

La descarga de los tubos de materiales plásticos, cuando se transporten unos dentro de otros, debe comenzarse, como es lógico, por los del interior. En los tubos de PVC-U cuando se manejen con temperaturas inferiores a 0°C debe prestarse especial atención a todas estas operaciones, evitando que sufran golpes.

5.3 Instalación de tubos enterrados

Lo más habitual es que las tuberías para el transporte de agua a presión se instalen enterradas. A tal efecto, se describen en este apartado una serie de recomendaciones tanto para la ejecución de las necesarias zanjas, como para la instalación en sí de la tubería o la ejecución de los rellenos y las camas de apoyo de los tubos.

5.3.1 Zanjas para el alojamiento de la tubería

5.3.1.1 Criterios de proyecto

Valgan como criterios de proyecto genéricos para el trazado y para las secciones tipo de las zanjas en las que alojar la tubería los siguientes:

a) Trazado en planta

En las redes urbanas se recomienda que la tubería discorra bajo las aceras para disminuir las cargas actuantes y facilitar las tareas de reparación. A este respecto no deben instalarse dos tuberías en el mismo plano vertical. En relación con las distancias mínimas a los edificios, deberán tomarse las necesarias precauciones para evitar cualquier afección a sus cimientos, siendo aconsejable una separación mínima de unos dos metros. Asimismo se recomienda una distancia mínima de un metro al bordillo para evitar obstáculos creados por los registros y otros suministros. Caso de no poder discurrir la conducción bajo la acera y tener que hacerlo bajo la calzada, se procurará evitar la franja de 1,5 m de ancho a partir del bordillo de cada acera, donde se prevea la posibilidad de aparcamiento de vehículos.

Las separaciones mínimas en planta respecto a otros servicios se recomienda sean las indicadas en la Tabla 100 (Liria, 1995). En el caso de que se abran zanjas paralelas a las ya existentes para la instalación de nuevas tuberías, deben extremarse las precauciones en los cálculos y en la ejecución de la obra para garantizar que sigan existiendo las necesarias reacciones laterales del terreno.

Si la red discurre por zona rural, el trazado en planta debe ser tal que se afecte lo menos posible a las propiedades colindantes. En el caso frecuente de trazar una tubería paralela a una carretera, es deseable que ésta discorra por la *zona de servidumbre*, que es la zona de terreno que va de 8 a 25 metros (autopistas, autovías y vías rápidas), contados a partir de la arista exterior de la explanación, o de 3 a 8 metros, para los restantes tipos de carreteras (Ley 25/1988 de Carreteras). La *zona de dominio público* (0 a 8 metros para autopistas, autovías y vías rápidas y 0 a 3 metros para las

restantes carreteras) estará sujeta al artículo 76.4 del Reglamento que desarrolla la anterior Ley, el cual establece que “se podrá autorizar excepcionalmente la utilización del subsuelo en la zona de dominio público, para la implantación o construcción de infraestructuras imprescindibles para la prestación de servicios públicos de interés general, ...”. En el caso de ferrocarriles, la Ley 16/1987 de Ordenación del Transporte Terrestre equipara las zonas de dominio público y servidumbre con las de las carreteras, por lo que es de aplicación lo anterior.

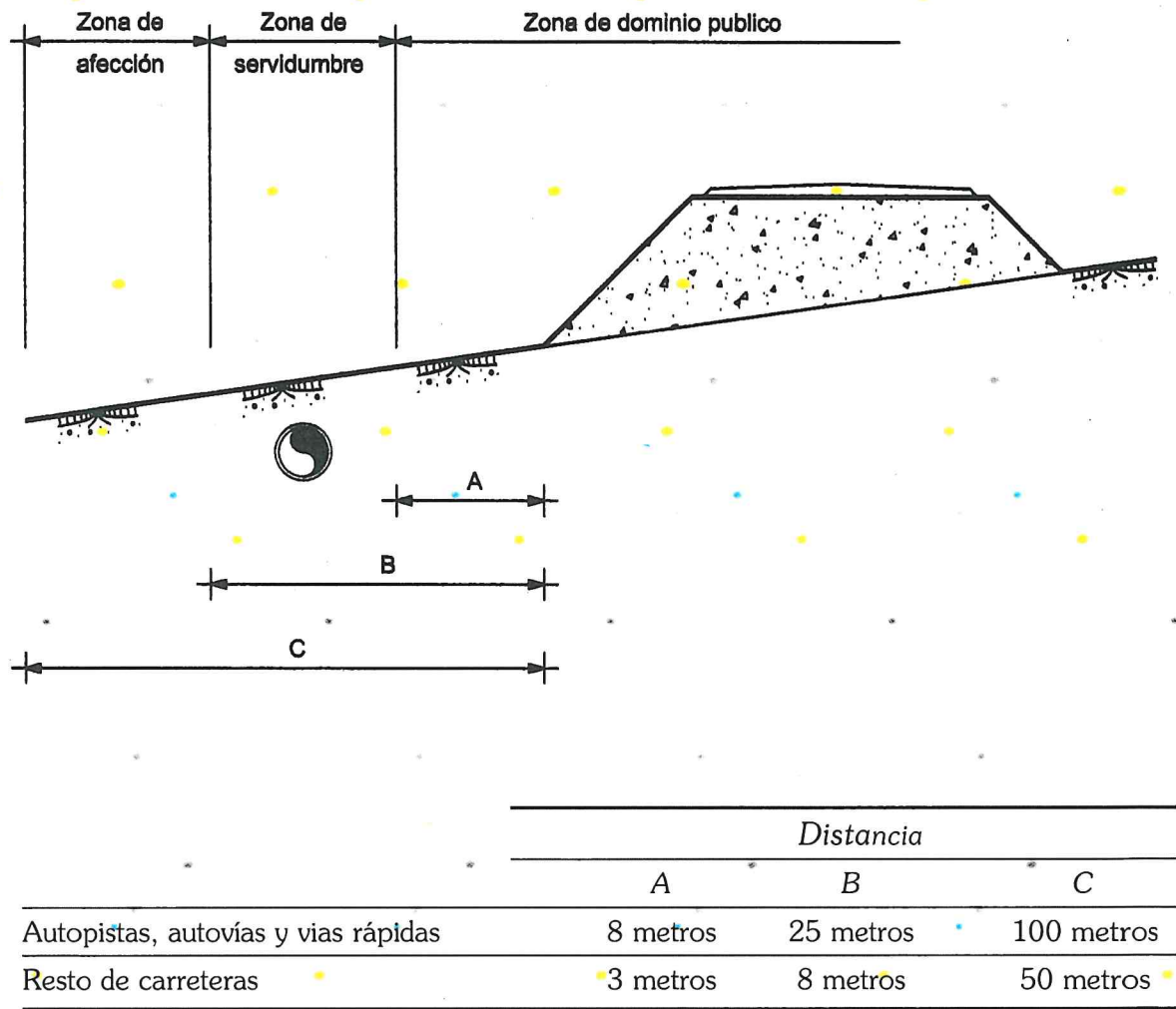


Fig. 82. Disposición de tuberías cuando discurren paralelas a carreteras

En el caso de tuberías metálicas y en las de hormigón con camisa de chapa, debe alejarse el trazado de la tubería de las líneas eléctricas de tensión superior a 15 kV por el peligro de corrosión. Esto afecta, por ejemplo a las catenarias de los ferrocarriles electrificados. Al contrario que las aéreas, las líneas subterráneas no suelen producir fenómenos eléctricos apreciables sobre las tuberías enterradas debido a la buena calidad del aislamiento y la vaina protectora, generalmente conectada a tierra, de la que suelen ir provistas las líneas eléctricas enterradas.

Unas distancias mínimas de las tuberías metálicas en relación con líneas aéreas de alta tensión pueden ser las indicadas en la tabla adjunta (Cegarra, 1996).

Tabla 99. Distancias mínimas recomendadas a líneas aéreas de alta tensión

Tensión (kV)	Resistividad del suelo (ohm/m)	Distancia mínima (m)	
		Sin cable de guarda	Con cable de guarda
15		10	10
63	300	30	15
225	300	110	20
225	60	90	20
380	1000	200	50
380	300	170	35
380	100	120	25

b) Trazado en alzado

La profundidad mínima de las zanjas se determina de forma que la tubería quede protegida frente a las acciones externas y preservada de las variaciones de temperatura. No obstante, como criterio general, puede establecerse que, si no hay tráfico rodado, la profundidad mínima de enterramiento sea de 60 centímetros, y, si se prevé tráfico, un metro o un valor igual al diámetro exterior (el mayor de ambos). Cuando estos recubrimientos mínimos no puedan respetarse deben tomarse las medidas de protección necesarias.

Si la profundidad de la zanja es superior a unos cuatro o cinco metros, es recomendable que se dispongan en los taludes bermas del orden de un metro de ancho, que dividan el desnivel existente entre el fondo de la zanja y el terreno natural en partes aproximadamente iguales, no superiores tampoco a cuatro o cinco metros.

Respecto a la pendiente de la zanja, se recomienda que ésta sea de al menos un 0,4 ó un 0,5% cuando el agua vaya en dirección descendente y del 0,2% en recorrido ascendente.

En el caso de redes urbanas de agua potable se recomienda que éstas se sitúen en un plano superior a las de saneamiento. En la Tabla 100 (Liria, 1995) se relacionan unas separaciones verticales razonables del abastecimiento con el saneamiento y con otros servicios.

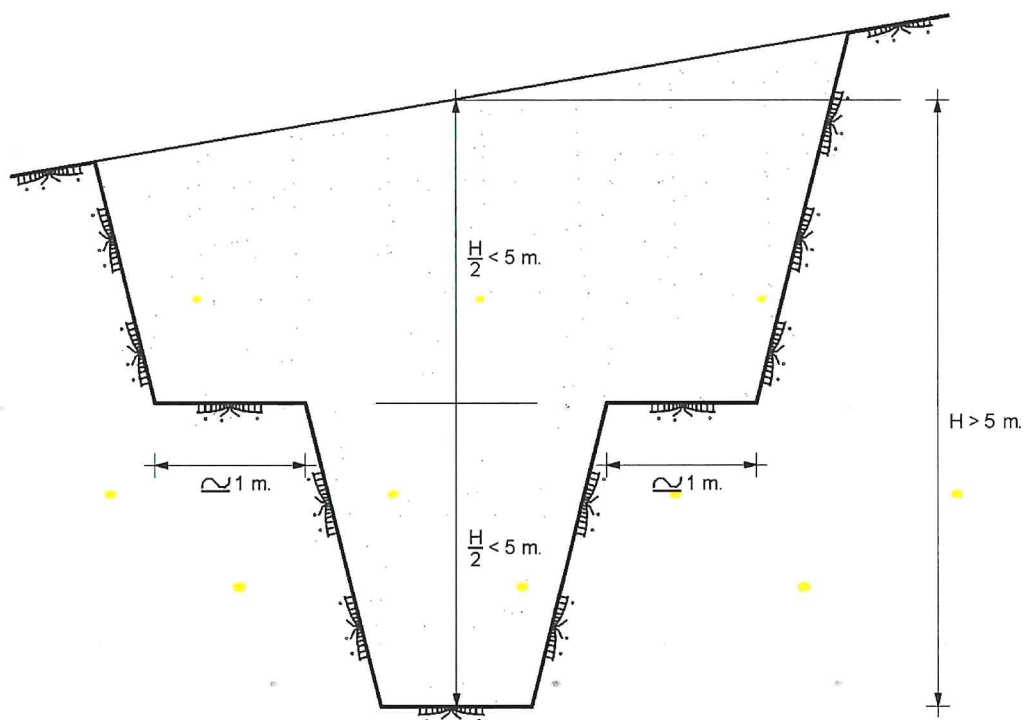


Fig. 83. Bermas intermedias en zanjas profundas

Tabla 100. Separaciones mínimas recomendadas entre las conducciones de agua potable y el resto de servicios

Servicio	Separación en alzado (cm)	Separación en planta (cm)
Alcantarillado	50	60
Gas	50	50
Electricidad alta	30	30
Electricidad baja	20	20
Telefonía	30	30

Esta exigencia de colocar en plano superior las redes de abastecimiento al de las de saneamiento tiene su origen en garantizar que aunque se produzca una fuga en estas últimas difícilmente afectará a las conducciones de agua potable. Además, habida cuenta que las redes de saneamiento discurren habitualmente por gravedad y las de abastecimiento siempre a presión, es fácil que se cumpla este condicionante.

c) Geometría de las zanjas

En general se debe procurar excavar las zanjas con un talud estable de forma natural. Cuando ello no sea posible, se dispondrán taludes menos tendidos (debiendo en estos casos, si las profundidades son superiores a 1,5 m, aproximadamente, proceder a la protección contra el desprendimiento mediante entibaciones, tal como se describe más adelante), llegando al caso extremo de, por ejemplo, las redes urbanas, en las que las zanjas, por falta de espacio, se proyectan con taludes verticales. En los casos de taludes inferiores a los estables y profundidades menores de dos metros (sin necesidad de entibación por tanto) es recomendable ataluzar el borde superior de la zanja, tal como se muestra en la Fig 84.

La anchura mínima de las zanjas se determina de forma que los operarios trabajen en buenas condiciones, debiendo además tenerse en cuenta el diámetro del tubo, el tipo de unión, la profundidad de la zanja, los taludes de las paredes laterales, la naturaleza del terreno, etc. En general, la anchura mínima no debe ser inferior a sesenta centímetros, debiendo dejarse, como mínimo, un espacio de quince a treinta centímetros a cada lado del tubo. Además, según sea la profundidad de la zanja, suele establecerse otra limitación adicional al ancho de la zanja.

Con todo ello, son habituales los valores mínimos que se indican en la Tabla 101 para la anchura de la zanja.

Tabla 101. Ancho mínimo de zanja en función del DN y de la profundidad de la misma

<i>DN</i>	<i>Ancho mínimo de zanja, b (m)</i>	<i>Profundidad de zanja, H (m)</i>	<i>Ancho mínimo de zanja, b (m)</i>
$DN \leq 250$	0,60	$H \leq 1,00$	0,60
$250 < DN \leq 350$	$OD + 0,50$	$1,00 < H \leq 1,75$	0,80
$350 < DN \leq 700$	$OD + 0,70$	$1,75 < H \leq 4,00$	0,90
$700 < DN \leq 1.200$	$OD + 0,85$	$H > 4,00$	1,00
$DN > 1.200$	$OD + 1,00$		

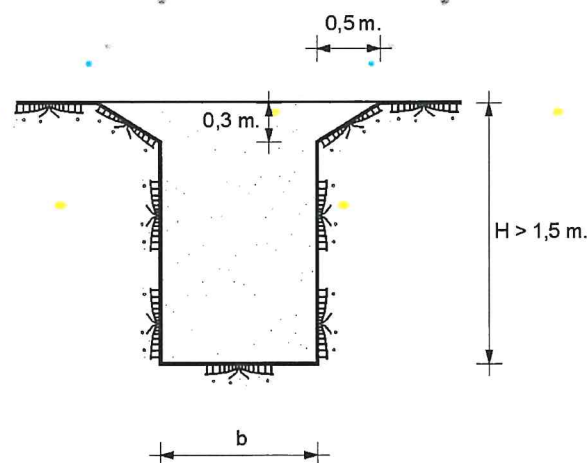


Fig. 84. Bordes ataluzados en zanjas verticales sin entibar

En el caso particular de los tubos flexibles se recomienda que el ancho de la zanja sea el mínimo posible y las paredes lo más verticales, por lo menos hasta el nivel de la generatriz superior de los tubos.

Si se instalan dos tubos en una misma zanja la distancia horizontal mínima entre ambos debe ser de unos 70 cm. Cuando la profundidad de la zanja o la pendiente de la solera sean grandes, o cuando el trazado sea en curva, debe preverse un sobreebancho de la zanja, para poder satisfacer las exigencias de montaje, en su caso, con medios auxiliares especiales, tales como pórticos, carretones, etc.

5.3.1.2 Ejecución de las zanjas

Aunque las zanjas pueden abrirse a mano o mecánicamente, lo más usual es esto último, debiendo quedar alineadas en planta y con la rasante uniforme, de acuerdo con lo indicado en el proyecto. Entre la apertura de la zanja, el montaje de la tubería y el posterior relleno parcial deberá transcurrir el menor tiempo posible.

En función del tipo de unión a emplear pueden ser necesarios nichos en el fondo y en las paredes de la zanja, los cuales deben efectuarse conforme avance el montaje de la tubería. En general, debe excavarse hasta un espesor por debajo de la línea de la rasante igual al de la cama de apoyo, si existe, siempre que el terreno sea uniforme y no meteorizable. Cuando el fondo de la zanja quede irregular, por presencia de piedras, restos de cimentaciones, etc., será necesario realizar una sobre-excavación por debajo de la rasante de unos 15 a 30 cm., para su posterior relleno, compactación y regularización. El relleno de estas sobre-excavaciones, así como el de las posibles grietas y hendiduras que hayan aparecido en el fondo de la zanja, se debe efectuar, preferentemente, con el mismo material que constituya la cama o apoyo de la tubería. En los casos de huecos de profundidad grande, mayor que el espesor de esta cama, el tipo y calidad del relleno los debe indicar la DO, de forma que no se produzcan asientos perjudiciales para la tubería.

En el caso de terrenos meteorizables o erosionables por las lluvias en los que las zanjas vayan a estar abiertas durante un plazo en el que su rasante pueda deteriorarse, deben dejarse sin excavar unos veinte centímetros sobre dicha rasante, ejecutándose éstos poco antes del montaje de la tubería. Especial atención hay que prestar a la estabilidad de la zanja al comienzo de períodos lluviosos tras una temporada de tiempo seco.

Si la naturaleza del terreno no asegura la suficiente estabilidad de la tubería, debe procederse a su mejora bien por compactación, por sustitución por otro adecuado, por consolidación por procedimientos especiales o cimentaciones singulares, tales como apoyo discontinuo en bloques, pilotaje, etc.

Los productos de la excavación aprovechables para el relleno posterior de la zanja deben depositarse en caballeros situados a un solo lado de la zanja, dejando una banqueta del ancho necesario para evitar su caída, con un mínimo de 60 centímetros o un metro. Los que no sean utilizables en el relleno se deben transportar y depositar en los vertederos o escombreras previstos. En particular, la tierra vegetal que se encuentre en las excavacio-

nes deberá removerse, recomendándose su acopio y posterior reposición en la traza de la tubería, al objeto de paliar el impacto ambiental que la misma haya podido producir.

5.3.1.3 Agotamiento de zanjas y rebajamiento del nivel freático

En general, debe procurarse excavar las zanjas en el sentido ascendente de la pendiente, para dar salida a las aguas por el punto bajo, debiendo el contratista tomar las precauciones necesarias para evitar que las aguas superficiales inunden las zanjas abiertas, debiendo realizarse los trabajos de agotamiento y evacuación de las aguas cuando así se requiera. En particular, si la tubería discurre por una media ladera de acusada pendiente puede llegar a ser necesaria la construcción de una cuneta de recogida de aguas.

La presencia de agua en el interior de las zanjas debe ser evitada a toda costa, debiendo ser achicada antes de comenzar las tareas de montaje de los tubos y comprobando que los codales de la entibación no se hayan relajado. En particular, en el caso de trabajo bajo nivel freático es aconsejable, y muchas veces imprescindible, el rebajamiento de éste mediante la técnica de los *well-points*.

Es norma de buena práctica disminuir los gradientes hidráulicos, agotando las zanjas con lentitud o manteniendo las bombas en funcionamiento durante los periodos de interrupción de los trabajos (horas nocturnas o días festivos, por ejemplo).

En los casos que sea necesario, a juicio del proyectista o de la DO, puede ser necesario disponer el correspondiente drenaje longitudinal de la tubería, el cual puede ir a uno o a ambos lados de la misma. Si se adopta la solución de dos drenes, éstos deben unirse cada cierto intervalo, preferentemente en la zona de uniones.

Es importante distinguir entre "agotamiento" (que se refiere al caso en que el nivel freático está por encima del fondo de la zanja, y por tanto hay entrada de agua en la misma) y "rebajamiento" (en el caso en que, gracias a un descenso artificial del nivel freático, la excavación se realiza en seco).

Los agotamientos de zanjas pueden inducir asentamientos en las edificaciones cercanas por descenso en el nivel freático, por el consiguiente aumento del peso de los terrenos o, simplemente, por arrastre de las fracciones más finas.

Los gradientes hidráulicos fuertes favorecen el aumento de los arrastres finos pudiendo producir, sobre todo en algunos tipos de terrenos como arenas finas uniformes, el sifonamiento general del fondo de la zanja.

*La técnica del *well-point* consiste en un procedimiento para el rebajamiento del nivel freático mediante la hinca en el terreno de una serie de puntas filtrantes por debajo del nivel freático, separadas entre sí uno o dos metros. En el exterior todos estos conductos se recogen en una tubería que, conectada a una bomba de vacío, permite rebajar el nivel freático durante la ejecución de los trabajos.*

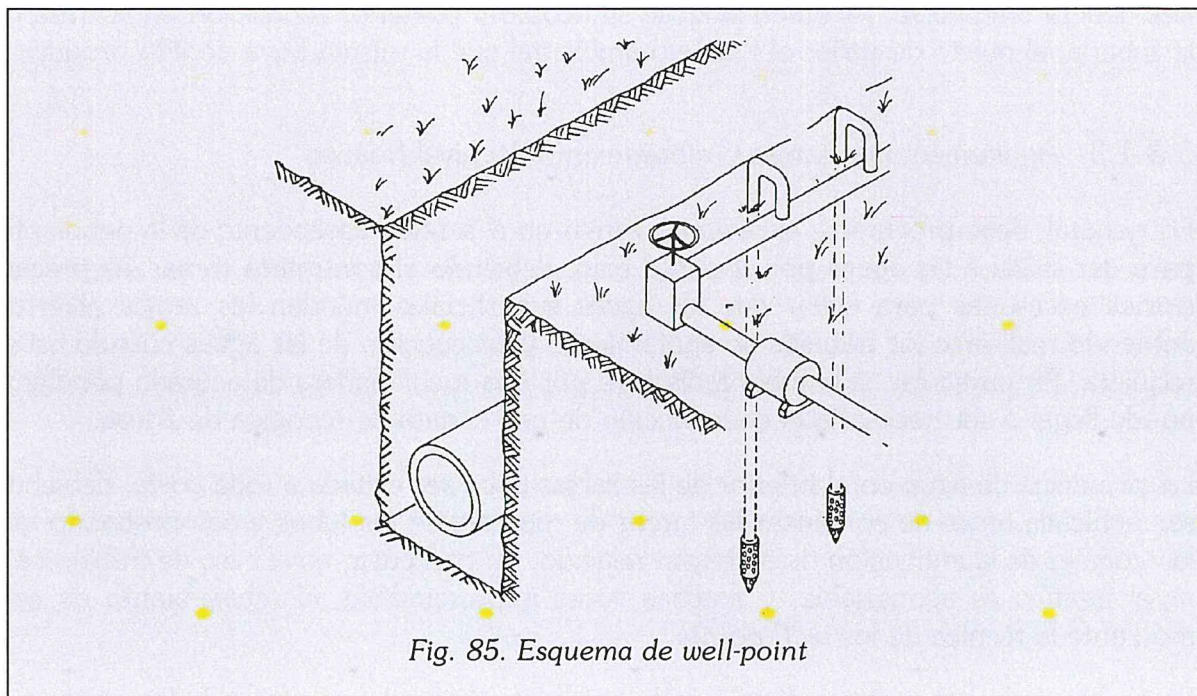


Fig. 85. Esquema de well-point

5.3.1.4 Sistemas de entibación

Las zanjas que no estén excavadas con taludes estables de forma natural deben protegerse contra los posibles desprendimientos mediante entibaciones. En cualquier caso, estas protecciones deben ser dispuestas de forma inmediata cuando aparezcan síntomas de inestabilidad en la zanja. Especial atención hay que prestar cuando la profundidad de la zanja supere el metro y medio o dos metros a lo sumo.

El diseño, dimensionamiento y cálculo de la entibación, son de la exclusiva responsabilidad del contratista, quien debe presentar a la DO, si así lo requiere, los planos y cálculos justificativos de la misma.

Entre los sistemas más usuales de entibación pueden destacarse los siguientes:

- *Entibación con paneles de madera. Hoy en día sólo se emplea como solución puntual y para profundidades pequeñas, no superiores a dos metros. En zonas urbanas con muchos servicios transversales a la zanja presenta la ventaja, por ejemplo, de su mayor accesibilidad, pero en la actualidad es raro proyectar un sistema de entibación en su totalidad mediante paneles de madera.*
- *Entibación mediante blindajes ligeros. Son unos paneles, habitualmente de aluminio, de fácil manejabilidad que se unen longitudinalmente mediante sencillas sujeciones. Son de aplicación en terrenos de cierta consistencia y en profundidades de hasta tres metros.*

- *Entibación mediante cajones de blindaje. Consiste en el montaje fuera de la zanja de distintas planchas con sus extremos reforzados que configuren un cajón que pueda introducirse en la zanja de una sola vez o a medida que aumente la profundidad con la ayuda de la maquinaria de la excavación. Se emplea en profundidades de hasta 3 ó 4 metros.*
- *Entibación por paneles deslizantes con guías. Es uno de los sistemas más utilizados en la actualidad. Se trata de unas planchas deslizantes que se introducen en el terreno a través de unos perfiles-guía que se han colocado previamente, los cuales, a su vez, pueden ser simples o dobles. Con este sistema es fácil alcanzar profundidades de hasta 7 u 8 metros.*

5.3.1.5 Seguridad en las zanjas

Los principales riesgos que provoca la existencia de zanjas, así como unas medidas protectoras razonables para cada caso, son los siguientes (Sanz Saracho, 2000):

- Accidentes provocados por máquinas y materiales. Unas medidas de protección para evitar este tipo de accidentes son las siguientes:
 - No situar a los operarios dentro del radio de acción de las máquinas.
 - Realizar el acceso a la zona de trabajo por distintas zonas de las de tráfico de máquinas.
 - Si, excepcionalmente, algún operario debe moverse en la zona de trabajo de alguna máquina, informar previamente al maquinista y esperar a que éste autorice su paso.
 - Permanecer separados de los bordes de las zanjas cuando se está procediendo a movimientos de materiales en su interior, particularmente tuberías.
 - Cuando los operarios estén utilizando herramientas manuales mantener la suficiente distancia entre ellos para evitar entorpecerse y accidentarse con su manejo.
- Percances de tráfico. En la planificación del tajo deben definirse las direcciones del tráfico señalando claramente éstas, así como los accesos de vehículos desde y hacia la obra. Los equipos que circulan por la obra y hayan de incorporarse a vías de tráfico general, deben limpiar con chorro de agua sus ruedas, para lo que es necesario disponer la correspondiente instalación de lavado en la zona de salida.

Por otra parte las zonas de movimiento de vehículos dentro de la obra deben conservarse en buen estado lo que requiere un mantenimiento planificado y sistemático si la obra tiene cierta duración.

La zona de obra, por su parte, debe quedar acordonada por vallas, convenientemente iluminadas de noche, de forma que sin perjuicio de las señales previas de reducción de calzada, los conductores conozcan en todo momento el límite de aquélla.

Cuando la zanja atraviese transversalmente una zona de tráfico rodado, deben colocarse sobre ella chapones con espesor suficiente de acuerdo con el ancho de la zanja (no inferior, en cualquier caso, a unos 20 mm) encastrados en el pavimento de forma que quede coartado su movimiento. Al final de cada jornada, deben revisarse tanto las vías de tráfico rodado como las peatonales, manteniendo su buen estado y percatándose del correcto funcionamiento de la iluminación nocturna.

- Caídas de personas. Cuando en las proximidades de la zanja se establezca circulación de personal ajeno a la obra y, aunque no se dé esta circunstancia, la zanja tenga una profundidad superior a 2 m, deben colocarse vallas protectoras separadas una distancia mínima de 60 cm al borde de la zanja.

En zanjas sin entibación se deben colocar escaleras de bajada para los operarios (separadas entre sí no más de 20 ó 30 metros), si no existen rampas de acceso. En caso de utilizar escaleras, éstas deben sobresalir un metro por encima del borde superior. En las zanjas con entibación puede prescindirse de las barandillas de protección, si la entibación sobresale al menos un metro del borde superior excavado. También en este caso deben disponerse escaleras móviles de acceso.

Si se prevé circulación de personas ajenas a la obra, además de la señalización y colocación de vallas protectoras, deben disponerse zonas de paso y acceso a viviendas y locales comerciales. Estas zonas de circulación han de permitir el paso, al menos, de dos carritos de inválido. Si esta circulación atraviesa la zanja deben colocarse pasarelas metálicas o de madera convenientemente sujetas y provistas de barandillas rígidas de ancho no inferior a 1 metro. Todas estas protecciones deben quedar iluminadas de noche con puntos de luz separados entre sí no más de 10 m.

5.3.2 Montaje de la tubería

Previo a la instalación de la tubería, y una vez realizado el replanteo general de las obras y ejecutada la excavación de la zanja, se realiza el replanteo de la tubería, para lo que se señalan sus vértices y colocan puntos de referencia, de alineación y de nivel, a partir de los que colocan los tubos.

Unas tolerancias de colocación de los tubos instalados en zanja respecto a su posición teórica fijada en los planos del proyecto pueden ser las siguientes (MOPU, 1989):

- Máxima desviación de la alineación ± 5 cm
- Máxima desviación del nivel: Pendientes $> 1\%$ ± 10 mm
Pendientes $\leq 1\%$ ± 2 mm

Otras fuentes (CH Norte, 1989) establecen las siguientes tolerancias:

- Tuberías en zanja: Desviación en planta o en alzado ± 20 mm
Además, cada tubería individual tendrá una pendiente de $0,5I$ y $2I$, siendo I la pendiente teórica

– Tuberías hincadas:	Desviación en planta	± 75 mm
	Desviación en alzado	± 50 mm

En general, el montaje de unos tubos con otros debe de realizarse en el interior de la zanja. Solo los tubos de PVC-O, los de PE, y con mayores precauciones también los de acero, pueden ser montados en el exterior de la zanja e introducirse en ella una vez unidos.

El montaje de la tubería debe realizarlo personal experimentado, que, a su vez, deberá vigilar el posterior relleno de la zanja, en especial la compactación de las zonas más próximas al tubo. Antes de bajar los tubos a la zanja deben examinarse a simple vista.

Se llama la atención de forma especial sobre lo conveniente de que el personal encargado de las tareas de montaje y manipulación de las tuberías en todas las fases de su instalación tenga la mejor capacitación y conocimiento posible al respecto.

El descenso de los tubos al fondo de la zanja se debe realizar con precaución. Sólo si la profundidad de la zanja no excede de 1,5 m, los tubos no son demasiado pesados y de diámetro inferior a 300 mm y el borde de la zanja suficientemente estable, el descenso puede ser manual, debiendo, en caso contrario, emplear medios mecánicos.

Una vez los tubos en el fondo de la zanja, deben examinarse de nuevo para cerciorarse de que su interior esté libre de tierra, piedras, suciedad, etc., para a continuación realizar su centrado y alineación. Posteriormente deben ser calzados y acodalados con un poco de material de relleno para impedir su movimiento.

Si las pendientes de las zanjas son superiores al 10%, la tubería se debe colocar en sentido ascendente. Si esto no es posible, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar el deslizamiento de la misma. Si se precisa reajustar algún tubo, deberá levantarse el relleno y prepararlo como para su primera colocación.

Cuando se interrumpa la colocación de la tubería deben taponarse los extremos para impedir la entrada de agua o cuerpos extraños, y al reanudar el trabajo examinar su interior, por si se hubiera introducido algún cuerpo extraño en la misma.

En general, no se deben de colocar más de cien metros de tubería sin proceder al relleno parcial de la zanja para evitar la posible flotación de la tubería. Si ésto no fuera suficiente deben tomarse las medidas necesarias para evitar dicha flotación

Para obtener cambios de alineación pueden seguirse los siguientes procedimientos, conforme se muestra en la Fig. 86:

- En los tubos dispuestos con unión flexible de enchufe y extremo liso con anillo elastomérico deben de realizarse mediante las oportunas piezas especiales.

Estas uniones sólo admiten una pequeña desviación conforme lo especificado en los respectivos apartados de este documento (por ejemplo, en los tubos de fundición no más de 4 ó 5° en diámetros menores de 1.000 mm y como mucho 1,5° en DN superiores; o en los de hormigón como máximo 1,5° ó 2°).

En este caso, si la desviación en cada junta es $\Delta\alpha$ y los tubos tienen una longitud L (ver Fig 86, centro), el radio de curvatura R resultante y el número de tubos N necesarios para un cambio de dirección α , serían los calculados mediante las siguientes expresiones:

$$R = \frac{L}{2 \sin \frac{\Delta\alpha}{2}} \quad N = \frac{\alpha}{\Delta\alpha}$$

No obstante lo anterior, en los tubos con unión flexible,

los cambios de alineación que se logren gracias a la desviación de la unión no deben agotar la desviación máxima admisible de dichas uniones, debiendo reservar siempre un margen para tolerancias en la instalación, posibles desviaciones en el montaje, etc.

- En los tubos con unión rígida, en general, no ha lugar a posible desviación alguna en la unión, debiendo recurrir a las necesarias piezas especiales para lograr los cambios de alineación en planta. Por ejemplo, en los tubos con unión soldada a tope (acero o polietileno), pueden lograrse cambios de trazado en planta construyéndolos de forma segmentada o achaflanando sus extremos. En los tubos con unión soldada a solape (sobre todo en los de hormigón con camisa de chapa con boquilla), la unión sí admite cierta desviación como en el caso anterior.
- Por sus propias características, los tubos de PE, y en menor medida también los de PVC-U, admiten cierta curvatura para su instalación. En concreto, son razonables los valores indicados en la Tabla 102 (PVC-U) y en la Tabla 103 (PE).
- Los tubos de acero también admiten ser curvados, pudiendo obtenerse dicho curvado bien en frío (en la propia obra) o bien en caliente (en fábrica). En el primer caso (curvado en frío) pueden obtenerse radios de curvatura de hasta 5 ó 10 veces el DN, mientras que en el segundo caso (curvado en caliente) no deben excederse curvaturas de 20 ó 40 veces el DN.

No obstante lo anterior, en el caso particular del acero, hay experiencias (en el sector del gas) en las que se llegan a alcanzar curvaturas en caliente (en fábrica) de 90° en tuberías de diámetro superior a 500 mm.

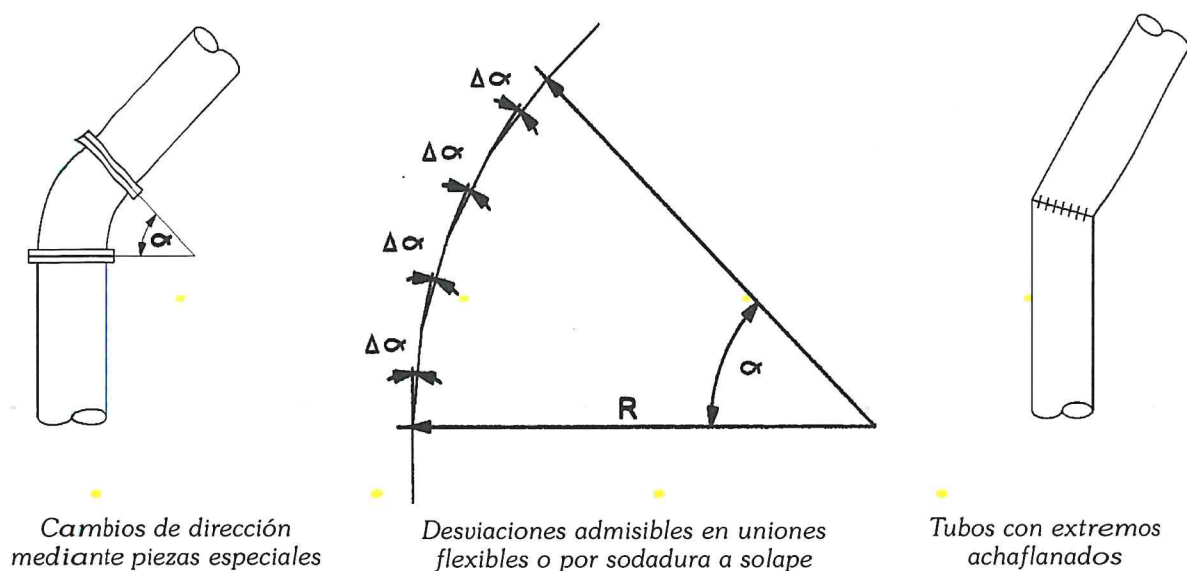


Fig. 86. Distintas posibilidades para los cambios de dirección

Tabla 102. Curvaturas admisibles en tubos de PVC-U (UNE ENV 1452-6:2001 y UNE 53399:1990 IN)

Tubos de PVC-U	
DN	A (L=6m)
63	1,40
75	1,19
90	0,99
110	0,81
125	0,72
140	0,64
160	0,56
180	0,32
200	0,28
250	0,22
315	0,18
400	0,14
500	0,12

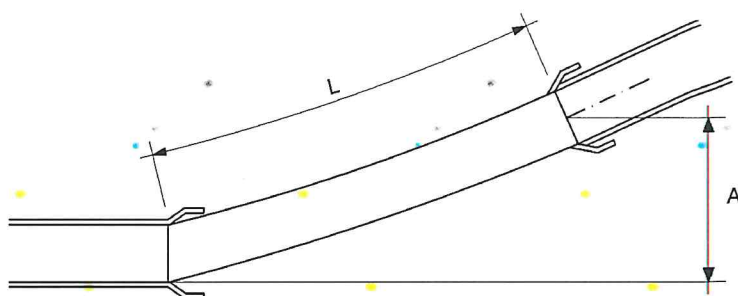
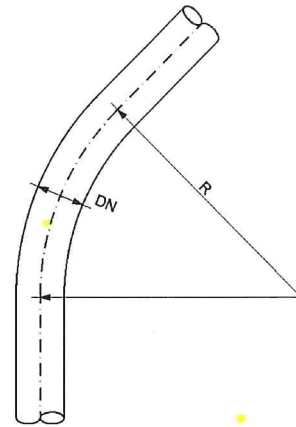


Tabla 103. Curvaturas admisibles en tubos de PE

<i>Radio máximos de curvatura, R</i>			
<i>PN</i>	<i>PE 40</i>	<i>PE 80</i>	<i>PE 100</i>
2,5	30 DN	50 DN	
3,2	30 DN	40 DN	
4,0	20 DN	30 DN	50 DN
6,0	20 DN	20 DN	30 DN
10,0	20 DN	20 DN	20 DN
16,0		20 DN	20 DN
20,0		20 DN	20 DN
25,0		20 DN	20 DN



5.3.3 Camas de apoyo

Los tubos no deben apoyarse directamente sobre la rasante de la zanja, sino sobre camas o lechos, los cuales han de tener un espesor mínimo bajo la generatriz inferior del tubo de 10 ó 15 cm, pudiendo ser bien granulares o de hormigón.

5.3.3.1 Camas de material granular

Con carácter general se recomienda que el material granular a emplear en las camas de apoyo sea no plástico, exento de materias orgánicas y con un tamaño máximo de 25 mm, pudiendo utilizarse arenas gruesas o gravas preferentemente rodadas, con granulometrías tales que, en cualquier caso, el material empleado sea autoestable (condición de filtro y de dren).

Las camas granulares hay que realizarlas en dos etapas. En la primera se ejecuta la parte inferior de la cama, con superficie plana, sobre la que se colocan los tubos, acoplados y acunados. En una segunda etapa se realiza el resto de la cama rellenando a ambos lados del tubo hasta alcanzar el ángulo de apoyo indicado en el proyecto.

En ambas etapas los rellenos se efectúan por capas compactadas mecánicamente. Unos espesores razonables para cada capa pueden ser del orden de 7 ó 10 cm y los grados de compactación es recomendable que sean tales que la densidad resulte como mínimo el 95% de la máxima del ensayo próctor normal o bien, el 70% de la densidad relativa si se tratara de material granular libremente drenante, de acuerdo con las normas UNE 7255:1979 y NLT 204/72.

Las camas granulares simplemente vertidas no son recomendables en ningún caso. Además, debe prestarse especial cuidado en las operaciones de compactación para no producir movimientos ni daños en la tubería. En los puntos donde sea factible, debe darse salida al exterior a la cama granular para la evacuación del posible drenaje.

5.3.3.2 Camas de hormigón

Las características geométricas y mecánicas de las camas de hormigón a emplear en este tipo de apoyo deben figurar en el proyecto, debiendo en general, ser su espesor mínimo bajo la generatriz inferior del tubo de unos 10 a 15 cm, su resistencia característica no inferior a 150 kg/cm^2 y el tamaño máximo del árido no mayor de la cuarta parte del espesor de la cama bajo el tubo. El ángulo de la cama de apoyo del tubo normalmente es de 90° a 120° .

La cama de hormigón se construye con los tubos colocados en su posición definitiva, apoyados sobre calzos que impidan movimientos en la tubería y debiendo asegurar el contacto del tubo con el hormigón en toda la superficie de apoyo. En las zonas de uniones, la cama se interrumpe en un tramo de unos 80 cm. como mínimo y, en su caso, debe profundizarse la excavación del fondo de la zanja hasta dejar bajo la tubería el espacio libre suficiente para la ejecución de las uniones.

5.3.3.3 Criterios de selección de la cama de apoyo

Para la elección del tipo de apoyo hay que tener en cuenta muchos aspectos, tales como el tipo de tubo y sus dimensiones, la clase de uniones, la naturaleza del terreno, etc.

Como criterio general, los tubos flexibles deben disponerse sobre camas granulares, no debiendo, en estos casos, ni apoyar ni embutir la tubería en hormigón.

En relación con la naturaleza del terreno del fondo de la zanja pueden tenerse en cuenta las orientaciones siguientes:

- a) Terrenos de gran resistencia y rocas. Se deben disponer camas, en general, granulares con un espesor mínimo de unos quince a veinte centímetros.
- b) Suelos de tipo granular. En este tipo de suelos, el tubo podría apoyarse directamente sobre el fondo previamente modelado en forma de cuna, o simplemente perfilado y compactado.
- c) Suelos normales (areno-arcillosos estables). En general, deben disponerse camas granulares, o camas de hormigón.
- d) Suelos malos (fangos, rellenos, etc.). Debe profundizarse la excavación sustituyendo el terreno de mala calidad por material de aportación adecuado debidamente compactado (próctor normal $>95\%$) o por una capa de hormigón pobre.

En el primer caso (sustitución del terreno natural por material de aportación adecuado), el espesor de la capa del relleno compactado debe ser, como mínimo, la mitad del diámetro del tubo y los criterios para la elección de la cama de apoyo a disponer pueden ser los mismos del anterior apartado b.

En el segundo caso (sustitución del terreno natural por una capa de hormigón pobre),

el espesor del relleno de hormigón debe ser, como mínimo, de 15 cm y los criterios para la elección de la cama de apoyo a disponer pueden ser los mismos del anterior apartado c.

- e) Suelos excepcionalmente malos (deslizantes, arcillas expansivas, terrenos movedizos, etc.). Habrá de tratarse el fondo de la zanja según figure en el proyecto o indique la DO para cada caso.

En el caso particular de los tubos de hormigón, en la Fig 21 se indican, a título orientativo, unos criterios de selección del tipo de apoyo, en función del sistema de unión, de las dimensiones de la tubería y de la presión hidráulica interior.

En cualquier caso, el apoyo de la tubería, que debe ser continuo, tanto longitudinal como transversalmente, es recomendable que se disponga con ángulos comprendido entre 60° y 120°. Por último, pueden seguirse para el diseño de las camas de apoyo los criterios contenidos en las normas WIS 4-08-01:1994 y 4-08-02:1994.

5.3.4 Relleno de la zanja

Una vez realizadas las pruebas de la tubería instalada, para lo cual se habrá hecho un relleno parcial de la zanja dejando visibles las uniones, se procede al relleno definitivo del tramo probado, el cual se subdivide, en general, en dos zonas: la *zona baja*, que alcanza una altura de unos 30 cm por encima de la generatriz superior del tubo y la *zona alta*, que corresponde al resto del relleno de la zanja hasta sus bordes superiores.

Unas características recomendables para el relleno de ambas zonas son las siguientes (MOPU, 1989):

- a) En la *zona baja* el relleno debe ser de material no plástico, preferentemente granular y sin materias orgánicas. El tamaño máximo de las partículas se recomienda sea de tres centímetros, colocándose en capas de pequeño espesor, compactadas mecánicamente hasta alcanzar un grado de compactación no menor del 95% del próctor normal, o hasta que su densidad relativa sea mayor del 70% si se tratase de material no coherente o libremente drenante.
- b) En la *zona alta* de la zanja, el relleno puede realizarse con cualquier tipo de material que no produzca daños en la tubería. El tamaño máximo admisible de las partículas se recomienda sea de quince centímetros, colocándose en tongadas horizontales, compactadas mecánicamente hasta alcanzar un grado de compactación no menor del 100% del próctor normal o hasta que su densidad relativa sea mayor del 75% si se tratase de material no coherente o libremente drenante. En el caso de que sobre las zanjas se prevean firmes, el grado de compactación de la zanja debe ser el requerido por el tipo de firme que se disponga.

El material del relleno, tanto para la zona alta como para la baja, puede ser, en general, procedente de la excavación de la zanja a menos que sea inadecuado, según lo indicado en los párrafos anteriores. En estos casos los materiales de relleno deben obtenerse de préstamos autorizados.

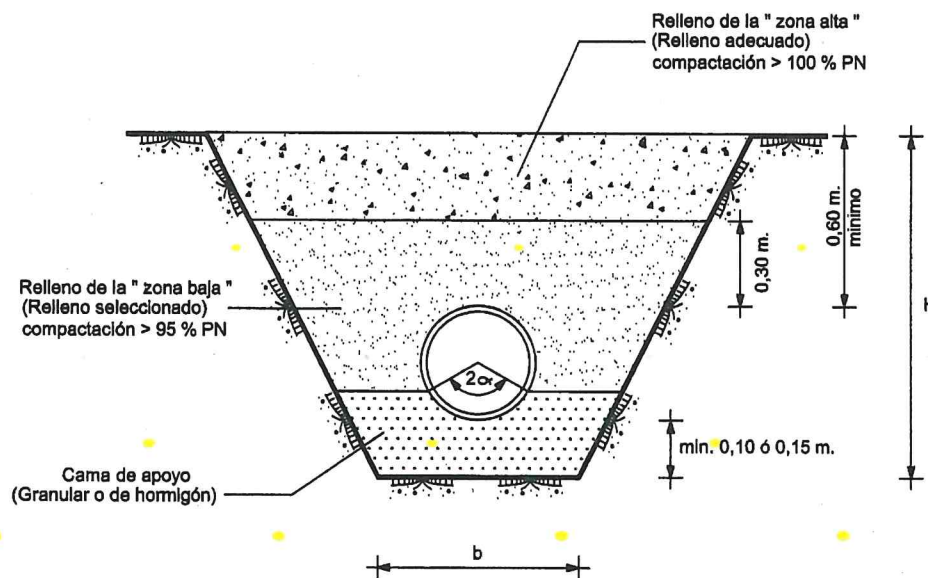


Fig. 87. Rellenos en tubos enterrados

Las exigencias antes reseñadas para los rellenos de las zanjas son especialmente de aplicación en los tubos flexibles en los que, para garantizar su comportamiento mecánico, es preciso asegurar unas muy buenas condiciones de la instalación. En los tubos rígidos, las condiciones de los rellenos pueden no ser tan exigentes.

Es frecuente adoptar la denominación de "relleno seleccionado" para el de la zona baja de la zanja y "relleno ordinario" para el de la zona alta. No debe confundirse esta denominación de relleno seleccionado con la que el "PPTG para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)" del Ministerio de Fomento adopta para los "suelos seleccionados" (artº330), cuyos requisitos son diferentes a los que figuran en este documento para el relleno de la zona baja de la zanja.

En ocasiones, cuando se instalen camas de apoyo de material granular, puede emplearse para el relleno de la "zona baja" el mismo material que el dispuesto en dichas camas de apoyo.

Debe prestarse especial cuidado durante la compactación de los rellenos, de modo que no se produzcan ni movimientos ni daños en la tubería, a cuyo efecto habrá de reducirse en lo necesario el espesor de las tongadas y la potencia de la maquinaria de compactación. Asimismo, en el caso de los tubos flexibles, hay que prestar especial atención a la compactación del relleno. En cualquier caso, no debe rellenarse la zanja en tiempo de heladas o con material helado, salvo que se tomen medidas para evitar que queden enterradas proporciones de suelo congelado.

5.3.5 Sistemas de protección catódica

Para la protección anticorrosiva de las tuberías metálicas o con elementos metálicos susceptibles de corrosión (fundición, acero, hormigón armado con camisa de chapa o válvulas), si así lo indica el respectivo proyecto, pueden disponerse sistemas de protección catódica, complementariamente a la protección pasiva mediante revestimientos especificada en los respectivos apartados de cada uno de los componentes de esta Guía Técnica.

Como criterio general, los posibles sistemas de protección de tuberías metálicas contra la corrosión son, básicamente, bien el recubrimiento mediante revestimientos o bien la protección catódica.

La protección catódica se basa en garantizar que la tubería sea eléctricamente continua, por lo que si se instalan uniones flexibles, como el anillo elastomérico rompe dicha continuidad eléctrica, deberían disponerse en las uniones sistemas que eviten dichas discontinuidades, como puentes, elementos mecánicos o, en general, accesorios que garantizaran la continuidad eléctrica de la conducción.

La protección mediante revestimientos, por el contrario, no requiere de la continuidad eléctrica de la conducción, pudiendo emplearse con cualquier sistema de unión.

En general, los sistemas de protección catódica solo son necesarios cuando sean pre-visibles problemas significativos de corrosión, siendo, por tanto, habitualmente suficiente la protección de las tuberías con sistemas pasivos de revestimientos.

Algunas situaciones con riesgo elevado de corrosión, susceptibles por lo tanto de aplicar un sistema de protección catódica, pueden ser: la cercanía a líneas electrificadas o a otros elementos protegidos catódicamente, suelos agresivos por su resistividad eléctrica, elevada acidez o alto contenido de sulfatos y cloruros, etc.

En particular, en el caso de tuberías con unión flexible y cuando el gradiente eléctrico en el suelo no sea muy elevado (inferior a 200 mV por longitud individual del tubo), las soluciones de protección de la tubería mediante revestimientos suelen ser suficientes, habida cuenta que la discontinuidad generada por la utilización de uniones de elastómero en los tubos actúa favorablemente, dificultando la canalización de las corrientes vagabundas a través de los tubo.

No obstante, el proyecto de norma europea prEN 50162:2000 prevé que si, por el contrario, el gradiente eléctrico en el suelo fuera muy elevado (superior a 200 mV por longitud individual del tubo), otra de las soluciones posibles, complementariamente a la protección mediante revestimientos, podría consistir en dar continuidad a los tubos en la zona afectada e instalar un drenaje unidireccional directa o indirectamente con la zona que provoca la influencia.

Estos valores elevados de gradiente pueden darse al instalar tuberías a menos de 10 metros de vías electrificadas con corriente continua o en zonas muy próximas a lechos de ánodos (radios de 50 metros para intensidades inferiores a 10 A).

En cualquier caso, la elección entre un sistema u otro de protección es, por tanto, una cuestión técnico-económica que dependerá de las circunstancias particulares de cada instalación.

El proyecto de la conducción debe detallar el sistema de protección catódica a instalar, así como las condiciones de los materiales, las de instalación de los mismos y cuantas otras características sean necesarias para el buen funcionamiento de la protección adoptada. Entre la normativa existente al respecto, se recomienda seguir lo especificado por la norma UNE-EN12954:2002 o lo recogido en el “Manual de corrosión y protección de tuberías” de AEAS (2001).

En el caso particular de los tubos de hormigón, para la selección, diseño e instalación de los sistemas de protección catódica, puede seguirse lo especificado en UNE EN 12696:2001, en prEN 14038-1:2001, así como en RP0100:2000 y RP0187:1996.

En el caso de tuberías de acero, puede atenderse lo establecido en prEN13636:2001 o en RP0169:1996; en las instalaciones subacuáticas, es de aplicación lo previsto en UNE EN 12473:2001 o en prEN 12474:2001.

En materia de normalización sobre protección catódica, son de interés también los trabajos que desarrolla el CEOCOR (Comité europeo de estudio de la corrosión y protección de canalizaciones, www.ceocor.lu) o la Federación Europea de la Corrosión.

Los elementos metálicos que no interese o no sea económico defender catódicamente (pozos, estaciones de bombeo, uniones con redes no protegidas, etc.) se deben independizar de las corrientes eléctricas con juntas aislantes.

El modo más económico y seguro de lograr la protección catódica de una tubería enterrada es aislarla de otras estructuras también enterradas y que no se desean proteger, tales como redes de tierra de cobre, armaduras de estructuras de hormigón armado, otras tuberías, etc. Para lograr este aislamiento se deben instalar juntas dieléctricas con ciertas precauciones para evitar que la corriente de la protección catódica las cortocircuite por el interior a través del agua.

A lo largo de la tubería, deberán instalarse puestos de toma de potencial, de intensidad de corriente o de resistencia en puntos tales como:

- a) cruces con estructuras metálicas
- b) juntas aislantes
- c) cruces con puentes, carreteras, canales de agua, etc.
- d) zonas de corrientes vagabundas

En cualquier caso, unos niveles de polarización recomendados para la protección catódica de los tubos metálicos son, en general, los siguientes:

- a) Potencial mínimo de polarización: 850 mV relativo al electrodo de cobre-sulfato de cobre
- b) Polarización catódica: mínimo de 100 mV
- c) En algunas circunstancias, tales como presencia de sulfuros, bacterias, temperaturas elevadas, entornos ácidos y existencia de metales diferentes, puede ser necesario aplicar potenciales de polarización más negativos que -850 mV o variaciones mayores que 100 mV. de polarización

En el caso particular de tubos de hormigón, para la protección catódica de las armaduras, en general, el potencial de polarización debe estar comprendido entre -0,50 y -0,90 voltios, y el alambre de pretensado conectado a la camisa de chapa.

Para la medida de los potenciales anteriores puede seguirse lo establecido en prEN 13509:1999.

Todos los componentes que formen parte del sistema de protección catódica deben cumplir con la normativa eléctrica de aplicación (Reglamentos Electrotécnicos, etc.), así como con la norma UNE-EN 12954:2002 y tendrán en cuenta las exigencias de las Compañías Suministradoras de Energía. La instalación de los ánodos de corriente impresa puede ser en pozo profundo o podrán disponerse enterrados horizontal o verticalmente, debiendo el material de relleno compactarse adecuadamente. Los cables de conexión deben llevar el mínimo número de empalmes posibles, dejando la holgura suficiente para evitar esfuerzos sobre ellos.

Una vez puesto en funcionamiento el sistema de protección catódica adoptado debe realizarse su mantenimiento durante la vida útil del mismo. En general, las operaciones a realizar son las siguientes:

- a) Comprobación anual de la eficacia del sistema adoptado.
- b) Comprobación bimensual de las fuentes de corriente impresa. Esta operación podrá realizarse, por ejemplo, a través de la medida de la intensidad de salida, por el consumo normal de energía, por los valores de potenciales de la tubería, etc.
- c) Inspección anual de los sistemas de protección de las instalaciones de corriente impresa (conexiones de puesta a tierra de seguridad, precisión de los aparatos de medida, rendimiento y resistencia del circuito, etc.).
- d) Inspección bimensual de los interruptores-inversores de corriente, diodos, puentes de conexión y demás dispositivos de protección.
- e) Reemplazo periódico de los ánodos que se vayan desgastando y reparación de las averías eléctricas en el sistema.

La protección catódica de una estructura consiste en su polarización negativa respecto al medio donde se encuentra mediante una corriente externa.

Básicamente, los sistemas de aplicación para la protección catódica pueden ser algunos de los dos siguientes:

- a) Por ánodos de sacrificio (ánodos galvánicos)
- b) Por fuentes de corriente impresa
 - Rectificadores manuales
 - Rectificadores regulados

Además de lo anterior, cuando existan corrientes vagabundas causadas por ferrocarriles electrificados, para la protección de la tubería, pueden utilizarse equipos de drenaje polarizados (prEN 50162:2000). Incluso en estos casos de corrientes vagabundas, los sistemas de protección catódica pueden ser combinación de todos los anteriores.

En el sistema de protección denominado de "ánodos de sacrificio" la tubería a proteger se conecta a un metal más electronegativo que el del propio tubo, formando una pila y consiguiendo así, con el sacrificio del metal añadido, salvar el metal de la tubería.

Como ánodos o electrodos de sacrificio se emplean algunas aleaciones de magnesio, cinc o aluminio, que se funden normalmente con formas cilíndricas o trapezoidales. Estos ánodos van enterrados y se rodean de una mezcla activadora que evita la pasivación del ánodo y disminuye su resistencia a tierra. La mezcla activadora suele estar compuesta por yeso, bentonita y sulfato sódico.

Los sistemas de "corriente impresa con rectificador manual" se basan en que éste fuerze la salida de corriente continua hacia el suelo a través de un lecho de ánodos, actuando la tubería como cátodo y recibiendo corriente continua del suelo que la rodea.

Los ánodos son, en general, de grafito, ferrosilicio, titanio activado con platino o mezcla de óxidos metálicos, o en algunos casos cada vez menos frecuentes, de acero. El contacto de los ánodos con el suelo suele mejorarse utilizando rellenos de grafito, coque de hulla y coque de petróleo calcinado.

Los sistemas de "corriente impresa con rectificador automático" trabajan igual que el caso anterior, pero con un control automático de la corriente de protección en función del potencial de la tubería.

Por último, para drenar las corrientes vagabundas se pueden utilizar equipos de "drenaje polarizado" o unidireccionales, que consisten en establecer una conexión entre la tubería y el carril del ferrocarril electrificado que únicamente permita el flujo de la corriente en el sentido de la tubería a la vía a través del cable, evitando así las salidas de corriente de la tubería al suelo.

Estos equipos de drenaje polarizado incluyen un rectificador en la conexión unidireccional entre la tubería y la vía del ferrocarril electrificada.

Los sistemas de protección catódica requieren de operaciones de mantenimiento para asegurar su eficacia contra la corrosión de las tuberías, y la participación de personal especializado.

En cualquier caso, es recomendable que, en general, las conducciones eléctricamente continuas se diseñen y construyan con los dispositivos necesarios para que, en cualquier momento de su vida útil, pueda instalarse el sistema de protección catódica.

5.4 Instalación de tubos aéreos

En la instalación de tubos aéreos, tanto en recintos cerrados como a cielo abierto, la tubería debe colocarse sobre apoyos aislados que, en general, suelen ser de hormigón o metálicos. Los apoyos de hormigón se disponen con una cuna de asiento de la tubería, la cual abarca al tubo en un arco de entre 120° y 180°. Cuando se empleen zunchos metálicos para el apoyo de los tubos, deben ser pletinas con ancho mínimo de 50 mm, las cuales han de estar protegidas contra la corrosión no debiendo, en ningún caso, comprimir al tubo. Es especialmente desaconsejable el empleo de zunchos de sección circular.

En el caso de tubos de materiales plásticos el apoyo debe realizarse mediante pinzas o abrazaderas de material plástico o metálico, las cuales no deben comprimir al tubo. En cualquier caso, debe cuidarse que la superficie de contacto con la tubería sea suave y lisa, recomendándose colocar a tal efecto, salvo disposiciones especiales, una lámina gruesa de material elastomérico adecuado o de fieltro de fibra imputrescible entre el tubo y el apoyo.

Las uniones de los tubos y de las piezas especiales deben quedar al descubierto para permitir el montaje y desmontaje de las mismas.

La distancia entre apoyos debe ser tal que se garantice lo especificado en el epígrafe de cálculo mecánico de esta Guía Técnica. En la instalación de tubos aéreos, en general, se recomienda disponer dos apoyos por tubo. En el caso de los tubos de PVC-U y en los de PE, las distancias máximas recomendadas figuran en las tablas B.3 y 2 de las normas UNE ENV 1452-6:2001 y UNE 53394:1992 IN, respectivamente.

En este tipo de instalaciones aéreas deben preverse, en general, dispositivos para compensar las dilataciones debidas a las variaciones de temperatura, circunstancia a la que se le prestará especial atención en las tuberías de polietileno. Cuando los tubos de PVC-U se dispongan en instalaciones aéreas se deben proteger especialmente contra la acción de los rayos solares. En cualquier caso, la temperatura de la superficie exterior del tubo no debe alcanzar los 45° C.