recomendados:

DIÁMETRO NOMINAL D	MÓDULOS BASE		ALZADOS, CÓNICOS O DE AJUSTE	CIERRE O TRANSICIÓN
	ALZADO	SOLERA		
800	120	120	120	150
1000	120	120	120	150
1200	160	160	160	150
1500	160	200	160	200
1800	200	200	200	200

Tabla 3.7.1.b

El control de estos espesores según la norma UNE 127.011 se efectúa tomando tres medidas en cada uno de los extremos abiertos y a una distancia de entre 50 mm y 200 mm de los mismos. Estas medidas se repartirán de forma equidistante a lo largo de toda la circunferencia del elemento.

El diseño del módulo base y sus espesores está directamente relacionado con el sistema de colocación de junta entre módulo y tubo, de forma que se garantice una correcta posición geométrica.

Alturas

Las alturas útiles de los diferentes módulos deben estar comprendidas entre los siguientes valores:

DIÁMETRO INTERIOR D	MÓDULOS BASE		MÓDULOS DE RECRECIDO		MÓDULOS CÓNICOS		MÓDULOS DE AJUSTE	
800	1000	800	1000	250	1000	600	250	120
1000	1100	900	1000	250	1000	700	250	150
1200	1400	1000	1200	300	1200	800	250	150
1500	2000	1200	1200	300	1500	800	300	200
1800	2400	1200	1200	300	1500	1000	300	200

Tabla 3.7.1.c

El fabricante debe especificar las dimensiones de los diferentes módulos en su documentación de fabricación.

Relación de diámetros entre módulos base y tubos incidentes

Se establece la siguiente relación de diámetros máximos de los tubos incidentes en función del diámetro nominal del módulo base, de forma que se garantice un mínimo de 250 mm de anchura en las cunas hidráulicas.

DIÁMETRO INTERIOR DEL MÓDULO DE BASE	DIÁMETRO INTERIOR MÁXIMO DE LOS TUBOS INCIDENTES Dmax
800	300
1000	500
1200	600
1500	1000
1800	1200

Tabla 3.7.1.d

Estos diámetros máximos de tubos incidentes deberán reducirse en el caso de que así lo exija la disposición geométrica adecuada de la junta de unión entre tubo y pozo.

d) Profundidad máxima

La figura 3.7.1.j representa las acciones que se ejercen sobre la periferia del pozo. Al empuje del suelo se superpone la presión hidrostática cuando existe.

La presión lateral p , producida por las tierras normalmente a la superficie del pozo, puede estimarse en

$$p = \lambda \gamma h$$

en que

$$p = \text{presión en N/m}^2$$

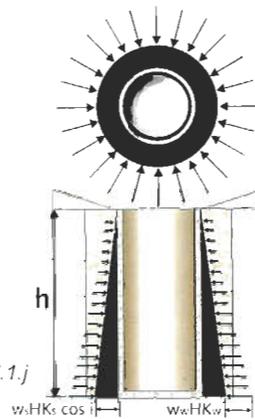
$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \text{ Coeficiente de Rankine}$$

$$\varphi = \text{ángulo de rozamiento interno}$$

$$\gamma = \text{peso específico del terreno natural en N/m}^3$$

$$h = \text{profundidad en m a la que se mide la presión}$$

Figura 3.7.1.j



Para hallar la máxima profundidad del pozo en las condiciones más desfavorables, se considera el terreno anegado, es decir con agua en toda su profundidad. La presión en la base del pozo, a su profundidad h , viene dada por

$$p = (\lambda \gamma_e + 10000) h$$

donde

γ_e = peso específico efectivo del suelo anegado, igual a su peso específico saturado menos el peso específico del agua (10000 N/m³). Para un suelo arcilloso, puede tomarse $\gamma_e = 19500 - 10000 = 9500$ N/m³

Como valor del ángulo de rozamiento interno puede adoptarse $\varphi = 30^\circ$, con lo que resulta

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = 0,33$$

En estas condiciones, la presión en la superficie exterior del pozo, a la profundidad h es

$$p = (0,33 \times 9500 + 10000) \cdot h = 13135 \cdot h \text{ N/m}^2 \text{ para } h \text{ en m.}$$

Excepto en la sección del pozo de registro donde la línea de saneamiento está conectada, la presión p , actuará en el pozo de registro de igual forma alrededor de la periferia, en compresión pura, sin transmitir momentos de flexión en las secciones de hormigón en el plano horizontal. Considerando la mitad de la sección, la tensión de compresión en el pozo de registro es:

$$\sigma_c = \frac{pD}{2t}$$

σ_c = tensión de compresión en el tubo
 D = diámetro del pozo de registro
 t = espesor de la pared del pozo de registro

Si la mínima pared del pozo es usada debería ser un doceavo del diámetro del pozo.

Considerando tensiones admisibles de compresión del 45% de la resistencia última de compresión del hormigón. Si tomamos como valor de resistencia última del hormigón $\sigma_c = 25 \cdot 10^6$ N/m² y sustituimos en la ecuación obtendremos:

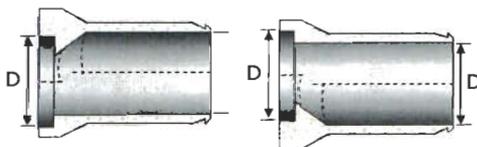
$$h = 142,75 \text{ m}$$

La máxima profundidad admisible de un pozo de registro es para todos los propósitos prácticos ilimitada. Por tanto, el factor limitante para la profundidad del pozo de registro es la resistencia que soporta la base de la estructura o la resistencia de rotura de los finales de los módulos de recrecido. La fuerza vertical actuante en la base o en los finales de los módulos de recrecido es dependiente del asiento relativo de la masa adyacente del suelo y no conduce a precisar análisis. Sin embargo, si sólo el peso del módulo de recrecido del pozo de registro y de la parte superior fueran consideradas, se podría permitir una altura teórica de 42,5 m.

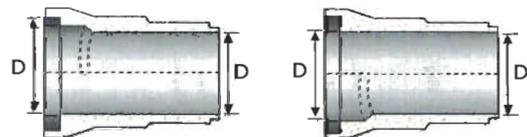
3.7.2 Reducciones

Son tubos especiales que tienen diferente diámetro interior en un extremo que en el otro. Sirven para reducir el diámetro de una conducción cuando un incremento de pendiente lo hace conveniente, o para aumentar dicho diámetro antes de una pieza en T, o en Y, a través de las cuales recibirá la conducción un incremento de caudal.

En los enlaces de las reducciones de distinta sección la posición relativa de ambas en alzado debe ser tal que se mantenga en ambas el mismo nivel de la lámina de agua o, lo que es lo mismo, el mismo gradiente energético. En último extremo se adopta la posición de que ambos conductos tengan la misma cota de clave.



Figuras 3.7.2.a y b



Figuras 3.7.2.c y d

3.7.3 Entronques

Son piezas prefabricadas especiales que permiten la conexión de los tuberías incidentes. Tienen la particularidad de evitar que los incrementos de los caudales que se aportan originen la mínima perturbación hidráulica o mecánica.

También pueden emplearse estas piezas en los supuestos generalmente más excepcionales de partición del caudal de un conducto en los conductos de sección más reducida (derivaciones).

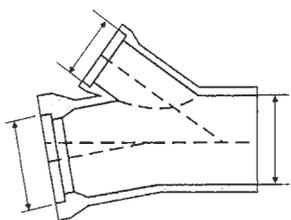


Figura 3.7.3



3.7.4 Tubos Cortados

Las fábricas de tubos de hormigón han ido incorporando progresivamente instalaciones de corte para seccionar los tubos armados. A estos efectos las operaciones más frecuentes son el corte de tubos de longitud a medida para bielas, y el corte a inglete para formar las curvas poligonales.

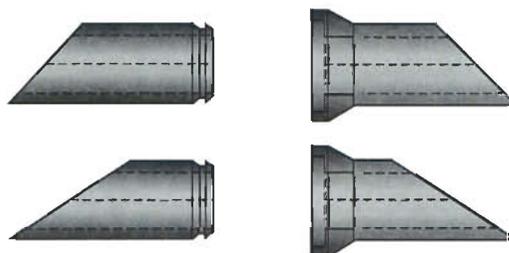


Figura 3.7.4

3.7.5 Codos

Los cambios de dirección, que habitualmente se efectúan en los pozos de registro, pueden resolverse también con piezas especiales conformadas en las plantas de producción por manipulación de tubos frescos u otros procedimientos semiartesanales. En general son codos de ángulo superior a 110° .



3.7.6 Curvas Poligonales

La formación de curvas poligonales que no pueden realizarse por deflexión angular de los tubos estándar pueden resolverse, bien con piezas especiales acodadas o por el seccionamiento de tubos (corte de fábrica que adecuadamente ingleteados resuelven los trazados de escaso radio).

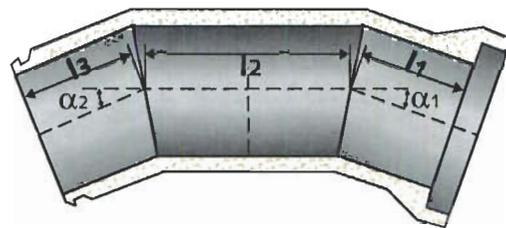


Figura 3.7.6

3.7.7. Tubos para recibir acometidas directas

Aunque no es recomendable, por las perturbaciones que produce en el régimen hidráulico y por los posibles daños que pueden ocasionarse al colector, en algunas ocasiones y debido a la proximidad de varias acometidas, es inevitable conectar tubos de saneamiento de pequeño diámetro al ramal o colector principal. En estos casos pueden utilizarse tubos con perforaciones realizadas en planta bien con equipos de taladro o recibiendo el manguito de conexión.



3.7.8. Sumideros

Los sumideros tienen por finalidad la captación y traslado de las aguas superficiales a la red. Además tienen la posibilidad de interceptar basuras, sedimentos y otros sólidos arrastrados por las aguas. Suelen situarse en arcenes de calzada, en paramentos de acera, entre calzadas y aceras, o bien en canaletas perpendiculares a la línea de máxima pendiente de escorrentía. Su ubicación es imprescindible para el desagüe de puntos bajos.

Los problemas más importantes de estos elementos vienen dados por su posible obstrucción y por las dificultades de su limpieza. Por ello no es recomendable su colocación en calles no pavimentadas salvo que cada sumidero vaya acompañado de una arqueta registrable para la recogida y extracción periódica de las arenas y detritos depositados (areneros) o de un pozo absorbadero registrable que haga idéntica función.

Estos elementos se proyectarán conectados directamente a un pozo de la red a través de una tubería de diámetro no inferior a 30 cm.

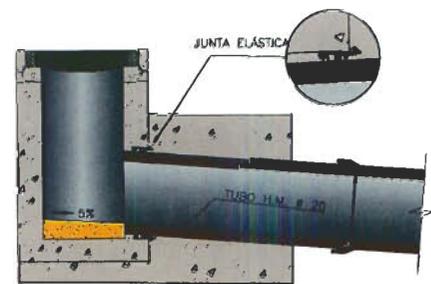


Figura 3.7.8 Sumidero no sifónico prefabricado

3.7.9. Pozos Absorbederos

Se les suele llamar también absorbederos o imbornales. Son las bocas o aberturas por las que las aguas superficiales (de lluvia o de limpieza) son conducidas a la red de saneamiento.

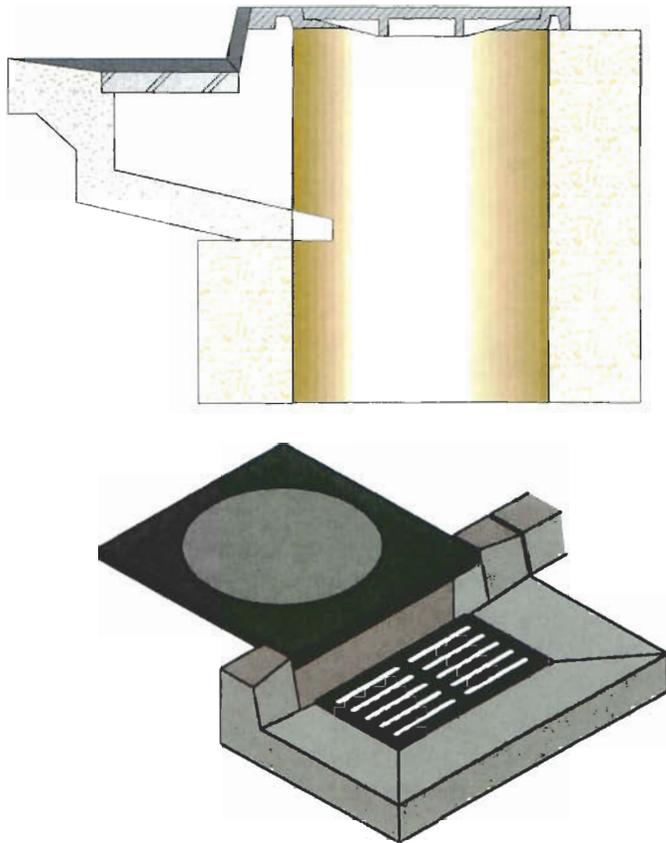


Figura 3.7.9

Permiten el establecimiento de una red de pluviales paralelo a los colectores, reduciendo el número de acometidas en calzada.

3.7.10 Cámaras de Limpia y Descarga

Para ayudar a las operaciones de limpieza se construyen depósitos en los que el agua va almacenándose lentamente gracias a la llegada de pequeños caudales, y se vacían repentinamente, bien sea a mano, o bien por medios automáticos.

Hoy en día se utilizan, casi exclusivamente, las cámaras de descarga automática. En ellas la descarga se produce cuando el agua llena el depósito, mediante un aparato de descarga.

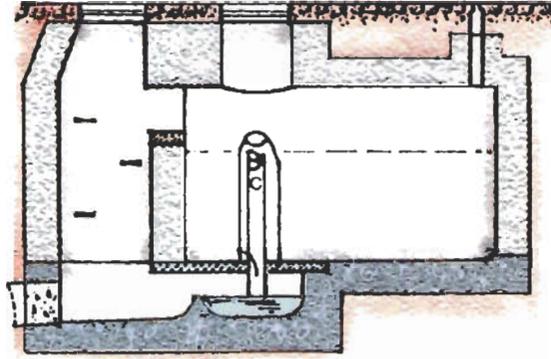


Figura 3.7.10

3.7.11 Aliviaderos de Crecida

Con objeto de no encarecer excesivamente la red y cuando el terreno lo permite se dispondrán aliviaderos de crecida visitables, para laminar los caudales excepcionales producidos por las aguas de lluvia, reduciendo así la sección de la tubería a emplear.

El caudal a partir del cual empieza a funcionar el aliviadero se justificará en cada caso, teniendo en cuenta las características del cauce receptor y las del efluente.

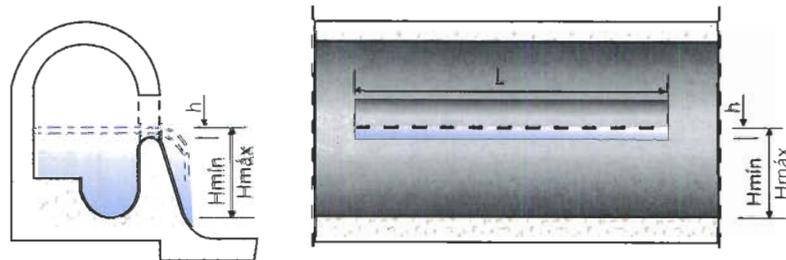


Figura 3.7.11

3.7.12 Rápidos en colectores

En colectores, si se precisa perder altura y no se hace con registros, es necesario acudir a resaltes en forma de gola o S, o bien solera con escalonada revestida de losas para resistir la abrasión.

Esta última solución, denominada de cascada, exige una reposición frecuente de los escalones si no se refuerzan. Es recomendable realizar estos rápidos duplicados, de forma que uno esté en funcionamiento y otro cerrado de forma alternativa.

Una solución experimentada en los Estados Unidos es la realización de estos rápidos con tuberías de hormigón armado intercalando piezas especiales en forma de anillos de menor sección.

3.7.13 Anclajes

Cuando las pendientes sean excesivamente fuertes o en los cambios de alineación puede ser necesario construir anclaje para la tubería mediante abrazaderas metálicas o macizos de hormigón adecuadamente cimentados.

Cuando una tubería de saneamiento entra en carga y tiene un extremo cerrado o reducido de sección, en este extremo se presenta un empuje axial igual al producto de la presión del agua por el área de la sección de la tubería. Este empuje puede alcanzar varias toneladas.

Este mismo esfuerzo aparece en otros elementos y accesorios de la red como pozos, codos, té, reducciones, etc. También se hace necesario el empleo de anclajes en las conducciones expuestas a corrientes de agua, mareas, cursos fluviales, etc.

3.7.14 Acometidas en Edificios

La acometida de edificios a la red de saneamiento deben tener su origen en arquetas que recojan las aguas de lluvia de las azoteas y patios, y las aguas negras procedentes de las viviendas, bastando arqueta única en el caso de redes unitarias. Desde la arqueta se accederá a la red general preferentemente a través de un pozo de registro.

Siempre que un ramal secundario o una acometida se inserte en otro conducto se procurará que el ángulo de encuentro sea como máximo de 60° .

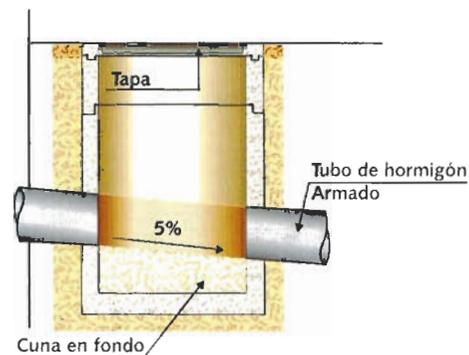


Figura 3.7.14 Acometida no sifónica a edificio

3.7.15 Ventilación. Tomas de Aire y Chimeneas

Para garantizar las condiciones aerobias en las aguas que circulan por los colectores, para evitar retención de gases en los puntos altos de sumideros, afectando a los viandantes y habitantes de la zona, se hace precisa la instalación de chimeneas de ventilación. Por diferencia entre la temperatura prácticamente constante en el interior del colector y las temperaturas exteriores se establecen corrientes de aire que garantizan la ventilación adecuada. La altura de la chimenea debe ser de al menos 9 m sobre la calzada, siendo su diámetro interior mínimo de 20 cm.

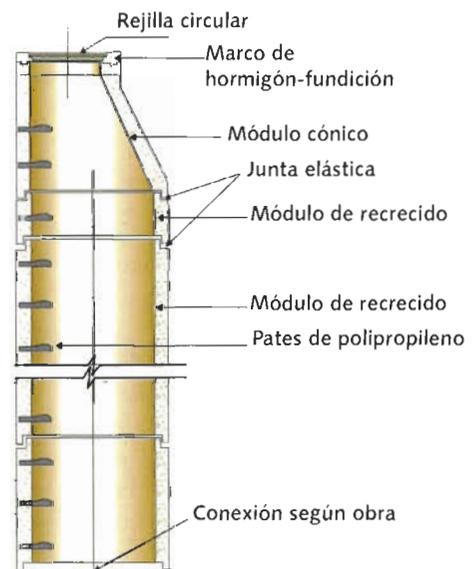


Figura 3.7.15

3.7.16 Elementos de Control, Regulación y Medida de Caudales.

La complejidad de las redes de saneamiento y el progresivo desarrollo de la tecnología especializada propicia la creciente utilización de elementos de control, regulación y medida de caudales.

Para la regulación de caudales se emplean tanques de retención, válvulas de torbellino y válvulas de vortex.

Asimismo en determinadas condiciones de las redes es preciso el empleo de válvulas antiretorno.

Actualmente se emplean sistemas integrados de captación, medida y registro de caudales de aguas residuales, así como diversos dispositivos de control de la red.

En general, la Industria del Prefabricado está desarrollando diferentes soluciones para los elementos contenedores basados en elementos estandarizados (marcos y elementos de pozos).

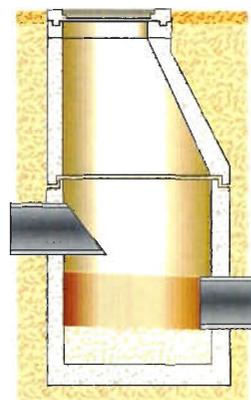


Figura 3.7.16

3.8 Uniones

3.8.1 Generalidades

El fin de los elementos de unión entre distintos módulos es dar continuidad al sistema. Se considerarán las uniones de tubos con tubos, tubos con pozos o uniones entre los distintos elementos que componen el pozo.

Se debe exigir al fabricante que aporte la documentación técnica de diseño del dispositivo de unión avalado mediante ensayos "de tipo" en laboratorio homologado justificando de este modo la idoneidad del sistema propuesto. Estos ensayos deberán estar comprobados y certificados en las peores combinaciones posibles de tolerancias dimensionales, tanto superiores como inferiores. Con ello se asegura la estanquidad para las situaciones más desfavorables que puedan aparecer.

3.8.2 Unión tubo-tubo

El diseño del dispositivo de conexión entre tubos es fundamental para obtener un correcto montaje y un buen comportamiento de la conducción a corto, medio y largo plazo.

Básicamente los dispositivos de conexión habituales en las conducciones de tubos de hormigón armado se basan en el diseño de una determinada geometría de los extremos macho y hembra de los tubos que comprimen una junta elastomérica intermedia.

Inicialmente estos diseños eran muy elementales y se basaban en juntas elastoméricas de sección tórica o de lagrima que, aproximando el macho y la hembra de los tubos dispuestos con conicidad, comprimían la unión progresivamente.

El punto débil de este diseño es que la junta, al no ir colocada en su posición final, se descoloca en el montaje, por lo que suelen producirse fallos de estanquidad.

La calidad de la unión depende pues de:

- 1 Un buen diseño del dispositivo de unión (geometría del extremo macho y del extremo hembra del tubo). y la adecuada relación de compresión de la junta.
- 2 Un buen acabado de la fabricación de los extremos macho y hembra del tubo, tanto en su geometría como en su terminación.
- 3 Una junta de estanquidad de tamaño adecuado tanto en sus características físico-químicas como en su relación de compresión.
- 4 Que la junta de estanquidad no se desplace de la posición de diseño del dispositivo de unión.

Los diseños actuales se basan en el confinamiento de la junta en su posición final. Son uniones por compresión sin giro y por deslizamiento obtenido mediante el empleo de un lubricante, o de una junta prelubricada. El diseño del dispositivo de conexión debe ser detalladamente descrito en la documentación técnica del fabricante y estar debidamente comprobado y certificado en la peor combinación posible de tolerancias dimensionales del enchufe, de la campana y de la junta de goma.

Algunos de los diseños más fiables de los dispositivos de unión son los siguientes:

- 1 Dispositivo de unión por compresión y deslizamiento de una junta de goma con forma Delta o Arpón instalada en su posición final contra el escalón del enchufe y la campana del tubo contiguo.
- 2 Dispositivo de unión por compresión y deslizamiento de una junta de goma alojada en la acanaladura del enchufe y comprimida por la campana del tubo contiguo.
- 3 Dispositivo de unión por compresión y deslizamiento de una junta de goma alojada en la campana o extremo hembra del tubo y comprimida por el enchufe del tubo contiguo.

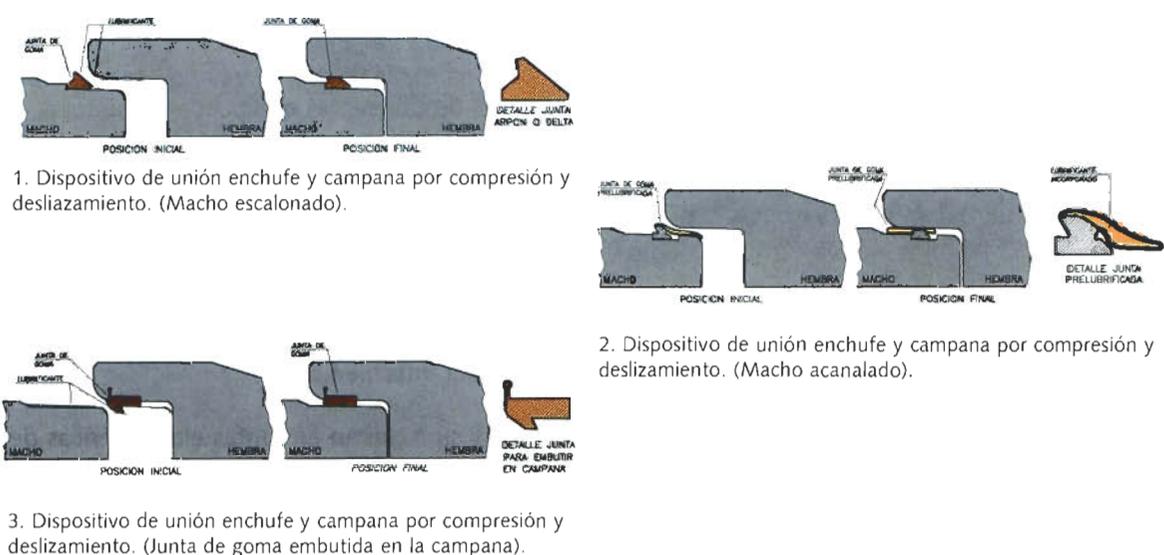


Figura 3.8.2

La clave de estos sistemas de unión es disponer de unas tolerancias dimensionales muy estrictas, difíciles de obtener por los procedimientos habituales de producción, motivo por el cual algunos fabricantes prefieren fresar el enchufe de los tubos una vez fraguado el hormigón, proporcionando unas tolerancias de décimas de milímetro y un perfecto asiento de la junta. Esto permite un fácil montaje posterior y da una mayor garantía de estanquidad de la unión, especialmente si se emplean juntas prelubricadas.

3.8.3 Unión pozo-tubo

Entre el pozo y el tubo puede existir asientos diferenciales debido a diferentes tipos de lecho, cargas verticales, etc. Si el tubo está unido rígidamente al pozo, estos asientos diferenciales pueden producir tensiones y agrietamientos circulares en el tubo. Para evitar la aparición de agrietamientos, se usan juntas elásticas en las uniones que absorben los mencionados asientos diferenciales. Son juntas estancas por lo que evitan pérdidas de efluente.

En función del tipo de acometida del tubo al pozo tendremos diferentes tipos de uniones:

- Junta para acometida de tubo al pozo con pared plana o curva en la base.



Figura 3.8.3.a

- Junta para acometida de tubo contra pozo con perforación curviforme de la base del pozo.
- Junta del propio tubo para unión entre tubo y pozo cuando el pozo incorpora fundidos la campana y el enchufe del tipo de tubo que acomete.

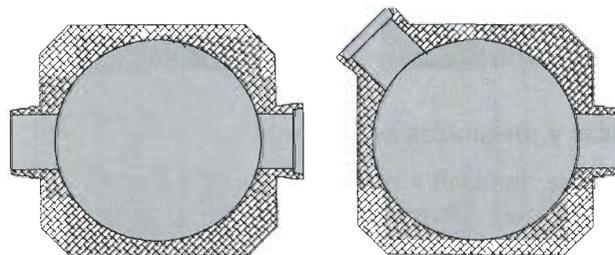


Figura 3.8.3.b

- Junta con conector flexible, útil para cualquier superficie contra la que acometa el tubo. Es especialmente útil en bases con cambios de dirección y en conexiones sobre anillos.

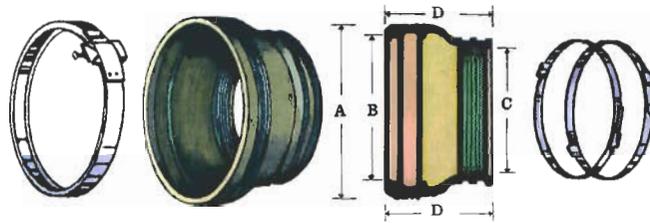
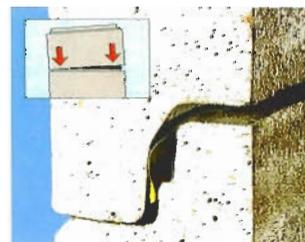


Figura 3.8.3.d

- Juntas de poliuretano o silicona selladas "in situ" para sistemas no homogéneos

3.8.4 Unión elástica entre módulos del pozo

Se deben emplear aros elásticos que se intercalan entre los diferentes módulos del pozo de forma que aseguren la estanquidad entre los mismos tal y como indican los ensayos recogidos en la norma UNE 127.011.



3.8.5 Características físicas y mecánicas de las juntas

Las juntas de goma se emplean en las uniones entre elementos prefabricados para asegurar la estanquidad de las mismas. Las especificaciones de las juntas de goma utilizadas para su uso en drenaje y evacuación de aguas no potables o lluvia se recogen en las normas UNE-EN 681-1 y ASTM C 443M.

Debido a que en el subsuelo convergen cada vez más servicios imprescindibles como, telefonía, cables eléctricos, tubería de gas, cables para señales de tráfico, Metro, etc., se impone un mayor cuidado en la estanquidad de las tuberías destinadas a la recogida o transporte de aguas residuales. Igualmente deben evitarse la entrada al alcantarillado de gases, combustibles y aguas de infiltración o freáticas, que podrían producir graves consecuencias e incluso dejar inservible la conducción.

La junta de goma es el único elemento elástico entre tubos de hormigón, que garantiza la estanquidad de la unión.

Las juntas de goma habitualmente utilizadas en las conducciones de abastecimiento y de saneamiento no están preparadas para recibir agua a altas temperatura ni ciertos líquidos residuales de algunas industrias químicas, requiriéndose en estos casos excepcionales el empleo de juntas de goma especiales.

Habitualmente se emplean juntas de goma macizas tanto de sección delta o arpón, las juntas tóricas o de sección lagrimada rodantes, han quedado técnicamente obsoletas.

Las juntas circulares macizas una vez ensambladas tendrán un espesor comprimido que debe estar comprendido entre el 20% y el 50% del espesor de la antes de su acoplamiento.

Para otros tipos de juntas, éstas deberán actuar sobre un ancho de, al menos, el 75% del espacio anular, con una presión media de contacto no inferior a 0,20 MPa (2 kp/cm²), y una deformación en la dirección del eje del tubo no mayor del 100%.

Cuanto más dureza tiene la junta de goma mejor soporta los esfuerzos cortantes, pero la estanquidad mejora con gomas blandas que rellenan mejor las posibles pequeñas irregularidades de su asiento.

La dureza recomendable para tubos de hormigón armado de saneamiento está comprendida entre 40° y 50° Shore o IRHD.

3.9 Diseño y Cálculo de Tubos de Hormigón Armado para Hinca

3.9.1 Consideraciones Generales

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, se pueden emplear tubos de hormigón para hincado con empujador. 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.

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

El diseño de la tubería de Hinca está caracterizado y condicionado por tres aspectos fundamentales.

1. Limitación de la longitud útil 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 estanqueidad 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 conglomerada (sufrideras) que evitan el desconche del hormigón al recibir los esfuerzos de empuje.
3. Los tubos de Hincado llevan instalados unos taladros metálicos en las paredes del tubo para facilitar la instalación en la obra (inyección de lodos bentoníticos que lubrican, evitando así el posible desmoronamiento del terreno perforado y reducir el rozamiento).

3.9.2. Tolerancias Dimensionales

La norma UNE 127.010 especifica las siguientes tolerancias dimensionales para los tubos de hincado:

Tolerancias en la longitud interior:

- Para tubería de diámetro nominal $D=800$ mm, la tolerancia en la longitud interior será de ± 5 mm. Para diámetros nominales $D > 800$ mm, las tolerancias serán $+ 25$ mm/ $- 10$ mm.

Tolerancias en el diámetro exterior:

- Las tolerancias en el diámetro exterior estarán comprendidas dentro de los límites señalados en la tabla 3.9.2

Desviación de rectitud en el exterior del tubo:

- La superficie exterior de los tubos no tendrá desviaciones en la rectitud superiores al mayor de los valores siguientes: 5 mm o el 0,3% de la longitud interior.

Ortogonalidad de los extremos:

- La ortogonalidad en puntos diametralmente opuestos y el espesor de la pared, al comprobar en los extremos del tubo, deberán cumplir lo establecido en la tabla 3.9.3.

D (mm)	T O L E R A N C I A S		
	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	ORTOGONALIDAD	
		DIÁMETRO (mm)	PARED (mm)
$800 \leq D < 1200$	± 7	6	3
$1200 \leq D < 1800$	± 8	8	4
$1800 \leq D < 3000$	± 10	9	5
$3000 < D$	± 12	10	6

Tabla 3.9.2: Tolerancias dimensionales de los tubos de hinca

3.9.3 Elementos Complementarios de los Tubos de Hinca

3.9.3.1 Juntas

Los extremos de los tubos de hinca se diseñarán para admitir una junta flexible que garantice la estanquidad, Las superficies de los frontales de los tubos, que transmitirán la carga de empuje durante el montaje de la tubería, deben ser planas y estar libres de irregularidades que puedan dar lugar a elevadas concentraciones puntuales de carga.

3.9.3.2 Virolas

La virola debe ser de acero. Esta pletina se incorpora a los tubos durante el proceso de fabricación de modo que su unión resulte solidaria. Para ello se conectará adecuadamente a la armadura de la tubería.

3.9.3.3 Armaduras

En el caso de juntas a medio espesor las armaduras de los tubos de hincas 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.

3.9.4 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.

Los tubos de hincas de hormigón armado se probarán únicamente a fisuración, conforme a lo establecido en la Norma UNE 127.010.

3.9.4.1 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.

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

Donde:

q_r = Carga de tierra en condiciones de hincado o perforado (kN/m).

C_z = Coeficiente de Marston o de carga.

γ_f = Densidad del terreno (kN/m³).

D_e = Diámetro exterior del tubo (m).

c_0 = Cohesión del terreno (kN/m^2)

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	
DESEADA	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 $c_0 = 2 \text{ kN/m}^2$.

El valor del coeficiente de Marston se obtiene de:

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

Se consideran cinco tipos de terreno con los siguientes parámetros:

TIPO DE RELLENO	$\lambda \mu'$	γ_r (kN/m^3)
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 ($\gamma_r=21 \text{ kN/m}^3$ y $\gamma_r \mu' = 0,110$), 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.

3.9.4.2 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.

3.9.4.3 Determinación de la clase del tubo

La clase de la 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:

$$Q_c = \frac{q_r \cdot \gamma_1}{F_a \cdot D}$$

γ_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 de 1,25. Como consecuencia de este cambio de valor del coeficiente de mayoración, se produce un solape en la carga de cálculo $Q_c = \frac{q_r}{F_a \cdot D}$ 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 .

UNIDADES (kN/m ²)	CLASE
CARGA DE CÁLCULO ≤ 100	III
100 ≤ CARGA DE CÁLCULO ≤ 150	IV
125 ≤ CARGA DE CÁLCULO ≤ 175	V

Tabla 3.9.4.3 Clases de los tubos de hinca

3.9.4.4 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/m² tomándose en el cálculo un valor medio de 450 kN/m².

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

siendo:

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

D_e = 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/m², siendo el coeficiente de fricción tubo-relleno más restrictivo, $\mu_1 = 20$ kN/m².

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

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:

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

Por lo que debe cumplir:

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

4 FABRICACIÓN DE LOS TUBOS, PRUEBAS Y CONTROLES EN PLANTA: RECEPCIÓN Y PRUEBAS EN OBRA

4.1. Introducción

En los años cuarenta se fabricaban habitualmente los tubos de hormigón a pie de obra. Se usaban moldes fijos, sin vibración y se compactaban con pisones manuales. La calidad, por imperativos climatológicos, era deficiente debido a la desecación del producto por corrientes de aire, excesivo soleamiento, lavado del hormigón en caso de lluvia, etc.

Con la incipiente industrialización, consolidada a partir del Plan de Estabilización, se comenzaron a instalar pequeñas plantas fijas, dotadas de unas instalaciones más mecanizadas. En las más modernas la fabricación se realizaba en máquinas centrifugadoras.

Durante los sesenta se produjo el despegue de la producción industrializada de tubos y se introdujeron las máquinas de vibrocompresión y de compresión radial, generalmente procedentes de Italia, Dinamarca o Alemania. Fue una época de grandes necesidades de infraestructuras urbanas y el objetivo de la producción era puramente cuantitativo. Las instalaciones, por regla general, precisaban aún de un empleo intensivo de mano de obra.

En las dos siguientes décadas la producción de tubos pasó progresivamente a realizarse en instalaciones industriales complejas y con un alto grado de automatización.

Las factorías de tubos actuales se caracterizan por:

- El elevado grado de especialización de sus procesos.
- Alta inversión en instalaciones de recepción y almacenamiento de materias primas.
- Maquinaria para la confección del hormigón y para el moldeado de los tubos y curado, totalmente integradas y muy automatizadas.
- Disponibilidad de equipos de moldes para la fabricación de una amplia gama de tuberías y piezas complementarias.
- Dotación de personal técnico cualificado para la producción y el control de calidad del producto.
- Instalaciones de control de calidad de las materias primas y del producto acabado así como laboratorios en planta que tienen implantados los Sistemas de Aseguramiento de la Calidad ISO 9000.
- Producto acabado con sello de conformidad a norma.
- Integración de los ensayos de estanquidad en la cadena de producción.
- Gabinetes técnicos de Diseño y Cálculo con Servicios de Asistencia Técnica Postventa.





4.2. Métodos de fabricación de Tubos de Hormigón Armado

El proceso de fabricación de los tubos se inicia con la adecuada selección de los suministradores, a los que generalmente se les exigen productos de calidad contrastada, homologados y preferiblemente con Sello de Calidad. En su defecto se establecen controles sistemáticos y periódicos de recepción en planta (áridos) o Certificados de Producción que ofrezcan una elevada fiabilidad (cemento, acero, etc.).

Los áridos se descargan en tolvas de recepción, preferiblemente carenadas, dotadas de cribas. Se almacenan en baterías de silos de áridos cubiertos, generalmente elevados, disponiéndose habitualmente de seis a ocho tamaños adecuados para obtener las granulometrías específicas requeridas para los diferentes tipos de tubos.

El agua empleada en la fabricación es previamente tratada para eliminar los componentes nocivos para el hormigón o para las instalaciones (cloruros, calcio, etc.).

Las instalaciones para la mezcla del hormigón se basan habitualmente en amasadoras de ejes verticales de capacidades adecuadas a la producción de la planta (entre 200 y 1.500 t/día). Incorporan elementos de regulación y control del grado de humedad de la mezcla, variable que es extremadamente sensible en la fabricación de tubos ya que éstos precisan de hormigones secos o semisecos, aptos para el desmoldeo inmediato.

El hormigón preparado se transporta a las máquinas moldeadoras a través de cintas y transportadores diseñados para evitar la disgregación del hormigón.

La armadura se fabrica con máquinas de electrosoldadura automática o semiautomática. Parten de las bobinas de acero para la confección de las jaulas que se incorporarán a las arandelas base o soportes sobre los que se moldea el tubo de hormigón armado.

La instalación fundamental es la prensa moldeadora. En la actualidad se han impuesto las prensas que moldean el tubo en posición vertical, estando en desuso las máquinas centrifugadoras de eje horizontal. Sin embargo, siguen utilizándose máquinas centrifugadoras para la producción de tubos de presión.



Han quedado también obsoletos los procedimientos de fabricación basados en moldes verticales fijos, que emplean hormigón fluido y vibradores exteriores. No obstante, estos procedimientos siguen persistiendo principalmente en la producción de tubos de gran diámetro o de tubos especiales de tirada reducida (por ejemplo, tubos de hinca).

Las máquinas moldeadoras usadas hoy en día se basan en los siguientes procedimientos:

- Prensas vibrocompactadoras de eje vertical y vibración interna.
- Máquinas de compresión radial.
- Máquinas híbridas, basadas en los dos tipos anteriores.

4.2.1 Prensas Vibrocompactadoras

Las prensas vibrocompactadoras, generalmente instaladas en fosos bajo tierra para reducir ruidos y aislar de las vibraciones, se alimentan del hormigón procedente de una tolva mediante una cinta alimentadora y otra cinta distribuidora situada sobre la máquina. Se distribuye el hormigón a través de una cinta de llenado del molde.

El moldeo se efectúa sobre una arandela base o soporte, que conforma el extremo hembra del tubo y que está fijada hidráulica o mecánicamente al molde o camisa exterior.

Una vez llenado el molde de hormigón y vibrado, se comprime mediante un anillo de compactación giratorio y oscilante, que está accionado por una prensa hidráulica.

La vibración de alta frecuencia es interna, es decir, el eje del núcleo está dotado de un vibrador central fijado al mismo por un dispositivo hidráulico o mecánico. Normalmente se regula la amplitud y la frecuencia según el diámetro, longitud y tipo de la pieza a fabricar. Las últimas máquinas ofrecen además procedimientos que permiten una regulación de la vibración según la altura de relleno en el molde.

El molde exterior y la arandela base van aislados de la máquina para que las vibraciones actúen sólo sobre la pieza a moldear.



Los tubos se desmoldean en fresco, transportándolos inmediatamente sobre la arandela base que se retira una vez que se ha endurecido el hormigón del tubo. Previamente se han dispuesto sobre el extremo macho de los tubos unos anillos concéntricos o sombreretes que sirven para evitar deformaciones. El acabado del extremo de los tubos se realiza por fresado, siendo superfluos los anillos concéntricos o sombreretes en caso de tubos fabricados sobre prensas radiales debido a la exactitud de medidas que se pueden alcanzar con estas máquinas.

Los moldes requeridos por estas máquinas deben tener una resistencia y rigidez suficientes para soportar sin asientos ni deformaciones los esfuerzos de compresión, vibración y torsión. También deben de incorporar tratamientos superficiales para evitar el desgaste por abrasión. Asimismo, tienen que ser suficientemente estancos para impedir pérdidas apreciables de lechada, a la vez que permiten la evacuación del aire ocluido para evitar las deformaciones por succión o durante el desmoldeo.

Los elementos de moldeo (arandela base, molde exterior, núcleo y prensa) deben estar, en cada ciclo, limpios, sin incrustaciones y debidamente lubricados.

Las prensas más modernas incorporan, para mejorar el desmoldeo, dispositivos que permiten el giro de las arandelas además de núcleo de vibración rotativo, moldes con dispositivos hidráulicos para la fijación de las armaduras en su posición de hormigonado y dispositivo superior para la formación del enchufe para mejorar el acabado y perfilado.

El rango de fabricación habitual de este tipo de máquinas comprende desde un D 300 mm hasta D 3.000 mm y una longitud de hasta 2,5 metros.

Algunas de las ventajas características de este tipo de máquina son:

- Alta compacidad del hormigón debido a una excelente vibración.
- Espesores de pared uniformes, recubrimiento total de las armaduras y superficies interiores del tubo perfectamente lisas.
- Producción de tubos de diferentes secciones (circular, ovoides, etc).

Algunas desventajas son:

- Se requiere un cuidado extremo de las condiciones de fabricación para poder obtener tubos de la misma longitud.
- En las prensas de rango hasta D 1.500 mm, al extraerse el tubo fresco directamente de la máquina sin la camisa o molde exterior, pueden producirse deformaciones en el proceso de transporte interno previo a su fraguado.

4.2.2 Prensas de Compresión Radial

Las prensas de compresión radial o prensas radiales constan de uno o dos moldes exteriores y un cabezal y carecen de núcleo de vibración. Disponen de un eje rotatorio hidráulico dotado de un cabezal con rodillos de distribución y prensado que giran a alta velocidad, comprimiendo el hormigón que ha sido alimentado de forma similar a la explicada anteriormente para las prensas de vibrocompactación, conformando el tubo por compresión del cabezal contra la camisa o molde exterior.

El cabezal incorpora dos anillos que giran entre ellos en diferente sentido, con la finalidad de conseguir una distribución y compactación óptima, asegurando el posicionamiento de la armadura por la anulación del par de giro. Estos anillos de prensado son accionados por motores hidráulicos regulables. Así, la presión de prensado y la velocidad de elevación del émbolo de presión son controlados individualmente.

El desmoldeo del tubo también se efectúa en fresco, en vertical y sobre la arandela base, extrayéndose de la máquina con la camisa o molde exterior articulados que se abre por una de sus generatrices para extraer el tubo en la zona de acopio para el curado.

Las prensas radiales incorporan además un dispositivo moldeador que forma y perfila la espiga así como dispositivos de vibración por oscilación para la formación de la campana.

Un sistema de gestión electrónico regula la alimentación del hormigón y la velocidad de ascenso del cabezal de prensado.

El rango de fabricación de estas máquinas suele ser desde D 300 mm a 1.500 mm y longitudes de hasta 3,5 metros.



Entre las ventajas de este tipo de máquina se destacan:

- Se fabrican tubos de longitud constante, lo que permite el armado de los machos en su totalidad.
- Permite cambios rápidos del equipo de fabricación.
- Su molde o camisa articulada evita que se produzcan deformaciones del tubo fresco en el proceso de transporte interno.

Las principales desventajas de la prensa radial son:

- Se limitan exclusivamente a la realización de tubos de sección interior circular.
- Debido a la mayor complejidad del sistema es necesario establecer un mayor control del proceso durante la fabricación.
- Posible aparición de ahuecamientos en las espiras debidas a la flexión de las mismas durante el proceso de prensado.

4.2.3 Máquinas Híbridas

La tendencia actual imperante en la tecnología de prensas es la de hacer convergentes las técnicas aplicables a los dos tipos de prensa anteriormente reseñados, buscando la hibridación de ambos sistemas para superar sus inconvenientes y aunar sus ventajas.



En consecuencia se están empezando a adaptar a los últimos modelos de prensa de vibrocompresión un dispositivo unido al núcleo que actúa como los cabezales de las máquinas de las prensas radiales, permitiendo obtener de esta forma tubos de igual longitud. También se están desarrollando prototipos de prensa radial que incorporan el núcleo de vibración.

4.2.4 Acopio de tubos

En las modernas factorías de producción de tubos, una vez moldeados éstos, existen dos sistemas para su acopio en fresco y su curado ulterior:

- Acopio en nave cerrada, apoyados los tubos sobre las arandelas y colocados en vertical sobre sus arandelas apoyadas en una solera uniforme.
- Acopio sobre plataformas móviles.

En el primer caso los tubos se manipulan mediante puentes grúas o carretillas elevadoras y en el segundo se disponen sobre plataformas motorizadas que los trasladan a las cámaras de curado y a las líneas de acabado final.



4.2.5 Innovaciones y mejoras

Otras innovaciones y mejoras que incorporan las factorías de tubos de hormigón armado de alta calidad son:

- Arandelas de contornos biselados para obtener un tubo con el extremo hembra achaflanado. Con ello se evitan los desconchones en la campana debidos a golpes en el acarreo, que pueden llegar a afectar a la armadura o a la zona de colocación de la junta de estanquidad.
- Dispositivos hidráulicos o neumáticos en los moldes para la correcta colocación de las armaduras.
- En las líneas de acabado pueden tener:
 - Robot para la extracción controlada y uniforme de la arandela soporte. Con esto se evitan los daños por deformación de la misma y, consecuentemente, malformaciones de la zona interna de las campanas de los tubos.
 - Rebarbadora para eliminación de rebabas en el extremo macho del tubo.
 - Máquina de ensayo de estanquidad tubo a tubo integrada en la cadena para las pruebas tanto con aire (vacío) como con agua a presión o con ambas.
 - Máquina fresadora para dar un acabado final al extremo macho de los tubos que permita el alojamiento de la junta de goma y un perfecto asiento de la misma.
 - Instalación para el control del dimensionado de los tubos incorporada a la cadena de salida.



Robot para la extracción de la arandela soporte



Máquina de ensayo de estanquidad



Acabado final extremo macho en fresadora



Rebarbadora para eliminación de rebabas

- Instalación de marcado del tubo por ordenador.
- Máquinas para la confección de las jaulas de las armaduras que luego se usarán en el armado de los tubos.



Marcado del tubo por ordenador



Máquina para la confección de jaulas de armadura

4.2.6 Curado del hormigón

Durante el fraguado y primer periodo de endurecimiento del hormigón, deberá asegurarse una humedad constante mediante las medidas adecuadas que constituyen el proceso de curado.

El curado de los tubos de hormigón puede realizarse por métodos acelerados, como es el curado por calor, y en particular el curado al vapor saturado, a la presión atmosférica. Este tipo de curado se realizará colocando los tubos en cámaras, cajas u otros recintos estancos, que protejan al hormigón de las corrientes de aire y tengan tamaño suficiente para permitir una perfecta circulación del vapor por los paramentos interior y exterior del tubo. Cuando se utilice este procedimiento, la velocidad de calentamiento y enfriamiento deberá controlarse adecuadamente, para evitar que el hormigón sufra choques térmicos y desecaciones o condensaciones excesivas. Además, este tipo de curado térmico no deberá comenzar antes de una o dos horas, durante las cuales los tubos hayan experimentado un curado en condiciones normales de temperatura y humedad.

El curado de los tubos también puede realizarse por cualquier procedimiento que mantenga continuamente húmedas sus superficies interior y exterior, como son la inmersión, el riego directo que no produzca deslavado, o el riego indirecto, a través de un material adecuado, capaz de retener la humedad y que no contenga sustancias nocivas para el hormigón.



4.3 Control de Calidad

El control de calidad en la fabricación de los tubos pretende verificar las características de calidad durante las diferentes fases de la fabricación.

En general, en las plantas industriales de prefabricados de hormigón se comprueban todas las operaciones de fabricación de forma sistemática y continuada, mediante periódicas y detalladas visitas de inspección, disponiendo de un técnico facultativo que está permanentemente en fábrica.

4.3.1 Control de materiales

Deberá existir un control de la calidad de los materiales, componentes del hormigón, del propio hormigón, de los aceros, así como de los materiales empleados en las juntas. El fin del control, como ya se ha comentado, es verificar las características de calidad de los diferentes materiales que intervienen en la fabricación del tubo y en sus juntas.

Los materiales deberán cumplir con los requisitos establecidos en la reglamentación vigente, que en el momento actual es la "Instrucción de Hormigón Estructural" EHE; y en la norma UNE 80.303 cuando se empleen cementos con características especiales. El acero podrá estar certificado (marca ARCER-AENOR) o no. En caso de no estarlo, su suministro deberá acompañarse de una serie muy completa de ensayos previos que sirvan para la clasificación del mismo: ensayos de composición química, de características mecánicas, de geometría del corrugado, etc. En cualquier caso, es imprescindible que el acero disponga del oportuno certificado de homologación de adherencia emitido por un laboratorio oficialmente acreditado, así como del certificado de garantía firmado por persona física. Si el acero está certificado no se precisan estos ensayos previos al suministro, debiendo tan sólo disponer del oportuno documento acreditativo de la certificación.



4.3.2 Control de fabricación

El control de la calidad del hormigón amasado se extiende normalmente a su consistencia y a su resistencia. Se comprueba, además, el tamaño máximo del árido, de acuerdo con las consideraciones indicadas para áridos.

La fabricación del hormigón se controla de acuerdo con la vigente Instrucción.

La resistencia se controla mediante los ensayos de control, establecidos por los fabricantes en su plan de control.

En las fábricas se toman medidas adecuadas para evitar que los tubos sufran daños durante el periodo de acopio de los mismos.

4.3.3 Controles dimensionales

Las normas UNE 127.010 y la ASTM C-76 M establecen unas series de tolerancias dimensionales para las diferentes características geométricas de los tubos, que deben ser controladas mediante ensayos normalizados sobre muestras de los tubos.

La norma ASTM C-76 M indica que en el caso de que no se cumpliera alguno de los requisitos anteriormente citados el tubo sería válido si cumple los requisitos del ensayo de tres aristas y los recubrimientos mínimos especificados en dicha norma.

	Diámetro interior	Espesor	Longitud interna
UNE 127.010	<ul style="list-style-type: none"> • ± 5 mm hasta D 300 • $\pm(3 + 0,005 D)$ mm con un máximo de ± 15 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • no inferior al 95 % del espesor nominal con límite inferior 5 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • +50 mm • - 20 mm
ASTM C-76 M	Según tabla 4.3.3.b interpolando valores	Valor mayor entre: <ul style="list-style-type: none"> • +5% • 5 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 mm/m con un máximo de 13 mm

tabla 4.3.3.a

Diámetro interior (mm)	Valor mínimo permitido (mm)	Valor máximo permitido (mm)
300	300	310
400	400	415
500	500	520
600	600	620
800	800	825
1.000	1.000	1.030
1.200	1.200	1.230
1.400	1.400	1.435
1.500	1.500	1.540
1.600	1.600	1.645
1.800	1.800	1.850
2.000	2.000	2.050
2.500	2.500	2.565
3.000	3.000	3.080

tabla 4.3.3.b

	Diámetro de generatrices	Ortogonalidad de extremos	Variación de la posición de la armadura
UNE 127.010	Mayor valor entre: <ul style="list-style-type: none"> • 0,5% de longitud interna • 5 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 mm hasta D 500 • D 600 en adelante, mayor valor entre: <ul style="list-style-type: none"> - 20 mm - 0,02 D 	
ASTM C-76 M		<ul style="list-style-type: none"> • Hasta D 600 mm • 10 mm/m con máximo de: <ul style="list-style-type: none"> - 16 mm hasta D 2000 - 19 mm hasta D 3000 	Mayor valor entre: <ul style="list-style-type: none"> • $\pm 10\%$ del espesor de pared • ± 13 mm

tabla 4.3.3.c

4.4 Marcado de tubos

Todos los tubos de dimensiones nominales (D/WN) iguales o superiores a 300 mm deberán incluir en su marcado, al menos, los siguientes conceptos:

- Marca del fabricante.
- Las siglas SAN, si se trata de un tubo de saneamiento o drenaje (sólo tubos según UNE 127.010).
- HM para tubos de hormigón en masa.
- HA para tubos de hormigón armado
- HF para tubos de hormigón con fibra de acero.
- Diámetro o ancho nominal.
- Fecha de fabricación.
- Clase resistente(60, 90, 135, 180 según UNE 127.010; I, II, III, IV y V según ASTM).
- Tipo de cemento, si este tuviera alguna característica especial.
- Clases de exposición si éstas tuvieran alguna característica especial (IIIb, IV, Qa, Qb, Qc y E).
- Marcas de los controles a que ha sido sometido o Marca de Certificación por terceros.
- Carga máxima de hincado para tubos de hinca.
- Las siglas UNE 127.010, ASTM u otras que indiquen que la Norma bajo la que se ha fabricado el tubo.

Para dimensiones inferiores a 300 mm este marcado se hará al menos en un 5% de los tubos, y para elementos empaquetados, se marcará cada unidad de carga.

4.5 Condiciones de aceptabilidad de los tubos

La recepción de los productos objeto de este documento se realizará previamente a la instalación de los mismos. Si se procediese a la colocación de los tubos antes de realizar los ensayos, se entenderá que el receptor presta su total conformidad a los materiales ya colocados.

Los tubos de diámetro menor o igual a 1.200 deberán probarse a estanquidad al 100 % en fábrica, para lo cual el fabricante deberá disponer de las instalaciones adecuadas.

Los tubos de hormigón armado para conducciones sin presión se considerarán conformes con este documento cuando superen los controles y ensayos establecidos a continuación:

Controles y ensayos no destructivos

Características dimensionales

- Comprobación de los requisitos de las uniones.
- Comprobación de la rugosidad de la superficie interna del tubo.
- Comprobación de sus características dimensionales según lo establecido en el apartado 4.3.

Para las tres comprobaciones anteriores el proceso de aceptabilidad será el siguiente:

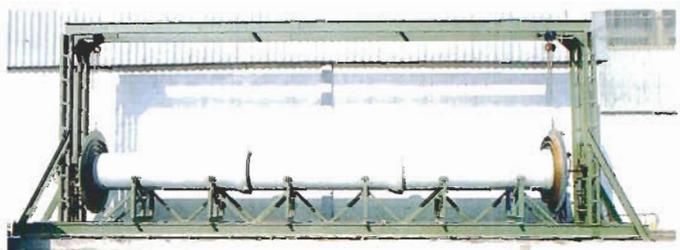
- 1 Se realizará sobre el 10% de los tubos suministrados a la obra.
- 2 Si entre ellas no aparece ningún tubo defectuoso el lote será aceptado.
- 3 Si aparecen una o más piezas defectuosas, se tomará una nueva muestra del 10% de las unidades, no siendo aceptable la partida si el número de piezas defectuosas es mayor de una unidad.
- 4 En este caso el fabricante podrá realizar una inspección de la totalidad de la partida, reponiendo las piezas defectuosas o reparándolas cuando esto sea posible.

Estanquidad de la unión:

- El número de pruebas se hará en función del diámetro de los tubos:
 - Para tubos hasta $D \leq 600$ se realizarán pruebas en un 5‰ de los tubos y como mínimo una prueba.
 - Para tubos entre $600 < D \leq 1200$ se realizarán pruebas en un 3‰ de los tubos y como mínimo una prueba.
 - Para tubos con $D > 1200$ se realizarán pruebas en un 1‰ de los tubos y como mínimo una prueba.

NOTA:

Para cantidades inferiores a 100 tubos, y de conformidad con la Dirección de Obra, podrá sustituirse este ensayo por el correspondiente certificado de autocontrol del fabricante.



Controles y ensayos destructivos

a) Aplastamiento (carga de fisuración y carga de rotura).

- El número de pruebas se hará en función del diámetro de los tubos:

- El 5‰ de los tubos de $D \leq 600$.
- El 3‰ de los tubos entre $600 < D \leq 1200$.
- El 1‰ de los tubos con $D > 1200$ y como mínimo una prueba.

NOTA:

Para cantidades inferiores a 100 tubos, y de conformidad con la Dirección de Obra, podrá sustituirse este ensayo por el correspondiente certificado de autocontrol del fabricante.

b) Comprobación de la alcalinidad del hormigón constitutivo.

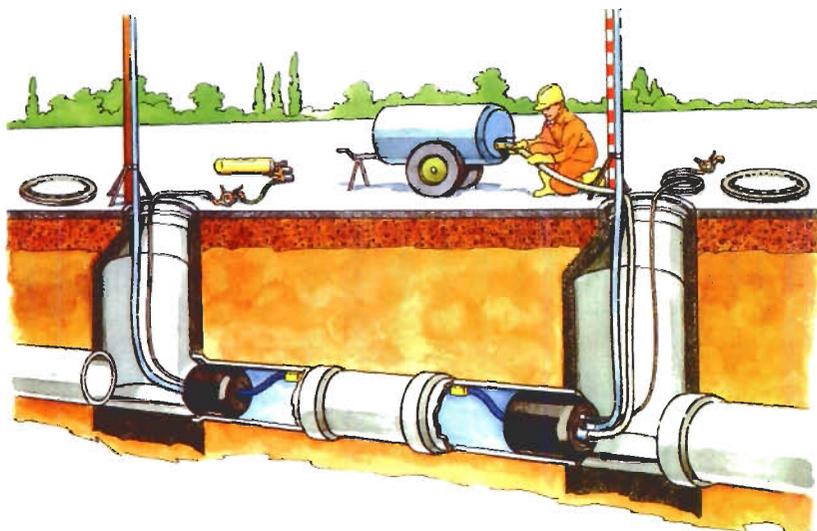
c) Comprobación de la cuantía y disposición de las armaduras.

d) Absorción de agua.

Para la comprobación de la alcalinidad del hormigón, de la cuantía y disposición de las armaduras y de la absorción de agua se utilizarán los tubos del ensayo de aplastamiento.

Si los resultados de los ensayos previos de aplastamiento, estanquidad y comprobaciones de alcalinidad, rugosidad y armado son satisfactorios, se consideran aceptados los tubos.





Si uno o varios de los ensayos previos no presenta resultados satisfactorios, y no es aceptado el material por la Dirección de Obra, se procederá a realizar dos nuevos ensayos de contraste sobre piezas elegidas al azar de entre las que componen la partida, salvo que el fabricante decida retirar el mismo. Los ensayos de contraste se realizarán en un laboratorio seleccionado de común acuerdo entre la Dirección de Obra, el contratista y el fabricante.

Si los ensayos de contraste son satisfactorios el lote será aceptado. En caso contrario, y si la Dirección de Obra lo acepta, se procederá, si fuera posible, a la reclasificación la partida o al rechazo del misma.

Los tubos de prueba se tomarán al azar de entre los que componen la partida o fracción del mismo.

Los ensayos y las restantes comprobaciones podrán ser realizadas en las instalaciones del fabricante.

Los ensayos podrán realizarse a cualquier edad del tubo, entendiéndose por edad los días transcurridos desde la fecha de fabricación, reflejándose ésta en el resultado de los mismos, pero se tendrá en cuenta la fecha a partir de la cual el fabricante garantiza sus características resistentes.

A aquellos tubos que estén en posesión de la marca AENOR o de otra marca de conformidad concedida sobre la base de la norma UNE 127.010, por un organismo acreditado para ello de acuerdo con la norma UNE 66.511, se les eximirá de los ensayos que están recogidos en dicha marca, debiendo hacerse la comprobación del albarán y examen visual de los elementos a su llegada a obra.

Las condiciones de aceptabilidad anteriormente expuestas están basadas en los requisitos que marca la norma UNE 127.010 y en las Recomendaciones para la redacción del Pliego de Prescripciones Técnicas de Tuberías Circulares en Redes de Saneamiento. Otros pliegos de prescripciones técnicas con condiciones de aceptabilidad similares son:

- Pliego de la Confederación Hidrográfica del Norte
- Pliego de la Mancomunidad de Aguas de Navarra
- Junta de Saneament de la Entitat Metropolitana de Catalunya.

Asimismo se deben realizar revisiones periódicas con el fin de asegurar el buen estado de los encofrados utilizados para el hormigonado de los tubos.

Todos estos controles posibilitan la ausencia de rechazo de tubos terminados, por problemas de dimensiones o de enchufe.

5 PUESTA EN OBRA E INSTALACIÓN

5.1 Generalidades

Una vez fabricado el tubo, es preciso transportarlo hasta su punto de empleo. En esta operación es preciso tomar las debidas precauciones para que los tubos no sufran esfuerzos superiores a aquellos para los que han sido calculados. En muchas ocasiones los esfuerzos en la manipulación son superiores a los que sufre el tubo en servicio, especialmente en lo que a flexión longitudinal se refiere.

Descargado el tubo en la obra, se procede primero al acopio y luego al montaje de la tubería una vez realizado el replanteo de la obra. Posteriormente se realizan comprobaciones sobre la correcta instalación y estanquidad de la tubería y se rellena y compacta la zanja.

De la correcta ejecución de las operaciones señaladas depende, en gran parte, el buen funcionamiento de la conducción a lo largo del tiempo, debiendo minimizarse tanto el tiempo de acopio de la tubería como de mantenimiento de la zanja abierta.

La estanquidad de la tubería viene condicionada por la integridad de los extremos del tubo, motivo por el cual estos deben manejarse adecuadamente para evitarles contusiones en las zonas terminales.

5.2. Transporte, descarga y acopio de los tubos de hormigón

5.2.1 Precauciones previas al suministro

Aunque los pedidos de los materiales son responsabilidad del constructor, el conocimiento del proyecto por parte del suministrador y una reunión previa conjunta con el director de obra, permitirán una mejor coordinación y se evitarán errores y posibles retrasos en los suministros de los tubos. Los fabricantes de tubos tienen en acopio, generalmente, una amplia gama de diámetros y de clases resistentes de tubos. La gran diversidad recogida en la normativa exige que las instalaciones de producción deban ser minuciosamente programadas para abordar las especificaciones concretas de cada proyecto, especialmente en las obras de gran volumen.



El contratista, al realizar el pedido, facilitará al fabricante:

- El nombre y localización completa de la obra.
- La designación, diámetro nominal, longitud y clase de los tubos.
- Requerimientos especiales si existen: resistencia a sulfatos, etc.
- Clases de exposición si éstas tuvieran alguna característica especial.
- La medición de cada tipo de tubo.
- Tipo y cantidad de juntas.
- Tipo, dimensiones y cantidad de piezas para los pozos de registro.
- Tipo y cantidad de tapas, pates y otras piezas especiales.
- La programación del suministro.
- Los útiles de descarga, instalación y prueba que precise.
- La aceptación de las condiciones de suministro y facturación.

5.2.2 Transporte

Los tubos son acondicionados en los camiones por la fábrica suministradora de acuerdo con criterios de seguridad vial y en función de las características específicas de cada tipo de tubo para evitar daños en el transporte a obra.

Los tubos se colocan en los vehículos en posición horizontal sobre cunas o listones. Según la norma UNE 127.010, los tubos se transportarán de forma que se garantice la inmovilidad transversal y longitudinal de la carga, así como la adecuada sujeción de los tubos apilados. Cuando se utilicen cables o eslingas de acero deberán estar convenientemente protegidos para evitar cualquier daño en la superficie del tubo que pueda afectar negativamente a su durabilidad y funcionamiento.

La manipulación de los tubos en fábrica y el transporte a obra deben efectuarse sin que sufran golpes o rozaduras, primordialmente en las boquillas y en las campanas.

En la carga de los vehículos se debe tener presente el número de hiladas de tubos que puede remontarse, de tal forma que las tensiones producidas en estas operaciones no superen el 35% de la resistencia característica del hormigón en ese momento, ni el 50% de la tensión máxima que corresponda a la carga de rotura.

La conducción de los vehículos deberá ser cuidadosa, evitándose las maniobras bruscas que puedan producir daños a los tubos.

5.2.3 Acondicionamiento de accesos

El mal estado de los accesos a las obras (deficientes carreteras, malos caminos internos de obra), puede producir daños en los tubos así como originar riesgos personales y a los vehículos.

Con objeto de evitar estas situaciones debe procurarse un buen acondicionamiento de los caminos de acceso.

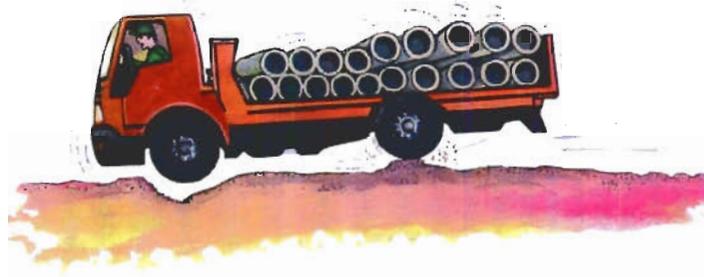


Figura 5.2.3 Acceso mal acondicionado

5.2.4 Recepción en obra

Siguiendo las recomendaciones de la norma UNE-EN 1610 para la recepción en obra, se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Los tubos que entren en obra, aunque previamente hayan sido inspeccionados en la fábrica, deben ser detenidamente comprobados a su recepción.
- Es responsabilidad del receptor verificar que los tubos se correspondan con el pedido cursado y que no han sufrido daños en el momento de la recepción.
- La recepción debe hacerse por personal experto conocedor de este tipo de materiales.
- Se verificará que están claramente marcados, según lo especificado en el apartado 4.4
- Cualquier anomalía que se detecte será motivo de consideración, tomándose las precauciones necesarias para apartar el material que ofrezca dudas para su utilización. Los extremos dañados, desconchones o pequeñas fisuras pueden ser reparados en obra previamente a su instalación con cementos especiales de alta adherencia.
- Las anomalías deben quedar reflejadas en el albarán de recepción, anotándose la cantidad de piezas dañadas y el tipo de daño advertido.

5.2.5 Descarga

- La descarga se realizará con los medios materiales y humanos adecuados para que la misma se realice con seguridad.
- Deberán adoptarse las instrucciones del fabricante al respecto.
- El contratista deberá proveer el procedimiento de descarga y manipulación de tubos más acorde con las especificaciones de calidad de la obra.
- Las piezas de hormigón pueden descargarse con la maquinaria convencional de excavación y de elevación, siempre que se disponga de dispositivos adecuados, al objeto de controlar con precisión los movimientos de descarga. Es recomendable el empleo de grúas automotrices para la descarga de tubos de peso superior a los 2.000 kg.

En la siguiente figura se exponen útiles y accesorios empleados usualmente en la descarga. Los puntos de contacto de estos útiles con los tubos deben disponer de protecciones elásticas.

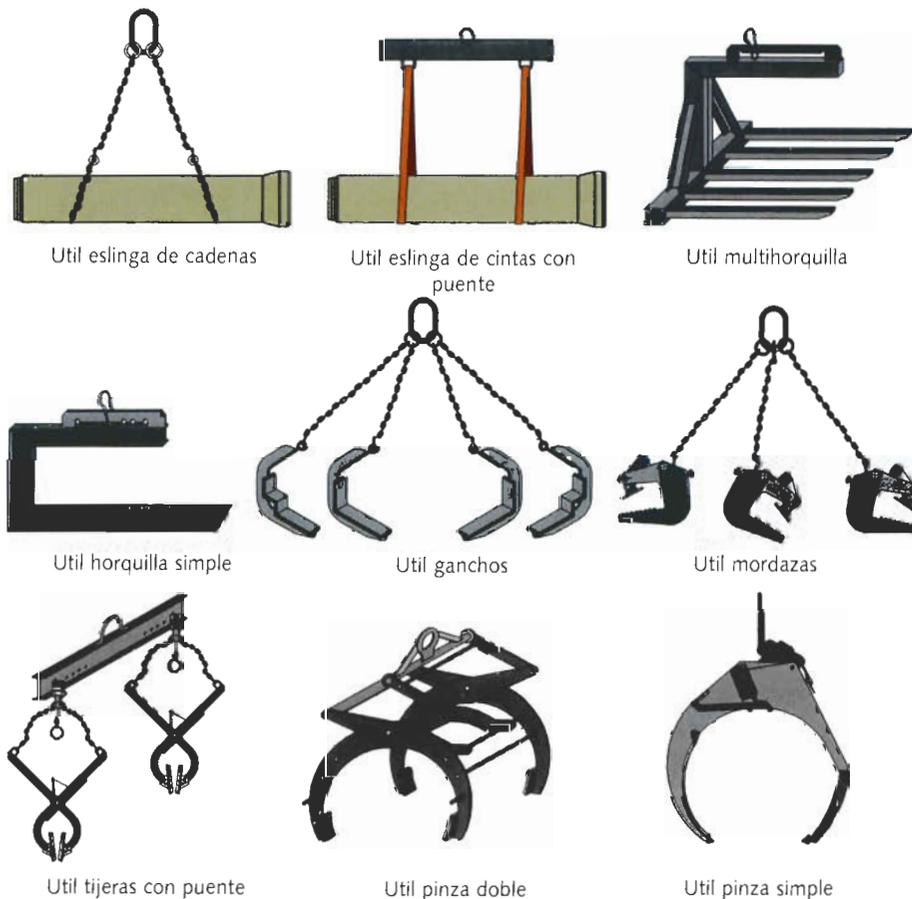


Figura 5.2.5.a

Una vez suspendido el tubo y hasta situarlo en su lugar de acopio han de tenerse en cuenta las siguientes observaciones:

- Evitar golpes entre tubos y contra el terreno.
- Guiar la carga tanto al elevarla como al depositarla.
- Maniobrar con suavidad.
- No situarse nunca debajo de la carga.
- Evitar que el tubo quede apoyado sobre puntos aislados o sobre roca.
- Después de la descarga evitar que los tubos sean arrastrados o rodados.
- Calzar los tubos con útiles adecuados que no dañen al propio tubo.
- Descargar los tubos lo más cerca posible del lugar donde van a ser instalados.

No es admisible la manipulación con dispositivos formados por cables desnudos ni por cadenas que estén en contacto con los extremos macho y hembra del tubo. En caso necesario, los cables y cadenas deberán disponer de revestimiento protector en la zona de contacto con el tubo.

Tampoco es admisible las descargas en grupo con cables o cadenas salvo que se disponga de un útil multihorquilla apropiado.

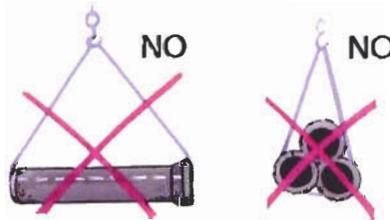


Figura 5.2.5.b Forma inadecuada de descarga de tubos

Se recomienda la suspensión por medio de bandas anchas o eslingas con el recubrimiento adecuado o de pinzas mecánicas que sujeten al tubo por el fuste. En caso de emplearse horquillas que ensarten el tubo, toda su zona de contacto con el mismo debe estar recubierta de madera o goma.

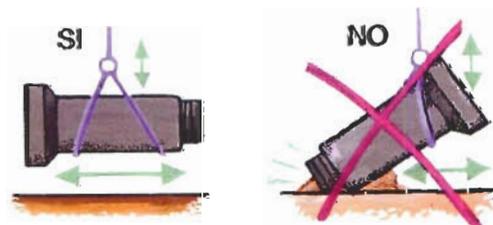


Figura 5.2.5.c Manejo adecuado e inadecuado

Una buena coordinación de los suministros con la marcha de la obra reduce el movimiento de los tubos y, en consecuencia, evita los riesgos por deterioro en la manipulación.

Se recomienda, siempre que sea posible, descargar los tubos al borde de la zanja y con el debido resguardo, para evitar sucesivas manipulaciones. Se procurará colocarlos en el lado opuesto al del acopio del material de la excavación de la zanja.

Cuando la instalación a realizar sea en terraplén los tubos pueden dejarse prácticamente en su posición definitiva.

5.2.6 Acopio de tubos de hormigón en obra

En el acopio de los tubos serán observadas las instrucciones del fabricante así como las especificaciones propias del producto.

El acopio de los tubos se hace normalmente tan cerca como sea posible del punto de instalación. Los tubos de pequeño diámetro pueden ser apilados de la misma manera que se cargan en el camión. El acopio de los tubos se hará en posición horizontal, salvo que se disponga de alguna solera rígida que garantice el acopio vertical en las debidas condiciones de seguridad. La hilada inferior debe colocarse en una superficie plana y adecuadamente calzada para prevenir desplazamientos. En cada hilada de tubos, la campana y los enchufes estarán en la misma dirección. Las campanas en la siguiente hilada están cambiadas y dispuestas encima de los enchufes de la hilada inferior. Los fustes de los tubos deben estar en contacto entre sí y las campanas voladas para evitar concentraciones de carga.

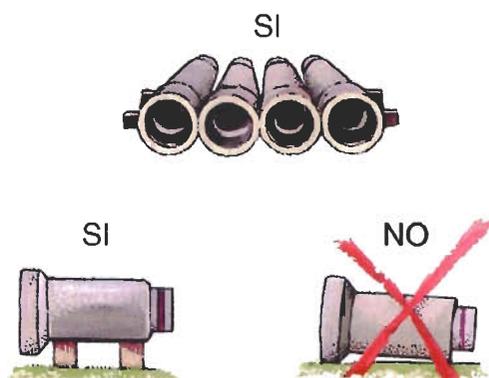


Figura 5.2.6 Acopio adecuado e inadecuado

El acopio de los tubos en obra puede hacerse de las siguientes maneras:

- a) Apilado centralizado
- b) Acopio lineal

a) Apilado centralizado

Se escogen zonas despejadas de la obra que permitan las maniobras de los vehículos y de las grúas y otros elementos auxiliares de descarga. Los tubos apilados no deben ser colocados en las proximidades de zanjas abiertas

El apilado más frecuente es el piramidal debiéndose adoptar precauciones especiales en el calzado lateral para prevenir que rueden. Se debe evitar un apilamiento excesivo en altura para que los tubos de la parte inferior no estén sobrecargados. Se recomienda que la altura del apilado no exceda de lo indicado en la siguiente tabla:

HILADAS DE APILADO DE TUBOS	
DIÁMETRO NOMINAL EN MM	NÚMERO DE HILADAS DE TUBOS
300 - 400	4
500 - 600	3
800 - 1.000	2
> 1.000	1

Tabla 5.2.6

La forma más segura de colocar la primera hilada es depositándola sobre el terreno nivelado, calzando por cuatro puntos cada uno de los tubos de esa hilada de arranque. La hilada siguiente se colocará de tal manera que todas las campanas estén al mismo lado y sobresalgan los machos de la hilada anterior, apoyándose los tubos sobre sus fustes.



El acopio a lo largo de las zanjas debe responder a los siguientes criterios:

- Colocar la tubería tan cerca como sea posible de la zanja con el debido resguardo.
- Dejar la tubería al lado opuesto a las tierras de excavación.
- Tener en cuenta que la tubería no se halle expuesta al tránsito de los vehículos de la obra, zonas de voladura, etc.

No deben almacenarse los tubos en el tajo por un período largo de tiempo en condiciones expuestas. Si fuera inevitable hacerlo deben protegerse adecuadamente (p ej: evitar el contacto con el suelo, evitar la exposición al sol, etc.).

Si durante los trabajos de acopio se detectara algún tubo dañado, debe ser separado, marcado y situado en acopio aparte.



5.2.7 Acopio de juntas en obra

- Las juntas de goma, siguiendo las especificaciones de conservación señaladas en la norma UNE-EN 681-1 y de la norma UNE-EN 1.610, se almacenan a cubierto, en lugar fresco y seco (entre 10° y 25° C) y protegidas de la luz.
- Cuando se empleen juntas de deslizamiento se adopta con el lubricante las mismas precauciones de conservación.
- Asimismo las juntas estarán libres de esfuerzo de tracción, compresión u otro tipo de esfuerzo que puedan deformarlas (reviradas o retorcidas, con pesos encima, etc.).
- No deben de estar en contacto con materiales líquidos o semisólidos, en especial disolventes, aceites y grasas, ni con metales.
- Los aros de goma deben protegerse de la luz, en especial de la radiación solar directa y de las radiaciones artificiales con un elevado porcentaje de ultravioletas. Se recomienda almacenarlos en contenedores opacos.

- No deben almacenarse en puntos próximos a instalaciones eléctricas capaces de generar ozono, como por ejemplo, las lámparas de vapor de mercurio, el material eléctrico de alta tensión u otro tipo de equipos que puedan producir chispas o descargas eléctricas silenciosas. Deben protegerse de los gases de combustión y de los vapores orgánicos, ya que pueden producir ozono por vía fotoquímica.
- Deben protegerse del aire en circulación, envolviéndolas y almacenándolas en envases cerrados.
- Para controlar las necesidades de montaje y evitar errores deben tenerse clasificadas y bien localizadas.
- Las juntas deben mantenerse limpias.



5.3. Ejecución de zanja

5.3.1. Trabajos Previos

Las obras para la construcción de colectores comprenden una serie de operaciones, como apertura de zanjas, perforación de túneles, rellenos, terraplenados, drenaje y compactación del suelo, etc. Todo ello exige un adecuado conocimiento de las condiciones del subsuelo por lo que debe realizarse un estudio para localizar tubos, cables y otros trabajos subterráneos.

La ejecución de las zanjas plantea una problemática específica por su realización en el subsuelo:

- Existencia conocida, o desconocida en muchos casos, de canalizaciones eléctricas de alta y baja tensión, de gas, de agua, telefónicas, etc.... que pueden ser causa de accidentes graves o conllevar grandes indemnizaciones por daños y perjuicios.
- Aparición de corrientes subterráneas, nivel freático alto, antiguas minas, etc., que ocasionan derrumbamientos y socavones. En otros casos, aparición de rocas que precisan la voladura con explosivos.
- Discurrir próximas a cimientos, en muchos casos antiguos y deficientes, en obras situadas en zonas edificadas.
- Presencia de yacimientos paleontológicos o arqueológicos.
- Interrupción del tráfico rodado y de la circulación de personas.

Esta problemática especial condiciona severamente el plan de obra y, por no estar prevista en el proyecto y presupuesto de la misma, obliga a resolverla sobre la marcha y con gran celeridad, con el consiguiente riesgo y responsabilidad.

Los componentes y los materiales utilizados para la instalación deben ser conformes con las normas nacionales, o, cuando sea posible, con su transposición a las normas europeas, o dependerán de la aprobación de los técnicos europeos o, en ausencia de éstos, los componentes y los materiales deben cumplir los requisitos del proyecto.

Según la norma UNE-EN 1.610, en la realización de los trabajos se debe asegurar que las hipótesis del proyecto son respetadas o adaptadas a nuevas condiciones

Las hipótesis de proyecto están afectadas por alguna de las siguientes variaciones:

- La anchura de la zanja en comparación con la prevista
- La profundidad de la zanja en comparación con la prevista
- El sistema de entibado de la zanja y el efecto que causa su retirada
- El grado de compactación del relleno envolvente
- El grado de compactación del relleno principal
- El apoyo de las tuberías y las condiciones del fondo de la zanja

- El tráfico y las cargas temporales
- Los tipos de suelo y los parámetros del suelo
- La forma de la zanja
- Las condiciones del terreno y del suelo
- El nivel freático
- Las canalizaciones adicionales en la misma zanja

5.3.2 Replanteo y Excavación

Para el replanteo, como paso previo a la excavación, debe ser marcada, colocada y referenciada con precisión la línea que pasa por el centro de la zanja y el ancho de la superficie de la zanja.

Cuando se requieran marcas temporales de colocación, deben establecerse en puntos donde no sea probable que sean quitadas o movidas.

Los intervalos entre las operaciones de excavación, instalación de la tubería, y relleno de tierras, deben ser lo más breves posibles. De esta forma se consigue:

- Acortar el tiempo de reutilización de los elementos de entibación si los hubiere.
- Prevenir posibles inundaciones de la zanja y derrumbes en la misma.
- Reducir la necesidad de controlar el agua subterránea.
- Reducir los requerimientos de los equipos.
- Minimizar las roturas de los servicios existentes.
- Acortar las perturbaciones al tráfico.
- Reducir los peligros de accidentes.
- Reducir impactos medioambientales adversos.

Se recomienda que no transcurran más de ocho días entre la excavación de la zanja y la colocación de la tubería.

En el caso de terrenos arcillosos o margosos de fácil meteorización, si fuese absolutamente imprescindible efectuar en más tiempo la apertura de las zanjas, se deberá dejar sin excavar unos veinte centímetros sobre la rasante de la solera, para realizar su acabado en un momento posterior.

Las zanjas pueden abrirse a mano o mecánicamente, perfectamente alineadas en planta y con la rasante uniforme, salvo que el tipo de tubo a emplear precise que se abran nichos. Estos nichos del fondo y de las paredes no deben hacerse hasta el momento de montar los tubos, para asegurar su posición y conservación.

Se excavará hasta la línea de la rasante siempre que el terreno sea uniforme; si quedan al descubierto elementos rígidos tales como piedras, rocas, fábricas antiguas, etc., será necesario excavar por debajo de la rasante para efectuar un relleno posterior, manteniendo la capacidad portante del terreno. De ser preciso efectuar voladuras para las excavaciones, en general en poblaciones, se adoptarán precauciones para la protección de personas o propiedades, siempre de acuerdo con la legislación vigente o las ordenanzas municipales, en su caso.

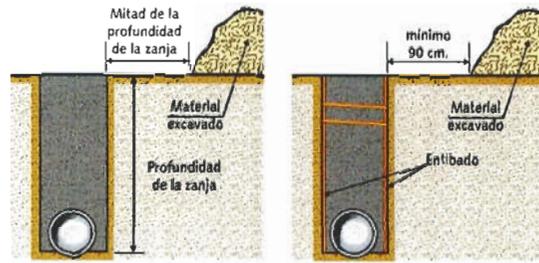


Figura 5.3.2 a
Colocación de las tierras excavadas

El material procedente de la excavación se apila lo suficientemente alejado del borde de las zanjas para evitar el desmoronamiento de éstas o que los desprendimientos puedan poner en peligro a los trabajadores. En el caso de que las excavaciones afecten a pavimentos, los materiales que puedan ser usados en la restauración de los mismos deben ser separados del material general de la excavación.

La forma en que se apile la tierra removida condiciona el empleo del equipo de excavación, la necesidad de entibaciones y las operaciones de relleno.

En el caso de instalaciones en zanja, el material extraído se usa frecuentemente para el posterior relleno, por lo que es conveniente acopiarlo a lo largo de la zanja a una distancia adecuada de uno de sus bordes. Una buena regla, en el caso de zanjas sin entibación, es situar la tierra extraída a una distancia del borde de la zanja no menor que la mitad de su profundidad.

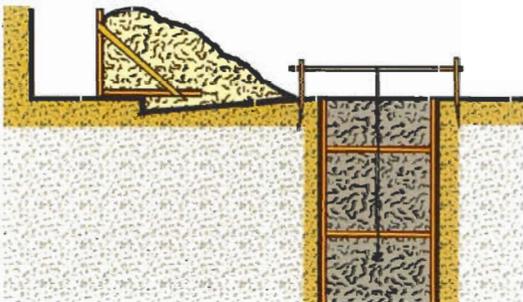


Figura 5.3.2.b Excavaciones en zanja para conductos de saneamiento.

Si la zanja se encuentra entibada suele ser suficiente una distancia libre de 90 cm.

En caso de calles estrechas, deben disponerse unas plataformas de madera que eviten la irrupción de tierras en las aceras.

Estas plataformas se deben hacer con tirantes, como se aprecia en la figura para que las propias tierras la estabilicen.

En calles estrechas o de mucha circulación es forzoso recurrir a veces al transporte de tierras a vertederos próximos y a nuevo relleno desde dichos vertederos para evitar reclamaciones de los vecinos.

La tierra amontonada en la proximidad del borde de la zanja produce una sobrecarga que afecta a su estabilidad. La capacidad de la pared de la zanja para soportarla depende del grado de cohesión del suelo. Dicha sobrecarga debe ser considerada al estudiar la estabilidad de los taludes (verticales o no) que constituyen las paredes de la zanja. Cuando la estabilidad del talud no resulte suficientemente segura la zanja debe ser entibada.

La apertura de zanjas muy profundas o muy anchas produce un gran volumen de tierras extraídas cuyo peso puede resultar excesivo para la estabilidad del talud. En este caso será necesario alejar una parte de dichas tierras o extenderlas en una mayor superficie. Si se prevé utilizar como relleno las mismas tierras procedentes de la excavación, éstas deben ser inspeccionadas a fin de retirar trozos grandes de roca, terrones helados, pedazos de escombros, y todo aquello cuyo peso y dureza pueda causar daños a la tubería en el impacto de caída o producir presiones puntuales al compactar el relleno.

En el caso de alcantarillado, con arreglo a los planos, se fija el eje de las zanjas de las alcantarillas clavando estacas en los bordes y, sobre ellas, un listón de madera que se coloca en rasante y alineación mediante niveletas. En los cambios de rasantes es donde ha de darse al encargado de obra la cota desde el listón hasta la solera de la zanja.

Los listones deben pintarse de blanco y rojo a cada lado de la línea de eje de alineación. Abierta la zanja y llegando a las proximidades de la cota de solera, se fija la alineación de la misma mediante un cordel tenso y se clavan estacas en el fondo a 10 ó 15 metros una de otra, que se hincan con cuidado hasta ponerse a la rasante justa, mediante niveletas.

Se pueden utilizar los diferentes equipos de excavación disponible. La selección del equipo más eficiente para una operación de excavación específica es importante, considerando que todo el equipo de excavación tiene limitaciones prácticas y económicas. Las consideraciones incluyen el tipo y cantidad de material para ser excavado, profundidad y anchura de excavación, las limitaciones dimensionales establecidas en los planos, tamaño del tubo, espacio de operación y colocación de las tierras excavadas. Los equipos más usuales pueden ser modificados o adaptados para su empleo en la mayoría de operaciones de excavación y movimiento de tierras.



5.3.3. Agotamiento, drenajes y entibaciones

La entibación de zanjas se utiliza para estabilizar excavaciones lineales. Con este nombre se engloban todos los sistemas de revestimientos y apuntalamientos de las paredes de la excavación. Se denomina entibación a la sujeción provisional por medios económicos y recuperables, instalados a mano o con elementos mecánicos poco importantes, de las paredes de la excavación. Este sistema se emplea en excavaciones que permiten acodalar o apuntalar el revestimiento de una pared contra la opuesta, transmitiéndose los empujes de las tierras de una a otra a través de los puntales y resultando compensados entre sí.

Hay administraciones que exigen un estudio detallado del sistema de entibación a partir de los 1,25 m. Otras administraciones u organizaciones de seguridad e higiene no son tan explícitas. En general, se puede decir que todo depende de las experiencias y condiciones locales.

Desde el punto de vista técnico la necesidad de entibar y los empujes a considerar en el cálculo de las entibaciones depende de:

- La profundidad y anchura de la excavación.
- Las características del suelo.
- La presencia o existencia de nivel freático.
- La proximidad de edificios y otras estructuras.
- La proximidad del tráfico y cualquier otra fuente de vibraciones.
- Del lugar donde se deposita el material excavado y otras sobrecargas.
- Las posibles condiciones o imposiciones locales de diseño o cálculo.

En caso de terrenos secos y firmes, la entibación puede reducirse a la de la de la figura con tablones, de más anchura (o mayor número) a medida que se profundiza, sujetos por codales separados de 1,5 a 2 m y constituidos por rollizos de madera sana, de unos 15 cm de grosor. En estos casos puede excavarse el fondo de las zanjas, dándoles ya la forma de la sección a recibir.

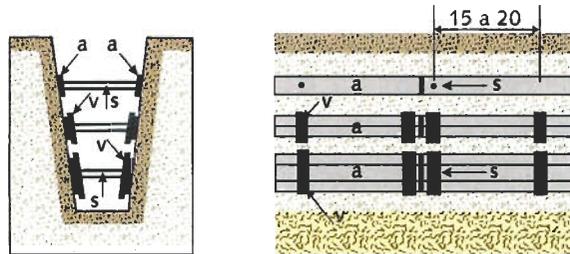


Figura 5.3.3.a Entibación ligera con acodalamientos

Cuando el terreno es suelto y no se mantiene sin desmoronarse en una altura igual a la anchura de un tablón, existe la necesidad de proceder a la entibación vertical en la forma indicada en la figura con acodalamientos reforzados, o sea, con entibaciones semicuajadas.



Cuando existen terrenos superiores sueltos (generalmente diluviales o de acarreos) sobre otros compactos y, sobre todo (como es frecuente en las calles), la capa superior es de relleno y la inferior compacta, puede hacerse una entibación parcial, cuajada en la parte superior. Con ello queda libre la zona de trabajo propiamente dicha, que no suele presentar entibación o ésta puede ser mínima.

Si el terreno está saturado de agua o se sobrepasase el nivel freático se puede hacer descender el nivel de agua u optar por el tablestacado.

El descenso del nivel freático puede hacerse por simple drenaje natural por los laterales del fondo de zanja o por rebaje de la misma mediante bombeo.

En algunos casos puede llegar a requerirse la utilización de lanzas de drenaje o "well point". Durante el trabajo de instalación, las excavaciones se deberían mantener resguardadas del agua, por ejemplo agua de lluvia, infiltraciones, o agua procedente de fugas en las tuberías. Los métodos para el drenaje no deberán afectar al relleno envolvente y a las tuberías.

Se deben tomar precauciones para prevenir las pérdidas de los materiales finos durante el drenaje. Además, debe tenerse en cuenta la influencia del drenaje en los movimientos de tierra debidos al agua y la estabilidad de las áreas circundantes.

Al completar el drenaje deben sellarse adecuadamente los drenajes temporales.

Los acodalamientos pueden emplearse para instalar plataformas escalonadas, que faciliten la extracción de tierras y descenso de materiales, cuando no se emplean medios elevatorios. Este sistema, combinado con escalonamientos en las entibaciones, es el más adecuado para trincheras de gran profundidad, pues se facilita la hinca de los tablones.

Es aconsejable que la apertura de zanja, la colocación de las tuberías y el relleno, vayan lo más adecuadamente acompasados, para que ni aquella esté demasiado tiempo abierta, para evitar el peligro de desprendimientos, inundaciones o meteorización del terreno, ni daños a las tuberías o alcantarillas ya colocadas además de evitar posibles accidentes.

En caso de poblaciones sin servicios en el subsuelo, o en ensanches y zonas a urbanizar, en las que el alcantarillado vaya por delante de todo trabajo de urbanización, es preferible emplear máquinas zanjadoras para las excavaciones.

Las excavaciones con zanjadora de cangilones son muy cómodas si el terreno se presta a ello, es decir, si además de no haber obstáculos de tuberías, acometidas de agua o atarjeas, es tierra blanda o terreno de tránsito.

Pueden también utilizarse palas excavadoras con dispositivo retrozanjador que, además de servir para la apertura de la zanja, pueden utilizarse para la extracción de posibles desprendimientos, carga o descarga y colocación de tubos, actuando como grúas.

5.3.4 Profundidad de la zanja

La profundidad mínima de las zanjas, sin perjuicio de consideraciones funcionales, se determina de forma que las tuberías resulten protegidas de los efectos del tráfico y cargas exteriores, así como preservadas de las variaciones de temperatura del medio ambiente. Para ello, el proyectista debe tener en cuenta la situación de la tubería (según sea bajo calzada o lugar de tráfico más o menos intenso, o bajo aceras de lugar sin tráfico), el tipo de relleno, la pavimentación si existe, la forma y calidad del lecho de apoyo, la naturaleza de las tierras, etc. Como norma general, bajo las calzadas o en terreno de posible tráfico rodado, la profundidad mínima será tal que la generatriz superior de la tubería quede por lo menos a un metro de la superficie; en aceras o lugares sin tráfico rodado puede disminuirse este recubrimiento a sesenta centímetros. Si el recubrimiento indicado como mínimo no pudiera respetarse por razones topográficas, por otras canalizaciones, etc..., se tomarán las medidas de protección necesarias.

Las conducciones de saneamiento se sitúan en plano inferior a las de abastecimiento, con distancias vertical y horizontal entre una y otra no menor de un metro, medido entre planos tangentes, horizontales y verticales a cada tubería más próxima entre sí. Si estas condiciones no pudieran mantenerse justificadamente o fuera preciso cruces con otras canalizaciones, deben adoptarse precauciones especiales.

5.3.5 Anchura de la zanja

El ancho de la zanja depende del tamaño de los tubos, profundidad de la zanja, taludes de las paredes laterales, naturaleza del terreno y consiguiente necesidad o no de entibación, etc... Al proyectar, la anchura de la zanja se tendrá en cuenta si su profundidad o la pendiente de su solera exigen el montaje de los tubos con medios auxiliares especiales (pórticos, carretones, etc.).

La norma UNE-EN 1610 indica que si se necesita un acceso lateral por la cara exterior de las estructuras subterráneas, como por ejemplo en los pozos, se debe dejar un espacio protegido para el trabajo de 50 cm de ancho.

Si se colocan 2 ó más tubos en la misma zanja o terraplén, se debe dejar un espacio horizontal de trabajo entre los tubos. Si no está especificado de otra forma la citada norma recomienda:

- 0,35 m para tubos < 700 D
- 0,50 m para tubos > 700 D

La carga de tierras que recibe la tubería es función de la anchura de la zanja. Por ello, el ancho no debe ser superior al de proyecto. El ancho mínimo de la zanja según norma UNE-EN 1.610 será el valor mayor obtenido entre las tablas 5.3.5.a y 5.3.5.b que se exponen a continuación, con las excepciones hechas en el apartado 5.3.5.1.

DIAMETRO NOMINAL D (mm)	ANCHO MÍNIMO DE ZANJA (OD + x) (m)		
	ZANJA ENTIBADA	ZANJA SIN ENTIBAR	
		$\beta > 60^\circ$	$\beta \leq 60^\circ$
$D \leq 225$	OD+0,40	OD+0,40	
$225 < D \leq 350$	OD+0,50	OD+0,50	OD+0,40
$350 < D \leq 700$	OD+0,70	OD+0,70	OD+0,40
$700 < D \leq 1200$	OD+0,85	OD+0,85	OD+0,40
$D > 1.200$	OD+1,00	OD+1,00	OD+0,40

En los valores OD + x, x/2 representa el espacio mínimo de trabajo entre el tubo y la pared de la zanja o la entibación.
 Donde:
 - OD es el diámetro exterior, en metros.
 - β es el ángulo de la pared de la zanja medido desde la horizontal (ver figura 5.3.5 a)

Tabla 5.3.5.a: Ancho mínimo de la zanja en relación con el diámetro nominal D

PROFUNDIDAD DE ZANJA(P) (m)	ANCHO MÍNIMO DE ZANJA (m)
$P < 1,00$	NO EXISTE ANCHO MÍNIMO
$1,00 < P \leq 1,75$	0,80
$1,75 < P \leq 4,00$	0,90
$P > 4,00$	1,00

Tabla 5.3.5.b: Ancho mínimo en relación profundidad de zanja

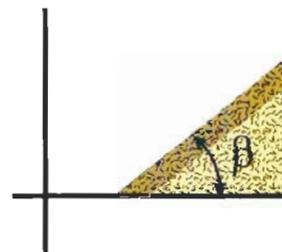


Figura 5.3.5.a: Ángulo β de muros profundidad sin entibar

El proyectista considera un determinado valor de anchura de zanja en base al cual calcula la carga del relleno de tierras. Luego determina la resistencia nominal de los tubos que deben soportar ésta y otras acciones en las condiciones de apoyo dadas.

Hacemos hincapié por su extrema importancia en que si la anchura real de la zanja excede de la prevista, la carga sobre la tubería puede llegar a ser excesiva y originar daños a la misma.

El rozamiento del relleno con las paredes de la zanja transfiere a éstas una parte del peso de las tierras, mientras el resto carga sobre la tubería. En las zanjas entibadas este efecto "silo" puede quedar anulado.

Si la zanja se ha excavado con una anchura excesiva, o sus paredes se han abierto en talud, una solución para evitar el consiguiente incremento de carga consiste en excavar en el fondo una zanja más estrecha, cuyo borde superior quede no menos de 30 cm por encima de la clave del tubo, como muestra la siguiente figura.

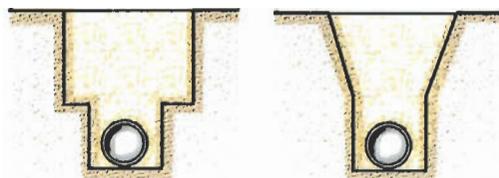


Fig.5.3.5.b Instalación en subzanja en una zanja ancha

5.3.5.1 Excepciones para el ancho mínimo de zanja

La norma UNE-EN 1.610 establece excepciones para la obtención del ancho mínimo según las tablas 5.3.5.a y 5.3.5.b. El ancho mínimo de zanja podrá ser modificado en función de las siguientes circunstancias:

- En aquellas zonas donde los trabajadores nunca necesiten entrar en la zanja, como por ejemplo cuando se hace uso de técnicas de instalación automática.
- En aquellas zonas donde los trabajadores no tengan que introducirse nunca entre la tubería y la pared de la zanja.
- En situaciones de falta de espacio inevitables.

5.3.6 Acondicionamiento del fondo de la zanja

La pendiente y el material del fondo de la zanja deben cumplir las especificaciones del proyecto. El material del fondo de la zanja no debería ser alterado. Si se modificase debe conservarse la capacidad portante prevista originalmente.

Cuando el tendido de las canalizaciones sea sobre el fondo de la zanja, éste deberá adaptarse a la pendiente y a la forma específica del tubo, de manera que se asegure un apoyo completo a lo largo del fuste de la tubería.

Al objeto de conseguir una rasante uniforme se rellena la base de la zanja, preferentemente con arena suelta, grava o piedra machacada (de tamaño inferior a 20 milímetros), compactándola para evitar asientos diferenciales.

En el caso de tener una capa de tierras inconsistentes en el fondo de la zanja, la norma UNE-EN 1610 indica que se deberá eliminar la misma y reemplazarla con un material adecuado. Si se encuentran volúmenes importantes se debería realizar una reevaluación del diseño estructural.

Estos rellenos se apisonarán cuidadosamente por tongadas y se regularizará la superficie. En caso de que el fondo de la zanja se rellene con arena o grava, se efectuarán en el relleno, cuando el tipo de tubos así lo exija, los nichos para las mismas.

Los tubos no se apoyarán directamente sobre la rasante de la zanja, sino sobre camas o lechos.

Las características de estas camas dependen del terreno, de las dimensiones de los tubos y del tipo de tubo utilizado.

Cuando las bajas temperaturas lo requieran, será necesario proteger el fondo de zanja de manera que las capas congeladas no se dejen debajo o a los lados de los tubos.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Tuberías de Saneamiento de Poblaciones del Ministerio de Fomento clasifica los terrenos en las tres calidades siguientes:

- Estables: Terrenos consolidados, con garantía de estabilidad. En este tipo de rellenos se incluyen, los rocosos, los de tránsito, los compactos y análogos.
- Inestables: Terrenos con posibilidad de expansiones o de asentamientos localizados, los cuales, mediante un tratamiento adecuado, pueden corregirse hasta alcanzar unas características similares a las de los terrenos estables. En este tipo de terreno se incluyen, las arcillas, los rellenos y otros análogos.
- Excepcionalmente inestables: Terrenos con gran posibilidad de asentamientos, de deslizamientos o fenómenos perturbadores. En esta categoría se incluyen los fangos, arcillas expansivas, los terrenos movedizos y análogos.

Como consecuencia de esta clasificación y de acuerdo con las características de los tubos, de las juntas y del terreno, se recomiendan las camas señaladas en la Tabla 5.3.6. Para los terrenos malos, y para preparar éstos previamente a la colocación de la cama, se indica en la misma tabla el tipo de base especial recomendable en cada circunstancia. Cuando el terreno es muy malo, el proyectista o el director de obra estudiará en cada caso concreto la solución que crea más adecuada.



DIÁMETRO DEL TUBO	TIPO DE JUNTA	NATURALEZA DEL TERRENO			
		BUENO O ESTABLE	MALO O INESTABLE		MUY MALO O EXCEPCIONALMENTE INESTABLE (*)
			BASE ESPECIAL	CAMA	
HASTA 300	FLEXIBLE	B-1-a	C-1-b	B-1-a	
	RÍGIDA	A-1-a	C-1-b	B-1-A	
HASTA 600	FLEXIBLE	B-1-a	C-2-b	A-1-a	
	RÍGIDA	A-1-a	c-2-b	B-2-a	
HASTA 1000	FLEXIBLE	B-2-a	C-3-b	A-2-a	
	RÍGIDA	A-2-a	C-3-b	A-2-a	
HASTA 1500	FLEXIBLE	B-3-a	C-3-b	B-3-a	
	RÍGIDA	A-3-a	C-3-b	A-3-a	
HASTA 3000	FLEXIBLE	C-3-a	C-3-b	C-3-a	
	RÍGIDA	A-3-a	C-3-b	A-3-a	

A: SOLERA DE HORMIGÓN DE 200 kg DE CEMENTO/m³.

B: LECHO DE ARENA CON GRANULOMETRÍA DE 2 A 5 MILÍMETROS, O GRAVA CON TAMAÑO COMPRENDIDO ENTRE 5 A 15 MILÍMETROS.

C: GRAVA COMPACTADA.

1: ESPESOR MÍNIMO: 10 cm.

2: ESPESOR MÍNIMO: 15 cm.

3: ESPESOR MÍNIMO: 20 cm.

a: ANCHO IGUAL, COMO MÍNIMO, AL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA.

b: ANCHO IGUAL AL DE LA ZANJA.

(*) TERRENOS EXCEPCIONALMENTE INESTABLES.- LOS TERRENOS EXCEPCIONALMENTE INESTABLES SE TRATARÁN CON DISPOSICIONES ADECUADAS EN CADA CASO, SIENDO CRITERIO GENERAL PROCURAR EVITARLOS, AÚN CON AUMENTO DEL PRESUPUESTO.

Tabla 5.3.6

5.3.7 Salud y seguridad en los trabajos de instalación de tuberías

Los riesgos detectables más comunes para el personal que interviene en todo el proceso de instalación de una conducción son: desprendimiento de tierras, caída de personas a distinto nivel, caídas de personas al interior de la zanja, enterramientos accidentales, atrapamiento de personas por la maquinaria y los vehículos de obra y los derivados por interferencias con conducciones enterradas, inundación, golpes por objetos, caídas de objetos, etc.

Dadas las graves consecuencias que se pueden derivar deben adoptarse normas y medidas preventivas.

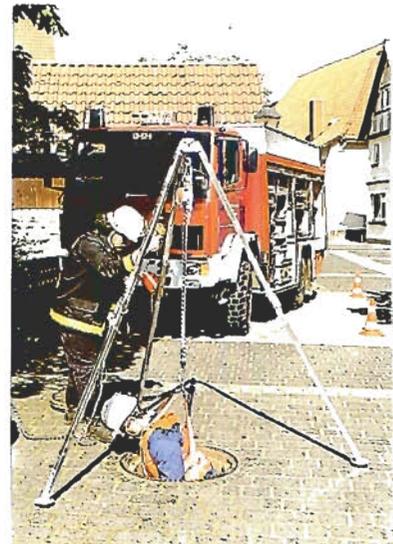
Estas normas y medidas pueden resumirse en:

- El personal que va a trabajar en el interior de las zanjas conocerá los riesgos a los que puede estar sometido.
- El acceso y salida de una zanja se efectuará mediante una escalera sólida, anclada en el borde superior de la zanja y estará apoyada sobre una superficie sólida de reparto de cargas. La escalera sobrepasará en 1 m el borde de la zanja.
- Quedan prohibidos los acopios (tierras, materiales, etc.) a una distancia inferior a los 2 m, como norma general, del borde de zanja.
- Cuando la profundidad de una zanja sea igual o superior a los 2 m se protegerán los bordes de coronación mediante una barandilla reglamentaria (pasamanos, listón intermedio y rodapié) situada a una distancia mínima de 2 m del borde.

* **NOTA:**

Cuando la profundidad de una zanja sea inferior a los 2 m puede instalarse una señalización de peligro de los siguientes tipos:

- Línea en yeso o cal situada a 2 m del borde de la zanja y paralela a la misma (su visión es posible con escasa iluminación).
- Línea de señalización paralela a la zanja formada con cuerda de banderolas sobre pies derechos.
- Cierre eficaz del acceso a la coronación de los bordes de las zanjas en toda una determinada zona.
- La combinación de los anteriores.
- Si los trabajos requieren iluminación se efectuará mediante torretas aisladas con toma de tierra, en las que se instalarán proyectores de intemperie, alimentados a través de un cuadro eléctrico general de obra.



- Si los trabajos requieren iluminación portátil, la alimentación de las lámparas se efectuará a 24 V. Los portátiles estarán provistos de rejilla protectora y de carcasa-mango aislados eléctricamente.
- Se tenderá sobre la superficie de los taludes una malla de alambre galvanizado firmemente sujeta al terreno mediante redondos de hierro de 1 m de longitud, hincados en el terreno. Esta protección es adecuada para el mantenimiento de taludes que deban quedar estables durante largo tiempo.
- Se revisará el estado de cortes o taludes a intervalos regulares en aquellos casos en los que puedan recibir empujes exógenos por proximidad de caminos, calles, carreteras, etc. Esto se hará en especial si en la proximidad se establecen tajos con uso de martillos neumáticos, compactaciones por vibración o paso de maquinaria para el movimiento de tierras.
- Los trabajos a realizar en los bordes de las zanjas, con taludes no muy estables, se ejecutarán sujetos con el cinturón de seguridad amarrado a "puntos fuertes" ubicados en el exterior de las zanjas.
- Se efectuará el achique inmediato de las aguas que afloran (o caen) en el interior de las zanjas para evitar que se altere la estabilidad de los taludes.
- Se revisarán las entibaciones tras la interrupción de los trabajos antes de reanudarse éstos de nuevo.
- Las zanjas deben estar rodeadas de zócalos para impedir la caída de materiales sobre el personal que trabaja en el fondo de la excavación.
- No se debe suprimir nunca uno o varios entibados, ya que entonces el blindaje restante no presenta suficiente resistencia para impedir los hundimientos.
- Para acceder o salir del fondo de una zanja deben utilizarse escaleras de mano. No debe hacerse trepando por los puntales de la entibación.
- Para pasar por encima de una zanja se deben instalar pasarelas adecuadas. Nunca debe pasarse sobre los puntales del entibado.

En lo que se refiere a las prendas de protección personal se han de utilizar: casco, mascarilla antipolvo con filtro mecánico recambiable, gafas antipolvo, cinturón de seguridad, guantes de cuero, botas de seguridad, botas de goma, ropa de trabajo, traje para ambientes húmedos o lluviosos y protectores auditivos.

5.4 Alojamiento de tuberías en instalaciones especiales

5.4.1 Instalación en Terraplén

Una vez que se ha instalado la tubería del modo especificado en el proyecto y cuando las uniones entre tubos y los apoyos de los tubos estén en condiciones de admitir cargas, se procede al terraplenado de la zona en tongadas sucesivas. Es necesario extender el material en capas de espesor suficientemente uniforme.

Si el material es transportado por traillas es posible descargarlo directamente en capas de uniformidad aceptable. En caso de transportarlo por medio de camiones o dumpers se procede a

descargarlos con un espaciamiento adecuado al volumen del camión y el espesor de capa deseado. Después se procede a extenderlo con bulldozer o motoniveladora, cuidando siempre de que para la compactación mecánica del material que está situado justo encima del tubo haya una profundidad mínima de 300 mm tal y como recoge la norma UNE-EN 1.610.

En las instalaciones en terraplén, el prisma central, que está limitado por los planos verticales tangentes a la tubería, es de menor altura que los prismas exteriores y, por tanto, estos prismas asientan más que el prisma central y se producen unas fuerzas de rozamiento, sobre este último, que originan un aumento del peso del relleno sobre la tubería.

Al aumentar la altura del relleno, disminuye la diferencia de asentamiento, que se hace nula en el plano de igual asentamiento. A partir de dicho plano no se producen sobrecargas sobre el tubo debidas a las fuerzas de rozamiento de los prismas laterales. Las cargas que recibe el tubo pueden ser calculadas según las teorías expuestas en el capítulo 3.

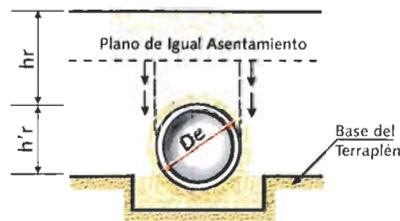


Figura 5.4.1. Esquema de tubería colocada en terraplén

5.4.2 Zanja terraplenada

Un tubo está colocado en zanja terraplenada cuando sobre la zanja que hay que rellenar se efectúa un terraplén. Las condiciones a cumplir para la correcta instalación de un tubo son las mismas que las enumeradas en el capítulo 3 de instalación en zanja terraplenada a lo que se añadirá un terraplén adicional sobre la zanja tal y como se muestra en la siguiente figura.

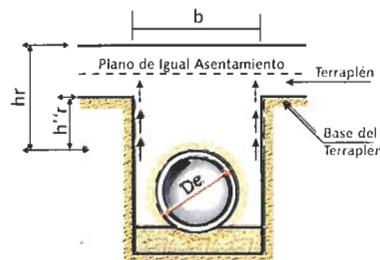


Figura 5.4.2. Esquema de tubería colocada en zanja terraplenada

En la instalación en zanja terraplenada, el prisma central que está limitado por los planos que contienen las paredes de la zanja, es de mayor altura que los prismas exteriores y, por tanto, estos prismas asientan menos que el prisma central, y se producen unas fuerzas de rozamiento, sobre este último, que originan un aligeramiento del peso del relleno sobre la tubería.

5.4.3 Zanja inducida en terraplén

Como se ha indicado en la parte de diseño y cálculo, la carga que recibe una conducción instalada en terraplén puede reducirse invirtiendo artificialmente el sentido del deslizamiento, es decir, haciendo que el prisma central descienda más que los exteriores y generando así unas fuerzas de rozamiento dirigidas hacia arriba, las cuales equilibran parte del peso del prisma central y, en consecuencia, aligeran la carga sobre la conducción.

De esta manera se transforma una instalación en terraplén en otra en zanja terraplenada. Las dos modalidades de instalación se contemplan en capítulos anteriores de este manual (véase apartado 3.5.3.5)

5.4.4 Instalaciones especiales

Se consideran instalaciones especiales las tuberías en túnel y tubos hincados con empujador (tubos para hinca), las conducciones semienterradas, las conducciones elevadas y las tuberías alojadas en tubos protectores.

5.4.4.1 Tuberías en túnel y tubos hincados con empujador

Las primeras perforaciones horizontales datan de principios de siglo en Estados Unidos, pero fue a partir de 1.950 cuando se generalizó su uso. Actualmente es práctica generalizada en toda Europa.

En las instalaciones en túnel la excavación debe coincidir, lo más ajustadamente que sea posible, con la superficie exterior de la tubería, lo mismo que cuando se empleen tubos de hinca.

Las principales tecnologías para realizar hincado de tubería son:

Barrenado: consiste en la perforación por barrenado del terreno, retirada del material mediante un tornillo sinfin y colocación de tubería hasta D 1.200.

Microtuneladoras: son las mas empleadas para el hincado de tubería de hormigón armado, y a la que dedicaremos una mayor atención.

En la figura está representado el sistema de microtuneladora para hinca de tubos de hormigón armado, el cual consta de las siguientes partes principales:



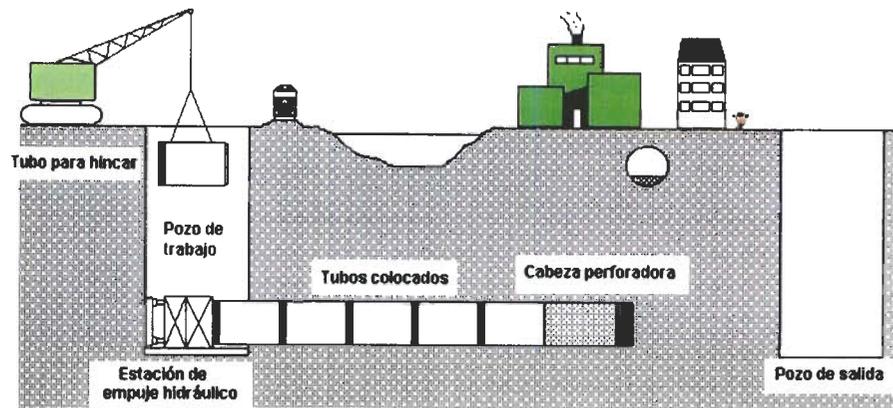


Figura 5.4.4.1 Sistema de microtuneladora para hincas de tubos

1. Pozo de ataque: debe tener espacio suficiente para alojar los componentes de la hincas y proteger la zona de trabajo. Su pared posterior ha de ser capaz de resistir los empujes previstos para colocar la tubería.
2. Cabeza perforadora o microtuneladora: formada básicamente por el cabezal de ataque donde van colocados los grupos eléctricos, oleohidráulico y compresor así como los depósitos de aire y combustible y las distintas coronas de corte dependiendo de los terrenos a perforar. En esta sección suelen incluirse los cuadros eléctricos y automatismos, así como el pupitre de control y la cabeza de guiado, por lo que el operario-maquinista dispone de total información durante el trabajo. El pupitre de mando ofrece la situación exacta de los gatos hidráulicos para el direccionamiento de la cabeza, pudiendo corregir las posibles desviaciones de trayectoria. Estos equipos suelen ir dotados de un sistema de guiado por láser para conocer en cada momento la posición real.
3. Elemento de empuje: formado por un sistema de cilindros hidráulicos en número adecuado al diámetro de los tubos que, a través de una corona para repartir esfuerzos, empuja sobre los tubos para introducirlos en la perforación. Dado que los cilindros hidráulicos tienen un recorrido limitado, se colocan unos postizos a medida que el tubo va introduciéndose con el fin de no parar el avance.



La longitud de una perforación viene condicionada por la máxima presión que pueden desarrollar los cilindros y, por otra parte, por la resistencia que ofrece la compresión longitudinal de la tubería, tal como se indica en el apartado 3.9.4.4.

No obstante, para afrontar perforaciones de grandes longitudes, se prevé la colocación de estaciones intermedias. Éstas constan de un sistema de cilindros hidráulicos de carrera corta, cuyo empuje actúa alternándose con el de la estación principal.



5.4.4.2 Conducciones semienterradas

Se hacen con frecuencia en tuberías para regadíos. La zanja, cama e instalación del tubo se efectúa siguiendo las instrucciones señaladas en apartados precedentes, siendo recomendable la cobertura de la tubería con un caballete de tierra cuya coronación supere al menos en 30 cm la generatriz superior del tubo. Este caballete tiene por finalidad aislar la conducción. En el caso de que circulen vehículos deberá reforzarse el caballete para evitar los daños que puedan producir estas sobrecargas móviles.

5.4.4.3 Conducciones elevadas

Las conducciones elevadas requieren un diseño y una instalación individualizadas para cada caso (por ejemplo: apoyadas o suspendidas). Las tuberías deben estar protegidas frente a cualquier efecto perjudicial del medio ambiente. Suele ser habitual un tratamiento de pintura blanca o su recubrimiento en láminas o lonas blancas de material plástico y, en casos especiales, aislados con espuma de poliuretano o similar.

5.4.4.4 Tuberías insertadas en tubos protectores

Bajo ciertas condiciones, por ejemplo en áreas de acuíferos protegidos o en instalaciones industriales, puede ser necesario instalar las tuberías insertadas en tubos protectores. La precaución especial a adoptar es el diseño de collarines u otro tipo de fijaciones especiales que sujeten el tubo a su camisa exterior. Lógicamente, el dimensionamiento mecánico del forro es esencial ya que es el elemento sujeto a las cargas externas.

5.5 Montaje de los Tubos

5.5.1 Orden de ejecución del montaje de los tubos de saneamiento.

El tendido de tuberías debe comenzar en el extremo aguas abajo, colocando normalmente las tuberías con las embocaduras orientadas aguas arriba.

Es conveniente tener en cuenta, cuando se interrumpe el montaje de forma significativa, la necesidad de obturar provisionalmente los extremos de la tubería. Además, se debe prevenir la entrada de materiales dentro de la tubería, y retirarlos en caso de que ésto suceda.

Antes de la ejecución del montaje de la tubería conviene establecer un orden del mismo a fin de conseguir una mayor agilidad y economía puesto que así se evitará el empleo innecesario de tubos a medida o el corte de tubos en obra.

El orden de montaje debe ser el siguiente:

Colector principal → Colectores secundarios → Ramales → Pozos absorbaderos de Pluviales → Acometidas domiciliarias

es decir, igual que crece un árbol, de manera que las arquetas de acometidas domiciliarias, los pozos absorbaderos de pluviales y los pozos terminales de ramal se ponen los últimos (hojas del árbol).

En el ejemplo de esquema de planta de red que se da a continuación, el orden de ejecución del montaje sería como sigue:

Montar el colector principal desde el pozo PCP₁ al pozo PCP₂, del PCP₂ al PCP₃, etc...

Montar cada colector secundario desde el principal, ejemplo, el colector 1

el PCP₁ → PC₁₋₁ → PC₁₋₂

Montar cada ramal desde el colector secundario, ejemplo, ramal 2-1 del colector 2

el PC₂₋₁ → PR₂₋₁₋₁ → PR₂₋₁₋₂ → PR₂₋₁₋₃ → PR₂₋₁₋₄

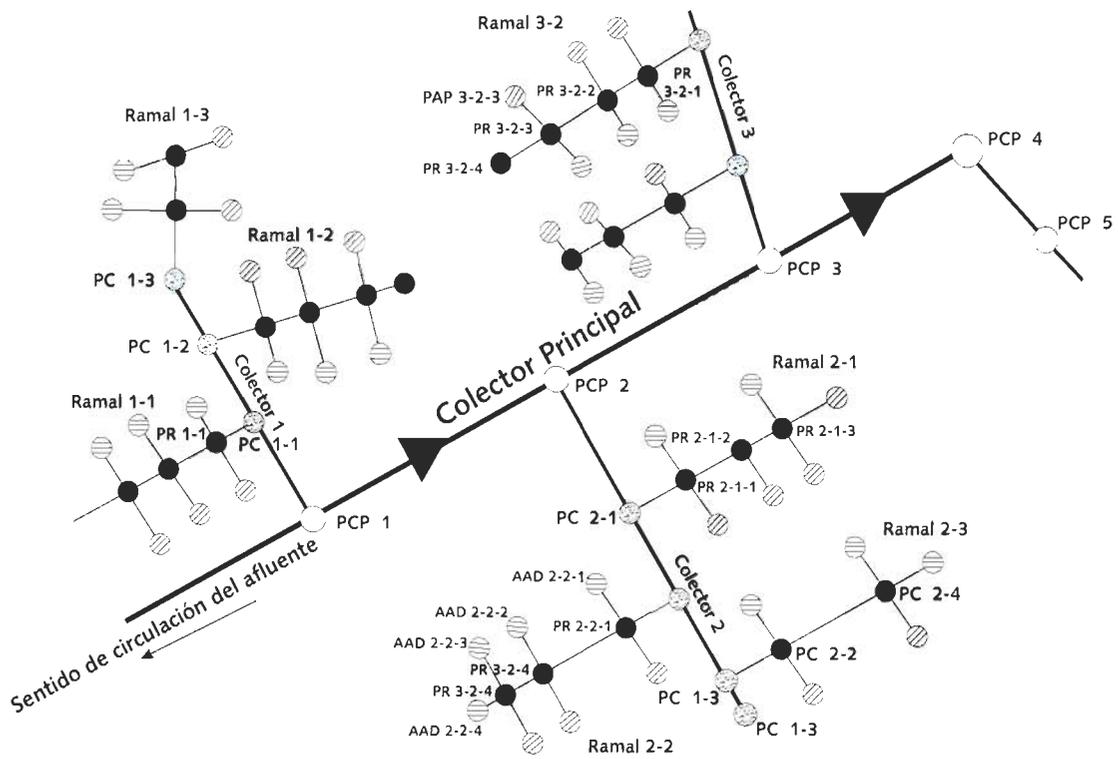
Montar cada pozo absorbadero de pluviales desde el pozo del ramal correspondiente, ejemplo,

la PR₃₋₂₋₂ → PAP₃₋₂₋₂

Montar cada arqueta de acometida domiciliaria desde el pozo del ramal, ejemplo,

el PR₂₋₂₋₃ → AAD₂₋₂₋₃

ORDEN DE EJECUCIÓN DEL MONTAJE DE LOS TUBOS DE SANEAMIENTO



- ➔ Sentido de montaje
- Pozo de colector principal (PCP)
- ▨ Pozo de colector secundario (PC)
- Pozo de ramal (PR)
- ▧ Pozo absorbadero de pluviales (PAP)
- ▩ Arqueta acometida domiciliaria (AAD)

5.5.2 Alineación, Cambios de dirección y trazados radiales

Para la instalación de los tubos en zanja, se comienza por fijar unos puntos de referencia mediante estacas, clavos, o cualquier otro procedimiento. A partir de estos puntos se sitúa el eje de la tubería en el fondo de la zanja.

Cuando la zanja es estrecha, pueden tenderse camillas de uno a otro lado, sobre las que se tensa una cuerda de nivelación situada en el plano vertical que contiene el eje de la tubería. Posteriormente, mediante plomada y cinta o cualquier otro procedimiento, se bajan los puntos del eje a la profundidad prevista en el fondo de la zanja. La siguiente figura ilustra lo dicho.

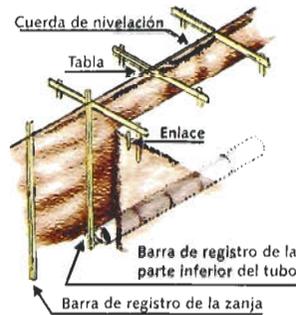


Figura 5.5.2.a Establecimiento de los útiles de alineación

Con zanjas cuya anchura dificulte tender camillas, puede ser conveniente replantear la tubería directamente en el fondo de la zanja.

En el caso de tuberías que deben instalarse aproximadamente a nivel del terreno natural para ser después terraplenadas, el replanteo se hace directamente sobre dicho terreno. Si primero se efectúa el relleno de tierras para abrir en él una zanja en que instalar la tubería, el replanteo se realiza como en el caso de zanja normal.

Cuando se recurre a instalación por hinca, los puntos de referencia se sitúan en el fondo de los pozos desde los que se aplica el empuje.

El empleo de rayos láser establece una línea recta que puede extenderse hasta 300 m sin combarse y que sirve de referencia, permitiendo medidas o comprobaciones en cualquier punto, sin más que visualizar el rayo, interponiendo un obstáculo que refleje su luz. La siguiente figura ilustra diferentes formas de instalar el producto del rayo láser; colocado sobre un trípode, en un pozo de registro o sobre una superficie sólida, dentro o fuera del tubo.



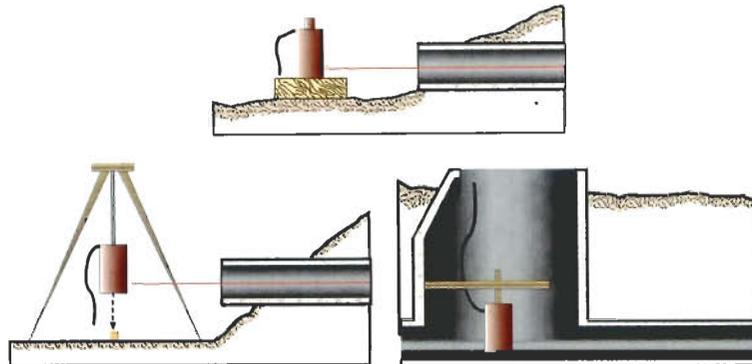


Figura 5.5.2.b Sistema láser

Los cambios de dirección conviene efectuarlos en los pozos de registro. No obstante es posible efectuar ligeros cambios de dirección o curvas de gran radio con tubos de unión elástica. Los cambios de dirección pueden ser realizados con tubos rectos con deflexión, tubos con curvatura o especiales. El método usado en cada caso dependerá de las características de instalación y fabricación. Este debe ser establecido antes de la excavación de la zanja.

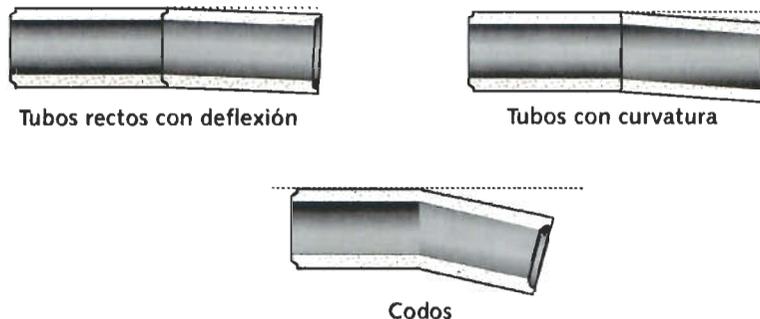


Figura 5.5.2.c Piezas para cambios de dirección

En el método de tubos rectos con deflexión se procede al giro de un tramo de tubo mientras que el otro permanece en su posición. Es una operación sumamente cuidadosa, si no se quiere correr el riesgo de perder estanquidad en ese tipo de tramo tan sensible. Cada tubo debe ser previamente alineado y montado, procediéndose, a dar un giro lentamente después.

La normativa española de tubos de hormigón UNE 127.010 limita la máxima desviación angular admisible.

La realidad es que esta máxima desviación está condicionada fundamentalmente por el diseño de la unión, es decir, por la mayor o menor profundidad de la espiga del enchufe y de la campana donde se aloja y por la separación o espacio anular entre ambos, así como la limitación que suponga la prueba de estanquidad del sistema de unión.

Con carácter orientativo exponemos a continuación las desviaciones angulares admisibles sin pérdida de estanquidad que soportan los tubos de diseño europeo, incluidos los tipos estandarizados existentes en España.

DIMENSIONES NOMINALES D (DIÁMETRO NOMINAL EN mm)	DEFLEXIÓN ANGULAR mm/m
$D < 300$	40
$300 < D \leq 800$	20
$800 < D \leq 1.000$	10
$1.000 \leq D$	$10 \times 1.000 / D$

Tabla 5.5.2 Valores de la deflexión angular según UNE 127.010

Los tubos con curvatura incorporan el ángulo de deflexión en la juntura entre segmentos de los tubos cortados o empalmados. El tubo es fabricado acortando uno de los lados cuyo ajuste depende de las especificaciones del fabricante. En caso de precisarse grandes deflexiones por junta pueden obtenerse por medio de tubos de curvatura en vez de tubos rectos con deflexión.

Cuando se establece la alineación a través de tubos de curvatura, el primer tramo de tubo con curvatura empieza en la mitad de la longitud del tubo más allá del punto de curvatura y el último tramo de tubo con curvatura se extiende la mitad de la longitud del tubo más allá del punto de tangencia.

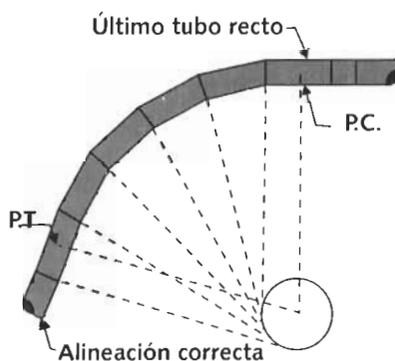


Figura 5.5.2.d Alineación para tubos de curvatura

Pueden emplearse codos u otros elementos especiales prefabricados para radios de curvatura pequeños en los que no se pueden utilizar ninguno de los métodos descritos anteriormente.

Es posible realizar la operación de un trazado radial con curva de menor radio utilizando tubos de menor longitud, siempre que pueda obtenerse de la fábrica suministradora tubos de corta longitud (0,50 L y 0,25 L).

5.5.3 Apoyo de la tubería. Ejecución práctica de los tipos de apoyo

La ejecución de las bases y camas de asientos de los tubos son determinantes para conseguir un buen apoyo de la conducción, evitar posibles hundimientos y eludir los grandes riesgos que suponen para la vida del tubo los apoyos puntuales o lineales. Según norma UNE-EN 1610 la anchura del apoyo debe ser la de la zanja, a no ser que se especifique lo contrario. Para canalizaciones en el interior de terraplenes la anchura del apoyo debe ser de cuatro veces el diámetro exterior del tubo, a no ser que se especifique lo contrario.

El ángulo de apoyo previsto en el cálculo mecánico debe ser escrupulosamente respetado. Para ello es indispensable que los tubos reposen sobre toda su longitud sobre una cama de asiento perfectamente regular y nivelada siguiendo la pendiente proyectada. La norma UNE-EN 1610 indica que cualquier ajuste necesario de la profundidad se realizará mediante elevación o descenso de la cama asegurándose de que los tubos tienen soporte adecuado en toda su longitud. Los ajustes permanentes nunca deberán hacerse mediante compactado puntual.

Hay que prever las zanjas lo suficientemente anchas para poder compactar el relleno lateral del tubo hasta riñones.

Los nichos o cobijas, también conocidos como regatas, deben ser dimensionados con holgura a fin de evitar cargas localizadas puntualmente sobre las campanas. El dimensionado de los nichos según tipos de terreno se señala en el apartado de realización práctica de los apoyos estandarizados.



Figura 5.5.3 Disposición de tubos en nichos

En caso de emplearse cama de hormigón ha de conseguirse un apoyo más regular si cabe del fuste del tubo. En la práctica esto se consigue apoyando el tubo sobre una segunda capa de hormigón fresco de una buena consistencia, de al menos cinco centímetros de espesor, debiendo también, naturalmente, realizar los nichos en el hormigón de base.

Otra forma de asegurar ese apoyo evitando la ejecución de nichos en los tubos de gran diámetro consiste en la instalación del tubo sobreelevado sobre la solera de base mediante piezas prefabricadas o hechas in situ.

5.5.4 Descenso de los tubos a zanja

En la manipulación de los tubos para su montaje se tendrá en cuenta lo prescrito en el capítulo de transporte y manipulación.

Antes de bajar los tubos a la zanja se examinarán éstos y se apartarán los que presenten deterioros, limpiándolos y secándolos si lo precisan, especialmente campanas y boquillas.

Para la bajada de los tubos se usan habitualmente las retroexcavadoras de obras, sirviendo también para este propósito las grúas ligeras montadas sobre los camiones de transporte. Los tubos de grandes diámetros requieren el empleo de grúas automóbiles como las que se muestran en la figura.



Figura 5.5.4.a Maquinaria de descenso de tubos a zanja

Una vez los tubos en el fondo de la zanja, se examinan nuevamente para cerciorarse de que su interior está libre de tierra, piedras, útiles de trabajo, etc. y se realiza su centrado y perfecta alineación, conseguido lo cual se procede a calzarlos y acodarlos con un poco de material de relleno para impedir su movimiento. Cada tubo, debe centrarse y alinearse perfectamente con el adyacente. Si se precisase reajustar algún tubo, debe levantarse el relleno y prepararlo como para su primera colocación. No es admisible un compactado puntual.

Los tubos deben unirse mediante una fuerza axial aplicada progresivamente sin sobretensionar los componentes y usando los útiles adecuados en función del diámetro de los tubos que incorporan ya, preferiblemente, dispositivos de tracción como los de la siguiente figura.



Figura 5.5.4.b Útiles de montaje de tubos

Las tuberías y zanjas se mantendrán libres de agua. Para ello es buena práctica montar los tubos en sentido ascendente asegurando el desagüe en los puntos bajos.

Cuando durante la instalación existe el riesgo de que las tuberías floten, éstas deberán quedar aseguradas mediante la pertinente carga o anclaje.

Puede resultar necesario anclar las piezas de enlace de forma segura únicamente de manera temporal durante los ensayos de estanquidad.

Las fuerzas adicionales, como las que pueden aparecer en tuberías suspendidas y en secciones en pendientes pronunciadas, deberán ser tenidas en consideración en la instalación, por ejemplo: disponiendo un apoyo de hormigón, o mediante una caja o barrera de hormigón que al mismo tiempo protege frente al arrastre y a los efectos de drenaje del apoyo. Si fuera necesario se deben efectuar ensayos del suelo.

5.5.5 Montaje de las juntas de goma

5.5.5.1 Consideraciones previas

Para la elección del tipo de unión, se tendrá en cuenta entre otros los siguientes factores: las sollicitaciones externas e internas, la rigidez de la cama de apoyos y el diámetro de la tubería.

En los puntos de conexión entre tubos o entre tubos y pozos debe asegurarse que:

- La capacidad de soportar cargas de la tubería no se vea afectada.
- El tubo que debe conectarse no debe sobrepasar la superficie interior de la campana del tubo o del pozo al que va a ser conectado.
- La unión sea estanca cumpliendo los requisitos impuestos en el capítulo 5.8.

Los tipos de juntas utilizadas en tuberías de hormigón armado deben cumplir las especificaciones marcadas en la norma UNE 127.010 tal y como se indicó en capítulos anteriores. También las normas ASTM y algunos Pliegos de Condiciones de Organismos Públicos señalan especificaciones adicionales para las juntas de goma.

5.5.5.2 Tipos de uniones

Los dispositivos de unión entre tubos de hormigón armado mediante juntas de goma se han tratado en el apartado 3.8.2

5.5.5.3 Montaje de las juntas de goma

Juntas Deslizantes

Las juntas deslizantes se instalan en la posición final apoyadas sobre un enchufe escalonado o alojadas en una ranura practicada en el mismo. Efectúan el sellado de la unión por com-

presión y deslizamiento, facilitado por el uso de un lubricante, que se aplica sobre la campana y sobre el enchufe. Actualmente se dispone de juntas autolubricadas que facilitan la instalación y aseguran un superior comportamiento a estanquidad al eliminar pasos que pueden ser susceptibles de error humano.

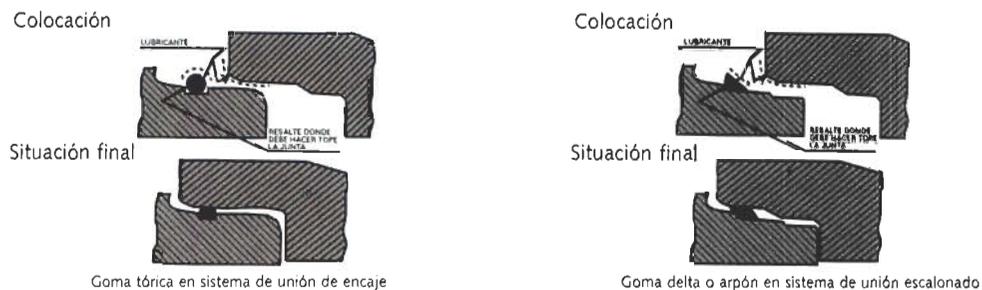


Figura 5.5.5.3.a Ejemplo de junta de goma deslizante

Al realizar el montaje de las juntas deslizantes se debe:

- 1 Limpiar las sustancias extrañas de la superficie de unión de la campana.
- 2 Lubricar la superficie interior de la campana usando un cepillo, esponja o guantes para cubrir la superficie entera. Sólo se debe usar lubricante adecuado.
- 3 Limpiar cuidadosamente el enchufe del tubo incluyendo el escalón o la ranura para la junta.
- 4 Lubricar el enchufe del tubo especialmente la zona de alojamiento de la junta.
- 5 Lubricar la junta profundamente en el enchufe o en la campana.
- 6 Fijar la junta cuidadosamente. Igualar la tensión de la junta de goma recorriendo la circunferencia entera varias veces con un objeto redondo, liso entre el enchufe y la junta.
- 7 Alinear concéntricamente la campana y el enchufe de los tubos que van a ser unidos. Comprobar que la junta de goma hace contacto con la zona interior de la campana a lo largo de toda la circunferencia.

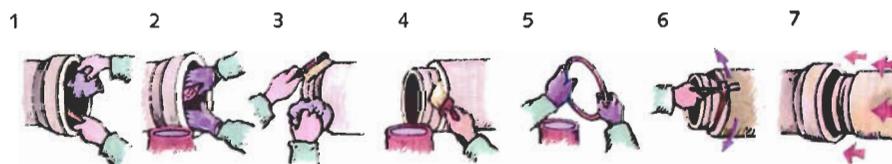


Figura 5.5.5.3.b Pasos a seguir en el montaje de juntas deslizantes

En el caso de emplear juntas autolubricadas se evitan los pasos 2, 4 y 5.

Juntas Rodantes.

Se instalan en el borde de la espiga y la hermeticidad se produce por compresión debida al giro de la misma, provocado por una progresiva reducción del espacio anular entre la espiga y

la campana. Durante el proceso de emboquillado está contraindicada la lubricación. El punto débil de este tipo de juntas es que requieren una rigurosa aproximación y concentricidad de los tubos, no admitiendo retrocesos en la instalación, ya que, debido a que está colocada en el borde de la espiga, se desmonta con facilidad. Asimismo, al no ir en la posición final pueden quedar instaladas desigualmente en el enchufe de los tubos, quedando unas zonas más comprimidas que otras. Por estos motivos este tipo de juntas están siendo sustituidas por las juntas deslizantes.



Figura 5.5.5.3.c Ejemplo de junta rodante

Precauciones:

- Una campana mal lubricada puede dar lugar a que la junta se monte sobre el escalón o se salga de la ranura produciendo una sobre compresión que puede dañar el tubo y perder la hermeticidad.
- Una ranura defectuosa u obturada puede impedir el asiento correcto en la junta.
- Para facilitar el deslizamiento especialmente en tiempo caluroso conviene untar con lubricante la junta ya colocada en la ranura o sobre el escalón.
- Si no está bien lubricado se requerirá una fuerza excesiva para poner el tubo en una posición adecuada.
- Una desigual tensión de la goma puede causar fugas o romper la campana.
- Una alineación inadecuada puede desalojar la junta causando fugas o romper la campana.
- Comprobar la situación del anillo de goma mediante una galga. El anillo de goma debe estar alojado por igual a lo largo de toda la circunferencia del tubo y a la distancia exterior señalada por el fabricante en la documentación de su sistema de unión.
- Deben emplearse lubricantes con consistencia de gel, estando contraindicados los jabones líquidos.

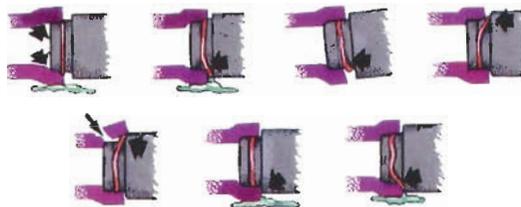


Figura 5.5.5.3.d Montajes inadecuados de la junta

5.5.6 Montaje de los tubos

Todos los tubos de hormigón deben montarse tomando ciertas precauciones básicas:

- Se debe comprobar previamente que el tipo y diámetro de las juntas de goma que se van a emplear se corresponden con el diámetro del tubo a instalar (en las gomas deben ir impresos el diámetro correspondiente).
- Los machos y hembras de los tubos así como las juntas deben estar exentos de suciedad, grasa, tierra, etc. Asimismo, no deberán presentar deterioros, que deberán ser subsanados si se detectaran.
- Se debe colocar la junta en la posición prevista en el diseño de la unión.

Para el correcto empalme y estanquidad de la unión es necesario que el tubo entrante se encuentre **suspendido y concéntrico** con el tubo ya instalado. Con ello se reduce el esfuerzo de montaje y la posibilidad de dañar el tubo durante el proceso. Las partes de la tubería que se ponen en contacto deberán estar sin daños, limpias y, si fuera necesario, secas en el caso de emplearse juntas rodantes y lubricadas en el caso de tratarse de juntas deslizantes.



Figura 5.5.6.a Instalación de tubos con retroexcavadora

La suspensión de los tubos de pequeño diámetro se puede realizar con los mismos elementos utilizados para la bajada a zanja, pudiéndose emplear tiradores o palancas mecánicas para vencer el esfuerzo de conexión.

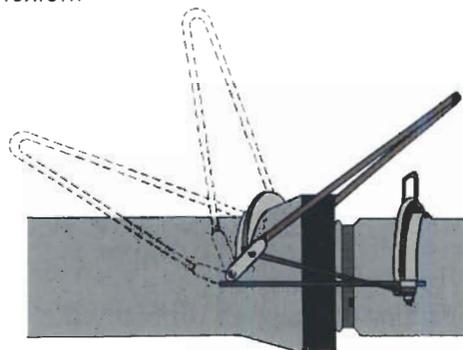


Figura 5.5.6.b Tirador o palanca mecánica

Estos útiles, en función del diseño de los conductos o del diámetro de las tuberías, pueden ser insuficientes o incapaces de producir la fuerza suficiente para vencer la resistencia que se les opone durante el proceso de unión de los tubos. Es por ello que, normalmente, se emplean hasta diámetros de tubería menores o iguales a 600 mm de diámetro nominal.

Otros útiles aún mejores para el montaje de estos tubos de pequeño y mediano diámetro son los tiradores hidráulicos, si bien éstos alcanzan una mayor potencia lo que les permite conectar normalmente tubos de hasta 600 mm de diámetro nominal.

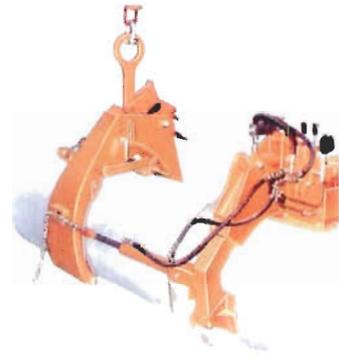


Figura 5.5.6.c Tirador hidráulico

En caso de carecer de estos elementos, tradicionalmente se han montado los tubos con trácteles (ver figura). La precaución fundamental que hay que adoptar es que la tracción no desvíe o impida la concentricidad y la alineación del tubo.



Figura 5.5.6.d Tráctel

A partir de 800 mm de diámetro nominal puede alojarse dentro de la tubería una máquina juntatubos especialmente diseñada para montar los tubos de grandes diámetros.



Figura 5.5.6.e Montaje con tráctel electrohidráulico

Este tipo de útil puede emplearse para montar tubos de hasta 3.000 mm de diámetro nominal, máximo diámetro que recoge la norma UNE 127.010 para tuberías de hormigón armado.

Otro sistema de montaje de tubos de grandes diámetros (de 800 a 3.000 mm de diámetro nominal) consiste en alojar ganchos especiales durante la fabricación en el tubo. El montaje de dichos tubos se ejecutará mediante cadenas de montaje sujetas a los ganchos.

Una alternativa frente a los anteriores montajes para tubos de gran diámetro consiste en el empleo de tubos taladrados de origen en fábrica. En dicho taladro se coloca una barra de anclaje conectada a un tráctel mientras que la barra del tubo que va a ser instalado sirve para mantener el tubo en suspensión para una correcta alineación. (ver figura)

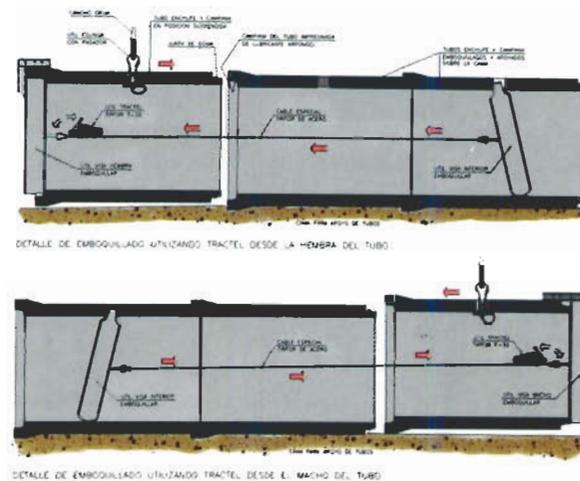


Figura 5.5.6.f Montaje de tubo con taladro de fábrica

Finalmente, cuando disponen de solera de hormigón los tubos pueden montarse con el empleo de carretillas elevadoras.



Figura 5.5.6.g Montaje de tubos con carretillas elevadoras

5.6 Relleno y compactación

5.6.1 Relleno

El relleno se puede dividir en dos zonas con materiales y criterios de compactación distintos. La primera zona se extiende desde la solera hasta un plano aproximadamente 30 cm sobre la parte superior del tubo. La segunda zona incluye todo el relleno restante. La norma UNE-EN 1610 fija un espesor mínimo de 15 cm de relleno inicial encima del cuerpo de la tubería y de 10 cm por encima de la junta. Cuando se utilicen los materiales descritos en dicha norma, el espesor del relleno inicial deberá ser tal y como se especifica en el proyecto. Los materiales empleados para el relleno envolvente deben ser capaces de proveer estabilidad permanente y capacidad portadora para las canalizaciones enterradas en el suelo.

No son aceptables como relleno las arcillas muy plásticas ni los suelos altamente orgánicos, ni cualquier otro material que pueda ser perjudicial (física o químicamente) para la tubería, el hormigón constitutivo o las armaduras.

Cuando las tierras extraídas difieren significativamente del tipo de material de relleno especificado en el proyecto, será necesario retirarlas, sustituyéndolas en el relleno por el material adecuado.

El emplazamiento del relleno lateral y del relleno principal se comenzará sólo cuando los tubos estén unidos y colocados sobre las camas, de forma que sean capaces de soportar carga.

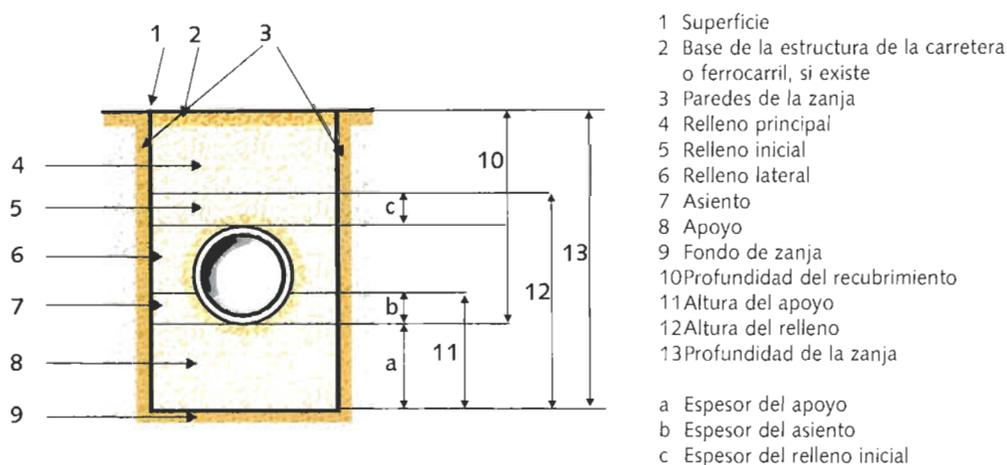


Figura 5.6.1 Zonas de tierras alrededor del tubo según UNE-EN 1.610

El relleno incluye la colocación del relleno envolvente y del relleno principal, el desmontaje del encofrado y la compactación del terreno, que debe ser llevado a cabo de forma que asegure la capacidad de carga de la tubería según lo establecido en el diseño.

5.6.2 Relleno envolvente

Según la Norma UNE-EN 1610 los materiales pueden ser o bien de terreno natural si se ajustan a las necesidades del proyecto o bien materiales de aportación. Los materiales para el apoyo no deberían contener partículas de tamaño superior a 40 mm para diámetros de tubería entre 200 y 600 mm.

Cuando por su naturaleza el terreno no asegure la suficiente estabilidad de los tubos o piezas especiales, se compactará o consolidará por los procedimientos adecuados que se dispongan y con tiempo suficiente. En el caso de que se descubra terreno excepcionalmente malo se decidirá la conveniencia de construir una cimentación especial (apoyos discontinuos en bloques, pilotajes, etc..)

.6.2.1 Terreno natural

Los requisitos para usar terreno natural son:

- Conformidad con las especificaciones del proyecto.
- Compactabilidad si se especifica.
- Ausencia de materiales perjudiciales para la tubería (por ejemplo elementos de dimensiones excesivas, en función de la naturaleza de la tubería, de su espesor de pared y de su diámetro; raíces de árboles; escombros; materia orgánica; detritus; terrones de arcilla > 75 mm, nieve y hielo.

5.6.2.2 Materiales de aportación

Los siguientes materiales, que pueden incluir materiales reciclados, son adecuados.

a) **Materiales granulares:** Los materiales granulares incluyen:

- Materiales monogranulares
- Materiales granulares
- Arena
- Materiales todo uno
- Material de machaqueo

b) **Materiales con aglomerantes hidráulicos:** Incluyen:

- Cemento
- Hormigón aligerado
- Hormigón pobre
- Hormigón sin armar
- Hormigón armado

Éstos deberán estar así especificados en el cálculo.

c) **Otros materiales:** Pueden emplearse para el recubrimiento otros materiales si se demuestra su conformidad con los requisitos del apartado 5.3.3. Las sustancias naturales o artificiales que puedan provocar daños a la canalización y a los registros no son aceptables.

La capacidad de carga portante de un tubo instalado, depende en gran medida del relleno que hay alrededor del tubo. Para obtener la compactación adecuada del material de relleno inmediatamente alrededor del tubo, los criterios de material y densidad son a menudo incluidas como parte de las especificaciones de la solera. Para instalaciones en zanja, cuando el espacio está

limitado, apisonadoras neumáticas o de impacto mecánico son normalmente el medio de compactación más efectivo. Las apisonadoras de impacto, las cuales actúan por peso estático y acción de amasado, son usadas principalmente en suelos arcillosos, mientras que en los suelos granulares son consolidados más efectivamente por vibración. Cuando se usan apisonadoras de impacto, deben tomarse precauciones en la compactación e introducción de las capas a ambos lados del tubo para que queden uniformes. El material de relleno no debe ser apisonado en la zanja o lanzado directamente sobre el tubo.

El relleno inicial que va directamente sobre el tubo debe ser compactado por procedimientos manuales donde sea necesario. La compactación mecánica del relleno principal directamente sobre el tubo no debe comenzar hasta que la profundidad del relleno sea de al menos 30 cm sobre la generatriz superior del tubo. No se permite usar equipos de vibración para operar directamente sobre el tubo hasta una altura mínima de 90 cm de relleno que haya sido colocado.

En los casos en que resulte peligroso la utilización de compactadores de tamaños medio y grande, por estar los rellenos muy próximos a otras conducciones, se deben ejecutar los rellenos por capas de espesor pequeño (10 ó 15 cm) y compactarlas con máquinas ligeras, como rodillos arrastrados a mano, bandejas vibrantes, pisones, etc.



El material de relleno, adecuado, se coloca con cuidado a lo largo del tubo y se compacta bajo los rinones. El material se aportará por sucesivas capas a los dos lados del tubo y unos 30 cm por encima de la generatriz superior del tubo.



El material de relleno, que deberá ser seleccionado y exento de piedras, no deberá ser empujado a la zanja o lanzado directamente sobre el tubo a más de 30 cm sobre la generatriz superior. Se deberá colocar de modo que no desplace ni dañe al tubo instalado.

Figura 5.6.2.2 Relleno alrededor del tubo

El relleno envolvente se debe instalar para prevenir la intrusión del terreno existente o la migración del material del relleno envolvente al terreno circundante. En algunas circunstancias puede ser necesario el uso de materiales geotextiles o filtros calibrado para mantener el relleno envolvente del tubo, especialmente si hay aguas subterráneas.

El apoyo, el relleno lateral y el relleno inicial se deben ejecutar de acuerdo con el diseño y especificaciones. El apoyo del tubo debe ser protegido contra cualquier cambio exterior que varíe la capacidad de carga, estabilidad o posición. Estos cambios pueden ser:

- Retirada de la entibación.
- Influencias del agua subterránea.
- Otros trabajos de excavación adyacentes.

Cuando partes de la tubería necesiten anclaje o refuerzo, éstos se colocarán antes del emplazamiento del apoyo.

Durante la colocación del apoyo debe prestarse especial atención a:

- Evitar el desplazamiento de la tubería respecto a su alineación y nivelación.
- Cuidar el emplazamiento de la parte superior del apoyo para asegurar que el relleno bajo el tubo y bajo los riñones sea de material adecuadamente compactado.

5.6.3 Relleno Principal

Los materiales empleados deberán ser conformes con los requisitos del proyecto. Asimismo, los materiales especificados en el anterior apartado también podrán emplearse en el relleno principal.

El tamaño máximo de las piedras de los materiales excavados empleados para el relleno debería ser el menor de los siguientes:

- 300 mm
- El espesor del relleno inicial, es decir, la capa de material de relleno que se encuentra inmediatamente por encima de la coronación de la tubería.
- La mitad del espesor de la capa de compactación, siendo este el espesor de cada nueva capa de material de relleno previo a su compactación.

El tamaño máximo puede reducirse dependiendo de las condiciones del suelo, agua subterránea y los materiales de la tubería. Para zonas rocosas se pueden especificar unas condiciones especiales.

Una vez que el material de relleno se coloca alrededor del tubo y se compacta adecuadamente, el resto del relleno es colocado y compactado para prevenir asentamientos de la superficie. Existen diferentes tipos de equipos de compactación que se elegirán en función de los suelos disponibles. La pala mecánica de ruedas es la adecuada para arcillas cohesivas o sedimentos, y no es adecuado para suelos granulares. Los rodillos de llantas de goma, los cuales proporcionan peso estático y acción de amasado, son efectivos para muchos suelos. Los rodillos vibratorios son efectivos para materiales granulares.



No se debe trabajar con maquinaria pesada sobre el tubo hasta que el relleno esté adecuadamente colocado y existan al menos, 80 cm de cobertura de tierras sobre la clave (excepto cuando el tubo esté dimensionado para ello).



El material de relleno deberá ser compactable y no deberá contener grandes piedras, guijarros, terrones helados y otros materiales desaconsejables. El relleno deberá ser colocado y compactado en capas según las especificaciones.

Figura 5.6.3 Relleno final

Si el tubo no está debajo de una carretera, camino u otra estructura propuesta, y el asentamiento posible de la superficie no es crítica, se pueden usar métodos de inundación o de chorros de agua a presión para compactar el material de relleno. El sistema de la inundación de agua y el chorro a presión están limitados sólo para casos excepcionales, para compactar suelos suficientemente permeables para distribuir el exceso de agua y no deberán ser usados con suelos cohesivos. La zanja, después de alcanzar la saturación bajará de 15 a 45 cm. Después de la saturación inicial y el asentamiento, se impulsa el agua al relleno, a la profundidad del tubo en intervalos que varían de 8 a 16 cm. Este proceso es repetido hasta que la profundidad completa del material de relleno queda compactada.

5.6.4 Desmontaje del entibado

Según se indica en la norma UNE-EN 1.610, el desmontaje incorrecto del entibado puede influir negativamente en la capacidad portante del terreno y, por ello, habrá que prestarle la suficiente atención. El desmontaje del entibado será llevado a cabo progresivamente durante la colocación del relleno envolvente.

La eliminación del entibado, a un nivel por debajo del relleno envolvente, después de que el relleno principal esté colocado, puede acarrear serias consecuencias para la carga portante y la alineación y profundidad de la tubería.

En aquellas zonas en las que no se pueda hacer el desmontaje del entibado antes de completar el relleno envolvente, se deben tomar medidas especiales si fuera necesario:

- Especial diseño estructural.
- Dejar partes del entibado en el suelo.
- Selección especial del material de suelo.

5.6.5 Indicaciones prácticas para la compactación

Una vez extendido el material, y con su humedad correcta, se procede a su compactación. Esta operación debe hacerse de forma ordenada, controlando bien el número de pases y su distribución homogénea. A continuación exponemos algunas reglas a tener en cuenta.

En el caso de zanja terraplenada o zanja inducida en terraplén, debe empezarse dando el primer pase por los bordes del terraplén, y así se consigue después un efecto de "confinamiento que ayuda a la compactación".

Debido a que en todas las máquinas de compactación se consigue mayor eficacia bajo el plano central de la misma que en los laterales, debe darse cierto solape entre cada pase y el contiguo. Con ello se uniformiza la compactación.

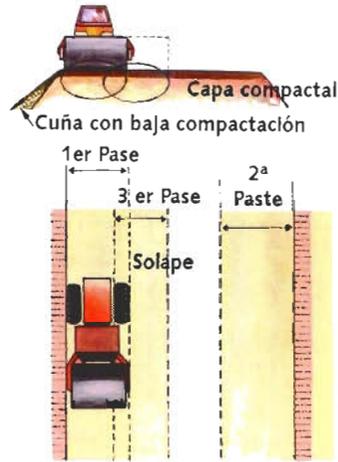


Figura 5.6.5.a Orden de ejecución de los pases sucesivos

Muchas máquinas de compactación pueden trabajar tanto marcha atrás como hacia delante; con ello se evitan maniobras que, además de ocasionar pérdidas de tiempo, levantan la capa superior del terraplén o zanja al arrastrar el material en los virajes.

En los bordes de los terraplenes siempre queda una cuña sin compactar en forma debida. Esto hay que tenerlo en cuenta para dar un pequeño sobre-ancho sobre la zona que necesita la compactación correcta. Según sea el tipo de construcción, puede dejarse este sobre-ancho o bien eliminarle después de terminado el terraplenado.

A veces es preciso compactar la superficie inclinada de los taludes laterales del terraplén. Para ello se dispone el compactador trabajando en la línea de máxima pendiente, y colgado del cable de un cabrestante montado sobre una grúa o tractor que camine por la coronación del terraplén.

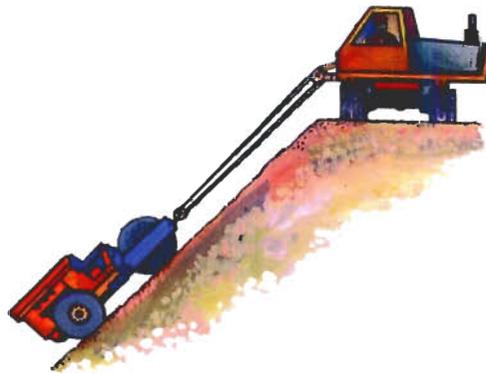


Figura 5.6.5.b Compactación de taludes con ayuda de grúas o tractores

Debe procurarse utilizar un solo tipo de compactador, pues con ello se simplifica mucho el control. Sin embargo hay casos en que se deben utilizar. Por ejemplo:

- Para sellar la capa superior al final de cada jornada, cuando se utilizan compactadores de huellas profundas y se teme que pueda llover durante la noche.
- Para compactar la capa final del terraplén, cuando se empleen compactadores de efecto en profundidad.

En ambos casos pueden utilizarse compactadores de neumáticos o de cilindros lisos para las últimas pasadas.

En el caso de tener arenas muy limpias como relleno de la zanja, es posible conseguir grados de compactación elevados, con un Proctor del orden de 90 a 95, por la simple acción de un vibrador interno. Para ello es conveniente que la arena contenga mucha agua; varios puntos sobre el Procto óptimo. Se emplean vibradores de aguja análogos a los utilizados para el hormigón.

Este procedimiento es muy interesante para rellenos localizados alrededor de las tuberías de drenaje, en cuyas proximidades no pueden trabajar las máquinas corrientes de compactación de terraplenes. En estas aplicaciones hay que asegurarse que la arena quede en un recinto cerrado por el resto de la zanja, de modo que no se pueda perder la arena por arrastres.

5.6.6 Precauciones especiales con la maquinaria de movimiento de tierras y compactación.

Uno de los problemas que pueden aparecer durante el proceso de instalación de tuberías de saneamiento radica en la posible rotura de las mismas a consecuencia del paso de maquinaria pesada por la vertical de los tubos. Esto es debido a que la instalación proyectada no está pensada para soportar las grandes cargas que provoca esta maquinaria pesada.

Este problema tiene una fácil solución mediante el establecimiento de rutas marcadas para la maquinaria pesada, que impida que se pase por encima de los tubos y pueda romperlos.

Otro aspecto a considerar es el de las cargas debidas a compactadores y su repercusión sobre los tubos. La evaluación de las cargas de compactación se desarrolla en el apartado 3.5.1.3.

5.7 Instalación de pozos y otros elementos complementarios

Los pozos prefabricados se componen de la combinación de elementos o módulos unidos entre sí por superposición, lo que permite un rápido montaje del mismo y un pronto tapado de la conducción en la que se integran. Los módulos pueden ir armados o no. El tipo armado que se coloca en los módulos es el que viene reflejado en el apartado 3.7.1



Para la elección del tipo de armado que debe colocarse en los módulos de los pozos la Asociación de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS) ha considerado varios factores que provocan que no se produzca una presión radial uniforme sobre la cara exterior del módulo. Estos factores y su incidencia vienen reflejados en la siguiente tabla:

Profundidad	0 a 4 m	Serie normal
	> 4 m	Serie reforzada
Terreno	Estable	Serie normal
	Inestable	Serie reforzada
Ejecución del relleno y empujes exteriores	Cuidada con relleno uniforme en el contorno	Serie normal
Empujes exteriores	No cuidada o con cargas puntuales	Serie reforzada
Manipulación de elementos	Uniformes	Serie normal
	Puntuales	Serie reforzada
	Cuidada con útiles adecuados	Serie normal
	En otro caso	Serie reforzada
Nº y disposición de acometidas	Dos acometidas en caras opuestas	Serie normal
	En otro caso	Serie reforzada

Tabla 5.7. Factores que intervienen en la elección del armado de los módulos.

El transporte de los módulos se realiza siguiendo las mismas recomendaciones expuestas en el apartado 5.2.2 del presente manual, teniendo en cuenta que los módulos han de transportarse en la posición para la cual han sido diseñados, usualmente la vertical, ya que un transporte en otra posición podría dañarlos.

Para la recepción en obra y descarga de los módulos se siguen las mismas recomendaciones de los apartados 5.2.4 y 5.2.5.

La instalación de las piezas de hormigón se realiza mediante la maquinaria convencional de excavación y elevación, siempre que se disponga de los dispositivos adecuados tales como los que se muestran en la figura 5.7.1. Es recomendable el empleo de grúas automotrices para la descarga de módulos de peso superior a los 2.000 kg.



Figura 5.7.1. Instalación en pozos

Una correcta instalación de pozos prefabricados de hormigón debe tener en cuenta los siguientes condicionantes:

- Se deben instalar las piezas más pequeñas en altura en la parte inferior de los pozos con el fin de reducir los esfuerzos que ha de soportar la base de los pozos.
- Se debe tener la precaución de compactar la zona perimetral de los módulos con el fin de evitar que se produzcan asentamientos diferenciales respecto a la tubería que puedan perjudicar la estanquidad de la unión.
- El apoyo de los pozos deberá ser adecuado para que no se hunda el pozo una vez que se termina la obra y se rellena el conjunto. En el caso en el que el apoyo consista en una solera de hormigón, el espesor de ésta no será inferior a 20 cm.
- El hormigón utilizado para la construcción de la solera no será de inferior calidad al que se utilice en alzados cuando estos se construyan con este material. En cualquier caso, la resistencia característica a compresión a 28 días del hormigón que se utilice en soleras no será inferior a 200 kp/cm².
- En las uniones rígidas deben colocarse juntas suficientemente elásticas y a una distancia no superior a 50 cm de la pared, antes y después de acometer a la misma, para evitar que como consecuencia de asentamientos desiguales del terreno, se produzcan daños en las tuberías o en la unión.
- Según se indica en la norma UNE-EN 1.610, cuando las conducciones atraviesen estructuras, incluyendo registros y cámaras de inspección, se deben incorporar uniones flexibles dentro de la pared, tan próximas como sea posible a las caras exteriores de las estructuras excepto cuando la tubería y la estructura formen parte de una misma instalación colocada sobre cimentación rígida. Cuando la conducción pase por debajo de una estructura o próxima a ella se deben considerar precauciones similares.
- Debe tenerse especial cuidado en evitar las pérdidas de pendiente al llegar al pozo a fin de evitar remansos que sobrecarguen la red.
- Las tapas de los pozos de registro deben apoyar al menos en tres puntos sobre su marco. En zonas urbanas es recomendable el uso de tapas de registro antisonoras (con junquillos)
- Se debe tener especial precaución con los módulos de recambio finales. El último debe llevar un apoyo elástico en contacto con las calzadas finales con el fin de absorber adecuadamente los impactos producidos por el tráfico superficial.



5.8 Inspección y/o pruebas de tuberías instaladas

5.8.1 Inspección visual

La inspección visual incluye:

- Alineación y perfil longitudinal
- Juntas
- Daños o deformaciones
- Conexiones
- Revestimientos interiores o exteriores
- Estado de las cunas de asiento

5.8.2 Pruebas

El objeto de estas pruebas es la comprobación del correcto montaje de los tubos en obra. Incluye conexiones, registros y cámaras de inspección.

5.8.2.1 Pruebas hidráulicas

Existen tres métodos diferentes basados uno, en la "observación y corrección de fugas", otro, en el "control de pérdidas" y, por último, el recogido en la norma UNE-EN 1.610, "método de la W".

a) Método de la observación y corrección de fugas

Una vez colocada la tubería, construidos los pozos y antes del relleno de la zanja, las pruebas se realizarán obturando la entrada de la tubería en el pozo de aguas abajo y cualquier otro punto por el que pudiera salirse el agua, llenándose completamente de agua la tubería y el pozo de aguas arriba del tramo a probar.

Transcurridos treinta minutos tras el llenado se inspeccionarán los tubos, las juntas y los pozos, comprobándose que no ha habido pérdida de agua.

Si se aprecian fugas durante la prueba se procederá a su corrección, realizándose a continuación una nueva prueba.

b) Método del control de pérdidas

Consiste en comprobar las pérdidas habidas durante un tiempo determinado en una tubería llena de agua, con una pequeña presión e incluyendo o no el pozo de registro.

Este método de control se recoge en diversas normas y pliegos, variando solamente entre ellos las fugas máximas permitidas. En el método que describimos a continuación se establecen unos límites de pérdidas que generalmente se consideran aceptables.

Descripción del método

Realizada la obturación del tramo se pasará a realizar la prueba de estanquidad, según proceda, de una de las formas siguientes:

- A El tramo de conducción incluye el pozo de registro de aguas arriba. El llenado de agua se efectuará desde el pozo de registro de aguas arriba hasta alcanzar la altura de la columna de agua. Esta operación deberá realizarse de manera lenta y regular para permitir la total salida de aire de la conducción.
- B El tramo de conducción no incluye pozo de registro. El llenado de agua se realizará desde el obturador de aguas abajo para facilitar la salida de aire de la conducción, y en el momento de la prueba se aplicará la presión correspondiente a la altura de la columna de agua fijada en la prueba.

En ambos casos se dejará transcurrir el tiempo necesario antes de iniciarse la prueba para permitir que se establezca el proceso de impregnación del hormigón de la conducción. A partir de este momento se iniciará la prueba procediendo, en el caso A a restituir la altura "h" de columna de agua, y en el caso B a añadir el volumen de agua necesario para mantener la presión fijada en la prueba. Deberá verificarse que la presión en la extremidad de aguas abajo no supere la presión máxima admisible.

Criterios de aceptación

Período de impregnación de, al menos, veinticuatro horas para tubos de hormigón.

Presión de prueba, 0,4 bar, equivalente a una altura de columna de 4 m, medida sobre solera de conducción en el pozo de registro de aguas arriba.

En ningún caso la presión máxima será mayor de 1 kg/cm²

La prueba será satisfactoria si transcurridos treinta minutos, la aportación en litros para mantener el nivel no es superior a:

$$V \leq \pi D^2 (m) \times L (m)$$

D= Diámetro interior del tubo

L= Longitud tramo de prueba

V= Volumen máximo admisible para dar por válida una prueba de estanquidad de conducción de saneamiento.

D (mm)	Litros/30 minutos Para 50 ml de conducción	D (mm)	Litros/30 minutos Para 50 ml de conducción
300	15,0	1.400	305,0
400	25,0	1.500	355,0
500	40,0	1.600	400,0
600	55,0	1.800	510,0
800	100,0	2.000	630,0
1.000	155,0	2.500	980,0
1.200	225,0	3.000	1415,0

Tabla 5.8.2.1. a

Se tendrá en cuenta una aportación de agua suplementaria por pozo de registro de:
 $V_p = 0,5$ litros/m² pared de pozo

Del pozo (m)	Litros/30 minutos Por cada m. altura de pozo
1,00	1,57
1,20	1,88
1,60	2,51
1,80	2,83

Tabla 5.8.2.1. b

Para conducciones de $D > 1200$ mm se obtura el tramo de conducción a probar, sin incluir los pozos de registro y se realiza la prueba de manera directa sin respetar el período de impregnación.

La prueba será satisfactoria si transcurridos treinta minutos los volúmenes de aportación en litros para mantener la presión inicial (0,4 bar) son menores que los fijados en la fórmula anterior. En caso contrario puede efectuarse de nuevo la prueba respetando el período de impregnación de veinticuatro horas y controlando nuevamente la aportación transcurridos treinta minutos.

c) Prueba de estanquidad con agua según UNE-EN 1.610

Presión de prueba

La presión de prueba es la presión equivalente o resultante de llenar la sección de prueba hasta el nivel del terreno de registro aguas arriba o aguas abajo, según sea apropiado, con una presión máxima de 50 kPa y una mínima de 10 kPa medida en la parte superior del tubo.

Pruebas de presión de valores mayores se especifican en tuberías que deban operar bajo sobrecargas permanentes o temporales (véase prEN 805)

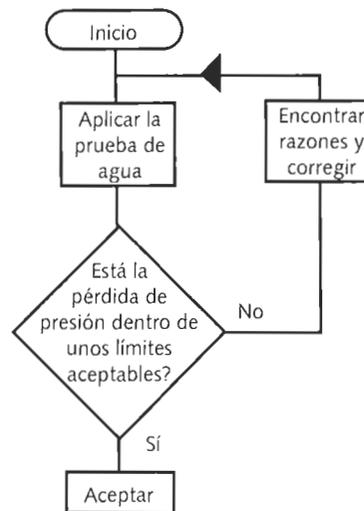


Figura 5.8.2.1 Diagrama método de la "W"

Tiempo de acondicionamiento

Después de que las tuberías y/o los pozos de registro estén llenos y la presión de prueba esté aplicada, se necesitará un tiempo de acondicionamiento.

NOTA: Generalmente es suficiente 1 h. Se necesitará un período mas largo de tiempo en condiciones climáticas secas para el caso de tubos de hormigón.

Tiempo de prueba

El tiempo de prueba será de 30 ± 1 min.

Requerimientos de la prueba

La presión debe mantenerse dentro del margen de 1 kPa de la presión de prueba definitiva dada en el primer apartado mediante la adición de agua.

La cantidad total de agua añadida durante la prueba para mantener este requerimiento debe ser medida y anotada.

Los requerimientos de la prueba se cumplirán si la cantidad de agua añadida no es mayor de:

- 0,15 l/m² durante 30 minutos para tuberías.
- 0,20 l/m² durante 30 minutos para tuberías incluyendo pozos de registro.
- 0,40 l/m² durante 30 minutos para pozos de registro y de inspección.

NOTA:

m² se refiere a la superficie interna mojada.

5.8.2.2. Prueba de estanquidad de aire en zanja según ASTM C-924M y UNE-EN 1.610

La prueba de aire a baja presión tiene por objeto detectar tubos dañados y fallos en las juntas de unión.

Debido a las diferencias entre el comportamiento de gases y fluidos bajo condiciones de presión, no hay correlación directa entre pérdida de aire y pérdida de agua. En la mayoría de los casos el ensayo por aire es de "pasa" o "no pasa", y si la conducción "pasa" debería comportarse satisfactoriamente en la prueba de pérdida de agua. En el caso de que la conducción "no pase" deberá ser sometida a la prueba de pérdida de agua.

El ensayo de prueba por aire a baja presión está suficientemente comprobado para los tubos de diámetros comprendidos entre 300 mm y 600 mm. El límite superior se establece fundamentalmente por condiciones de seguridad y porque los tubos de diámetros mayores se ensayan más fácilmente mediante inspecciones visuales y por comprobación individual de las juntas.

Descripción del método

Las tuberías se prueban por tramos entre arquetas o pozos de registro consecutivos.

La tubería que va a ser ensayada se tapona con un balón neumático de cierre en cada extremo. Se introduce aire a baja presión. La cantidad de aire que pierde servirá para determinar la aceptabilidad de la conducción.

Precauciones de seguridad

La prueba de aire puede ser peligrosa si no está convenientemente preparada. Es extremadamente importante que el obturador se instale y se ajuste de tal manera que se evite la explosión del tubo por exceso de presión, así como que esté asegurado el anclaje de los tubos para evitar así su desenchufado.

También es necesario que se despresurice la conducción ensayada antes de aflojar el obturador para su sustitución. El equipo de presurización ha de incluir una válvula de presión que reduzca riesgos y evite daños a la conducción por sobrepresurización.

El compresor deberá tener una válvula de seguridad que salte cuando la presión sea superior a 0,45 kp/cm² y así evitar una sobrepresión de la tubería.

Preparación de la conducción a ensayar

Limpiar la conducción, humedecer la superficie interior y eliminar rastros y residuos.

Procedimiento para la prueba de estanquidad por aire en zanja según ASTM C-924M

- 1 Determinar el tiempo de ensayo de la conducción utilizando la tabla, para cada diámetro nominal (en mm) y para cada longitud de tramo a ensayar. El tiempo de ensayo es el que se requiere para que la presión descienda desde 24kPa (0,24 bares) a 17kPa (0,17 bares).

LONG.	D 300	D 400	D 500	D 600
10 m	0m 34s	0m 43s	0m 52s	1m 5s
15 m	0m 52s	1m 4s	1m 18s	1m 37s
20 m	1m 9s	1m 14	1m 44s	2m 10s
25 m	1m 26s	1m 46s	2m 10s	2m 42s
30 m	1m 43s	2m	2m 35s	3m 14s
35 m	2m 1s	2m 29s	3m 1s	3m 47s
40 m	2m 17s	2m 50s	3m 28s	4m 19s
45 m	2m 35s	3m 11s	3m 53s	4m 52s
50 m	2m 52s	3m 33s	4m 19s	5m 24s
55 m	3m 9s	3m 54s	4m 45s	5m 56s
60 m	3m 26s	4m 16s	5m 11s	6m 29s
65 m	3m 44s	4m 37s	5m 37s	7m 1s
70 m	4m 1s	4m 58s	6m 3s	7m 34s
75 m	4m 18s	5m 19s	6m 29s	8m 6s
80 m	4m 35s	5m 40s	6m 55s	8m 38s
85 m	4m 53s	6m 2s	7m 20s	9m 11s
90 m	5m 10s	6m 23s	7m 47s	9m 43s
95 m	5m 27s	6m 44s	8m 13s	10m 16s
100m	5m 44s	7m 5s	8m 38s	10m 48s

Tabla 5.8.2.2.a

- 2 Llenar con aire hasta que la presión interna en la conducción sea aproximadamente de 27kPa (0,27 bares). Dejar estabilizar la presión. La presión normalmente descenderá antes de que la temperatura en el interior de la conducción se estabilice.
- 3 La prueba comienza cuando la presión se ha estabilizado dejando que descienda hasta 24 kPa (0,24 bares). A partir de este momento se empieza a medir el tiempo de ensayo que indique la tabla. Una vez transcurrido el tiempo de ensayo se mide la presión final.
- 4 Si el descenso de la presión durante el tiempo de ensayo es de 7 kPa (0,7 bares) o menor se acepta la instalación. Si el descenso de presión es superior a 7 kPa (0,7 bares) se ha de inspeccionar la línea para determinar la causa de la excesiva pérdida de aire.

Procedimiento para la prueba de estanquidad por aire en zanja según Norma UNE-EN 1.610 (MÉTODO "L")

Los tiempos de ensayo en función del diámetro nominal del tubo y de los métodos de ensayo para los distintos tipos de tuberías (LA; LB; LC; LD), excluyendo pozos de registro, se dan en la tabla adjunta.

Para tubos de hormigón se adoptarán los métodos de ensayo LA y LB.

Se deberán usar obturadores herméticos para evitar errores procedentes del equipo de ensayo.

Se requiere especial cuidado por los ensayos de grandes diámetros por razones de seguridad.

La prueba de aire es difícil de implementar en la práctica en pozos de registro.

NOTA:

Hasta que se tenga la suficiente experiencia al aplicar la prueba en pozos de registro, el tiempo de ensayo que se tomará será la mitad del tiempo que se obtenga para un tubo de diámetro equivalente.

Se aplicará durante aproximadamente 5 minutos una presión inicial igual a la presión de ensayo p_0 incrementada en un 10%. A partir de ese momento se reducirá hasta p_0 . Si el descenso de presión, medido después del tiempo de ensayo, es menor que el ΔP dado en la tabla se considerará satisfactorio

MATERIA 1	MÉTODO DE ENSAYO	P ₀ *) (KPa)	ΔP (KPa)	TIEMPO DE ENSAYO (MIN)						
				D100	D200	D300	D400	D600	D800	D1000
TUBO SECO	LA	1	0,25	5	5	5	7	11	14	18
	LB	5	1	4	4	4	6	8	11	14
	LC	10	1,5	3	3	3	4	6	8	10
	LD	20	1,5	1,5	1,5	1,5	2	3	4	5
VALORES DE K _p **)				0,058	0,058	0,053	0,04	0,0267	0,020	0,016
TUBO MOJADO	LA	1	0,25	5	5	7	10	14	19	24
	LB	5	1	4	4	6	7	11	15	19
	LC	10	1,5	3	3	4	5	8	11	14
	LD	20	1,5	1,5	1,5	2	2,5	4	5	7
VALORES DE K _p **)				0,058	0,058	0,040	0,030	0,020	0,015	0,012

Tabla 5.8.2.2.b. Presión de ensayo (p₀), decremento de presión (ΔP) y tiempos de ensayo

*) Presiones relativas a la atmosférica.

$$**) t = \frac{1}{k_p} \cdot \ln \frac{P_0}{P_0 - \Delta P}$$

Para tubos secos K_p=16/D con un máximo de 0,058

Para tubos mojados K_p=12/D con un máximo de 0,058

Si t<5 min aproximar al medio minuto más cercano; si t>5min aproximar al minuto más cercano

Ln=loge

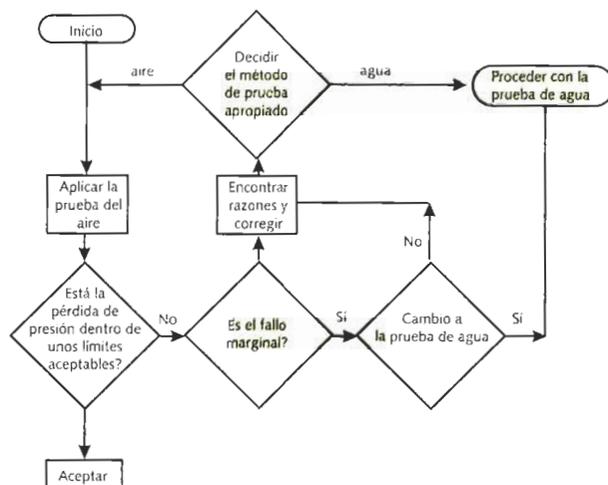


Figura 5.8.2.2 - Diagrama del método "L"

Pruebas de uniones individuales

A menos que se especifique de otra forma, se puede aceptar la prueba de uniones individuales para la aceptación de la tubería completa, normalmente para tuberías de diámetro superior a 1.000 mm.

Para la prueba de uniones individuales, el área superficial para la prueba de la "W" es la representada por un metro de la longitud del tubo, si no se especifica de otra forma. Las necesidades de cumplimiento de la prueba son las mismas dadas en el apartado de "Requerimientos de la prueba" con una presión de prueba de 50 kPa en la parte superior de la tubería.

Las condiciones para la prueba de la "L" seguirán las normas dadas en el apartado "Prueba de estanquidad de aire en zanja según UNE-EN 1.610" y serán especificadas individualmente.

5.8.3 Controles posteriores al relleno de zanja

5.8.3.1 Inspección por televisión

En la actualidad se disponen de equipos para inspeccionar la red previa a su entrada en servicio. Estos equipos portátiles o instalados en camiones permiten visionar el estado del conducto a través de la pantalla de un monitor así como fotografiar o grabar en video, incorporando un dispositivo de detención del movimiento para permitir un examen más eficaz del interior del tubo, de las juntas, pozos u otros detalles significativos, tomando referencia de su posición.

5.8.3.2 Prueba definitiva de estanquidad a presión interior para tuberías

La prueba definitiva de estanquidad se realizará después de que se haya procedido al relleno de la zanja, con el fin de detectar los fallos que pudieran haberse producido con posterioridad a la prueba provisional.

Para la realización de la prueba definitiva son de aplicación todas las consideraciones expuestas para la prueba provisional.

5.8.3.3 Prueba definitiva de estanquidad a presión interior para pozos de registro

La estanquidad de los pozos de registro se probará obturando todas las conducciones que acometen a los mismos, pero de forma que las juntas entre tales conducciones y los pozos queden sometidos a la prueba.

El pozo se llenará de agua lentamente y se dejará transcurrir un período de espera de 24 horas, desde el final del llenado y el comienzo de la prueba.

La prueba tendrá una duración de 30 minutos, aportándose y midiéndose el volumen de agua necesario para compensar pérdidas.

5.8.3.4 Prueba de estanquidad a infiltración

En el tramo de prueba se incluirán, en su caso, los pozos de registro, cerrándose antes de comenzar todas las entradas de agua al tramo.

Se medirá el volumen de infiltración en 30 minutos, siendo el máximo admisible:

$$V_{\max} = A \cdot \sqrt{h_m}$$

Donde:

V_{\max} = Volumen máximo admisible en litros por m² de superficie mojada.

h_m = Altura media del nivel freático sobre la clave de la conducción, en metros.

A = Coeficiente de valor 0,13 para tuberías de hormigón en masa o armado.

5.8.4 Útiles para pruebas de estanquidad

Para facilitar las pruebas de estanquidad de las tuberías la industria especializada dispone de una gran variedad de útiles. Se exponen a continuación los equipos más habituales:

- Balones con "by pass": Pueden emplearse en la obturación de tuberías de alcantarillado con diámetros de tubo de hasta 1.000 mm. Con estos balones también es posible probar la estanquidad de un tramo corto de tubería (por ejemplo, comprobaciones de empalme de tuberías). Disponen de caucho reemplazable, lo que reduce costes de empleo.
- Tapones obturadores: Pueden emplearse en cada aspecto de la obturación de una tubería en alcantarillas con diámetros de hasta 1.200 mm.



Figura 5.8.4.a Tapón obturador

- Obturadores de tubería mecánicos: Se usan para el cierre permanente o durante períodos cortos las tuberías de desagüe. Sirven para diámetros menores de 400 mm y funcionan sin necesidad de aire comprimido.
- Balones para pruebas de obturación: Disponen de un "by-pass" adicional, lo que amplía su campo de utilización, como por ejemplo el bloqueo y desvío de desagües para trabajos de reparación y comprobaciones de estanquidad, según las normativas europeas, usando aire o agua como sustancia de prueba.



Figura 5.8.4.b Balón obturador de tuberías con "by pass"

- Útiles de estanquidad de junta aislante para tubos de gran diámetro. Para la prueba de estanquidad de tuberías de diámetros superiores a 800 mm, resulta más práctico probar solamente las uniones con este tipo de útil que requiere un volumen de aguas muy pequeño para la realización de la prueba. El útil consiste básicamente en una "llanta" a la que se incorpora una "cámara" o "cubierta" a la que se inyecta agua mediante un calderín y su bomba mecánica. Se prueba a la presión de estanquidad especificada. El fabricante del tubo debe garantizar la estanquidad del mismo.



Figura 5.8.4.c
Útil prueba de estanquidad de junta aislada en tubos de gran diámetro.

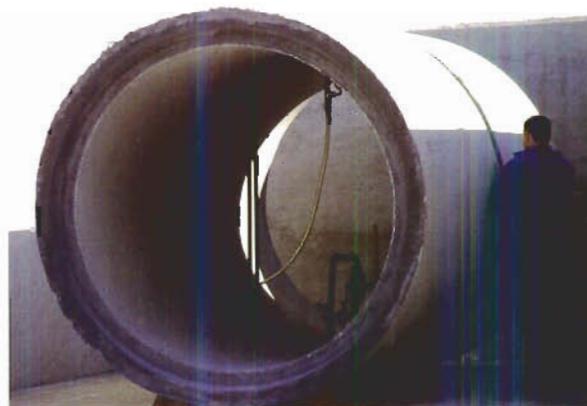
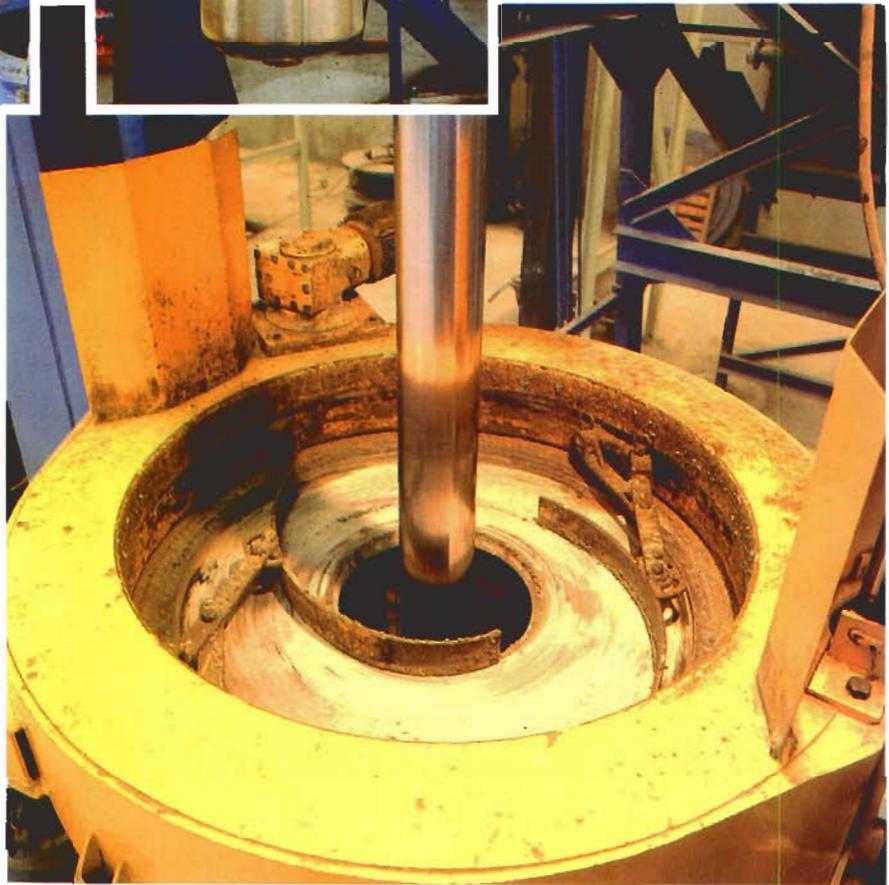


Figura 5.8.4.d
Prueba de estanquidad en tubos de gran diámetro.



6 LIMPIEZA, CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE CONDUCCIONES DE SANEAMIENTO

En este capítulo se incluyen los diferentes métodos de limpieza existentes. Estos sistemas permiten eliminar sedimentaciones e incrustaciones mejorando la capacidad hidráulica de las tuberías.

La limpieza de tuberías constituye un paso previo a la inspección y conservación por cámara de TV que, a su vez, es previa a todos los sistemas de rehabilitación. Numerosas empresas realizan limpiezas de tuberías, generalmente mediante el sistema de toberas y mangueras con agua a presión.

6.1 Personal y equipos

Dada la gran variedad de redes así como la dispersión de las mismas, es difícil dar cifras aproximadas sobre las necesidades de personal y equipos. Como orden de magnitud pueden darse algunos datos como:

- En alcantarillado puede establecerse como suficiente la dedicación de dos poceros, formando un equipo, por cada 10 km de conducción.
- Se necesitan limpiezas del orden de 6 a 12 veces por año. Para ello pueden usarse tanques con equipo de aspiración, que tienen capacidad para limpiar 150 sumideros por día.



Figura 6.1 Mantenimiento urbano de alcantarillado

6.2 Sistemas de limpiezas

Hay que distinguir entre:

- Redes visitables ($D > 800$): El método más adecuado es la limpieza a mano, auxiliándose de instrumentos especiales en las zonas que lo requieran. Los instrumentos que se pueden utilizar son las pistolas de agua a presión, con ayuda de raederas y de escobas de fibra o metálicas. La limpieza de sumideros se realizará preferentemente durante la noche.

- Redes no visitables ($D \leq 800$): Deben utilizarse equipos especiales que arrastren las sustancias sedimentadas, valiéndose para ello del propio caudal de las alcantarillas.

Un método de limpieza de redes está constituido por equipos de alta presión. Dichos equipos llevan bombas capaces de conseguir presiones de 0 a 750 kp/cm², mediante la inyección de aguas a través de una manguera con toberas, que se mueve por los conductos por efecto de reacción. Este sistema de limpieza es eficaz para tuberías de un diámetro mayor de 23 mm. También se puede usar en redes visitables mediante el uso de una pistola rociadora para la limpieza de pozos absorbedores o de suciedades e incrustaciones en cualquier superficie.

Las mangueras llevan en su extremo unas toberas, que en su parte posterior tienen taladros con un grado de inclinación apropiado a los usos a que se destina. El consumo de agua dependerá del número de toberas, el taladro de las mismas y la presión ajustada con la bomba.

La operación de desatranco consiste en introducir por el pozo de registro el extremo de la manguera. Se pone en funcionamiento la bomba y la manguera comienza a avanzar por sí misma, como efecto de la reacción producida por el agua que sale por los orificios de la tobera.

Otro tipo de equipos utilizados para la limpieza son los equipos combinados impulsión y succión con reutilización del agua una vez filtrada. Estos equipos suelen situarse sobre camiones específicos para esta tarea que efectúan dos operaciones: la de succionar de la alcantarilla los desechos acumulados a la vez que se usa la alta presión para separarlos de las paredes. Se suelen usar camiones con reciclaje de agua para evitar las pérdidas de agua ocasionadas durante la limpieza.



Figura 6.2.a Camión de succión e impulsión

6.3 Útiles de Limpieza

Algunos útiles de limpieza son:

- Pistolas de agua a presión para limpieza manual de las tuberías visitables.
- Toberas con taladros posterior y/o anterior para la limpieza de las paredes de las tuberías mediante la impulsión de agua a presión.
- Toberas pesadas con taladros posteriores, que van por el suelo de la tubería, limpiando fundamentalmente la parte inferior de las mismas, que es la más susceptible de acumular suciedad.
- Sistemas mecánicos: en algunos casos en que la alta presión no resulta eficaz se pueden usar este tipo de sistemas que permiten un control de la velocidad de avance y el número de pasadas que vamos a dar. Dentro de ellos se encuentran los aparatos cortaraíces, que incorporan también agua a presión, que van girando y cortan las raíces que se hayan podido introducir en la tubería por las uniones de los tubos.
- Robots: Pueden ir situados sobre tanquetas. En el caso de diámetros muy pequeños se introducen sólo con el visor de la cámara para permitir un reconocimiento visual de la problemática que presenta la tubería. Estos robots también pueden tener un uso para la rehabilitación de tuberías, cuando están dotados de sistemas de inyección de sellantes o sierras cortaraíces.



Figura 6.3 Accesorios de limpieza

6.4 Inspección con equipos de TV para realizar el mantenimiento

Desde hace años existen una serie de equipos móviles que incorporan cámaras de TV para inspeccionar las tuberías desde su interior y poder recoger y grabar el estado de las mismas mediante monitores, videos y video-printers. En grandes ciudades como Madrid o Barcelona, se realiza una inspección completa de la red de saneamiento cada tres años por término medio. Después de inspeccionar cada tubería se saca un informe y se valora.



Figura 6.4 Inspección por TV

Ahora bien, para poder dar la información y poder realizar posteriormente su valoración, se han definido e introducido sistemas de clasificación para la inspección visual del alcantarillado. Algunos de los factores fundamentales en que se basan dichas normas para poder clasificar el estado actual de la red de saneamiento son:

- La estanquidad de los colectores.
- La estabilidad estructural.
- La fluidez del efluente.

Sobre los defectos encontrados que afecten a los tres factores anteriormente expuestos se efectúa una valoración y un peso ponderal del defecto en función de la gravedad con la que afecte a la tubería. Con ello se pueden obtener conclusiones acerca de la necesidad de reparación o mantenimiento de la red en un momento determinado.

6.5 Sistemas de ventilación

Los sistemas de ventilación pueden dividirse en ventilación natural y forzada.

La ventilación natural puede ser:

- Chimeneas de tiro, desembocando sobre tejados de los edificios.
- Uso de tubos de bajada de aguas pluviales como tubos de ventilación. Este sistema no es muy recomendable porque puede crear problemas de mal olor al vecindario y también, problemas de servidumbre.

La mejor solución es la libre comunicación de la alcantarilla con el exterior por medio de registros de acceso. Si hiciese falta, se colocarían algunos de ventilación, previo estudio de su emplazamiento.

La ventilación forzada mediante extractores de aire en los puntos altos del sistema es una buena solución, pero su elevado coste de explotación o instalación no lo hacen aconsejable.

En algunos casos se deben eliminar los gases antes de proceder a la limpieza y conservación. Para ello se usarán desgasificadores compuestos de un grupo ventilador, motor propulsor, tuberías flexibles y rígidas, cabezal flotante de aspiración y tubo desmontable para soplar.

Aún habiendo usado estos sistemas, en casos dudosos los trabajadores deberán usar máscaras protectoras. Para evitar explosiones o inhalación de gases venenosos, es conveniente que los obreros empleen lámparas de comprobación.

Las zonas peligrosas de las redes suelen ser los ramales que sirven a garajes, estaciones de servicio o establecimientos industriales o sanitarios, pues pueden dar lugar a la introducción de dichos gases explosivos o venenosos.

6.6 Eliminación de problemas de septicidad y H₂S

Cuando el nivel de oxígeno disuelto baja peligrosamente, en tuberías de gran longitud, o con tiempos de retención grandes, pueden darse condiciones sépticas, olores y otros perjuicios.

Son sistemas utilizados la aireación y la inyección de oxígeno en cantidades suficientes para mantener las condiciones aerobias.

Otras posibilidades son, la inyección de cloro, permanganato, peróxido de hidrógeno y la alcalinización. Se reducirá igualmente la formación de H₂S, limitando las longitudes de conducción en carga sin aireación reduciendo los tiempos de retención en zonas sin aireación, aireando suficientemente las redes de saneamiento.

El límite de saturación de oxígeno disuelto, para el aire a presión atmosférica, es alrededor de 8 mg/l a temperatura ambiente. La respiración bacteriana en las aguas residuales frescas es superior a 14 mg/l por hora y el cultivo de bacterias adherido a las paredes de la tubería puede utilizar otros 700 mg de oxígeno por m² y por hora. El total de oxígeno disuelto presente inicialmente en el agua, raramente excede de 3 p.p.m., consecuentemente, éste es absorbido rápidamente e incluso las aguas conteniendo el límite de saturación de 8 p.p.m. raramente permanecen frescas por más de una hora.

Las necesidades de oxígeno pueden estimarse con bastante precisión, porque el oxígeno puro se disuelve doce veces más rápido que el oxígeno atmosférico con una solubilidad límite de 48 p.p.m. a presión atmosférica, las necesidades de oxígeno para la respiración de la bacteria puede asimilarse siempre al límite de solubilidad de agua bombeada. En las pocas situaciones donde el límite de solubilidad es sobrepasado por la demanda, el oxígeno puede ser inyectado en puntos adicionales a lo largo de la tubería.

6.7 Control de una red de saneamiento

El estudio de una red atenderá a las condiciones hidráulicas, principalmente a la estanquidad de la tubería.

La longitud de control se corresponderá con la distancia entre pozos de registro. El control se realiza de la siguiente forma:

- Se cierran los extremos de la distancia de control, taponando el tubo en sus extremos y las posibles conexiones a dicho tramo. El tapón del tubo del pozo de inspección situado a cota más elevada estará dotado de una ventosa. En el punto más bajo del tubo se acoplará un conducto para la entrada del agua de llenado.

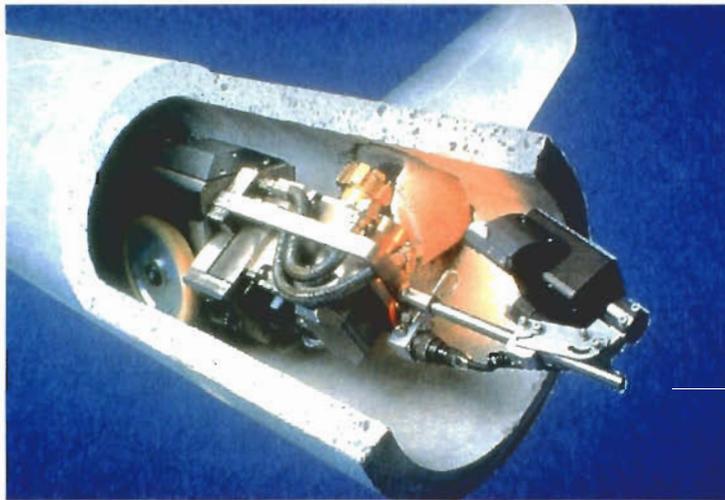


Figura 6.7 Cerrado de extremos mediante balones

- Se llenará el tramo lentamente por la parte más baja, para dejar salir el aire por las ventosas.
- Una vez expulsado el aire y lleno de agua el tramo, se elevará la presión con una bomba manteniendo durante media hora una presión de 0,5 kg/cm², debiendo ser la pérdida inferior a:

$$Q_p \leq 0,35 L \cdot D$$

Q_p = Pérdida total en litros durante la prueba, es decir, el volumen incorporado por el bombín para mantener la presión.

L = longitud del tramo en prueba en metros

D = diámetro interior en metros

Una vez en funcionamiento la red de saneamiento, el control irá encaminado a la medición de caudales. Esta medición servirá para conocer el flujo, las pérdidas de caudal o las retenciones cuando los caudales no se correspondan con los valores estadísticos. Este control indicará la necesidad de limpieza o la necesidad de reparación por fugas.

También se deben controlar los parámetros del agua, como el pH, temperatura, turbidez, amoníaco, conductividad, oxígeno disuelto e iones metálicos específicos. Estos parámetros permitirán un control de vertidos industriales así como van a proporcionar datos para el funcionamiento adecuado de las depuradoras, dando información de los picos en los vertidos.

Las mediciones pueden hacerse sobre tomas manuales, con equipos de toma automáticos, o con estaciones de análisis automáticas, situadas en puntos concretos de la red.

6.8 Salud y seguridad en los trabajos de limpieza de redes de saneamiento

Los riesgos detectables más comunes para el personal que interviene en los trabajos de limpieza y mantenimiento de redes de saneamiento son: caída de personas al mismo nivel, caída de personas a distinto nivel, desplome y vuelco de los paramentos del pozo, golpes y cortes por el uso de herramientas manuales, sobreesfuerzos por posturas obligadas (p. e. caminar de cuclillas), los derivados de trabajos realizados en ambientes húmedos, encharcados y cerrados, la electrocución, la intoxicación por gases, explosión por gases o líquidos, ataque de ratas, rotura del torno de sujeción en la boca del pozo, dermatitis por contactos con el cemento, infecciones y otros.

Dadas las graves consecuencias que pueden derivarse deben adoptarse normas y medidas preventivas. Estas normas pueden resumirse en:

- Siempre que exista peligro de derrumbamiento se procederá a entubar según cálculos expresos del proyecto.
- La excavación del pozo se ejecutará entubándolo para evitar derrumbamientos sobre las personas.
- Se tenderá a lo largo del recorrido una soga a la que asirse para avanzar en casos de emergencia.
- Se prohíbe la permanencia en solitario en el interior de pozos o galerías.
- El ascenso o descenso a los pozos se realizará mediante escaleras normalizadas firmemente ancladas a los extremos superior e inferior.

- Los trabajadores permanecerán unidos al exterior mediante una sogá anclada al cinturón de seguridad, tal que permita bien la extracción del operario tirando, o en su defecto, su localización en caso de rescate.
- Se dispondrá a lo largo de toda la galería una manguera de ventilación (con impulsión forzada o no, según los casos) en prevención de estados de intoxicación o asfixia.
- Se prohíbe expresamente utilizar fuego para la detección de gases.
- La detección de gases se efectuará mediante tubos calorimétricos, lámpara de minero, explosímetros, etc...
- Se vigilará la existencia de gases nocivos. En caso de detección se ordenará el desalojo de inmediato, en prevención de estados de intoxicación.
- En caso de detección de gases nocivos, el ingreso y permanencia se efectuará protegido mediante equipo de respiración autónomo, o semiautónomo.
- Los pozos y galerías tendrán la iluminación suficiente para poder caminar por el interior. La energía eléctrica se suministrará a 24 V y todos los equipos serán blindados.
- Se prohíbe fumar en el interior de un pozo o galería.
- Al primer síntoma de mareo en el interior de un pozo o galería, se comunicará a los compañeros y se saldrá al exterior poniendo el hecho en conocimiento de la Dirección Facultativa.
- Se prohíbe el acceso al interior del pozo a toda persona ajena al proceso de construcción.
- Los ganchos de cuelgue del torno estarán provistos de pestillos de seguridad, en prevención de accidentes por caída de carga.
- Alrededor de la boca del pozo y del torno se instalará una superficie firme de seguridad a base de un entablado efectuado con tablón trabado entre sí.
- El torno se anclará firmemente a la boca del pozo de tal forma que transmita los menos esfuerzos posibles.
- El torno estará provisto de cremallera de sujeción contra el desenroscado involuntario de la sogá de recogida, en prevención de accidentes.
- El vertido del contenido del tubo del torno se realizará a una distancia mínima de 2 m, (como norma general), de la boca del pozo, para evitar sobrecargas del brocal.
- Se prohíbe almacenar o acopiar materiales sobre la traza exterior de una galería en fase de excavación, para evitar los hundimientos por sobrecarga.
- Se prohíbe acopiar material en torno a un pozo a una distancia inferior a los 2 m.

Las medidas de protección personal recomendables son:

- Casco de polietileno, (preferible con barbuquejo).
- Casco de polietileno con equipo de iluminación autónoma (tipo minería).
- Guantes de cuero.
- Guantes de goma.
- Botas de goma de seguridad con puntera reforzada.
- Ropa de trabajo.
- Equipo de iluminación autónoma (o semiautónoma).
- Cinturón de seguridad, clases A, B o C.
- Manguitos y polainas de cuero.
- Gafas de seguridad antiproyecciones.
- Trajes para tiempo lluvioso.
- Tapa de rejilla de seguridad para pozos: La rejilla puede incorporar banderas de advertencia retráctiles.
- Ganchos para tapas de registro: Para la fácil apertura de tapas de registro.
- Triángulo soporte ligero para el equipo de seguridad: Se coloca sobre la abertura y sostiene al equipo de seguridad, compuesto por arneses de sujeción y cable reforzado.
- Conos de señalización: De color rojo y blanco, reflectantes.
- Chaleco de advertencia con bandas reflectantes y bordes reforzados.
- Caretas antigás
- Equipos de respiración autónoma en los casos necesarios.

6.9 Patología y Rehabilitación de conducciones de saneamiento

6.9.1 Patología de las Conducciones de Saneamiento. Acciones preventivas

Los problemas más importantes que se detectan en las conducciones de saneamiento pueden deberse a:

- 1 Causas externas.
- 2 Errores de diseño, de construcción de las conducciones y baja calidad de los elementos de la red.

Las causas externas más habituales son:

- Rotura de las conducciones y elementos accesorios por sobrecargas excesivas, tanto estáticas como dinámicas (tráfico pesado, excesos en la compactación, etc...).
- Rotura de las tuberías por asentamientos propios o inducidos por otras construcciones próximas.
- Acción sobre los conductos de otros servicios realizados en el subsuelo, como tuberías de abastecimiento, gas, electricidad, etc..., y perforaciones o roturas por excavación debidas a una obra (sondeos, obras de edificación).
- Ataques externos a las tuberías por agresividad del terreno, corrientes vagabundas, penetraciones de raíces, etc...
- Ataque por el interior de los conductos debidos a vertidos ácidos, productos corrosivos o agresividad bacteriana sobre el hormigón de la conducción (formación del sulfuro de hidrógeno en zonas no ventiladas o zonas de decantación de materia orgánica)
- Daños por acometidas defectuosas.
- Vertidos de residuos sólidos que obturan la conducción.

Las causas intrínsecas son principalmente:

- Errores de diseño y cálculo.
- Defectos de ejecución.
- Diferencias de calidad de los elementos de la red

Entre los errores de cálculo y diseño los más habituales son:

- Erróneo dimensionamiento mecánico con infravaloración de las cargas y sobrecargas que actúan sobre las conducciones.
- Insuficiencia de la capacidad portante de las alcantarillas que implican la entrada en la carga de la red y que pueden provocar fallos en las juntas o incluso rotura de los conductos por presión interior.
- Cizallamiento de las uniones tubo-pozo por asentamientos diferenciales al no haberse previsto en el proyecto uniones elásticas entre estos elementos.
- Erosiones de los elementos de la red por tramos con excesiva velocidad debido a pendientes elevadas o, por el contrario, debido a un proyecto de pendientes muy bajas que pueden ocasionar obturaciones y fermentación de los detritus orgánicos.
- Perturbaciones hidráulicas e hidrodinámicas originadas por: cambios de sección con disposición errónea, encuentros de alcantarillas con ángulos próximos a los 90° o cambios de dirección bruscos.

Los defectos de ejecución más habituales son:

- Instalación de tubos de diferente capacidad mecánica a la prevista o de tubos insuficientemente curados.
- Apoyo contraindicado o mal ejecutado.
- Sobrecarga de los conductos por exceso de anchura de zanja, altura del relleno y daños ocasionados por la maquinaria de compactación o de tráfico de maquinaria pesada durante la ejecución de la obra.
- Punzonamiento o entrada en flexión de los conductos por la colocación directa sobre roca, o por ausencia de nichos, o por el material de relleno vertido directa y bruscamente sobre la conducción.
- Pérdida de la pendiente por defectos de alineación o de asiento.
- Empleo de juntas de baja calidad o ejecución defectuosa de las uniones que pueden provocar pérdidas de la conducción o introducción de aguas provenientes del exterior.

Entre las deficiencias de calidad de los elementos de la red, suelen ser las más habituales:

- Baja calidad de los tubos, pozos y otros elementos, principalmente las juntas de unión.
- Corrosión de los elementos metálicos de la red (equipos de bombeo, válvulas de compuerta, pates) por falta de protección antioxidante, que pueden ocasionar graves accidentes a los operarios de conservación y mantenimiento.

Como consecuencia de estos efectos se pueden apreciar los siguientes síntomas de un mal funcionamiento del sistema de evacuación.

- Roturas de tuberías
- Problemas de capacidad hidráulica
- Pérdidas de agua
- Hundimientos
- Contaminación del terreno o capa freática con vertidos industriales
- Infiltraciones a la tubería desde el terreno

Las acciones preventivas para evitar estos problemas y sus consecuencias pasan lógicamente por:

- Control de Proyecto, Control de la Construcción y de la Calidad de los elementos a utilizar en la red de saneamiento.

- Señalización de la red de conductos en el exterior por medio de placas de plástico sobre las paredes de edificios o mediante postes indicadores situados a la altura de los ojos. Cada tipo de conducción (abastecimiento, saneamiento, gas, etc) se identificará mediante una placa de diferente color.
- Control de los vertidos
- Conservación y mantenimiento de la red
- Normas y Reglamentos para la Seguridad personal.

El control de los vertidos debe quedar garantizado por la existencia y cumplimiento de una ordenanza o reglamento de vertidos que permitan una explotación económica de la red y garanticen un funcionamiento correcto de las depuradoras.

La conservación y mantenimiento de la red comprende tres funciones:

- La primera consistirá en realizar el inventario de las redes con la revisión en campo y recogida de datos.
- La realización de los planos adecuados e incluso la preparación de programas informáticos.
- Una vez realizado el inventario de las existencias, la función de la inspección visual en campo, con cámaras de TV, es básica para poder desarrollar la investigación del estado de las tuberías.

En cuanto a la seguridad del personal y la ergonomía de su trabajo deben adoptarse medidas especiales, tanto en el proyecto como en la ejecución, y para las tareas de mantenimiento y limpieza de la red.

Entre las más importantes medidas se adoptarán:

- Tapa de rejilla de seguridad para pozos: la rejilla puede incorporar banderas de advertencia retráctiles.
- Ganchos para tapas de registro: Para la fácil apertura de tapas de registro.
- Triángulo soporte ligero para el equipo de seguridad: Se coloca sobre la abertura y sostiene el equipo de seguridad, compuesto por arneses de sujeción y cable reforzado.
- Conos de señalización: De color rojo y blanco reflectantes.
- Monos con pechera y tirantes reforzados, con arnés de seguridad integrado.
- Chaleco de advertencia con bandas reflectantes y bordes reforzados.
- Caretas antigás.

- Equipos de respiración autónoma en los casos necesarios.
- Linternas manuales.
- Botas reforzadas
- Espejos, para no tener que introducirse dentro del tubo en ciertos casos.
- En algunos casos, equipos de evacuación de gases.

6.9.2 Conservación del alcantarillado

Para poder elaborar un plan de mantenimiento adecuado a las redes existentes hay que tener en cuenta la edad de las mismas. Se puede hacer una clasificación aproximada en función de la edad:

- Redes con período de vida superior a 50 años: Se trata de redes que probablemente requieran su renovación, no tanto por su deterioro estructural como por sus efectos hidráulicos.
- Redes construidas en el período de vida de 20 a 50 años: Teniendo en cuenta los materiales empleados y la época en que se construyeron, si además tenemos en cuenta que los países desarrollados cifran en el 2-3% el deterioro anual de las redes, probablemente requieran de un análisis global al estilo de los realizados en otros países., Probablemente una parte requiera renovación, pero otra parte será adecuada para el nivel hidráulico y estructural exigido.
- Redes con menos de 20 años de vida: estas redes deben entrar rápidamente en un programa de mantenimiento, tras un análisis previo, para valorar su estado real, y lograr que la mayoría de estas redes cumplan con la finalidad prevista.

6.9.3. Rehabilitación

Se entiende por rehabilitación de tuberías a la reparación de una tubería averiada de forma que vuelva a tener las características necesarias para cumplir adecuadamente con su función en condiciones similares a como lo hacía antes de producirse la avería.

Al ejecutar una red se pueden presentar anomalías tales como la falta de estanquidad en las juntas o en los pozos, fisuras, grietas, roturas e inscrustaciones, que pueden obligar a su reparación.

Durante la fase de operación de la tubería también pueden darse circunstancias que averían los tubos u otros elementos de la tubería, impidiendo que ésta cumpla con su función, siendo preciso proceder a su reparación para recuperar su funcionalidad.

Las técnicas empleadas en la rehabilitación de tuberías, en general, son enormemente variadas. Los factores a considerar a la hora de decidirse entre una reposición tradicional o el empleo de técnicas sin zanja son:

- Coste: Generalmente la técnicas de rehabilitación o renovación presentarán unos costes inferiores a la reposición tradicional, siendo muy importante estimar que porcentaje representan los costes de los diferentes sistemas existentes respecto a la reposición con apertura de zanja.
- Impacto de la obra sobre el entorno: Las obras de rehabilitación y renovación distorsionan en menor medida el entorno que la apertura de la zanja convencional. En este sentido las técnicas de trabajos sin zanja presentan mayores ventajas en zonas urbanas que en las zonas rurales no urbanizadas, en las cuales no hay que realizar reposición de pavimento de el caso de apertura de zanja. En este contexto existen puntos singulares en que es prácticamente inviable la realización de una reposición por el sistema tradicional de apertura de zanja como por ejemplo el cruce de autopistas o líneas férreas por lo que se deberá recurrir a la rehabilitación de la red existente o bien a técnicas de instalación o renovación de tuberías sin zanja.
- Fiabilidad del sistema: Dado que, en la mayoría de los casos, se trata de métodos bastante nuevos no se conoce con exactitud el resultado de la rehabilitación a largo plazo. En cualquier caso se debe intentar estimar el tiempo de vida de la obra a realizar.
- Imperativos de tiempo en la ejecución de la obra: en muchas ocasiones la rapidez en la ejecución de los trabajos es un factor determinante. En la mayoría de los casos los sistemas de rehabilitación o renovación ofrecen unos plazos de realización más cortos que la reposición convencional, los cuales dependerán del sistema empleado.
- Condicionantes técnicos varios: Cada obra presenta unos condicionantes técnicos concretos que se deberán valorar adecuadamente como por ejemplo existencia de acometidas, derivaciones penetrantes, necesidad de incrementar el diámetro, cumplimiento de los requerimientos sanitarios, etc.



El paso previo a la rehabilitación de tubería consiste en la identificación de las causas de las averías y la localización de éstas.

La rehabilitación puede ser con y sin apertura de zanja.

- Rehabilitación con apertura de zanja: se excava una zanja, dejando los tubos al descubierto, procediendo entonces a la sustitución de los tubos utilizados, sellado de juntas, sellado de pozos o sellado de grietas o fisuras.
- Rehabilitación sin apertura de zanja: Hay dos tipos de rehabilitación principalmente.
 - Rehabilitación puntual: Mediante la introducción de un robot que va reparando desperfecto a desperfecto. Normalmente los equipos de rehabilitación cuentan con dos robots. Primero se introduce un robot que se encargará de fresar la tubería profundizando unos 20 ó 25 mm (según el espesor del tubo) con el fin de que penetre mejor el material, cortar las raíces que se hayan podido introducir y preparar la tubería (quitar grasas, etc...). Si es necesario una mayor reparación se introduce un segundo robot que se encarga de sellar la tubería mediante el uso de resinas epoxídicas.
 - Rehabilitación global: Consiste en realizar un encamisado interno de la tubería.



El desarrollo de las diferentes técnicas de rehabilitación sin apertura de zanja se encuentran resumidos en el material escrito en la ponencia "Técnicas de rehabilitación y renovación sin zanja para canalizaciones de agua potable y saneamiento" de D. Ramón Sánchez del Olmo y D. Josep M^a. San Juan Bel, en la publicación "XC Jornadas Técnicas de la Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento", Tomo II de Jerez de la Frontera de Junio de 1.994.

NORMATIVA Y BIBLIOGRAFÍA

NORMATIVA

"Norma UNE 127010 Ex-Tubos prefabricados de hormigón en masa, hormigón armado y hormigón con fibra de acero, para conducciones sin presión". Ed.: AENOR- septiembre 1995

"Norma UNE 127011 Ex - Pozos prefabricados de hormigón para conducciones sin presión". Ed.: AENOR - septiembre 1995

"Norma UNE-EN 1610 - Instalación y pruebas de acometidas y redes de saneamiento". Ed.: AENOR 1998

"Norma ASTM-C76M: Standard specification for reinforced concrete culvert, storm drain and sewer pipe". Ed.: American Society for Testing and Materials - 1997

"Norma ASTM-C361M: Standard Specification for Reinforced Concrete Low-Head Pressure Pipe". Ed.: American Society for Testing and Materials - 1996

"Selected ASTM standards on concrete pipe". Ed.: ACPA - 1998

"Norma UNE-EN 681-1: Juntas elastoméricas: requisitos de los materiales para juntas de estanquidad de tuberías empleadas en canalizaciones de agua y en drenaje. Parte 1: Caucho Vulcanizado". Ed.: AENOR - 1996

"Instrucción de hormigón estructural (EHE)". Ed.: Ministerio de Fomento - 1999

"Pliego de prescripciones técnicas generales para tuberías de saneamiento de poblaciones". Ed.: MOPU - 1986

"Instrucción de carreteras: Drenaje". Ed.: Ministerio de Obras Públicas - 1982

"Normativa sobre redes de saneamiento". Ed.: Mancomunidad de la comarca de Pamplona - 1993

"Normativa sobre redes de alcantarillado". Ed.: Asociación Española de Abastecimientos de agua y saneamiento" - 1987

"Prescripciones técnicas para tuberías de saneamiento de hormigón en masa o armado". Ed.: Confederación Hidrográfica del Norte - diciembre 1995

"prEN 1916 : Concrete pipes and fittings, unreinforced, steel fibre and reinforced". Ed.: CEN - 1999

"prEN 1917: Concrete manholes and inspection chambers, unreinforced, steel fibre and reinforced". Ed.: CEN - 1999

BIBLIOGRAFÍA

- "Abastecimiento y distribución de agua". Aurelio Hernández Muñoz. Ed.: Paraninfo. Colección Señor nº6 - 1997
- "¡Agua va! La higiene urbana en Madrid (1561-1761)". Beatriz Blasco Esquivias
- "Airport Drainage". Federal Aviation Agency. Ed.: U.S. Government Printing Office - 1965
- "Applied Hidrology". R.K. Linsley, Jr., M.A. Kohler y J.L.H. Paulhaus. Ed.: Mc Graw-Hill - 1949
- "Cálculo de caudales en las redes de saneamiento". Fernando Catalá. Ed.: Colegio Ing. Caminos, Canales y Puertos - Colección Señor nº5 - 1989
- "Cálculo hidráulico de las conducciones de saneamiento y drenaje. Valor del coeficiente de rugosidad recomendado para la fórmula de Manning. Informe de la Cátedra de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, departamento de ingeniería hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.". José Ferrer Polo (Catedrático Ing. Sanitaria), Julio Jiménez Sánchez (Prof. Asociado dpto. Ing. Hidráulica). Ed.: ATHA - 1998
- "Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales". Edita: Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. MOPU - 1987
- "California Culvert Practice". Ed.: Department of Public Works of California - 1960
- "Capacity Charts for the Hydraulic Design of Highway Culverts" Bureau of Public Roads, Hydr. Eng. Circular nº10. Ed.: U.S. Government Printing Office - 1965
- "Cement Pipes and Tile" E.S. Hanson. Ed.: Cement Era Publishing Company - 1911
- "Civil engineering specification for the water industry". Ed.: Water Research Centre - 1989
- "Concrete Pipe for Irrigation and Drainage". H.F. Peckworth. Ed.: American Concrete Pipe Association - 1961
- "Concrete Pipe Handbook". Ed.: ACPA - 1994
- "Concrete Sewers". Ed.: Portland Cement Association
- "Conduit Strenghts and Trenching Requirements". H.M. Reitz, M.G. Spangler, H.L. White, J.G. Hendrickson, Jr. y H. H. Benjes. Ed.: Washington University Conf. Syllabus, St. Louis - 1958
- "Datos para el dimensionamiento de aljibes, avenamientos y desagües". Jaime Nadal Aixalá. Ed.: Instituto Eduardo Torroja - 1963
- "Depuración de aguas residuales". Aurelio Hernández Muñoz. Ed.: Paraninfo. Colección Señor nº9
- "Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers" WPCF Manual of Practice nº9, ASCE manuals and Reports on Engineering Practice nº 37. Ed.: Water Pollution Control Federation
- "Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers, manual nº37". H. Wenten. Ed.: ASCE - 1960

- "Détermination automatique des caractéristiques de l'écoulement en fonction du débit et de la pente dans un canalisation de forme quelconque". B. Chocat y D. Seguin - 1978
- "El hormigón y el medio ambiente". Alejandro Josa García-Tornel y Jose Luis Aleixandre Vilella. Ed. IECA Levante 1999
- "Environmental impact" Revista ACPA Pipelines. Invierno 1996. Ed ACPA
- "Emisarios submarinos. Metodología general de cálculo. Aplicación a las normas españolas". J. Verbestel y R.F. Léonard-Etienne.
- "Fundamentos de hidrología de superficie". F.J. Aparicio Mijares. Editorial Limusa - 1999
- "Gestión del agua urbana". Daniel V. Fernández Pérez. Ed.: Paraninfo. Colección Senior nº14
- "Guía resumida del clima en España". Ed.: Instituto Nacional de meteorología - 1982
- "Guide de l'assainissement en milieu urbain et rural". C. Coste y M. Loudet - 1980
- "Handboek betonnen buizen". Ed.: Uitgegeven door de Vereniging van Producenten van Betonleidingsystemen VPG te Amsterdam - 1979
- "Hidráulica de canales abiertos". Ven te Chow . Editorial: McGraw-Hill Interamericana, S.A. - 1998
- "Hidrología". Eduardo Martínez Marín. Edita: E.T.S. Ingenieros de Caminos
- "Hidrología para ingenieros". R.K. Linsley, M.A. Kohler y J.L.H. Paulhus. Ediciones del Castillo - 1967
- "Ingeniería de aguas residuales. Redes de alcantarillado y bombeo". Metcalf & Eddy. Editorial McGraw-Hill Interamericana, S.A. - 1996
- "Ingeniería de las aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización". Metcalf y Eddy. Ed. MacGraw-Hill - 1985
- "Ingeniería hidráulica romana". Carlos Fernández Casado. Ed. Turner 1985
- "Instrucción 5.2-IC. Drenaje superficial". Edita: Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. MOPU - 1990
- "Inventario de estaciones climatológicas y de radiación". Ed.: Instituto Nacional de Meteorología - 1982
- "Kanalisationen - handbuch". H. Wenten, Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld - 1964
- "Les réseaux d'égouts". P. Koch - 1967
- "Manual de conducciones de saneamiento con tubos de hormigón en masa o armado - Fascículo 1: Cálculo mecánico de conductos de sección circular, ovoide y base plana". Ed.: Tubos Borondo - 1994
- "Manual de saneamiento de poblaciones". Karl Imhoff. Ed: H Blume Ediciones
- "Manual para el cálculo mecánico de tuberías de hormigón en masa o armado para saneamiento según

ASTM". Ed.: Corporació metropolitana de Barcelona. Área metropolitana de Barcelona. Mancomunitat de municipis.

"Modern Sanitation with Concrete pipe". Ed.: American Concrete Pipe Associaton - 1963

"Redes de alcantarillado y bombeo de aguas residuales". Metcalf - Eddy. Ed. McGraw-Hill - 1985

"Saneamiento ambiental". José Paz Maroto y José M^a Paz Casañé. Ed.: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, canales y Puertos - 1968

"Saneamiento y Alcantarillado - Vertidos residuales". Aurelio Hernández Muñoz. Ed.: Seinor 1997

"Saneamiento y depuración de aguas residuales". José Paz Maroto y José M^a Paz Casañé - 1963

"Serie de normas y manuales del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del cemento. Instrucción del Instituto Eduardo Torroja para tubos de hormigón armado o pretensado". Ed.: Instituto Eduardo Torroja del Consejo Superior de Investigaciones Científicas

"Soil Engineering". M.G. Spangler. 2nd. Ed.: International Text book Co - 1960

"Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene del trabajo". J. M. Cortés Díaz - Ed.: Tébar Flores - 1997

"Teoría y práctica de la compactación de suelos". Julián Rojo López. Ed.: Dynapac - 1988

"The theory of external Loads on Closed Conduits in the light of the Latest Experiments". A. Marston. Ed.: Iowa Engineering Experiment Station, Bulletin n° 96 - 1930

"Traité de Béton Armé. Tome VIII: Ouvrages enterrés: Reservoirs. Bassins. Tuyaux. Galeries". A. Guerrin. Ed. Dunod - 1970

"Tratado general del agua y su distribución, Tomo 7: Las redes urbanas de saneamiento". Wolfgang Pürschel. Ed.: Urmo, S.A. de ediciones - 1976

"XV Jornadas Técnicas de la Asociación Española de Abastecimientos de agua y Saneamiento. Tomo II: Técnicas de rehabilitación y renovación sin zanja para canalizaciones de agua potable y saneamiento". Ramón Sánchez Olmo y Josep M^a Sanjuan Bel. Ed. AEAS - 1994

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a las empresas asociadas a ATHA, sin cuya colaboración no hubiese sido posible la edición de este Manual.



Maquinaria fabricación tubos, armaduras y máquinas de ensayo



Fabricación de Juntas de goma



Maquinaria fabricación tubos y armaduras máquinas de ensayo y maquinaria fabricación de productos de hormigón



Fabricación de cementos



Maquinaria fabricación tubos y pozos



Maquinaria fabricación tubos, armaduras y máquinas de ensayo



Maquinaria fabricación armaduras, máquinas de ensayo y fresadoras



Manufacturas VULCAMAR S.L.

Fabricación de juntas de goma y sombreretes



Acero para armaduras



Maquinaria fabricación tubos



Fabricación de juntas de goma



Fabricación de juntas de goma