

Capítulo 3

Tubería de concreto

Productos de Concreto, S.A. fabrica tuberías de concreto con y sin refuerzo, bajo el sistema de prensa radial “Packer Head” y de vibrocompactado, siguiendo un estricto control de calidad.

Su diseño y fabricación se ajustan a distintas normas técnicas nacionales e internacionales, tales como: ASTM (American Society for Testing and Materials), ASCE (American Society of Civil Engineer), EN (Normas Europeas), AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) e INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica).

- Tubos de concreto sin refuerzo para alcantarillado (INTE 16-11-04-08, ASTM C-14, AASHTO M86).
- Tubos de concreto reforzado para alcantarillado. (INTE 16-11-01-08, ASTM C-76, AASHTO M170).
- Tuberías especiales, pozos, alcantarillas de cuadro, tuberías para hincado, tuberías no circulares, (ASTM C-361, ASTM C-478, ASTM C-655, ASTM C-789, ASTM C-850, ASTM C-985, ASTM C-1433, EN1916, EN1917, ASCE 27, AASHTO M199, AASHTO M259, AASHTO M273).

El éxito de las tuberías de concreto radica en su facilidad de instalación, resistencia, desempeño, versatilidad, durabilidad, seguridad y economía, siendo la opción más viable y probada para solventar la conducción de fluidos.



Máquina de vibrocompactado tipo Multicast 250.



3.1 Ventajas de las tuberías de concreto

Las tuberías de concreto presentan diferentes características que las hacen idóneas para la conducción de fluidos sean estos desechos industriales, aguas pluviales, aguas negras o agua potable en situaciones diversas de suelo, rellenos o cargas externas, tales como:

a) Instalación

- Es fácil de instalar.
- No presentan problemas de flotación.
- Las tuberías de concreto son un sistema rígido donde un 85% de la resistencia es aportada por la tubería y solo un 15 % es aportado por el material de relleno. Por lo cual se puede garantizar un 85 % de la resistencia del sistema desde antes de que la misma llega al sitio de construcción.
- Mayor seguridad del personal en el proceso constructivo.
- Flexibilidad para acomodar deflexiones laterales o movimientos longitudinales.
- El mayor número de uniones por metro lineal con respecto a otros tipos de tubería permite mantener el alineamiento y la pendiente más fácilmente.; así como acomodar los esfuerzos y deflexiones producidas por la superficie de apoyo, las cargas externas y el sismo.
- Las tuberías de concreto son menos susceptibles de daños en la etapa de construcción.

El ritmo de la instalación depende más de la excavación que de la colocación del tubo. Si bien el tubo de concreto es más pesado que el de otros materiales, ambos requieren maquinaria especializada para su instalación cuando se trata de los diámetros más comunes.

b) Durabilidad

- Resistentes al fuego. En caso de posibles incendios urbanos o forestales el tubo de concreto garantiza su funcionamiento y estabilidad.
- Soporta aguas agresivas con recubrimientos especiales y/o aditivos.
- Por ser una tubería rígida las deformaciones son mínimas tanto en la instalación como en la operación.

Teniendo en cuenta la conformación estructural del tubo y su exposición hidráulica, se ha demostrado que la tubería de concreto tiene una vida útil de al menos 100 años, dos veces más que otros materiales.

c) Calidad

- Resiste esfuerzos cortantes o movimientos verticales.
- Resistentes a la infiltración y exfiltración.
- Cumple con normativa bajo estrictos controles en el proceso de fabricación.
- El concreto es uno de los materiales de construcción más estudiado y analizado, ya que sus componentes y su funcionamiento en conjunto puede ser medido con precisión.

d) Economía

Si se evalúa todo el ciclo de vida del sistema son económicas considerando: costo inicial, vida útil del material, costo de mantenimiento, costo de reemplazo, valor de rescate, seguridad y desempeño.

e) Sostenibilidad

- Se fabrican de materiales naturales locales.
- Las tuberías de concreto son inocuas para la salud de las personas y el medio ambiente.
- La fabricación de las tuberías requiere poca energía y el material es un 100% reciclable
- Menor huella de carbono que otros tipos de tubería.
- Permite implementar diversas estrategias que ayudan a obtener la certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design).

El tubo de concreto es amigable con el ambiente tanto por el material de que están hechas, su forma de producción y su desempeño una vez instaladas. No emite desechos tóxicos en su fabricación o durante su funcionamiento, en caso de incendio no libera contaminantes.

El concreto es el material de construcción de menor consumo de energía específica.

f) Versátil

- Pueden tener otras formas aparte de las circulares dependiendo de las necesidades.
- Se adapta a distintos requerimientos de operación o instalación.

3.2 Tipos de tuberías**Tubos sin refuerzo**

INTE 16-11-04-08

ASTM C-14 / AASHTO M 86

Las tuberías de concreto sin refuerzo C-14 se fabrican en tres clases diferentes, denominadas clase I, II y III, siendo la más usual la clase I, mientras que las clases II y III se fabrican bajo pedido.

En la tabla 3.1 se muestra la resistencia mínima requerida para cada tipo según ASTM C-14

Tabla 3.1 Requerimientos físicos y dimensionales de las tuberías C-14									
Diámetro	Clase I			Clase II			Clase III		
	Espesor mínimo de la pared	Resistencia mínima	Resistencia mínima	Espesor mínimo de la pared	Resistencia mínima	Resistencia mínima	Espesor mínimo de la pared	Resistencia mínima	Resistencia mínima
mm	mm	kN/m	N/m/mm	mm	kN/m	N/m/mm	mm	kN/m	N/m/mm
100	16	22	220	19	29	290	19	35	350
150	16	22	147	19	29	193	22	35	233
200	19	22	110	22	29	145	29	35	175
250	22	23.5	94	25	29	116	32	35	140
300	25	26.5	88	35	33	110	44	38	127
375	32	29	77	41	38	101	47	42	112
450	38	32	71	50	44	98	57	48	107
525	44	35	67	57	48	91	69	56	107
600	54	38	63	75	52.5	88	85	64	107
675	82	41	61	94	57.5	85	94	67	99
750	88	44	59	107	63	84	107	69.5	93
825	94	46	56	113	64	78	113	71	86
900	100	48	53	119	65.5	73	119	73	81

La resistencia está dada en KN/m. Para poder comparar con la norma ASTM C 76 también se dan los valores en Newtons por m lineal de tubería por mm de diámetro.

Estas tuberías generalmente son utilizadas en conducciones con rellenos de altura moderada, siendo sus usos principales:

- Alcantarillas de aguas pluviales en ciudades y urbanizaciones.
- Colectores de aguas negras, pluviales y de desechos industriales.

Tubos con refuerzo

INTE 16-11-01-08

ASTM C-76 / AASHTO M 170

Las tuberías de concreto con refuerzo C-76 se fabrican en cinco clases diferentes, denominadas clase I, II, III, IV, y V, siendo la más usual la clase III, mientras que las clases restantes se fabrican bajo pedido.

Tabla 3.2 Resistencia de las tuberías C 76

Clase	Carga de grieta	Carga última	Diámetro mínimo	Diámetro máximo
mm	N/m/mm	N/m/mm	mm	mm
I	40	60	1500	2700
II	50	75	300	2700
III	65	100	300	2700
IV	100	150	300	2100
V	140	175	300	1800

La resistencia está dada en Newtons por m lineal de tubería por mm de diámetro.

La carga de grieta es la que produce una grieta de 0.3 mm de ancho en 30 cm de largo.

Estas tuberías son aptas para situaciones donde se necesitan mayores diámetros o una mayor resistencia estructural que la C-14, tal como soportar grandes rellenos y/o tránsito de vehículos pesados.

Sus usos principales son:

- Alcantarillas en carreteras.
- Alcantarillas de aguas pluviales en ciudades y urbanizaciones.
- Colectores de aguas negras, pluviales y de desechos industriales.
- Situaciones donde la falla estructural puede poner en riesgo la vida humana o la propiedad (las tuberías de concreto reforzado aun después de haber fallado retienen su forma y no colapsan).

Tuberías y accesorios especiales

Dependiendo de los requerimientos de carga, forma o durabilidad se pueden fabricar diversos elementos, tuberías con recubrimientos sintéticos o con disipadores de energía para disminuir la velocidad del agua.

Fig. 3.1 Ejemplo de tubería con disipador de energía



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

En los apartados siguientes se detallan las tuberías más usuales y la norma respectiva que las rige:

ASTM C-361

Las tuberías de concreto con refuerzo C-361 se fabrican bajo pedido y su utilización es conducción de fluidos bajo una carga hidrostática máxima de 375 kPa (38 metros carga de agua).

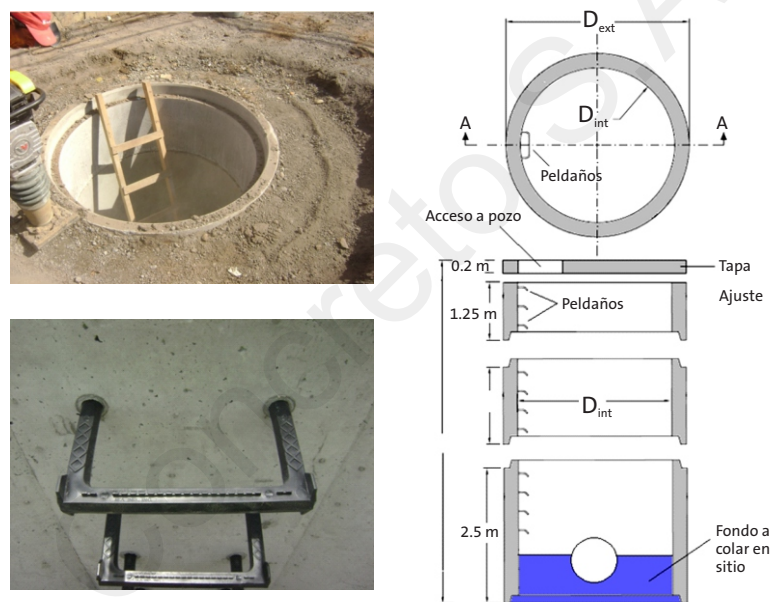
ASTM C-478, AASHTO M199, EN1917

Pozos de inspección para sistemas de tuberías circulares o rectangulares.

Los pozos estándar (Figura 3.2) se pueden fabricar en diversos diámetros internos desde 1.2 m hasta 2.44 m. Los largos de las piezas componentes son 1.25 m, 2.5 m y piezas de ajuste.

Adicionalmente los pozos cuentan con una tapa de concreto con la prevista estándar de acceso y gradas metálicas o sintéticas según los requerimientos.

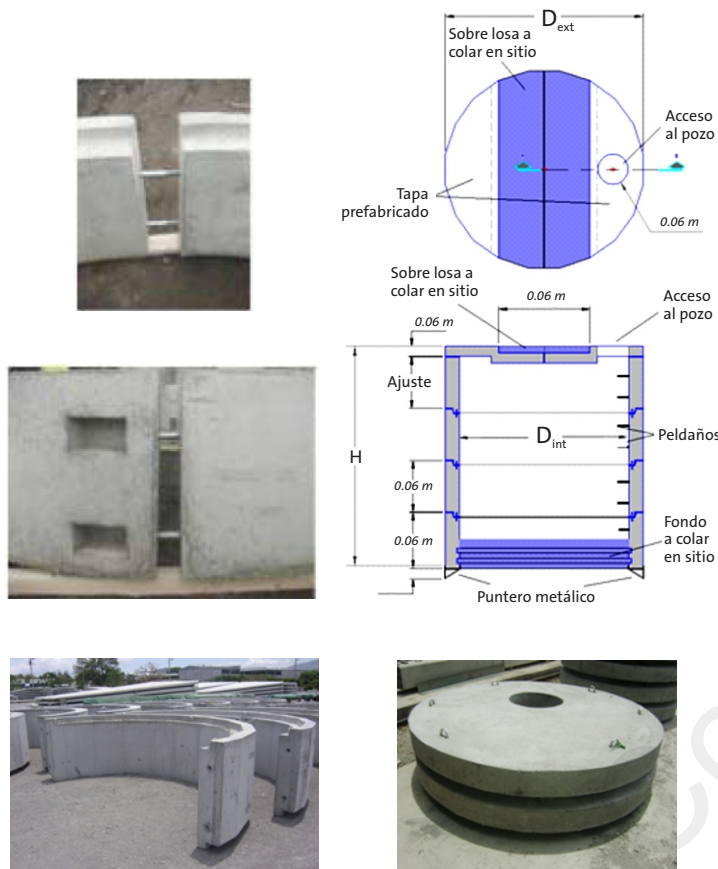
Fig. 3.2 Pozo estándar



Dependiendo de las condiciones del sitio o la profundidad requerida del pozo se pueden suministrar pozos para hincar los cuales cuentan con las siguientes características:

- Están compuestos por elementos de 1 m de alto, una puntera de acero y tapas de concreto enteras o en segmentos dependiendo del diámetro del pozo.
- Los pozos hincados se pueden hacer de diversos diámetros, usualmente 3.2 m y 2.4 m.
- El fondo de los pozos se cola en sitio.
- Las aperturas de los pozos para conectar las tuberías se hacen en sitio.
- Las escalerillas pueden ser metálicas o sintéticas según se requiera.
- La resistencia del concreto es de 350 kg/cm².
- Los anillos dependiendo del diámetro se hacen en una pieza o en dos.
- El sistema requiere del uso de bentonita y maquinaria de excavación tipo almeja.

Fig. 3.3 Ejemplo de pozo hincado



ASTM C-655

Las tuberías de concreto con refuerzo C-655 se fabrican bajo pedido para cargas de diseño particulares no cubiertas en las normas ASTM C-76, ASTM C-361 e INTE 16-11-01-08, siendo su uso normalmente alcantarillas o colectores pluviales.

ASTM C-789, ASTM C-850, ASTM C-1433, AASHTO M259, AASHTO M273

Alcantarillas de cuadro para pasos a desnivel, cruce de carreteras o alcantarillas. Sus tamaños variarán de acuerdo con los requerimientos de 90 x 60 m a 3.60 x 360 m.

Fig. 3.4 Sistema de alcantarillas de cuadro



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

ASTM C-985

Las tuberías de concreto sin refuerzo C-985 se fabrican bajo pedido para cargas de diseño particulares no cubiertas en las normas INTE 16-11-04-08 y ASTM C-14; siendo su uso normalmente alcantarillas o colectores pluviales.

EN1916, ASCE 27

Bajo la norma EN 1916 se encuentran cubiertas las tuberías para hincado, las tuberías con fibra, y las tuberías con recubrimientos especiales para corrosión.

Las tuberías hincadas (Fig. 3.5) aparecen en el país por primera vez en el Proyecto de Subcolector San Miguel en Desamparados, siendo sus principales ventajas:

- Menos polvo y ruido
- Menor riesgo de accidentes
- Menor impacto en el tráfico
- Menores destrozos en carreteras
- Menor daño en redes de tuberías existentes
- Menor impacto ambiental
- No es necesario bajar el nivel freático
- Menor riesgo de hundimientos en carreteras y edificios
- Los trabajos son más independientes de las condiciones climáticas

Fig. 3.5 Tubería de concreto para hincar



En lo que respecta a la tubería su tamaño, espesor y tipo de junta a emplear dependerá de las condiciones específicas del suelo, la distancia entre pozos y el sistema de hincado a utilizar.

En la Fig. 3.6 se muestra el proceso general de hincado el cual consiste en bajar a un pozo de lanzamiento una máquina tuneladora que abre un túnel cuyo diámetro es ligeramente mayor al de la tubería a hincar. La tubería se va bajando de una a una en el pozo de lanzamiento y por medio de un gato hidráulico se empuja a la sección de tubería la cual empuja a su vez a la máquina tuneladora.

En el sistema mostrado la tierra disuelta sale por medio de un sistema de bombeo en una suspensión de bentonita, la cual se usa también para disminuir la fricción entre el tubo y el suelo.

Una vez que se alcanza la distancia deseada la máquina tuneladora sale por un pozo de recepción.

La distancia que se pueda alcanzar entre pozos dependerá de la resistencia del concreto de la tubería, el espesor de la tubería, de la máquina de excavación, de la estación de hincado, del suelo circundante, de la fricción que se genere con la tubería, de la pericia del operario, de la rectitud de la excavación, del uso o no de estaciones intermedias de hincado, etc.

Fig. 3.6 Sistema de hincado



Fuente: Herrenknecht, Tunneling System.

ASTM C-506, ASTM C-507, AASHTO M206, AASHTO M207

Tuberías elípticas para alcantarillado pluvial o sanitario.

3.3 Características físicas de las tuberías y uniones

Geometría de las tuberías

La geometría de los tubos varía de acuerdo con el diámetro y el sistema de producción. En las Tablas 3.3 y 3.4 se muestra la geometría de los tubos para los diámetros menores o iguales a 1200 mm y en las Tablas 3.5 y 3.6 los tubos para tuberías mayores a 1200 mm.

Las dimensiones son solamente de referencia y pueden variar por temas de producción o desmolde.

Los pesos indicados son para tuberías clase III, según ASTM C76 con pared tipo B.

Fig. 3.7 Geometría de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 m

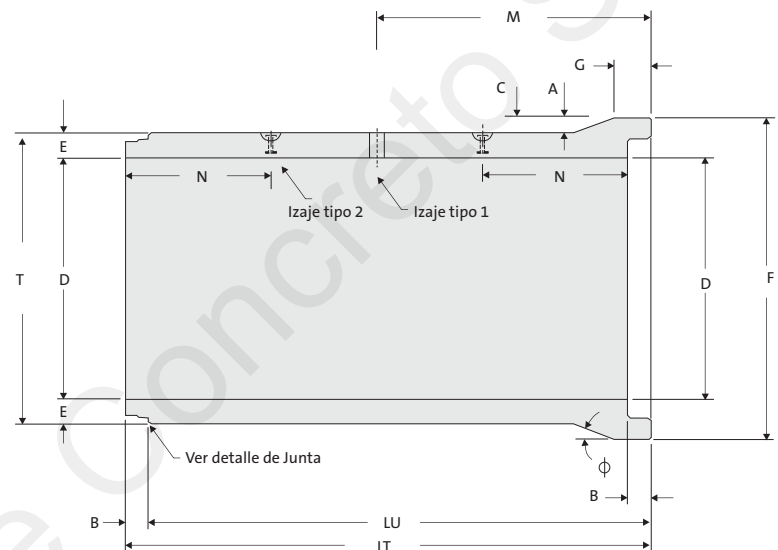


Tabla 3.3 Dimensiones de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 mm

Diámetro Nominal mm	Lu mm	Lt mm	W Kg	A mm	B mm	C mm	D mm	E mm	F mm	G mm	T mm	φ grados
300	2500	2590	213	52	90	105	300	53	510	130	406	30
400	1250	1340	349	50	90	110	400	60	620	130	520	30
	2500	2590	551	50	90	110	400	60	620	130	510	30
500	1250	1340	393	45	90	115	500	70	730	150	640	30
	2500	2590	760	45	90	115	500	70	730	150	615	30
600	1250	1340	517	45	90	120	600	75	840	150	750	30
	2500	2590	995	45	90	120	600	75	840	150	720	30
700	1250	1340	678	40	90	125	700	85	950	180	870	30
	2500	2590	1306	40	90	125	700	85	950	180	825	30
800	1250	1340	857	35	90	130	800	95	1060	180	930	30
	2500	2590	1656	35	90	148	800	113	1060	180	948	30
	2500	2590	1714	35	90	130	800	95	1060	180	930	30
900	1250	1340	997	35	90	135	900	100	1035	180	1100	30
	2500	2590	1937	35	90	154	900	119	1054	180	1054	30
	2500	2590	1994	35	90	135	900	100	1035	180	1035	30
1000	2500	2600	2195	30	100	140	1000	110	1280	190	1220	30
1200	2500	2600	3239	30	100	155	1200	125	1510	190	1450	30
	2500	2615	3122	75	115	202	1200	125	1600	180	1450	20

Fig. 3.8 Geometría de las juntas de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 mm

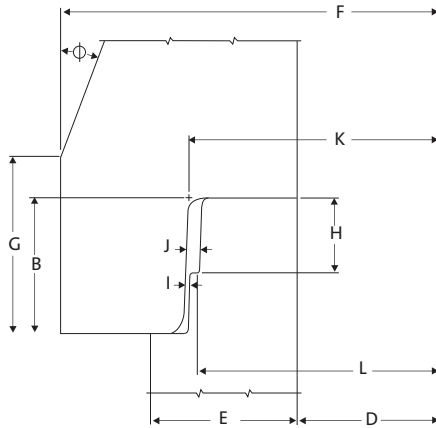


Tabla 3.4 Dimensiones de las juntas de tuberías para diámetros menores o iguales a 1200 mm

Diámetro nominal mm	G mm	H mm	I mm	J mm	K mm	L mm	M mm	N mm	Izaje tipo 1	Izaje tipo 2
300	130	44	3.2	8.3			1210	-	Agujero	-
400	130	44	3.2	8.3	475	467	625	-	Agujero	-
	130	44	3.2	8.3			1210	-	Agujero	-
500	150	44	3.2	8.3			625	-	Agujero	-
	150	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x35
600	150	44	3.2	8.3	704	696	625	-	Agujero	-
	150	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x40
700	180	44	3.2	8.3			625	-	Agujero	-
	180	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x50
800	180	44	3.2	8.3			625	-	Agujero	-
	180	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x65
	180	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x55
900	180	44	3.2	8.3	1016	1008	625	-	Agujero	-
	180	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x65
	180	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x65
1000	190	44	3.2	8.3			1214	625	Agujero	KKG 1.3x65
1200	190	64	3.7	11.3	1343	1332	1214	625	Agujero	KKG 2.5x90
	180	64	3.7	11.3	1385	1377	1222	625	Agujero	KKG 2.5x90

Fig. 3.9 Geometría de las tuberías de diámetros mayores a 1200 mm

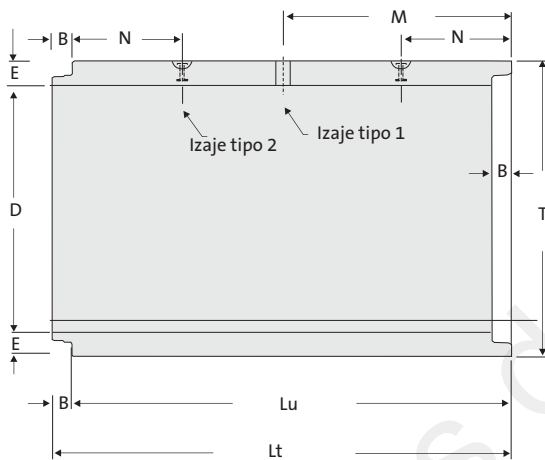


Tabla 3.5 Dimensiones de las tuberías para diámetros mayores a 1200 mm

Diámetro Nominal mm	Lu mm	Lt mm	W Kg	B mm	D mm	E mm	T mm
1350	2500	2564	3869	110	1350	138	1629
1370	2000	2120	2304	120	1370	140	1652
1500	2500	2564	4674	120	1500	150	1803
1520	1250	1370	2449	120	1520	152	1828
1520	2000	2120	3902	120	1520	152	1828
1680	1250	1350	3126	100	1680	165	2006
1800	2500	2564	6519	130	1800	175	2153
1830	1250	1350	3458	100	1830	178	2184
2130	1250	1350	4546	100	2130	254	2540
2440	1250	1350	6000	100	2440	290	2900

Fig. 3.10 Geometría de las juntas de tuberías para diámetros mayores a 1200 mm

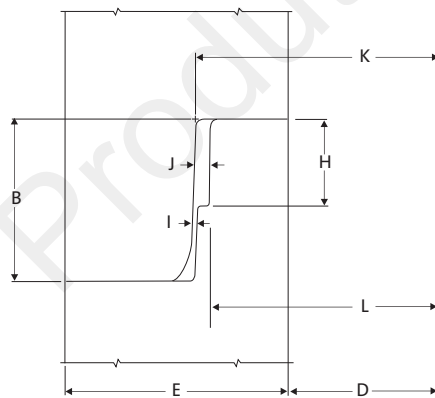


Tabla 3.6 Dimensiones de las juntas de tuberías para diámetros mayores a 1200 mm

Diámetro nominal mm	H mm	I mm	J mm	K mm	L mm	M mm	N mm	Izaje tipo 1	Izaje tipo 2	Empaque
1350	63.5	3.7	11.3	1470	1459	1273	625	Agujero	KXG 2.5x90	Tec Seal 185
1370	63.5	3.7	11.3	1488	1477	1049	375	Agujero	KXG 2.5x75	Tec Seal 185
1500	63.5	3.7	11.3	1630	1619	1276	625	Agujero	KXG 2.5x100	Tec Seal 185
1520	63.5	3.7	11.3	1653	1642	625	-	Agujero	KXG 2.5x75	Tec Seal 185
1520	63.5	3.7	11.3	1653	1642	1049	375	Agujero	KXG 2.5x90	Tec Seal 185
1680	63.5	3.7	11.3	1819	1807	625	-	Agujero	KXG 2.5x90	Tec Seal 185
1800	63.5	3.7	11.3	1950	1939	1277	625	Agujero	KXG 2.5x120	Tec Seal 185
1830	63.5	3.7	11.3	1978	1967	625	-	Agujero	KXG 2.5x90	Tec Seal 185
2130	70	3.7	12.7	1982	1969	625	-	Agujero	KXG 2.5x100	Tec Seal 200
2440	70	3.7	12.7	2306	2293	625	-	Agujero	KXG 2.5x120	Tec Seal 200

Las tuberías bajo la norma ASTM C14 se fabrican normalmente como clase I y bajo pedido las clase II y la clase III. Esta última hasta 700 mm normalmente. Para otros diámetros o clases favor consultar al Departamento de Ingeniería.

Las tuberías bajo la norma ASTM C 76 se fabrican normalmente en clase II o III bajo pedido en la clase IV hasta 1800 mm y en clase V hasta 1200 mm. Para otros diámetros o clases favor consultar al Departamento de Ingeniería.

Uniones para tuberías de concreto

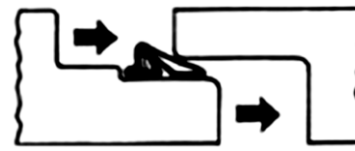
Para las uniones de tuberías de concreto hay una gran variedad de uniones dependiendo de si la conexión es de espiga y campana para tubos de diámetros pequeños o machihembrada para tuberías de diámetros grandes. Las uniones más comunes son: resinas, morteros, neoprenos y anillos metálicos. Su uso dependerá de la aplicación y condiciones de carga a la que esté expuesta la tubería.

Las principales funciones de las uniones en tuberías son:

- Proveer hermeticidad ante a la infiltración del relleno y el agua.
- Impedir la exfiltración del fluido que transporta la tubería.
- Acomodar deflexiones laterales o movimientos longitudinales.
- Proveer una superficie continua y uniforme para el flujo de los fluidos.
- Permitir una fácil instalación de la tubería.
- Soportar una presión de trabajo mínima de 9 mca según ASTM C 443.
- La cantidad de uniones que utiliza las tuberías de concreto normalmente vistas como una desventaja desde el punto de vista de las tuberías metálicas o plásticas, es en realidad una ventaja para muchos tipos de instalaciones, ya que un mayor número de uniones permite mantener el alineamiento y la pendiente más fácilmente; así como acomodar los esfuerzos y deflexiones producidas por la superficie de apoyo, las cargas externas y los sismos.

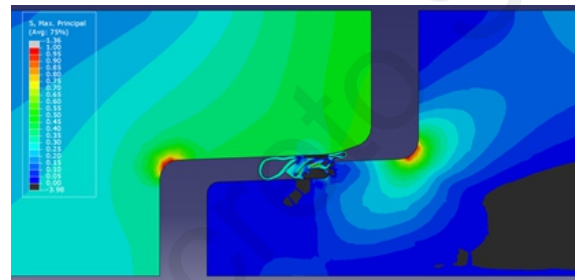
Una de las uniones más utilizadas actualmente para las condiciones de alcantarillado es la de neopreno SBR con lubricación, el cual facilita la operación de instalación. Este tipo de junta se muestra en la Fig. 3.11 y cumple con la norma ASTM C 443/AASHTO M198, ASTM C1628, ASTM C1619.

Fig. 3.11 Empaque de neopreno con lubricación



Este tipo de junta es utilizado internacionalmente y a nivel nacional se ha desarrollado mediante la colaboración de la empresa Terramix y del ingeniero Guido Quesada en la parte de análisis estructural tanto de la tubería como del empaque.

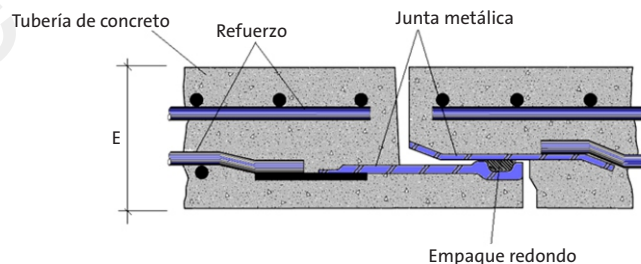
Fig. 3.12 Análisis estructural de la junta con empaque autolubricado



Fuente: Ing. Guido Quesada y Terramix

Para tuberías trabajando con presión se tiene especialmente el uso de juntas confinadas con empaque redondos. Para tuberías donde es indispensable garantizar la impermeabilidad se utilizan juntas metálicas con o sin registro de presión, tal y como se muestra en la Fig. 3.13.

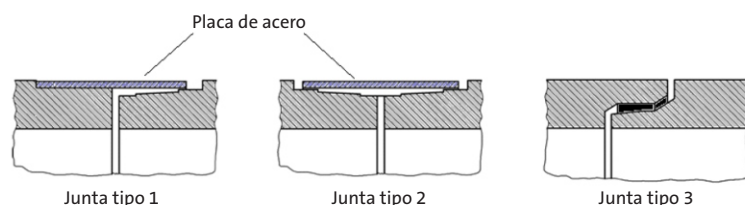
Fig. 3.13 Junta metálica para presión



En las tuberías hincadas la junta dependerá de los requerimientos del cliente y la máquina de hincado, pudiendo ser de tres formas diferentes, como se muestra en la Fig. 3.14:

- La junta 1 donde hay un anillo de acero fijo en un extremo de la tubería.
- La junta 2 donde el anillo de acero es móvil.
- La junta 3 donde se usa una conexión tipo machihembrada para conectar la tubería.

Fig. 3.14 Tipos de juntas para tubería hincada



3.4 Pruebas

Las pruebas que se le realizan a las tuberías se pueden dividir en:

- Materias primas y concreto
- Tubos individuales
- Sistema de tubería

a) Materias primas y concreto

A las materias primas principales del concreto (cemento y agregados) se le realizan pruebas periódicas para garantizar que cumplen las siguientes normas:

- INTE 06-01-02-08 (ASTM C 33): Cubre los agregados finos y gruesos para concreto.
- ASTM C 29: Peso unitario
- ASTM C 117: Porcentaje de finos pasando.
- ASTM C 127 y 128: Peso específico y absorción.
- ASTM C 136: Análisis granulométrico de agregados
- ASTM C 150 Especificación para cemento Portland
- NRC 40-1990 Especificación para cementos hidráulicos
- RTCR 383:2004 Cementos hidráulicos especificaciones
- ASTM C 566: Humedad total

Tanto los agregados como el cemento son provenientes de nuestras propias fuentes, lo cual es un factor adicional de calidad.

Son dosificados por peso en planta y con un estricto control de humedad, para garantizar una mezcla de concreto acorde con las exigencias del producto.

Concreto

Con una frecuencia diaria se obtienen testigos, según ASTM C 31 y C 39 de la resistencia del concreto utilizada para la fabricación de los tubos PC, y se prueban en nuestros propios laboratorios para garantizar que la misma sea adecuada para el manipuleo de los tubos, previo al período correspondiente de cura húmeda en patio.

Aceros

El acero utilizado para los tubos PC reforzados es de importación y cumplen totalmente con las normas ASTM A 615 y A 706, para lo cual se solicitan los certificados respectivos al proveedor y se evalúan periódicamente sus propiedades en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la UCR (LANAMME), mediante la prueba ASTM A-370.

b) Pruebas sobre tubos individuales

Una vez fabricados los tubos se realizan sobre muestras de cada lote de producción pruebas de calidad para asegurar que cumplan con la norma ASTM C 497, la cual cubre:

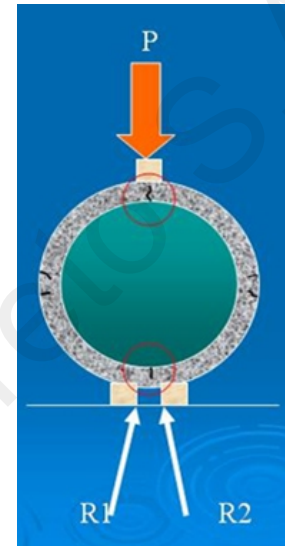
Prueba de tres aristas

Esta prueba se realiza cargando la tubería en forma diametral (Fig. 3.9) y registrando la carga, en la cual se produce una grieta longitudinal de 0.3

mm de ancho, 1.5 mm de espesor en una distancia de 30 mm. La carga se expresa en Newtons por m de longitud por milímetro de diámetro.

Posterior a alcanzada esta carga, opcionalmente se puede llevar la tubería hasta la carga última en la cual se forman cuatro articulaciones en la tubería formando un mecanismo de falla.

Fig. 3.15 Prueba de tres aristas según ASTM C 497



Absorción

Esta prueba se realiza sobre un segmento de la tubería para determinar cuánta agua absorbe el elemento y es una medida indirecta de la densidad y resistencia de la tubería.

Permeabilidad

La prueba de permeabilidad mide si hay un flujo de agua a través de la tubería al estar esta llena de agua y sin presión por un periodo mínimo de 15 minutos y máximo de 24 horas. Es una medida indirecta de la porosidad o compactación del concreto.

Alcalinidad del concreto

Esta prueba mide la capacidad del concreto para neutralizar ácidos presentes en las aguas residuales. Además es uno de los criterios utilizados para determinar la vida útil de la tubería en presencia de sulfuro de hidrógeno.

c) Pruebas sobre el sistema de tuberías

Estas pruebas abarcan a las tuberías trabajando en conjunto e intervienen no solo las tuberías sino también el empaque.

Las normas que se tienen que verificar son: ASTM C 443, ASTM C 497, ASTM C 1619, ASTM C 1628.

Prueba hidrostática

En esta prueba se somete un tubo o dos, si se desea probar también el empaque y hermeticidad de la junta, a una presión de 90 Kpa (9 mca) por 10 minutos para las tuberías tipo C14 y C76 (Fig. 3.16). Si bien las tuberías trabajan a gravedad se analiza el caso en que se obstruyen y trabajan a presión.

Fig. 3.16 Ensamble y medición de la prueba hidrostática

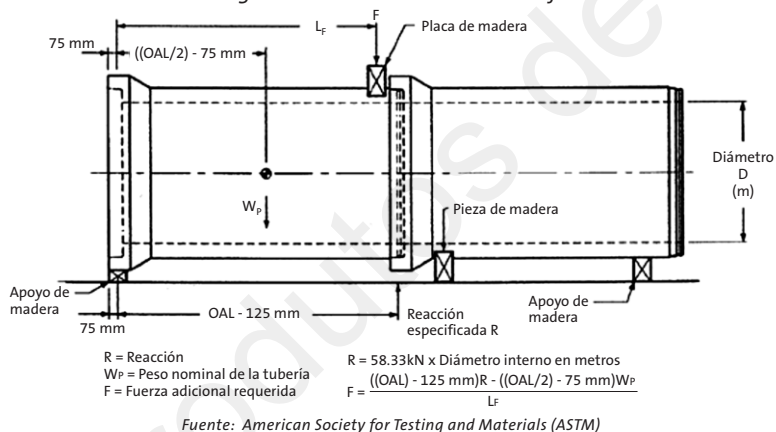


En el caso de las tuberías cubiertas por la norma ASTM C 361 las tuberías y juntas deben probarse a un 120% de la presión especificada por 20 minutos.

Prueba de cortante de la junta

De acuerdo con la norma ASTM C 443 las juntas de las tuberías deben someterse a una prueba de cortante para asegurar la capacidad estructural de la junta ante cargas diferenciales (Fig. 3.17).

Fig. 3.17 Prueba de cortante de la junta



Todas estas pruebas son verificadas por el LANAME periódicamente o a solicitud del cliente.

3.5 Normas y estándares aplicables a las tuberías de concreto

En Costa Rica las normas vigentes a la fecha para las tuberías de concreto son las normas INTECO, específicamente:

- INTE 16-11-01-08, "Tuberías de concreto reforzado para alcantarillado".
- INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14) "Tubos de concreto sin refuerzo para alcantarillado".

- INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76) "Tubos de concreto reforzado para alcantarillado".
- INTE 16-11-03-08 (ASTM C 443) "Especificaciones para juntas flexibles para la unión de tubos circulares de concreto, usando empaques de hule".
- INTE 16-11-10-08 (ASTM C 497), "Métodos de ensayo para tubos y secciones de pozos de inspección prefabricados en concreto".
- INTE 16-11-11-08 (ASTM C 655), "Tubos de concreto reforzado para alcantarillado sometido a carga muerta específica".
- INTE 16-11-12-08 (ASTM C 822), "Definiciones estándar de términos relacionados con tubería de concreto y productos afines".
- INTE 16-11-17-08 (ASTM C 1628) "Especificación para juntas de tuberías de concreto por gravedad usando empaques de hule".
- INTE 16-11-08-10 (ASTM C 1417), Tubos de concreto reforzado para alcantarillado fabricados según el método de diseño directo.
- PN INTE 16-11-24-10 (ASTM C 923), Norma para conectores elásticos entre estructuras de pozos de inspección de concreto reforzado, tubos y laterales".
- PN INTE 16-11-23-10 (ASTM C 478), Norma para pozos de concreto reforzados prefabricados.
- PN INTE 16-11-21-10 (ASTM C 1577), Norma para secciones de caja monolíticas prefabricadas en concreto reforzado para alcantarillas, aguas pluviales y aguas residuales diseñadas conforme a AASHTO LRFD.
- PN INTE 16-11-29-10 (BS EN 1916), Tubo reforzado de concreto para hincar.
- RCTC 383:2004, Cementos hidráulicos especificaciones.

Normas internacionales relacionadas

- ASTM A 82, "Specification for Steel Wire, Plain, for Concrete Reinforcement".
- ASTM A 185, "Specification for Steel Welded Wire Reinforcement, Plain, for Concrete".
- ASTM A 496, Specification for Steel Wire, Deformed, for Concrete Reinforcement.
- ASTM A 497, Specification for Steel Welded Wire Reinforcement, Deformed, for Concrete".
- ASTM A 615/A 615M, Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement.
- ASTM A 706 Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement.
- ASTM C 14 Standard Specification for Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe.
- ASTM C 31 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.
- ASTM C 39 Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

- ASTM C 42 Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.
- ASTM C 76 Standard Specification for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM C 150 Specification for Portland Cement.
- ASTM C 260, "Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete".
- ASTM C 309, "Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete".
- ASTM C 361 Standard Specification for Reinforced Concrete Low-Head Pressure Pipe.
- ASTM C 443/AASHTO M 198 Standard Specification for Joints for Circular Concrete Sewer and Culvert Pipe, Using Rubber Gaskets.
- ASTM C 444 Standard Specification for Perforated Concrete Pipe.
- ASTM C 478/AASHTO M 199 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Manhole Sections.
- ASTM C 494/C 494M "Specification for Chemical Admixtures for Concrete".
- ASTM A 496 "Specification for Steel Wire, Deformed, for Concrete Reinforcement".
- ASTM C 497 Standard Test Methods for Concrete Pipe, Manhole Sections, or Tile.
- ASTM C 506/ AASHTO M 206 Standard Specification for Reinforced Concrete Arch Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM C 507/ AASHTO M 207 Standard Specification for Reinforced Concrete Elliptical Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM C 595 "Specification for Blended Hydraulic Cements".
- ASTM A 615/A 615M "Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement".
- ASTM C 618 "Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete".
- ASTM C 655 Standard Specification for Reinforced Concrete D-Load Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM C 789/ AASHTO M 259 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Box Sections for Culverts, Storm Drains, and Sewers.
- ASTM C 822 Standard Definitions of Terms Relating to Concrete Pipe and Related Products.
- ASTM C 850/ AASHTO M 273 Precast Reinforced Concrete Box Sections for Culverts, Storm Drains, and Sewers with less than 2 ft. of Cover Subject to Highway Loading.
- ASTM C 877 External Sealing Bands for Non-Circular Concrete Sewer, Storm Drain and Culvert Pipe.
- ASTM C 890 Standard Practice for Minimum Structural Design Loading for Monolithic or Sectional Precast Concrete Water and Wastewater Structures.
- ASTM C 913 Standard Specification for Precast Concrete Water and Wastewater Structures.
- ASTM C 923 Resilient Connectors Between Reinforced Concrete Manhole Structures and Pipes.
- ASTM C 924 Low-Pressure Air Test of Concrete Pipe Sewer Lines.
- ASTM C 969 Infiltration and Exfiltration Acceptance Testing of Installed Precast Concrete Pipe Sewer Lines.
- ASTM C 985 Non-Reinforced Concrete Specified Strength Culvert, Storm Drain and Sewer Pipe Lines.
- ASTM C 989 "Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars".
- ASTM C 990 Standard Specification for Joints for Concrete Pipe, Manholes, and Precast Box Sections Using Preformed Flexible Joint Sealants.
- ASTM C 1017/C1017M, "Specification for Chemical Admixtures for use in Producing Flowing Concrete".
- ASTM C 1103 Standard Practice for Joint Acceptance Testing of Installed Precast Concrete Pipe Sewer Lines.
- ASTM C 1116 Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete".
- ASTM C 1131 Standard Practice for Least Cost (Life Cycle) Analysis of Concrete Culvert, Storm Sewer, and Sanitary Sewer Systems.
- ASTM C 1214 Standard Test Method for Concrete Pipe Sewer lines by Negative Air Pressure (Vacuum) Test Method.
- ASTM C 1244 Standard Test Method for Concrete Sewer Manholes by the Negative Air Pressure (Vacuum) Test Prior to Backfill.
- ASTM C 1417 Standard Specification for Manufacture of Reinforced Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe for Direct Design.
- ASTM C 1433/ AASHTO M 259/ AASHTO M 273 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Monolithic Box Sections for Culverts, Storm Drains, and Sewers.
- ASTM C 1479 Standard Practice for Installation of Precast Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe Using Standard Installations.
- ASTM C 1619 Standard Specification for Elastomeric Seals for Joining Concrete Structures.
- ASTM C 1628 Standard Specification for Joints for Concrete Gravity Flow Sewer Pipe, Using Rubber Gaskets.
- AWWA 302 Reinforced Concrete Pressure Pipe, Non-Cylinder Type for Water and Other Liquids.
- ASCE 15 Standard Practice for Direct Design of Buried Precast Concrete Pipe Using Standard Installations (SIDD).
- ASCE 27 Standard Practice for Direct Design of Precast Concrete Pipe for Jacking in trenchless Construction.
- EN 1916 Concrete pipes and fittings, unreinforced, steel fiber and reinforced.
- EN 1917 Concrete manholes and inspection chambers, unreinforced, steel fiber and reinforced.
- BS 5911-1 Concrete pipes and ancillary concrete products.
Part 1: Specification for unreinforced and reinforced concrete pipes (including jacking pipes) and fittings with flexible joints (complementary to BS EN 1916:2002).
- BS EN 124 Gully tops and manhole tops for vehicular and pedestrian areas. Design requirements, type testing, marking, quality control.

3.6 Aspectos de diseño

a) Diseño estructural

La teoría clásica para determinar las cargas de suelo sobre tuberías de concreto publicada en 1930 fue desarrollada por A. Marston para tuberías colocadas en zanjas angostas "trench" en suelo natural y tuberías en terraplén "embankment" o sobre el nivel de terreno natural y se cubren seguidamente.

Posteriormente M.G. Spangler en 1933 presenta tres configuraciones de apoyo de las tuberías o cama y el concepto de factor de apoyo "bedding factor" que relaciona la resistencia de la tubería enterrada con la resistencia obtenida en la prueba de tres aristas.

Esta resistencia es dependiente de dos factores:

- Del ancho y la calidad de la superficie de apoyo con la tubería.
- La magnitud de la presión lateral y de la altura de la tubería sobre la cual ésta actúa.

Aún cuando el trabajo de Marston y Spangler es conservador y da buenos resultados, los conceptos de diseño tienen sus limitaciones.

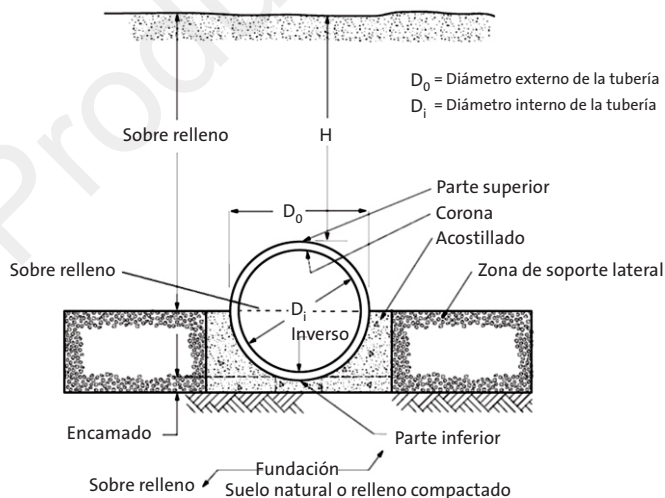
En 1970, La Asociación Americana de Tuberías de Concreto (ACPA) realizó un extenso programa de investigación sobre la interacción entre el suelo y las tuberías de concreto. Esta investigación culminó con el desarrollo del programa de Análisis y Diseño de la Interacción entre las Tuberías y el Suelo SPIDA, para el diseño directo de tuberías de concreto enterradas. Este posteriormente llevó al desarrollo de cuatro tipos de Instalaciones Estándar y un programa simplificado de diseño denominado Diseño Directo con Instalaciones Estándares SIDD (ASCE 15).

Este desarrollo reemplaza las históricas condiciones de apoyo o camas tipo A,B,C,D usadas en el método indirecto de diseño y trae grandes ventajas al permitir escoger entre diferentes niveles de compactación y suelos, lo cual permite analizar la opción mas económica para cada sitio de proyecto y el acarreo o no de material selecto.

Terminología y condiciones de instalación

En la Fig. 3.19 se muestra la terminología general y elementos que conforman la estructura de soporte en la instalación de tuberías de concreto.

Fig. 3.18 Terminología de la instalación de la tubería de concreto

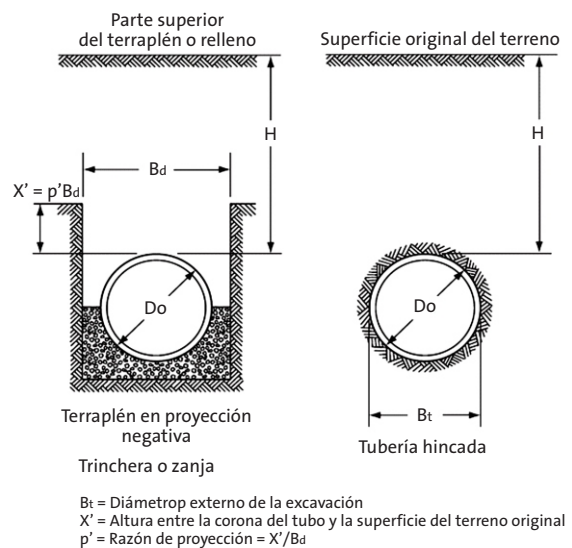
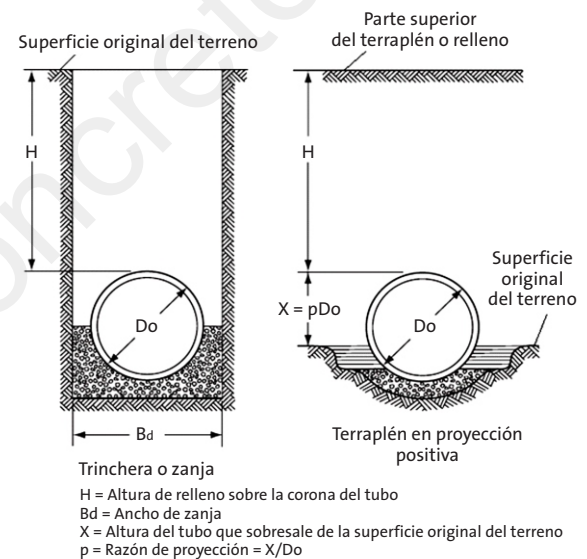


Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

Dependiendo de la altura del relleno y/o la forma de la zanja en que se coloca la tubería se pueden tener cuatro condiciones de instalación, las cuales determinan en gran forma la carga muerta que soportará la tubería (Fig. 3.19).

Estas condiciones son de la más crítica a la menos crítica: instalación en terraplén o relleno en proyección positiva, instalación en terraplén o relleno en proyección negativa, instalación en trinchera y instalación hincada.

Fig. 3.19 Condiciones típicas de instalación



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

Tipos de instalación estándar

Los tipos de instalación estándar se clasifican en cuatro, según el tipo material y compactación del mismo, lo que define el grado de rigidez de la cama de apoyo y confinamiento lateral de la tubería.

Los suelos se clasifican en cuatro categorías que relacionan el tipo de suelo y el nivel de compactación según la codificación del sistema unificado de clasificación de suelos UCSS, AASHTO. Tablas 3.7 y 3.8.

Tabla 3.7 Sistema unificado de clasificación de suelos Simbología		
Primera/ segunda letra		
G	Grava	Más del 50% de la fracción gruesa de las partículas retenidas en la malla # 4 (4.75 mm)
S	Arena	Más del 50% de la fracción gruesa de las partículas pasando la malla # 4 (4.75 mm)
M	Limo	Más del 12% de las partículas pasa la malla 200. La clasificación depende de las características de plasticidad del material pasando la malla 40 (0.425 mm)
C	Arcilla	Más del 12% de las partículas pasa la malla 200. La clasificación depende de las características de plasticidad del material pasando la malla 40 (0.425 mm)
O	Orgánico	Suelos compresibles con alto contenido de materia orgánica
Segunda Letra		
P		Pobremente graduado (Tamaño uniforme de partículas)
W		Bien graduado (Distintos tamaños de partículas)
H		Alta plasticidad, límite líquido mayor de 50
L		Baja plasticidad, límite líquido menor o igual a 50
División de tamaño		
Grueso		Más del 50% de las partículas retenidas en la malla 200 (0.075 mm)
Fino		Más del 50 % de las partículas pasando la malla 200 (0.075 mm)

Tabla 3.8 Clasificaciones equivalentes USCS y AASHTO para designación de suelos

Categoría	Tipo representativo de suelo		
	USCS (ASTM D 2487)	AASHTO (M 145)	Descripción
Categoría 1 Arena Gravosa	Suelos granulares gruesos y limpios: SW, SP, GW, GP o cualquier tipo de suelo con alguno de las categorías anteriores con 12% o menos pasando la malla 200 (0.075 mm) (GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SC, SW-SM, SP-SC, SP-SM)	A-1, A-3	GW Grava limpia bien graduada, de fina a gruesa con menos del 5% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			GP Grava pobremente graduada, con menos del 5 % pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SW Arena limpia bien graduada de fina a gruesa, con menos del 5 % pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SP Arena pobremente graduada, con menos del 5 % pasando la malla 200 (0.075 mm)
Categoría 2 Arena Limosa	Suelos granulares gruesos con finos: GM, GC, SM, SC o cualquier suelo que comience con alguna de estas categorías y que contengan mas del 12 % pasando la malla	A2, A4	GM Grava limosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			GC Grava arcillosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SM Arena limosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SC Arena arcillosa con más de 12 % pasando la malla 200 (0.075 mm)
			ML Limo de baja plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
Categoría 3 Arcilla Limosa	Suelo granular finos: GC, SC, CL, ML, o (CL-ML, CL/ML, ML/CL) con menos de 30% retenido en la malla 200 (0.075 mm)	A5, A6	CL Arcilla de baja plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			GC Grava arcillosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SC Arena arcillosa con más de 12 % pasando la malla 200 (0.075 mm)
			ML Limo de baja plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
Categoría 4, Pero no se permite en el acostillamiento o encamado.	MH, CH, OL, OH, PT	A7	CL Arcilla de baja plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			MH Limo de alta plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			CH Arcilla de alta plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			OL Suelo orgánico de baja plasticidad
			OH Suelo orgánico de alta plasticidad
			PT Suelo altamente orgánico

Los tipos de instalación se muestran en la Tabla 3.9 y están correlacionados a los factores de arco o de carga que determinó el estudio de ACPA (Fig. 3.21) utilizando una distribución de presiones tipo Heger.

Una instalación tipo 1 es la que requiere mayor calidad de materiales, mayor esfuerzo constructivo y grado de inspección. Mientras tanto, la instalación tipo 4 requiere poco esfuerzo constructivo o de inspección.

La decisión de cuál instalación es de tipo económica influenciada por los materiales, mano de obra y equipos con que se cuente el proyecto, así como el tipo de tubería que se desee utilizar, ya que a menor calidad de instalación se requiere una tubería de mayor resistencia.

Tabla 3.9 Instalaciones estándar y requerimientos mínimos de compactación

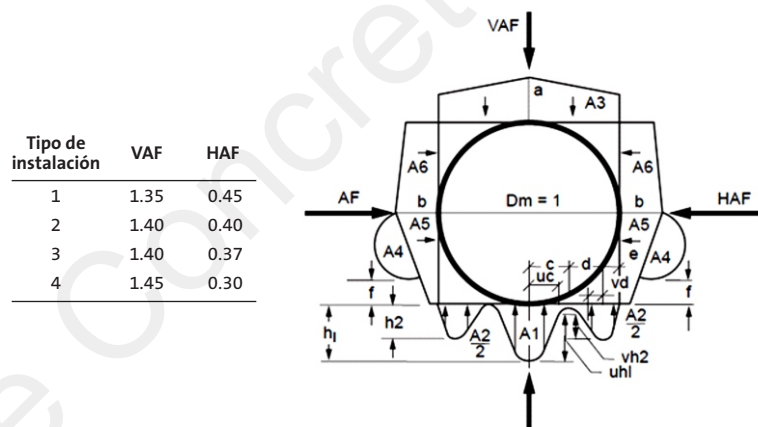
Tipo de instalación	Espesor del encamado	Zona de acostillamiento y parte externa de la cama	Zona de soporte lateral
Tipo 1	Espesor mínimo $D_o/24$, pero no menos de 75 mm. Si la fundación es roca, use un mínimo de $D_o/12$, pero no menos de 150 mm	Suelo categoría I al 90% de Proctor Estándar	Suelo categoría I al 90% Proctor Estándar Suelo categoría II al 95% Proctor Estándar Suelo categoría III al 100% Proctor Estándar
Tipo 2	Espesor mínimo $D_o/24$, pero no menos de 75 mm. Si la fundación es roca, use un mínimo de $D_o/12$, pero no menos de 150 mm	Suelo categoría I al 90% Proctor Estándar Suelo categoría II al 95% Proctor Estándar	Suelo categoría I al 85% Proctor Estándar Suelo categoría II al 90% Proctor Estándar Suelo categoría III al 95% Proctor Estándar
Tipo 3	Espesor mínimo $D_o/24$, pero no menos de 75 mm. Si la fundación es roca, use un mínimo de $D_o/12$, pero no menos de 150 mm	Suelo categoría I al 85% Proctor Estándar Suelo categoría II al 90% Proctor Estándar Suelo categoría III al 95% Proctor Estándar	Suelo categoría I al 85% Proctor Estándar Suelo categoría II al 90% Proctor Estándar Suelo categoría III al 95% Proctor Estándar
Tipo 4	No requiere cama a menos que sea fundación en roca. Espesor $D_o/12$ pero no menos de 150 mm	No requiere compactación para los suelos categoría I y II. Suelo categoría II al 85% Proctor Estándar	No requiere compactación para los suelos categoría I y II. Suelo categoría II al 85% Proctor Estándar

Cargas

Los tipos de carga que actúan en una tubería son el peso propio, el peso del agua en la tubería, las cargas vivas durante el proceso constructivo o en operación durante la vida útil de la estructura.

Como carga muerta se tiene el peso del suelo sobre la tubería, el cual se multiplica por un factor de arco vertical. Tanto el peso como el factor de arco dependen de la geometría y tipo de instalación a emplear. Una vez obtenida la carga muerta esta se divide por un factor de encamado el cual a su vez depende del diámetro de la tubería y/o tipo de instalación.

Fig. 3.20 Condiciones típicas de instalación



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

Tabla 3.10 Carga viva que rige el diseño

Relleno sobre tubería Categoría I	
Altura de relleno H	Carga aplicada P
m	kg
$H < 0.6$	7,273
$0.6 \leq H < 0.84$	14,545
$H \geq 0.84$	22,727
Relleno sobre tubería categoría II y III	
$H < 0.71$	7,273
$0.71 \leq H < 0.97$	14,545
$H \geq 0.97$	22,727

Tabla 3.11 Factor de seguridad según tipo de tubería

Clase de tubería	Carga de grieta	FS
	N/m/mm	
ASTM C14	Todos	1.5
ASTM C76	≤ 100	1.25
ASTM C76	≥ 150	1.5

Nota: Se puede interpolar linealmente para cargas de grieta

El factor de encamado es un factor que se obtiene dividiendo la resistencia obtenida en el laboratorio en una prueba de tres aristas y la obtenida experimentalmente en campo.

La carga viva es producto de los vehículos o camiones, trenes o aviones que transitan sobre o cerca de la tubería y de la maquinaria de instalación durante el proceso constructivo. Esta última condición puede ser más severa que la condición de servicio.

Para condiciones normales de tráfico vehicular donde la condición constructiva no rige el diseño o se requieran cargas especiales como la de aviones o trenes, la carga viva es despreciable a partir de los tres metros de profundidad y la configuración y tipo de carga que rige entre los cero y tres metros de profundidad se muestra en la Tabla 3.10.

Al igual que la carga muerta la carga viva se divide por un factor de encamado.

La carga final es la suma de las cargas por metro lineal producto de la carga muerta, el agua y la carga viva que se dividen por un factor de seguridad el cual depende del tipo de tubería y su el diámetro (Tabla 3.11). Si se utiliza un factor de seguridad de 1 se obtiene la carga de grieta por metro lineal. En caso contrario se obtiene la capacidad última por metro lineal que se requiere en tuberías con refuerzo.

Si la carga por metro lineal expresada en Newtons por metro lineal se divide por el diámetro interno de la tubería expresado en mm se obtienen la demanda que se compara con las capacidades dadas en las Tablas 3.1 y 3.2 para las tuberías ASTM C14 y ASTM C76, respectivamente.

Para mayor información sobre cómo determinar las cargas de diseño dependiendo del tipo de carga, configuración y tipo de instalación utilizando el método indirecto se puede consultar “Concrete Pipe Design Manual” de la Asociación Americana de Tuberías de Concreto (ACPA).

Si se desea o es necesario un análisis más detallado se puede utilizar la metodología de diseño directo de ASCE 15 de la Asociación Americana de Ingenieros Civiles o el AASHTO LRFD “Bridge Design Specification” de la Asociación Americana de Oficinas de Transporte y Autopistas Estatales.

Tablas para cálculo de demandas y selección de tuberías

Una vez determinada la carga en N/m/mm se puede seleccionar la tubería que más se adapte a las necesidades de instalación utilizando las siguientes tablas.

En su cabecera se da información general de las tuberías utilizadas, el tipo de instalación, las cargas y cualquier otro supuesto de análisis.

Tablas para cálculo de demandas y selección de tuberías

Una vez determinada la carga en N/m/mm se puede seleccionar la tubería que más se adapte a las necesidades de instalación utilizando las siguientes tablas.

Al pie de cada tabla se da información general de la clase de la tubería utilizada, el tipo de instalación, las cargas y cualquier otro supuesto de análisis. La tabla expresa en su lado izquierdo el diámetro de tubería considerado. En su parte superior la clase de la tubería, y en la parte interna se da la profundidad mínima y máxima para cada clase según el tipo de instalación seleccionado.



La tabla expresa en su lado izquierdo el diámetro de tubería considerado. En su parte superior la profundidad de instalación medida a altura de corona, y en la parte interna se da la demanda para las condiciones analizadas en N/m/mm.

Por medio de colores y aplicando los factores de seguridad de la Tabla 3.11 se muestra cuál sería el tipo de tubería a utilizar, según corresponda bajo la norma ASTM C76 o ASTM C14.

Tabla 3.12 Profundidades de instalación para tuberías clase C14 sin carga viva

Instalación tipo I

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,30	10,05	0,30	4,25	0,30	11,55
375	0,30	9,45	0,30	3,95	0,30	10,35
450	0,30	9,10	0,30	3,65	0,30	9,75
525	0,30	8,50	0,30	3,65	0,30	9,75
600	0,30	7,90	0,30	3,35	0,30	9,75
675	0,30	7,90	0,30	3,35	0,30	9,10
750	0,30	7,60	0,30	3,05	0,30	7,90
825	0,30	7,00	0,30	2,70	0,30	7,60
900	0,30	6,40	0,30	2,40	0,30	7,00

Instalación tipo III

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,30	5,45	0,30	7,00	0,30	7,90
375	0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	7,30
450	0,30	4,25	0,30	6,00	0,30	6,70
525	0,30	3,95	0,30	5,45	0,30	6,70
600	0,30	3,95	0,30	5,45	0,30	6,70
675	0,30	3,65	0,30	5,15	0,30	6,10
750	0,30	3,65	0,30	5,15	0,30	5,75
825	0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	5,15
900	0,30	3,00	0,30	4,55	0,30	4,85

Alturas de relleno basadas en:

1. Peso del suelo de 1900 kg/m²
3. Instalación en terraplén

D.I. Diámetro interno de la tubería - Prof.: Profundidad

Fuente: American Concrete Pipe Association

Instalación tipo II

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,30	5,45	0,30	7,00	0,30	7,90
375	0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	7,30
450	0,30	4,25	0,30	6,00	0,30	6,70
525	0,30	3,95	0,30	5,45	0,30	6,70
600	0,30	3,95	0,30	5,45	0,30	6,70
675	0,30	3,65	0,30	5,15	0,30	6,10
750	0,30	3,65	0,30	5,15	0,30	5,75
825	0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	5,15
900	0,30	3,00	0,30	4,55	0,30	4,85

Instalación tipo IV

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,30	2,70	0,30	3,35	0,30	3,95
375	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	3,65
450	0,30	2,10	0,30	3,00	0,30	3,35
525	0,30	2,10	0,30	3,00	0,30	3,35
600	0,30	2,10	0,30	2,70	0,30	3,35
675	0,30	1,80	0,30	2,70	0,30	3,35
750	0,30	1,80	0,30	2,70	0,30	3,35
825	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	2,70
900	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	2,70

Tubería Clase I norma INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14 / AASHTO M86)

Tubería Clase II norma INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14 / AASHTO M86)

Tubería Clase III norma INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14 / AASHTO M86)

Diseño especial

Tabla 3.13 Profundidades de instalación para tuberías clase C14 con carga viva

Instalación tipo I

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,60	5,45	0,60	7,30	0,60	8,50
375	0,60	4,85	0,60	6,70	0,60	7,60
450	0,60	4,25	0,60	6,70	0,60	7,30
525	0,60	3,95	0,60	6,10	0,30	7,30
600	0,90	3,65	0,60	5,75	0,30	7,30
675	0,90	3,65	0,30	5,75	0,30	6,70
750	0,90	3,35	0,30	5,45	0,30	6,40
825	0,90	3,05	0,30	4,85	0,30	5,45
900	0,60	3,05	0,30	4,55	0,30	5,15

Instalación tipo II

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,60	4,25	0,60	5,45	0,30	6,40
375	0,60	3,65	0,60	5,15	0,60	5,75
450	0,60	3,35	0,60	4,85	0,30	5,45
525	0,60	3,05	0,30	4,55	0,30	5,45
600	0,90	2,70	0,30	4,25	0,30	5,45
675	0,90	2,70	0,30	4,25	0,30	4,85
750	0,90	2,40	0,30	4,25	0,30	4,55
825	0,60	2,10	0,30	3,65	0,30	4,25
900	0,60	2,10	0,30	3,35	0,30	3,95

Instalación tipo I

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,60	3,05	0,60	4,25	0,30	4,85
375	0,60	2,70	0,60	3,95	0,60	4,55
450	0,90	2,40	0,60	3,65	0,30	4,25
525	0,90	2,10	0,30	3,65	0,30	4,25
600	0,90	2,10	0,30	3,35	0,30	4,25
675	0,90	1,80	0,30	3,35	0,30	3,65
750	0,90	1,50	0,30	3,05	0,30	3,65
825	0,90	1,50	0,30	2,70	0,30	3,05
900			0,30	2,40	0,30	2,70

Instalación tipo II

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	1,20	1,50	0,60	2,40	0,60	3,05
375			0,60	2,40	0,60	2,70
450			0,60	2,10	0,60	2,40
525			0,90	2,10	0,60	2,70
600			0,90	1,80	0,30	2,70
675			0,90	1,80	0,30	2,40
750			0,90	1,80	0,30	2,10
825			0,90	1,50	0,30	2,10
900			0,90	1,20	0,30	1,50

Alturas de relleno basadas en:

1. Peso del suelo de 1900 kg/m²
2. Carga viva AASHTO HL-93 (AASHTO LRFD 2007)
3. Instalación en terraplén

D.I. Diámetro interno de la tubería - Prof.: Profundidad

Fuente: American Concrete Pipe Association

Tubería Clase I norma INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14 / AASHTO M86)

Tubería Clase II norma INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14 / AASHTO M86)

Tubería Clase III norma INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14 / AASHTO M86)

Diseño especial

Tabla 3.14 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 sin carga viva

Instalación tipo I

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	13,70	0,30	18,25
375			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	14,00	0,30	18,25
450			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	14,00	0,30	18,25
525			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	14,00	0,30	18,25
600			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	14,00	0,30	18,25
675			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	13,70	0,30	18,25
750			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	13,70	0,30	18,25
825			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	13,70	0,30	18,25
900			0,30	6,70	0,30	8,50	0,30	13,40	0,30	18,25
1050			0,30	6,70	0,30	8,50	0,30	13,40	0,30	18,25
1200			0,30	6,40	0,30	8,50	0,30	13,40	0,30	18,25
1350			0,30	6,40	0,30	8,50	0,30	13,40	0,30	18,25
1500	0,30	5,15	0,30	6,40	0,30	8,50	0,30	13,10	0,30	18,25
1650	0,30	5,15	0,30	6,40	0,30	8,20	0,30	13,10	0,30	18,25
1800	0,30	5,15	0,30	6,40	0,30	8,20	0,30	13,10	0,30	18,25
1950	0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	8,20	0,30	12,80		
2100	0,30	4,85	0,30	6,10	0,30	8,20	0,30	12,80		
2250	0,30	4,85	0,30	6,10	0,30	8,20				
2400	0,30	4,85	0,30	6,10	0,30	8,20				

Alturas de relleno basadas en:

1. Peso del suelo de 1900 kg/m²
3. Instalación en terraplén

D.I. Diámetro interno de la tubería - Prof.: Profundidad

Fuente: American Concrete Pipe Association

Tubería Clase I norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase II norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase III norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase IV norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase V norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Diseño especial

Instalación tipo II

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,75	0,30	13,40
375			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,75	0,30	13,70
450			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,75	0,30	13,70
525			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,75	0,30	13,40
600			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,40
675			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,40
750			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,40
825			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,40
900			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,10
1050			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,10
1200			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,10
1350			0,30	4,55	0,30	5,75	0,30	9,45	0,30	13,10
1500	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	5,75	0,30	9,10	0,30	13,10
1650	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	5,75	0,30	9,10	0,30	13,10
1800	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	5,75	0,30	9,10	0,30	12,80
1950	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	5,75	0,30	9,10		
2100	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	5,75	0,30	9,10		
2250	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	5,75				
2400	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	5,75				

Instalación tipo III

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,30	0,30	9,10
375			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,60	0,30	9,10
450			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,60	0,30	9,10
525			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,60	0,30	9,10
600			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,60	0,30	9,10
675			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,60	0,30	9,10
750			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,60	0,30	9,10
825			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,30	0,30	9,10
900			0,30	3,65	0,30	4,55	0,30	7,30	0,30	9,10
1050			0,30	3,65	0,30	4,55	0,30	7,30	0,30	9,10
1200			0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,30	0,30	9,10
1350			0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,30	0,30	9,10
1500	0,30	2,70	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,30	0,30	9,10
1650	0,30	2,70	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,00	0,30	9,10
1800	0,30	2,70	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,00	0,30	9,10
1950	0,30	2,70	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,00		
2100	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,00		
2250	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	4,55				
2400	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	4,55				

Instalación tipo IV

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,30	2,40	0,30	3,00	0,30	4,85	0,30	6,70
375			0,30	2,40	0,30	3,00	0,30	4,85	0,30	7,00
450			0,30	2,40	0,30	3,00	0,30	4,85	0,30	7,00
525			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
600			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
675			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
750			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
825			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
900			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1050			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1200			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1350			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1500	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1650	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1800	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1950	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15		
2100	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15		
2250	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,35				
2400	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,00				

Tabla 3.15 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 con carga viva

Instalación tipo I

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,90	4,55	0,60	6,40	0,30	10,35	0,30	14,30
375			0,60	4,85	0,60	6,40	0,30	10,35	0,30	14,90
450			0,60	4,85	0,60	6,40	0,30	10,65	0,30	15,20
525			0,60	4,85	0,30	6,40	0,30	10,65	0,30	15,20
600			0,60	4,85	0,30	6,40	0,30	10,65	0,30	15,20
675			0,60	4,85	0,30	6,40	0,30	10,65	0,30	15,20
750			0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	10,65	0,30	15,20
825			0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	10,65	0,30	14,90
900			0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	10,35	0,30	14,90
1050			0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	10,35	0,30	14,90
1200			0,30	4,55	0,30	6,40	0,30	10,35	0,30	14,90
1350			0,30	4,55	0,30	6,40	0,30	10,35	0,30	14,90
1500	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	6,40	0,30	10,05	0,30	14,60
1650	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	6,10	0,30	10,05	0,30	14,60
1800	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	6,10	0,30	10,05	0,30	14,30
1950	0,30	3,05	0,30	4,25	0,30	6,10	0,30	9,75		
2100	0,30	3,05	0,30	4,25	0,30	5,75	0,30	9,75		
2250	0,30	3,05	0,30	4,25	0,30	5,75				
2400	0,30	3,05	0,30	3,95	0,30	5,75				

Instalación tipo II

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,90	3,35	0,60	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
375			0,60	3,65	0,60	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
450			0,60	3,65	0,60	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
525			0,60	3,65	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
600			0,60	3,65	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
675			0,60	3,65	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
750			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
825			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
900			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
1050			0,30	3,35	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
1200			0,30	3,35	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
1350			0,30	3,35	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
1500	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,90	0,30	11,25
1650	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,60	0,30	11,25
1800	0,30	2,10	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,60	0,30	11,25
1950	0,30	2,10	0,30	3,05	0,30	4,55	0,30	7,60		
2100	0,30	2,10	0,30	3,05	0,30	4,55	0,30	7,60		
2250	0,30	2,10	0,30	3,05	0,30	4,55				
2400	0,30	2,10	0,30	3,05	0,30	4,25				

Alturas de relleno basadas en:

1. Peso del suelo de 1900 kg/m²
2. Carga viva AASHTO HL-93 (AASHTO LRFD 2007)
3. Instalación en terraplén

D.I. Diámetro interno de la tubería - Prof.: Profundidad

Fuente: American Concrete Pipe Association

Tubería Clase I norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase II norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase III norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase IV norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase V norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Diseño especial

Instalación tipo III

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,90	2,40	0,60	3,60	0,30	6,10	0,30	8,80
375			0,60	2,70	0,60	3,60	0,30	6,10	0,30	8,80
450			0,60	2,70	0,60	3,60	0,30	6,40	0,30	8,80
525			0,60	2,70	0,30	3,60	0,30	6,40	0,30	8,80
600			0,60	2,70	0,30	3,60	0,30	6,40	0,30	8,80
675			0,60	2,70	0,30	3,60	0,30	6,40	0,30	8,80
750			0,60	2,70	0,30	3,60	0,30	6,40	0,30	8,80
825			0,30	2,70	0,30	3,60	0,30	6,10	0,30	8,80
900			0,30	2,70	0,30	3,60	0,30	6,10	0,30	8,80
1050			0,30	2,40	0,30	3,60	0,30	6,10	0,30	8,80
1200			0,30	2,40	0,30	3,60	0,30	6,10	0,30	8,80
1350			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	6,10	0,30	8,80
1500	0,60	1,50	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	6,10	0,30	8,80
1650	0,60	1,50	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,75	0,30	8,80
1800	0,60	1,50	0,30	2,10	0,30	3,35	0,30	5,75	0,30	8,50
1950	0,30	1,50	0,30	2,10	0,30	3,35	0,30	5,75		
2100	0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,35	0,30	5,75		
2250	0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,35				
2400	0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,05				

Instalación tipo IV

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300					0,90	1,80	0,30	3,65	0,30	5,45
375					0,90	2,10	0,30	3,95	0,30	5,75
450					0,60	2,10	0,30	3,95	0,30	5,75
525					0,60	2,10	0,30	3,95	0,30	6,10
600			1,20	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
675			1,20	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
750			0,90	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
825			0,90	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
900			0,30	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
1050			0,30	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
1200			0,30	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
1350			0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	4,25	0,30	6,10
1500			0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	4,25	0,30	6,10
1650			0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,95	0,30	6,10
1800			0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,95	0,30	6,10
1950			0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,95		
2100			0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,95		
2250			0,30	0,90	0,30	2,10				
2400	0,30	0,30	0,30	0,90	0,30	1,80				



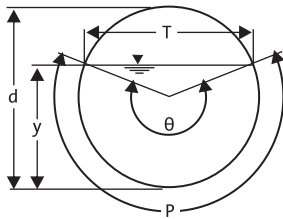
Diseño hidráulico

Para facilitar la selección del tipo y diámetro del tubo que permita el comportamiento hidráulico adecuado de la alcantarilla que se está proyectando instalar, se incluyen cinco tablas. Estas tablas contemplan los tres casos más comunes de usos para tubería de concreto:

- Alcantarillas para caminos y carreteras
- Alcantarillas en canales de riego o zanjas de drenaje
- Alcantarillado pluvial y sanitario

El cálculo de los parámetros que intervienen en el diseño se obtuvieron a partir de las definiciones y valores dados en la tabla 3.16, la cual presenta información útil para el diseño hidráulico de tuberías y mediante la aplicación de las fórmulas de Manning y de flujo crítico.

Tabla 3.16 Propiedades geométricas de los tubos



$$y = \text{profundidad} = \frac{1}{2}(1 - \cos(1/2\theta))d$$

$$A = \text{área} = \frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)d^2$$

$$P = \text{perímetro mojado} = \frac{1}{2}\theta d$$

$$R = \text{radio hidráulico} = \frac{1}{4}(1 - \frac{\sin\theta}{\theta})d$$

$$T = \text{ancho superficial} = \sin(1/2\theta)d$$

$$D = \text{profundidad media} = \frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)d \frac{\sin(1/2\theta)}{\theta}$$

$$d = \text{diámetro interior del tubo}$$

$\frac{y}{d}$	$\frac{A}{d^2}$	$\frac{P}{d}$	$\frac{R}{d}$	$\frac{T}{d}$	$\frac{D}{d}$	$\frac{AD^{1/2}}{d^{5/2}}$	$\frac{AR^{2/3}}{d^{8/3}}$	θ
0.02	0.0037	0.2838	0.0132	0.2800	0.0134	0.0004	0.0002	0.5676
0.04	0.0105	0.4027	0.0262	0.3919	0.0269	0.0017	0.0009	0.8054
0.06	0.0192	0.4949	0.0389	0.4750	0.0405	0.0039	0.0022	0.9899
0.08	0.0294	0.5735	0.0513	0.5426	0.0542	0.0069	0.0041	1.1470
0.10	0.0409	0.6435	0.0635	0.6000	0.0681	0.0107	0.0065	1.2870
0.12	0.0534	0.7075	0.0755	0.6499	0.0821	0.0153	0.0095	1.4150
0.14	0.0668	0.7670	0.0871	0.6940	0.0963	0.0207	0.0131	1.5340
0.16	0.0811	0.8230	0.0986	0.7332	0.1106	0.0270	0.0173	1.6461
0.18	0.0961	0.8763	0.1097	0.7684	0.1251	0.0340	0.0220	1.7526
0.20	0.1118	0.9273	0.1206	0.8000	0.1398	0.0418	0.0273	1.8546
0.22	0.1281	0.9764	0.1312	0.8285	0.1546	0.0504	0.0331	1.9528
0.24	0.1449	1.0239	0.1416	0.8542	0.1697	0.0597	0.0394	2.0479
0.26	0.1623	1.0701	0.1516	0.8773	0.1850	0.0698	0.0461	2.1403
0.28	0.1800	1.1152	0.1614	0.8980	0.2005	0.0806	0.0534	2.2304
0.30	0.1982	1.1593	0.1709	0.9165	0.2162	0.0921	0.0610	2.3186
0.32	0.2167	1.2025	0.1802	0.9330	0.2322	0.1044	0.0691	2.4051
0.34	0.2355	1.2451	0.1891	0.9474	0.2485	0.1174	0.0776	2.4901
0.36	0.2546	1.2870	0.1978	0.9600	0.2652	0.1311	0.0864	2.5740
0.38	0.2739	1.3284	0.2062	0.9708	0.2821	0.1455	0.0956	2.6569
0.40	0.2934	1.3694	0.2142	0.9798	0.2994	0.1605	0.1050	2.7389
0.42	0.3130	1.4101	0.2220	0.9871	0.3171	0.1763	0.1148	2.8202
0.44	0.3328	1.4505	0.2295	0.9928	0.3353	0.1927	0.1248	2.9010
0.46	0.3527	1.4907	0.2366	0.9968	0.3539	0.2098	0.1349	2.9814
0.48	0.3727	1.5308	0.2435	0.9992	0.3730	0.2276	0.1453	3.0616
0.50	0.3927	1.5708	0.2500	1.0000	0.3927	0.2461	0.1558	3.1416
0.52	0.4127	1.6108	0.2562	0.9992	0.4130	0.2652	0.1665	3.2216
0.54	0.4327	1.6509	0.2621	0.9968	0.4340	0.2850	0.1772	3.3018
0.56	0.4526	1.6911	0.2676	0.9928	0.4558	0.3055	0.1879	3.3822
0.58	0.4724	1.7315	0.2728	0.9871	0.4785	0.3268	0.1987	3.4630
0.60	0.4920	1.7722	0.2776	0.9798	0.5022	0.3487	0.2094	3.5443
0.62	0.5115	1.8132	0.2821	0.9708	0.5269	0.3713	0.2200	3.6263
0.64	0.5308	1.8546	0.2862	0.9600	0.5530	0.3947	0.2306	3.7092
0.66	0.5499	1.8965	0.2900	0.9474	0.5804	0.4190	0.2409	3.7931
0.68	0.5687	1.9391	0.2933	0.9330	0.6096	0.4440	0.2511	3.8781
0.70	0.5872	1.9823	0.2962	0.9165	0.6407	0.4700	0.2610	3.9646
0.72	0.6054	2.0264	0.2987	0.8980	0.6741	0.4971	0.2705	4.0528
0.74	0.6231	2.0715	0.3008	0.8773	0.7103	0.5252	0.2798	4.1429
0.76	0.6405	2.1176	0.3024	0.8542	0.7498	0.5546	0.2886	4.2353
0.78	0.6573	2.1652	0.3036	0.8285	0.7933	0.5854	0.2969	4.3304
0.80	0.6736	2.2143	0.3042	0.8000	0.8420	0.6181	0.3047	4.4286
0.82	0.6893	2.2653	0.3043	0.7684	0.8970	0.6528	0.3118	4.5306
0.84	0.7043	2.3186	0.3038	0.7332	0.9605	0.6903	0.3183	4.6371
0.86	0.7186	2.3746	0.3026	0.6940	1.0354	0.7312	0.3239	4.7492
0.88	0.7320	2.4341	0.3007	0.6499	1.1263	0.7769	0.3286	4.8682
0.90	0.7445	2.4981	0.2980	0.6000	1.2409	0.8294	0.3322	4.9962
0.92	0.7560	2.5681	0.2944	0.5426	1.3933	0.8923	0.3345	5.1362
0.94	0.7662	2.6467	0.2895	0.4750	1.6131	0.9731	0.3353	5.2933
0.96	0.7749	2.7389	0.2829	0.3919	1.9771	1.0895	0.3339	5.4778
0.98	0.7816	2.8578	0.2735	0.2800	2.7916	1.3060	0.3294	5.7156
1.00	0.7854	2.1416	0.2500	0.0000			0.3117	6.2832

$$Q = A (gD)^{1/2}$$

para flujo crítico

$$Q = (A R^{2/3} S^{1/2})/n$$

para flujo normal (Manning)

Siendo:

Q = caudal de diseño

$g = 9.8 \text{ m/s}$, aceleración de la gravedad

A = área hidráulica

D = profundidad hidráulica

R = radio hidráulico

S = pendiente de la tubería

D = diámetro interno del tubo

$n = 0.013$, coeficiente de rugosidad de Manning para tubos de concreto.

El valor de $n = 0.13$ es un valor de diseño que toma en cuenta la rugosidad propia del tubo y del sistema de alcantarillado con pozos u obstrucciones. El valor de laboratorio normalmente es de 0.09 a 0.10 y es igual al de otros sistemas de tuberías como PVC.

De acuerdo con estudios conducidos en la Universidad de Utah y publicados por la American Concrete Pipe Association (ACPA).

Alcantarillas para carreteras y caminos

Los valores de caudal y la pendiente crítica dados en la tabla 3.17, fueron calculados para las siguientes condiciones:

- Altura del nivel de agua a la entrada menor o igual a la altura de la corona del tubo.
- Control a la entrada: pendiente del tubo 15% mayor a la pendiente crítica (S_c).
- Salida debe estar libre (no sumergida).



Se recomienda:

Uso de tubos reforzados con un diámetro mayor o igual a 600 mm.

Caudal de diseño producido por tormenta con periodo de retorno de 5 años.

Fig. 3.21 Alcantarilla con control a la entrada

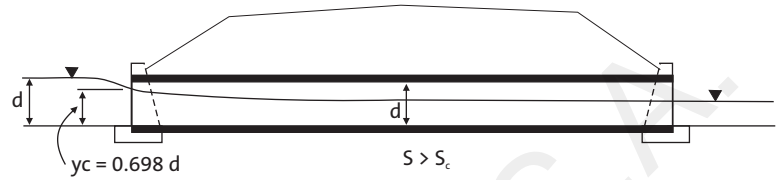


Tabla 3.17 Alcantarillas con nivel máximo del agua en la corona del tubo

Diámetro nominal (cm)	Diámetro interior (cm)	Caudal (m³/seg)	Área (m²)	Pendiente crítica (m/m)
10	10.2	0.005	0.0060	0.0113
15	15.2	0.013	0.0133	0.0099
20	20.3	0.026	0.0238	0.0090
25	25.4	0.046	0.0372	0.0083
30	30.5	0.073	0.0537	0.0078
30	30.0	0.070	0.0519	0.0079
40	40.0	0.144	0.0923	0.0071
50	50.0	0.252	0.1442	0.0066
60	60.0	0.397	0.2076	0.0062
70	70.0	0.584	0.2826	0.0059
80	80.0	0.816	0.3691	0.0057
90	90.0	1.090	0.4672	0.0054
100	100.0	1.420	0.5767	0.0053
120	120.0	2.250	0.8305	0.0050
137	137.2	3.140	1.086	0.0047
152	152.4	4.090	1.340	0.0046
168	167.6	5.180	1.620	0.0044
183	182.9	6.450	1.929	0.0043
213	213.4	9.480	2.626	0.0041

Notas: 1) $\theta_c = 3.01522$ (ángulo a profundidad crítica). 2) $y/d = 0.68862$ (corresponde a θ_c). 3) $n = 0.013$ (coeficiente de Manning).

En zonas con pendientes bajas a veces resulta difícil colocar el tubo a pendientes mayores que la crítica, los niveles de agua a la salida son altos y sumergen el tubo.

En estos casos varían algunos de los supuestos hechos para el caso anterior y la alcantarilla trabaja con control a la salida.

La tabla 3.18 permite seleccionar el tubo para estas condiciones de flujo para los diferentes tubos trabajando llenos y para varios gradientes hidráulicos (H/L).

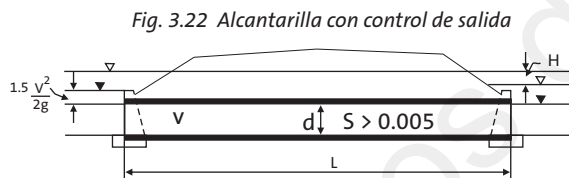
Tabla 3.18 Alcantarillas trabajando a tubo lleno

Diám. nom. (cm)	Diám. int. (cm)	Área (m ²)	Gradiente = 0.005			Gradiente = 0.01			Gradiente = 0.02			Gradiente = 0.03			Gradiente = 0.04		
			Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	1.5hv (m)
10	10.20	0.0082	0.004	0.471	0.017	0.005	0.666	0.034	0.008	0.942	0.068	0.009	1.15	0.102	0.011	1.33	0.136
15	15.20	0.0181	0.011	0.615	0.029	0.016	0.869	0.058	0.022	1.23	0.116	0.027	1.51	0.174	0.032	1.74	0.231
20	20.30	0.0324	0.024	0.746	0.043	0.034	1.05	0.085	0.048	1.49	0.170	0.059	1.83	0.255	0.068	2.11	0.340
25	25.40	0.0507	0.044	0.866	0.057	0.062	1.22	0.115	0.088	1.73	0.229	0.107	2.12	0.344	0.124	2.45	0.459
30	30.50	0.0731	0.071	0.978	0.073	0.101	1.38	0.146	0.143	1.96	0.293	0.175	2.40	0.439	0.202	2.77	0.586
30	30.00	0.0707	0.068	0.967	0.072	0.097	1.37	0.143	0.137	1.93	0.286	0.167	2.37	0.430	0.193	2.74	0.573
40	40.00	0.1257	0.147	1.17	0.105	0.208	1.66	0.210	0.295	2.34	0.420	0.361	2.87	0.631	0.417	3.31	0.841
50	50.00	0.1963	0.267	1.36	0.142	0.378	1.92	0.283	0.534	2.72	0.566	0.654	3.33	0.849	0.755	3.85	1.13
60	60.00	0.2827	0.434	1.54	0.180	0.614	2.17	0.361	0.868	3.07	0.722	1.06	3.76	1.08	1.23	4.34	1.44
70	70.00	0.3848	0.655	1.70	0.222	0.926	2.41	0.443	1.31	3.40	0.887	1.60	4.17	1.33	1.85	4.81	1.77
80	80.00	0.5027	0.935	1.86	0.265	1.32	2.63	0.530	1.87	3.72	1.06	2.29	4.56	1.59	2.64	5.26	2.12
90	90.00	0.6362	1.28	2.01	0.310	1.81	2.85	0.620	2.56	4.02	1.24	3.14	4.93	1.86	3.62	5.69	2.48
100	100.00	0.7854	1.70	2.16	0.357	2.40	3.05	0.713	3.39	4.32	1.43	4.15	5.29	2.14	4.80	6.11	2.85
120	120.00	1.131	2.76	2.44	0.455	3.90	3.45	0.909	5.51	4.88	1.82	6.75	5.97	2.73	7.80	6.89	3.64
137	137.20	1.478	3.94	2.67	0.544	5.57	3.77	1.09	7.88	5.33	2.17	9.65	6.53	3.26	11.1	7.54	4.35
152	152.40	1.824	5.21	2.86	0.625	7.37	4.04	1.25	10.4	5.72	2.50	12.8	7.00	3.75	14.7	8.09	5.00
168	167.60	2.206	6.72	3.05	0.710	9.50	4.31	1.42	13.4	6.09	2.84	16.5	7.46	4.26	19.0	8.61	5.68
183	182.90	2.627	8.48	3.23	0.798	12.0	4.57	1.60	17.0	6.46	3.19	20.8	7.91	4.79	24.0	9.13	6.38
213	213.40	3.577	12.8	3.58	0.980	18.1	5.06	1.96	25.6	7.16	3.92	31.3	8.76	5.88	36.2	10.1	7.84

Notas: 1) $n = 0.013$ (coeficiente de Manning) 2) V = velocidad a tubo lleno 3) $hv = V^2/2g$ ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$)

Alcantarillas en canales de riego o zanjas de drenaje

Los tubos de concreto se utilizan en estos casos para permitir el paso de peatones, animales o vehículos sobre el canal o la zanja.



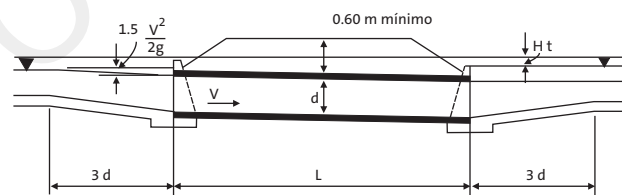
Condiciones

Tubo reforzado con diámetro mínimo $D = 600 \text{ mm}$. Se pueden considerar los dos siguientes casos generales:

1. Canal ya está construido. Para el tubo trabajando lleno o casi lleno, la velocidad de flujo en la alcantarilla no debe diferir mucho de la del canal.
2. Canal se está diseñando. Las pérdidas se compensan con diferencia de elevación en el canal. La velocidad de flujo para el tubo trabajando lleno no debe exceder:
 - 1.0 m/s en canales de tierra y zanjas
 - 1.5 m/s en canales revestidos

Para que el tubo trabaje lleno, la corona debe estar a $1.5V^2/2g$ bajo el nivel del agua del canal. Las pérdidas de carga (H_t) se estiman en $1.5V^2/2g$.

Fig. 3.23 Alcantarilla con control de entrada



Alcantarillado pluvial o sanitario

En alcantarillados pluviales el agua entra al alcantarillado en los pozos. El análisis de cada pozo se realiza utilizando el principio de cambio en la cantidad de movimiento. El valor $1.5 hv$ es el límite de la profundidad que alcanzará el agua en el pozo de registro a la entrada de cada alcantarilla por encima del nivel del agua en el tubo. El valor de $K = 1.5$ puede reducirse mediante el cálculo de las condiciones de flujo en cada pozo.

Cuando el número de Froude tiene un valor igual a 1.1, la alcantarilla tiene control a la entrada, es decir, la geometría y la profundidad del flujo en el pozo a la entrada del tubo determinan el caudal que fluye por la estructura.

Cuando el número de Froude es igual a 0.9, el control está a la salida, o sea que la pendiente del tubo y la profundidad del agua a la salida determinan el caudal que puede evacuar la alcantarilla.

En alcantarillados sanitarios, el agua entra al alcantarillado a lo largo de tubos y no en los pozos. Para ese caudal se puede seleccionar el tubo de la tabla 3.19, pero en este caso se recomienda colocar tapas en el fondo de los pozos y caídas tipo Ay A.

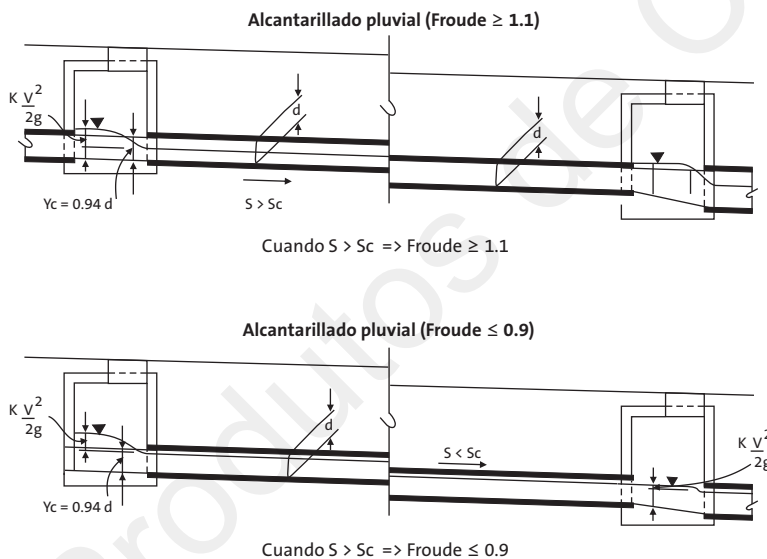
Esta misma tabla se puede usar directamente para seleccionar el tubo que, a una pendiente igual o mayor que la indicada, evacúe un caudal igual o mayor que el del diseño. Sirve tanto para alcantarillado pluvial como sanitario.

Tabla 3.19 Alcantarillas trabajando a la velocidad indicada y a tubo lleno

Diám. nom. (cm)	Diám. int. (cm)	Área (m ²)	Velocidad = 0.600			Velocidad = 1.00			Velocidad = 1.50			Velocidad = 3.00			Velocidad = 5.00		
			Caudal (m ³ /s)	Sf (m/m)%	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	Sf (m/m)%	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	Sf (m/m)%	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	Sf (m/m)%	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	Sf (m/m)%	1.5hv (m)
10	10.20	0.0082	0.005	0.8106	0.028	0.008	2.252	0.077	0.012	5.066	0.172	0.025	20.26	0.689	0.041	56.29	1.91
15	15.20	0.0181	0.011	0.4762	0.028	0.018	1.323	0.077	0.027	2.976	0.172	0.054	11.91	0.689	0.091	33.07	1.91
20	20.30	0.0324	0.019	0.3238	0.028	0.032	0.8994	0.077	0.049	2.024	0.172	0.097	8.095	0.689	0.162	22.49	1.91
25	25.40	0.0507	0.030	0.2402	0.028	0.051	0.6671	0.077	0.076	1.501	0.172	0.152	6.004	0.689	0.253	16.88	1.91
30	30.50	0.0731	0.044	0.1882	0.028	0.073	0.5227	0.077	0.110	1.176	0.172	0.219	4.704	0.689	0.365	13.07	1.91
30	30.00	0.0707	0.042	0.1924	0.028	0.071	0.5343	0.077	0.106	1.202	0.172	0.212	4.809	0.689	0.353	13.36	1.91
40	40.00	0.1257	0.075	0.1311	0.028	0.126	0.3641	0.077	0.188	0.8192	0.172	0.377	3.277	0.689	0.628	9.102	1.91
50	50.00	0.1963	0.118	0.0973	0.028	0.196	0.2704	0.077	0.295	0.6084	0.172	0.589	2.434	0.689	0.982	6.760	1.91
60	60.00	0.2827	0.170	0.0763	0.028	0.283	0.2120	0.077	0.424	0.4771	0.172	0.848	1.908	0.689	1.41	5.301	1.91
70	70.00	0.3848	0.231	0.0622	0.028	0.385	0.1727	0.077	0.577	0.3885	0.172	1.15	1.554	0.689	1.92	4.316	1.91
80	80.00	0.5027	0.302	0.0520	0.028	0.503	0.1445	0.077	0.754	0.3251	0.172	1.51	1.300	0.689	2.51	3.612	1.91
90	90.00	0.6362	0.382	0.0445	0.028	0.636	0.1235	0.077	0.954	0.2779	0.172	1.91	1.111	0.689	3.18	3.087	1.91
100	100.00	0.7854	0.471	0.0386	0.028	0.785	0.1073	0.077	1.18	0.2414	0.172	2.36	0.9658	0.689	3.93	2.683	1.91
120	120.00	1.131	0.679	0.0303	0.028	1.13	0.0842	0.077	1.70	0.1893	0.172	3.39	0.7574	0.689	5.65	2.104	1.91
137	137.20	1.478	0.887	0.0253	0.028	1.48	0.0704	0.077	2.22	0.1584	0.172	4.44	0.6335	0.689	7.39	1.760	1.91
152	152.40	1.824	1.09	0.0222	0.028	1.82	0.0612	0.077	2.74	0.1377	0.172	5.47	0.5507	0.689	9.12	1.530	1.91
168	167.60	2.206	1.32	0.0194	0.028	2.21	0.0539	0.077	3.31	0.1213	0.172	6.62	0.4851	0.689	11.0	1.348	1.91
183	182.90	2.627	1.58	0.0173	0.028	2.63	0.0480	0.077	3.94	0.1079	0.172	7.88	0.4318	0.689	13.1	1.199	1.91
213	213.40	3.577	2.15	0.0141	0.028	3.58	0.0391	0.077	5.37	0.0879	0.172	10.7	0.3515	0.689	17.9	0.9764	1.91

Notas: 1) $n = 0.013$ (coeficiente de Manning) 2) Sf = pérdidas por fricción por metro (%) 3) hv = carga de velocidad ($V^2/2g$) 4) Velocidad en metros por seg.

Fig. 3.24 Detalle de alcantarillado pluvial



Velocidades máximas y mínimas recomendadas

La velocidad en tubería se puede determinar por medio de la fórmula:

$$V = 1/n R^{2/3} S^{1/2}$$

En las tuberías de concreto la velocidad máxima se controla más que todo por un tema de durabilidad.

Cuando la velocidad es muy alta puede generar cavitación y dependiendo de las características de los sólidos disueltos en el agua un problema de erosión.

Así mismo la velocidad del efluente en alcantarillas de carreteras o caminos debe controlarse por un tema de erosión del suelo circundante a la salida de esta.

Usualmente la velocidad máxima recomendada en tuberías de concreto es de hasta 6 m/s aunque AYA la solicita mantener en 5 m/s.

Por otro lado, la velocidad mínima en una tubería está relacionada con el arrastre de sólidos y permitir una autolimpieza de esta. Bajo este criterio se define que se debe tener una fuerza de arrastre de por lo menos 1 N/m² (aprox 0.6 m/s en los casos usuales).

Otro punto que controla la velocidad mínima es un tema de aereación del efluente en alcantarillados sanitarios para prevenir la formación de sulfuros y la corrosión de la tubería.

El proceso de corrosión se da por la transformación de los sulfatos presente en las aguas negras a sulfuro de hidrógeno por la bacteria *Concretivorius* la cual se desarrolla en medios anaeróbicos y da origen al ácido sulfúrico que corroe la superficie de concreto.

Los medios de evitar la producción de la bacteria es controlando el pH del agua, el contenido de oxígeno y la velocidad del flujo.

Los valores sugeridos para las velocidades mínimas de aguas residuales en función de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se muestra en la tabla 3.21.

Tabla 3.20 Características de los tubos trabajando a 0.94 del diámetro

Diámetro nominal (cm)	Diámetro interior (cm)	Área (0.94) (m ²)	2/3 AR (m ⁸ /3)	Número de Froude = 1.10				Número de Froude = 0.90			
				Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	Sf (m/m)	1.5 hv (m)	Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	Sf (m/m)	1.5 hv (m)
10	10.20	0.0088	0.0008	0.010	1.29	0.0348	0.009	0.009	1.14	0.0280	0.100
15	15.20	0.0177	0.0022	0.027	1.57	0.0305	0.025	0.025	1.40	0.0246	0.149
20	20.30	0.0316	0.0048	0.057	1.82	0.0277	0.051	0.051	1.61	0.0223	0.199
25	25.40	0.0494	0.0087	0.099	2.03	0.0257	0.089	0.089	1.80	0.0207	0.249
30	30.50	0.0713	0.0141	0.156	2.23	0.0242	0.141	0.141	1.98	0.0195	0.299
30	30.00	0.0690	0.0135	0.150	2.21	0.0210	0.277	0.135	1.96	0.0169	0.294
40	40.00	0.1226	0.0291	0.308	2.55	0.0190	0.484	0.277	2.26	0.0153	0.392
50	50.00	0.1915	0.0528	0.538	2.85	0.0177	0.605	0.485	2.53	0.0142	0.490
60	60.00	0.2758	0.0859	0.849	3.13	0.0166	0.726	0.764	2.77	0.0134	0.588
70	70.00	0.3754	0.1295	1.25	3.38	0.0158	0.847	1.12	2.99	0.0127	0.686
80	80.00	0.4903	0.1849	1.74	3.61	0.0151	0.968	1.57	3.20	0.0122	0.784
90	90.00	0.6206	0.2532	2.34	3.83	0.0145	1.09	2.11	3.39	0.0117	0.882
100	100.00	0.7662	0.3353	3.05	4.04	0.0140	1.21	2.74	3.58	0.0113	0.980
120	120.00	1.103	0.5452	4.81	4.42	0.0132	1.45	4.32	3.92	0.0106	1.18
137	137.20	1.442	0.7793	6.72	4.73	0.0216	1.66	6.04	4.19	0.0102	1.34
152	152.40	1.779	1.031	8.73	4.98	0.0122	1.84	7.86	4.42	0.00980	1.49
168	167.60	2.152	1.329	11.1	5.22	0.0118	2.03	9.97	4.63	0.0095	1.64
183	182.90	2.563	1.677	13.8	5.46	0.0115	2.21	12.4	4.84	0.0092	1.79
213	213.40	3.489	2.531	20.3	5.89	0.0109	2.58	18.2	5.23	0.0088	2.09

Notas:1) $n = 0.013$ (para tubos menores que 30 cm)2) $n = 0.014$ (para tubos mayores que 30 cm)3) V = velocidad (para $F = 1.1$ se calculó a 0.9178 d)4) $h_v = V^2/2g$ (para $F = 1.1$ se calculó a $y = 0.94 d$)5) S_f = pendiente de fricción (para $F = 1.1$ se calculó a $y = 0.9178 d$)6) Si la caída $K V^2/2g$ en el pozo es grande (>45 cm) se recomienda utilizar la caída y pozo tipo AyA.

Tabla 3.21 Velocidad mínima de aguas residuales

DBO efectiva	Velocidad mínima real
m/l	m/s
Hasta 225	0.50
de 226 a 350	0.65
de 351 a 500	0.75
de 501 a 690	0.90
de 691 a 900	1.00

Desde el punto de vista de corrosión si no fuera posible controlar la velocidad mínima a los valores recomendados se puede recurrir a modificar las características de las tuberías de concreto aumentando el recubrimiento, utilizando agregados calcáreos, cemento puzolánico, con revestimientos de polietileno o con aditivos integrales o externos que inhiben el desarrollo de la bacteria.

3.7 Instalación

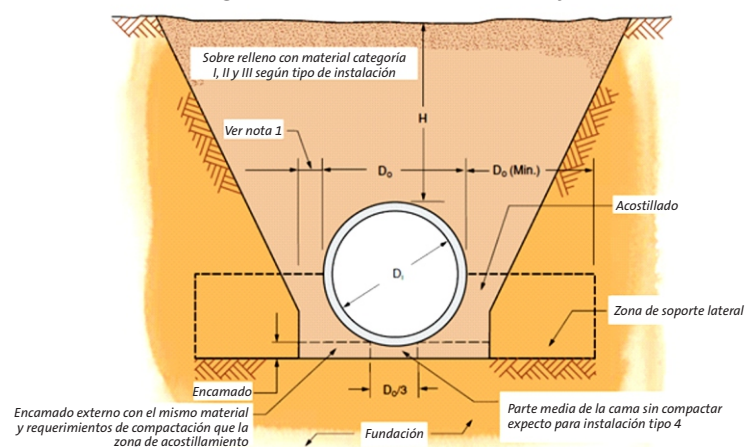
Configuraciones de instalación

Cuando se instalan tuberías se pueden tener las cuatro posibles configuraciones que se muestran en la Fig. 3.19, pero las más usuales se ilustran en la Fig. 3.25.

En estas configuraciones se tiene:

- La tierra en el área de la zanja desde la fundación al eje de la tubería del tubo proporciona un soporte importante al tubo y reduce el esfuerzo del tubo.
- Un encamado suelto sin compactar directamente bajo el inverso del tubo reduce significativamente la tensión y el esfuerzo del tubo.
- Los materiales de instalación y los niveles de compactación debajo del eje de la tubería tienen un efecto importante en los requerimientos estructurales del tubo.

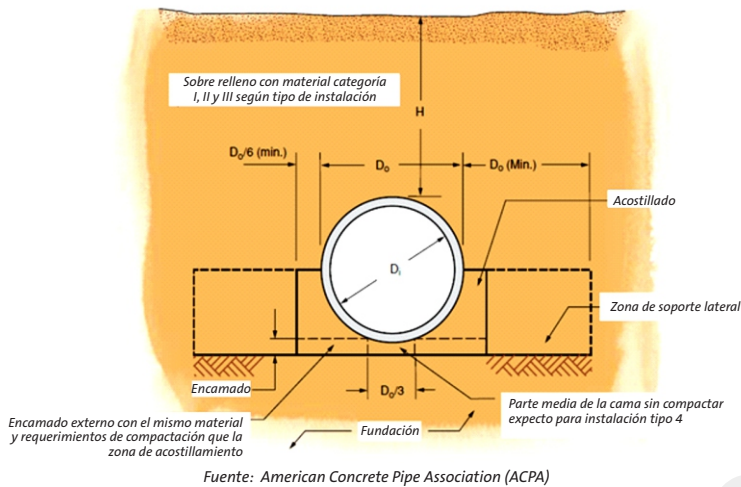
Fig. 3.25 Instalación en trinchera o zanja



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

- El suelo, las secciones del encamado y del área del acostillado que están directamente bajo el tubo son difíciles de compactar.
- El nivel de compactación del suelo directamente arriba del acostillado, del eje de la tubería del tubo a la parte superior del lomo del tubo, tiene un efecto insignificante sobre la tensión del tubo. La compactación del suelo en esta área no es necesaria a menos que sea requerida para la estructura del pavimento.

Fig. 3.26 Instalación en terraplén en proyección positiva



- El suelo en el encamado exterior, el acostillado, y las zonas soporte lateral, excepto dentro de $D_o/3$ del eje de la tubería del tubo, deberán de compactarse a cuando menos el mismo nivel de compactación que para la mayor parte del suelo en la zona de relleno.
- Cuando se realizan subzanjas, su parte superior debe de estar por lo menos a $0.1 H$ del nivel de referencia o del relleno terminado. Cuando se trate de caminos esta distancia debe ser por lo menos de 30 cm por debajo del material base del pavimento.
La subzanja en terreno natural se usa en una instalación en terraplén para retener el material de la cama.
- El ancho mínimo de una subzanja debe ser de $1.33 D_o$, o mayor si así se requiere para un espacio adecuado con la finalidad de alcanzar la compactación especificada en las zonas del acostillado y el encamado.
- Para las subzanjas con paredes de suelo natural, cualquier porción de la zona de soporte lateral que quede en la zona de la subzanja deberá estar tan firme como un suelo equivalente colocado con los requerimientos de compactación especificados para la zona de soporte lateral y tan firme como la mayor parte del suelo en la zona de relleno, o deberá ser removido y reemplazado con un suelo compactado al nivel especificado.
- Cuando se considera una instalación en trinchera la parte superior de esta no debe estar a más de $0.1 H$ del nivel de referencia terminado y en carreteras a no más de 30 cm debajo de la base del pavimento.
- Para las paredes de la zanja que están a 10 grados de la vertical, no se necesita considerar la compactación o firmeza del suelo en la zona de las paredes de la zanja y en la zona de soporte lateral.

- Para las paredes de zanja con inclinaciones mayores a 10 grados que consisten de terraplén, el lado de soporte lateral deberá compactarse a cuando menos la misma compactación que la especificada para el suelo en la zona de relleno.

Los anchos mínimos de zanja se muestran en la Tabla 3.22. Estos están basados en 1.25 veces el diámetro externo de la tubería mas 300 mm.

Tabla 3.22 Anchos mínimos de zanja

Diámetro de la tubería mm	Ancho de zanja mm
100	470
150	540
200	600
250	680
300	800
375	910
450	1020
525	1100
600	1200
675	1300
825	1600
900	1700
1050	1900
1200	2100
1350	2300
1500	2500
1650	2800
1800	3000
1950	3200
2100	3400
2250	3600
2400	3900

Preparación de la zanja

Realizar el corte del terreno de manera segura, tomando en cuenta el tipo de suelo, la profundidad de la excavación y el ademe correspondiente.

En el caso de terrenos arcillosos o margosos de fácil meteorización, si fuese absolutamente imprescindible dejar abierta la zanja por tiempo prolongado, se deberá dejar sin excavar unos veinte centímetros sobre la rasante, para realizar su acabado en el momento de la instalación de la tubería.

Se debe excavar hasta la línea de la rasante siempre que el terreno sea uniforme; si quedan al descubierto elementos rígidos, tales como piedras, rocas, etc., será necesario excavar por debajo de la rasante para efectuar un relleno posterior, manteniendo la capacidad portante del terreno.

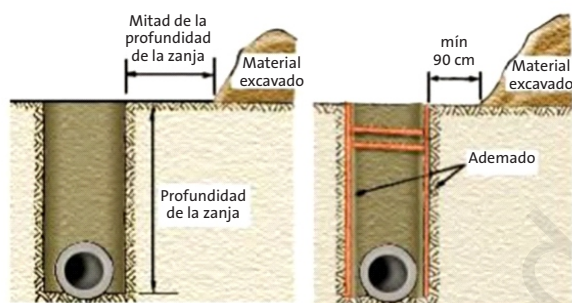
De ser preciso efectuar voladuras para las excavaciones, en general en poblaciones, se adoptarán precauciones para la protección de personas o propiedades, siempre de acuerdo con la legislación vigente. Teniendo cuidado de nivelar y compactar el fondo de la zanja.

El material procedente de la excavación se apila lo suficientemente alejado del borde de las zanjas para evitar el desmoronamiento de estas o que los desprendimientos puedan poner en peligro a los trabajadores. Se recomienda ubicarlo a una distancia del borde de la mitad de la profundidad de la zanja o 2 m para zanjas no adomadas y 0.9 m para zanjas adomadas (Fig. 3.27).

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.

La cama de apoyo se debe construir de acuerdo con los lineamientos de la sección anterior y dejar previsto el bajo relieve necesario para alojar la campana.

Fig. 3.27 Colocación de la tierra excavada

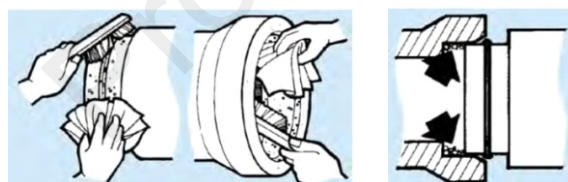


Colocación del tubo

a. Limpiar los extremos de los elementos

Eliminar cualquier suciedad o materia extraña en la campana o en la "espiga", que pueda impedir a la junta de neopreno cumplir su función (Fig. 3.28).

Fig. 3.28 Limpieza de espiga y campana



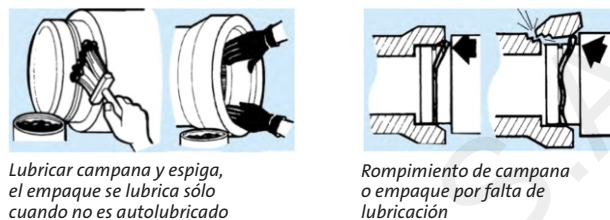
La suciedad
obstaculiza
la correcta unión

Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

b. Lubricar la campana y el empaque

Cuando se utilizan empaques no autolubricados tipo gota u "oring" y no se lubrica bien la campana, puede ocurrir que la junta de goma se pegue, causando algunas veces el resquebrajamiento de la campana o que el empaque quede ubicado fuera de su posición.

Fig. 3.29 Instalación de empaques no autolubricados

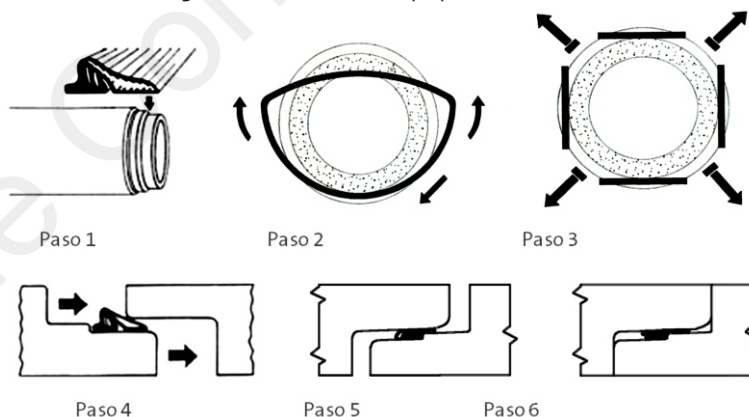


Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

En lo que respecta al empaque se debe tener en cuenta la recomendación del fabricante de la tubería, por cuando el espacio anular para acomodar dicho empaque es crucial para lograr la hermeticidad deseada y no quebrar la tubería.

Por el mejor desempeño y facilidad constructiva el empaque que se recomienda utilizar en la mayoría de los casos es el empaque autolubricado de la figuras 3.12 y 3.30.

Fig. 3.30 Instalación de empaque autolubricado



c. Alinear la tubería

Si la campana y la "espiga" no están niveladas o no han sido cuidadosamente alineadas, el empaque tiende a salirse causando una fuga o el agrietamiento de la campana.

Fig. 3.31 Tuberías mal alineadas

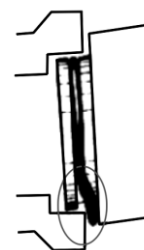


Fig. 3.32 Mala práctica de instalación de tuberías



d. Colocación de la tubería

Usar una máquina para empujar y conectar tubos o para colocarlos en el suelo, puede ejercer demasiada presión ocasionando su rotura o agrietamiento.

Para diámetros menores (< 600 mm) el empuje de la tubería puede realizarse de manera manual, colocando un soporte de madera que reparte la fuerza de empuje en varios puntos de la circunferencia.

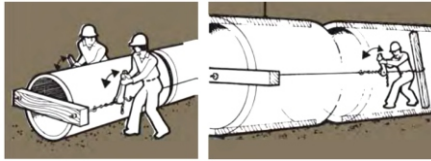
Fig. 3.33 Instalación manual de tuberías de diámetros menores



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

En el caso de diámetros mayores, se entraba una pieza de madera uno o dos tubos hacia atrás en la línea de tubería ya instalada, se une a esa pieza un cable de acero con un tecele para ajustar la posición del tubo.

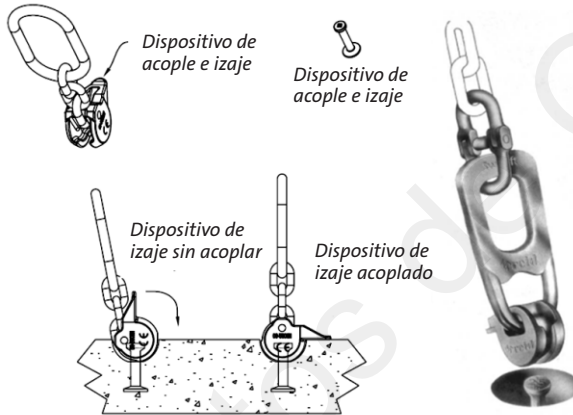
Fig. 3.34 Instalación de tuberías de diámetros mayores



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

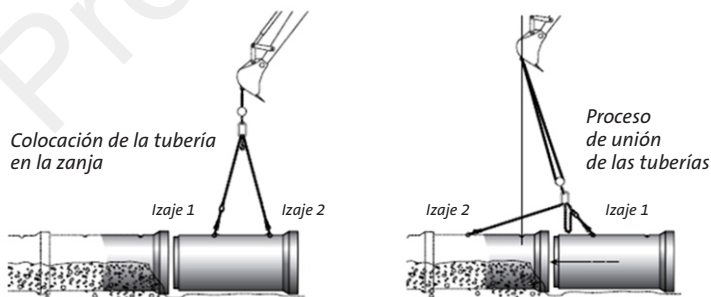
Dependiendo del tipo de tubería y si cuenta con el tipo de izaje por medio de pin de la Fig. 3.35, se puede utilizar para el proceso de instalación.

Fig. 3.35 Dispositivos de izaje y acople



Este sistema permite izar la tubería como se ilustra en la Fig. 3.36 y por medio del mismo aparejo y con un movimiento de la retroexcavadora hacer la unión de las tuberías.

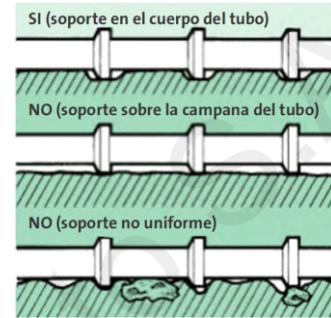
Fig. 3.36 Unión de tuberías por medio de sistema de izaje Lifting Eye



e. Soportar correctamente la campana

Cuando no se ha cavado bien el hueco para la campana, esta o el tubo en su totalidad pueden agrietarse o romperse. En la Fig. 3.37 se muestra la forma correcta e incorrecta de soportar la campana.

Fig. 3.37 Soporte adecuado de la campana en tuberías

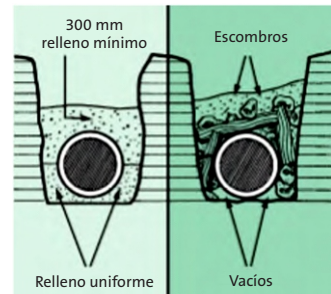


Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

f. Relleno de la zanja

- Rellenar y compactar con medios ligeros hasta completar a la mitad del tubo.
- El material de relleno no debe tener presencia de escombros o material orgánico.
- Realizar el relleno lateral alternando, para evitar desplazamientos del tubo.

Fig. 3.38 Relleno adecuado



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

Seguridad en trabajos de instalación de tuberías

Los riesgos más comunes para el personal:

- Desprendimiento de tierras
- Caída de personas a distinto nivel
- Caídas de personas al interior de la zanja
- Enterramientos accidentales
- Atrapamientos de personas por la maquinaria, los vehículos de obra y los derivados por interferencias con conducciones enterradas, inundaciones, 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 debe conocer ampliamente los riesgos asociados al trabajo.
- Contar con una escalera sólida para el acceso y salida de una zanja, anclada en el borde superior de la zanja y apoyada sobre una superficie sólida de reparto de cargas. La escalera debe sobrepasar en 1 m el borde de la zanja. No se debe escalar por los ademes de la excavación para salir.
- Para pasar por encima de una zanja se deben instalar pasarelas adecuadas.
- Los acopios (tierras, materiales, etc.) deben ubicarse a una distancia del borde de la mitad de la profundidad de la zanja o 2 m para zanjas no ademadas y 0.9 m para zanjas ademadas.
- Cuando la profundidad de una zanja sea igual o superior a los 2 m se protegerán los bordes de coronación mediante una barandilla (pasamanos, listón intermedio y rodapié) situada a una distancia mínima de 2 m del borde.
- Si los trabajos requieren iluminación fija se efectuará mediante torres aisladas con toma de tierra, en las que se instalarán proyectores de intemperie, alimentados a través de un panel eléctrico general de obra.
- Si los trabajos requieren iluminación portátil, la alimentación de las lámparas se efectuará a 24 V. Los equipos portátiles estarán provistos de rejilla protectora y de carcasas o mangos aislados eléctricamente.
- En caso de taludes que deban quedar estables durante largo tiempo, se debe colocar protección adecuada para control de erosión y estabilidad.
- 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 realizan excavaciones 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.

- Las zanjas deben estar rodeadas de un bordillo que puede ser prefabricado o conformado en el terreno, 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 ademes sin un plan preestablecido por el profesional responsable, ya que entonces el ademe restante no necesariamente cuenta con suficiente resistencia para impedir un derrumbe.

En lo que se refiere al equipo de protección personal se debe utilizar como mínimo: casco, gafas, cinturón de seguridad, guantes de cuero, botas de seguridad, botas de goma, ropa de trabajo, traje para ambientes húmedos o lluviosos y protectores auditivos.

Frecuencia en las inspecciones de las excavaciones:

- Se revisarán los ademes tras la interrupción de los trabajos (receso nocturno o de más de dos horas) antes de reanudarse estos de nuevo.
- Diariamente antes de cada turno de trabajo.
- Según sea necesario durante cada turno de trabajo.
- Después de llover o de cualquier otro acontecimiento que pueda elevar los riesgos (por ejemplo, el que vehículos o equipos se acerquen al borde de una excavación).

Las inspecciones deben ser realizadas por una persona competente que:

- Haya recibido adiestramiento en el análisis de suelo.
- Haya recibido adiestramiento en el uso de sistemas de protección.
- Tenga la autoridad y conocimiento para eliminar riesgos inmediatamente.

3.8 Almacenaje y manipuleo

Transporte y recepción del producto

Transporte

- El transporte de los tubos se debe realizar sin provocar daños al producto.
- Los tubos se aseguran de manera que se impida el movimiento, acomodándolos en estibas con campanas alternas y calzado sobre piezas de madera que eviten el contacto de las campanas con la superficie de apoyo.

Recepción

Sin bajar el producto del camión:

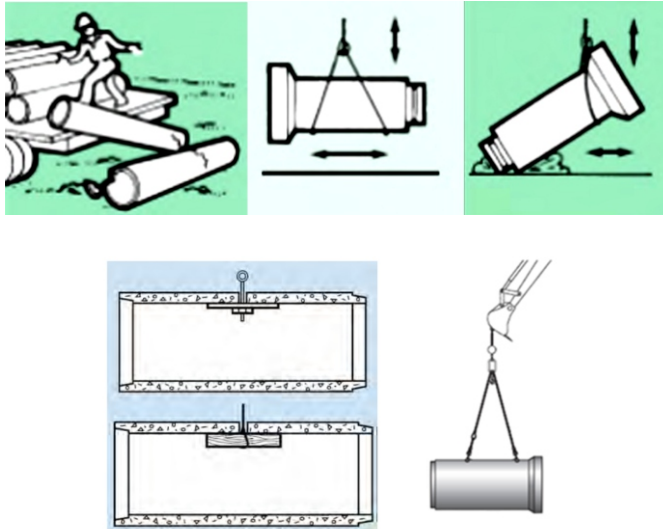
- Comprobar la cantidad y el tipo de tubería contra la orden de entrega.
- Inspeccionar el producto, si existen grietas visibles, estas no deben extenderse a través de la pared y la anchura no debe ser superior a 0,15 mm.

Descarga del producto

- Las tuberías deben levantarse por medios mecánicos. No deben ser "empujados" o lanzados.

- En la descarga utilizando equipo, el izado se debe realizar del cuerpo para no dañar los bordes del elemento y se puede realizar con cadenas o eslingas.
- Cuando el levantamiento se realiza con excavadoras o retroexcavadoras, la carga de seguridad del equipo no debe ser superada.

Fig. 3.39 Descarga e izaje adecuado



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

Almacenamiento

Aunque las tuberías son fuertes, los extremos son particularmente susceptibles a los daños. Por lo tanto, es importante al apilar tuberías tener en cuenta:

- Ubicar el producto lo más cercano del sitio de instalación en el lado opuesto a las tierras de excavación. Considerar que cuente con el espacio disponible para manipular la tubería.
- El sitio de descarga debe estar nivelado, libre de escombros o lodo, tener capacidad para soportar el peso de las tuberías a apilar.
- Colocar los tubos en grupos de un mismo diámetro.
- Para almacenamiento en varias hiladas, ubicar parales verticales y calzas a los extremos de la primera hilada de tubos para prevenir desplazamientos.
- En piso de concreto, ubicar piezas de madera bajo la tubería para evitar el contacto de la campana con la superficie de apoyo.
- En piso de lastre, excavar bajo las campanas para evitar su apoyo.
- La hilada siguiente se colocará de tal manera que todas las campanas estén al mismo lado y sobresalgan los machos de la hilada anterior (espigas y campanas alternas).

Tabla 3.23 Carga máxima de tubería ASTM C76 clase III por tipo de transporte

Diámetro Nominal mm	Lu mm	Lt mm	W Kg	T mm	Pick Up u	Mediano u	Camión u	Tándem u	Trailer u
300	2500	2590	213	406	13	24	42	63	115
400	1250	1340	349	520	12	12	26	39	70
	2500	2590	551	510	5	5	16	24	44
500	1250	1340	393	640	9	9	23	34	62
	2500	2590	760	615	5	5	12	18	32
600	1250	1340	517	750	5	5	18	26	47
	2500	2590	995	720	3	3	9	13	25
700	1250	1340	678	870	5	5	13	20	36
	2500	2590	1306	825	3	3	7	10	19
800	1250	1340	857	930	3	3	9	16	26
	2500	2590	1656	948	1	1	5	6	11
	2500	2590	1714	930	1	1	5	6	11
900	1250	1340	997	1100	2	2	8	12	20
	2500	2590	1937	1054	1	1	4	6	10
	2500	2590	1994	1035	1	1	4	6	10
1000	2500	2600	2195	1220	1	1	4	5	9
1200	2500	2600	3239	1450	1	1	3	4	7
	2500	2615	3122.1	1450	1	1	3	4	7
1350	2500	6368.65	3868.65	1629	1	1	3	3	5
1370	2000	2120	2304	1652	1	1	3	4	7
1500	2500	7174	4674	1803	1	1	2	2	4
1520	1250	1370	2449	1828	1	2	3	4	6
1520	2000	2120	3902	1828	1	1	2	3	6
1680	1250	1350	3126	2006	1	2	3	3	6
1800	2500	2500	6519	2153		1	1	1	3
1830	1250	1350	3458	2184		1	2	3	5
2130	1250	1350	4546	2540			2	2	4
2440	1250	1350	6000	2900			1	2	4

- Por seguridad se recomienda no tener estibas mayores de 1.8 m.
- Los empaques deben ser almacenados en un lugar fresco, seco y oscuro, manteniéndolos libres de polvo, grasas, aceites y principalmente los rayos del sol.

Tabla 3.24 Peso máximo por tipo de transporte utilizado

Transporte	Peso máximo kg
Pick Up	4674
Mediano	6519
Camión	11606
Tándem	13712
Trailer	24875

Fig. 3.40 Almacenamiento adecuado



Apoyo en la parte recta



Apoyo en la campana

