



Holcim Modular Solutions fabrica tuberías de concreto con y sin refuerzo, utilizando el sistema de prensa radial “Packer Head” y el vibrocompactado, con un estricto control de calidad.

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

La siguiente es una lista de tuberías y las normas correspondientes:

- Tubos de concreto sin refuerzo para alcantarillado (INTE C314, ASTM C14, AASHTO M86).
- Tubos de concreto reforzado para alcantarillado (INTE C376, ASTM C76, AASHTO M170).
- Tuberías especiales, pozos, alcantarillas de cuadro, tuberías para hincado, tuberías no circulares (ASTM C361, ASTM C478, ASTM C655, ASTM C1433, ASTM C985, 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.



Figura 1.1 Máquina de vibrocompactado tipo Multicast 250.

CAPÍTULO 1

TUBERÍAS DE CONCRETO

1.1 Ventajas de las tuberías de concreto

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

a) Instalación

- Se instalan con facilidad
- No presentan problemas de flotación
- Constituyen un sistema rígido, en el que un 85 % de la resistencia es aportado por la tubería y solo un 15 % por el material de relleno. Esto permite garantizar el 85 % de la resistencia del sistema desde antes de llegar al sitio de construcción.
- Ofrecen mayor seguridad para el personal del proceso constructivo.
- Presentan 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 las deflexiones producidas por la superficie de apoyo, las cargas externas y el sismo.
- Son menos susceptibles a los daños durante 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 fabricado con otros materiales, ambos requieren maquinaria especializada para su instalación cuando se trata de los diámetros más comunes.

b) Durabilidad

- Son resistentes al fuego. En caso de incendios urbanos o forestales, el tubo de concreto garantiza su funcionamiento y estabilidad.
- Soportan aguas agresivas mediante recubrimientos especiales o aditivos.
- Como son 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

- Resisten esfuerzos cortantes o movimientos verticales
- Resisten la infiltración y la exfiltración
- Cumplen con la normativa mediante 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 pueden medirse con precisión.

d) Sostenibilidad

- Se fabrican con materiales naturales locales
- Son inocuas para la salud de las personas y el medio ambiente
- La fabricación de las tuberías requiere poca energía y el material es 100 % reciclable
- Dejan una menor huella de carbono que otros tipos de tubería
- Son amigables con el ambiente, tanto por el material del que están hechas como por su forma de producción y su desempeño una vez instaladas
- No emiten desechos tóxicos durante su fabricación o funcionamiento y tampoco liberan contaminantes en caso de incendio.
- Permiten implementar diversas estrategias que ayudan a obtener la certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design).

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

e) Economía

Si se evalúa todo su ciclo de vida, el sistema resulta económico, considerando el costo inicial, la vida útil del material, el costo de mantenimiento, el costo de reemplazo, el valor de rescate, la seguridad y el desempeño.

f) Versatilidad

- Pueden adoptar otras formas además de las circulares, dependiendo de las necesidades.
- Se adaptan a distintos requerimientos de operación e instalación.

1.2 Tipos de tuberías

Tubos sin refuerzo

INTE C314, ASTM C14, AASHTO M86

Las tuberías de concreto sin refuerzo ASTM C14 se fabrican en tres clases: I, II y III. La más utilizada es la I, mientras que la II y III se fabrican bajo pedido.

En la tabla 1.1 se muestra la resistencia mínima requerida para cada tipo según ASTM C14.

Estas tuberías generalmente se utilizan en conducciones con rellenos de altura moderada y sus usos principales son:

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

Tabla 1.1 Requerimientos físicos y dimensiones de las tuberías C14

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 metro lineal de tubería por milímetro de diámetro.

Tubos con refuerzo

INTE C376, ASTM C76, AASHTO M170

Las tuberías de concreto con refuerzo ASTM C76 se fabrican en cinco clases: I, II, III, IV y V. La que se utiliza con mayor frecuencia es la III, mientras que las restantes se fabrican bajo pedido.

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

Estas tuberías son aptas para situaciones que requieren mayores diámetros o mayor resistencia estructural que la ASTM C14, tales 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 en las que la falla estructural puede poner en riesgo la vida humana o la propiedad (las tuberías de concreto reforzado, aún después de haber fallado, retienen su forma y no colapsan).

Tuberías y accesorios especiales

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



Figura 1.2 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 C361

Las tuberías de concreto con refuerzo ASTM C361 se fabrican por pedido y se utilizan para la conducción de fluidos con una carga hidrostática máxima de 375 kPa (38 m carga de agua).

INTE C250, ASTM C478, AASHTO M199, EN1917

Pozos de inspección para sistemas de tuberías circulares o rectangulares.

Los pozos estándar (figura 1.3) se pueden fabricar en diversos diámetros internos, desde 1,20 m hasta 2,44 m. Los largos de las piezas componentes son de 1,25 m, 2,50 m y piezas de ajuste.

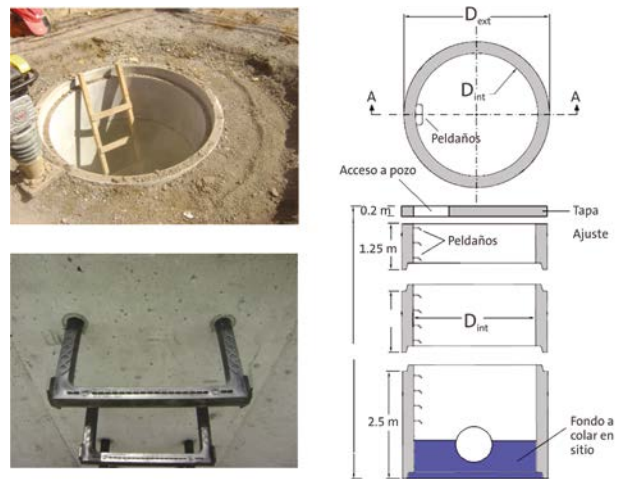


Figura 1.3 Pozo estándar

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

Dependiendo de las condiciones del sitio o la profundidad del pozo, se pueden suministrar pozos para hincar que 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 construir en 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 se hacen en una pieza o en dos, dependiendo del diámetro.
- El sistema requiere del uso de bentonita y maquinaria de excavación tipo almeja.

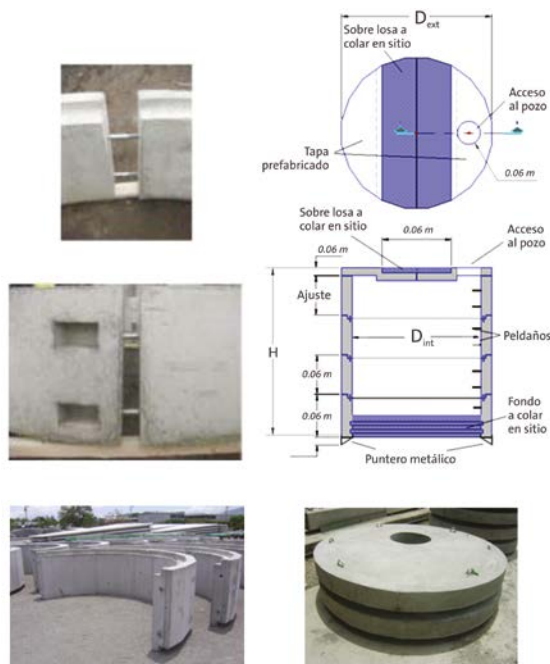


Figura 1.4 Ejemplo de pozo hincado

INTE C239, ASTM C655

Las tuberías de concreto con refuerzo ASTM C655 se fabrican bajo pedido para cargas de diseño particulares no cubiertas en las normas ASTM C76, ASTM C361 e INTE C229. Normalmente se usan para alcantarillas o colectores pluviales.

INTE C249 ASTM C789, ASTM C1577, AASHTO M259, AASHTO M273

Alcantarillas de cuadro para pasos a desnivel, cruce de carreteras o alcantarillas. Sus tamaños varían de acuerdo con los requerimientos, desde 0,90 x 0,60 m hasta 3,60 x 3,60 m.



Figura 1.5 Sistema de alcantarillas de cuadro

INTE C258, ASTM C985

Las tuberías de concreto sin refuerzo ASTM C985 se fabrican bajo pedido para cargas de diseño particulares no cubiertas en las normas INTE C314 y ASTM C14. Normalmente se usan para alcantarillas o colectores pluviales.

INTE C255/EN1916/ASCE 27

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

Las tuberías hincadas (figura 1.6) aparecen en el país por primera vez en el Proyecto de Subcolector San Miguel en Desamparados, y sus principales ventajas son:

- 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



Figura 1.6 Tubería de concreto para hincar

El tamaño, espesor y tipo de junta de la tubería dependerán de las condiciones específicas del suelo, la distancia entre los pozos y el sistema de hincado que se utilice.

En la figura 3.7 se muestra el proceso general de hincado, que 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 en una en el pozo de lanzamiento y con un gato hidráulico se empuja a la sección de tubería, que a su vez impulsa a la máquina tuneladora.

En el sistema que se muestra, la tierra disuelta sale por medio 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, del 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 y del uso o no de estaciones intermedias de hincado, entre otros factores.



Figura 1.7 Sistema de hincado

ASTM C506, ASTM C507, AASHTO M206, AASHTO M207

Tuberías elípticas para alcantarillado pluvial o sanitario.

1.3 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. Las tablas 1.3 y 1.4 muestran la geometría para los diámetros menores o iguales a 1200 mm y las tablas 3.5 y 3.6 los tubos para tuberías mayores a 1200 mm.

Las dimensiones se presentan solo como referencia y pueden variar por aspectos de producción o desmolde.

Los pesos indicados corresponden a tuberías clase III, según ASTM C76 con pared tipo B.

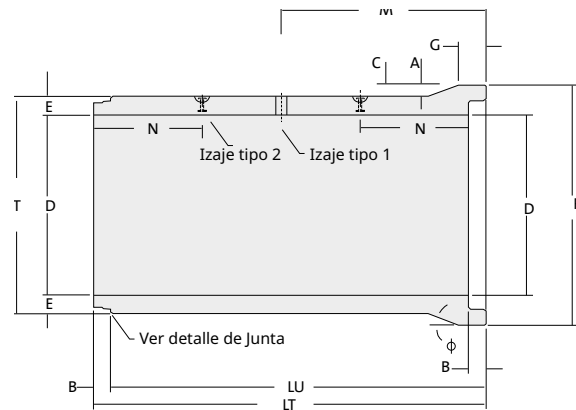


Figura 1.8 Geometría de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 m

Tabla 1.3 Dimensiones de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 mm												
Diámetro nominal	L	Lt	W	A	B	C	D	E	F	G	T	Φ
mm	mm	mm	Kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	grados
300	1250	1340	213	52	90	105	300	53	510	130	406	30
400	1250	1340	344	50	90	110	400	60	620	130	520	30
	2500	2590	551	50	90	110	400	60	620	130	520	30
500	1250	1340	393	45	90	115	500	70	730	150	640	30
	2500	2590	760	45	90	115	500	70	730	150	640	30
600	1250	1340	517	45	90	120	600	75	840	150	750	30
	2500	2590	995	45	90	120	600	75	840	150	750	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	990	30
	2500	2590	1714	35	90	130	800	95	1060	180	990	30
900	1250	1340	997	35	90	135	900	100	1170	180	1100	30
	2500	2590	1994	35	90	135	900	100	1170	180	1100	30
1000	2500	2600	2195	30	10	140	1000	110	1280	190	1220	30
	1200	2500	2615	3430	80	11	205	1200	125	1610	150	1450

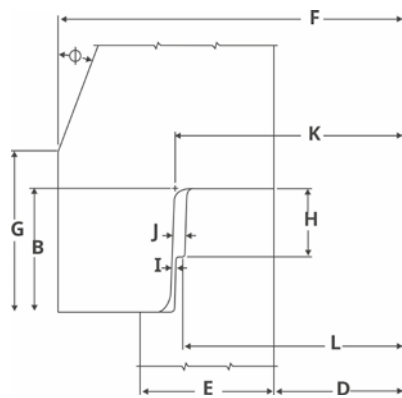


Figura 1.9 Geometría de las juntas de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 m

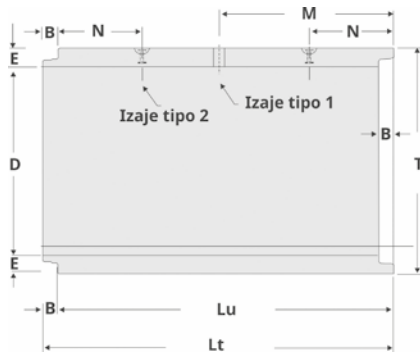


Figura 1.10 Geometría de las tuberías con diámetros mayores a 1200 m

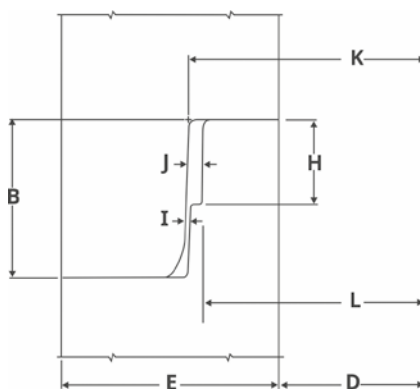


Figura 1.11 Geometría de las juntas de tuberías para diámetros mayores a 1200 mm

Tabla 1.4 Dimensiones de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 mm										
Diámetro nominal	G	H	I	J	K	L	M	N	Izaje tipo 1	Izaje tipo 2
mm	mm	mm	Kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
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

Tabla 1.6 Dimensiones de las juntas de tuberías para diámetros mayores a 1200 mm										
Diámetro nominal	H	I	J	K	L	M	N	Izaje tipo 1	Izaje tipo 2	Empaque
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			
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 construidas bajo la norma ASTM C14 se fabrican normalmente como clase I, mientras que las clases II y III se hacen bajo pedido (esta última en general hasta de 700 mm). Para otros diámetros o clases, consultar al Departamento de Ingeniería.

Las tuberías que siguen la norma ASTM C76 se fabrican normalmente en clase II o III. Bajo pedido se fabrican la clase IV hasta 1800 mm y la clase V hasta 1200 mm. Para otros diámetros o clases, consultar al Departamento de Ingeniería.

Uniones para tuberías de concreto

Para las tuberías de concreto existe 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 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 hidrostática de trabajo mínima de 9 kPa, según la norma ASTM C443

La cantidad de uniones que utilizan las tuberías de concreto, normalmente considerada una desventaja desde el punto de vista de las tuberías metálicas o plásticas, constituye en realidad una ventaja para muchos tipos de instalaciones. Esto se debe a que un mayor número de uniones permite mantener el alineamiento y la pendiente con mayor facilidad, así como acomodar los esfuerzos y deflexiones producidas por la superficie de apoyo, las cargas externas y los sismos.



Figura 1.12 Empaque de neopreno con lubricación

En la actualidad, una de las uniones más utilizadas para las condiciones de alcantarillado es la de neopreno SBR con lubricación, que facilita la instalación. Este tipo de junta se muestra en la figura 1.12 y cumple con las normas INTE C249, ASTM C443, AASHTO M198, INTE C244, ASTM C1628, INTE C256 y ASTM C1619.

La junta de neopreno SBR con lubricación se usa internacionalmente y en Costa Rica ha sido desarrollada mediante la colaboración de la empresa Terramix y el ingeniero Guido Quesada, quien asesora en la parte de análisis estructural tanto de la tubería como del empaque.

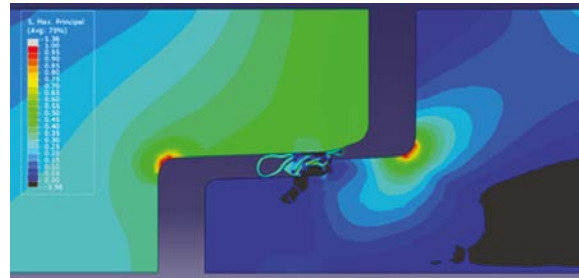


Figura 3.13 Análisis estructural de la junta con empaque auto lubricado. Fuente: Ing. Guido Quesada y Terramix

Para tuberías que trabajan con presión se dispone especialmente de juntas confinadas con empaques redondos. Para tuberías en las que es indispensable garantizar la impermeabilidad, se utilizan juntas metálicas con o sin registro de presión, tal y como se muestra en la figura 1.14.

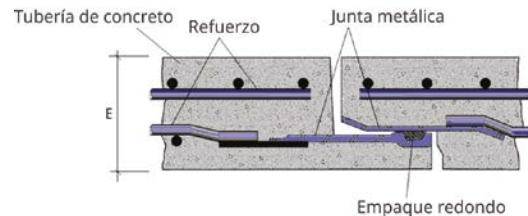


Figura 1.14 Junta metálica para presión

En las tuberías hincadas, la junta depende de los requerimientos del cliente y la máquina de hincado y puede ser tres formas diferentes, como se muestra en la figura 1.15:

- 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.



Figura 1.15 Tipos de juntas para tubería hincada

1.4 Alcantarillas de cuadro

Las alcantarillas de cuadro se fabrican según los lineamientos de las normas ASTM C1433, ASTM C1677, ASTM C1479 y ASTM C1577.

En la figura 3.16 se muestran las características geométricas de las alcantarillas y en la figura 3.17 el detalle de la junta.

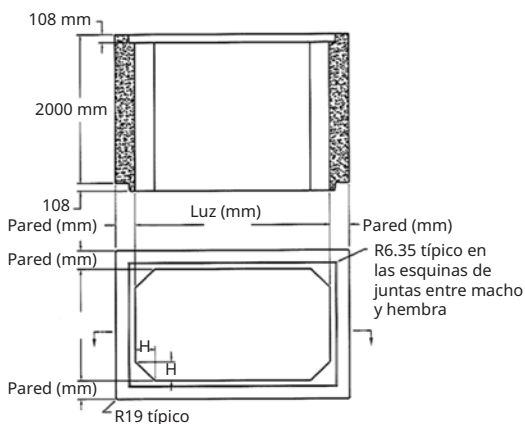


Figura 1.16 Geometría de las alcantarillas de cuadro

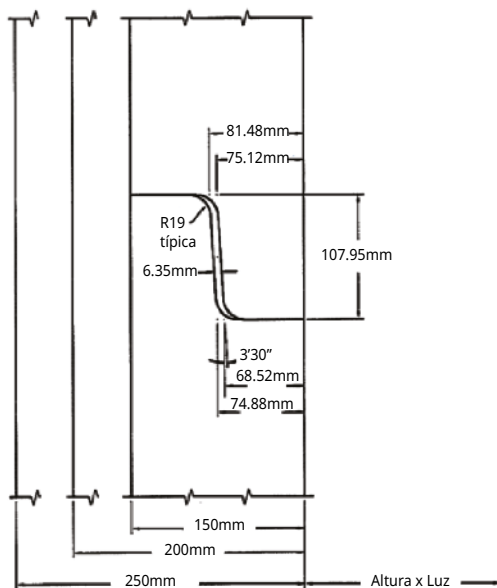


Figura 1.17 Geometría de la junta de alcantarillas de cuadro

Las alcantarillas de cuadro están disponibles para cubrir luces de 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m ó 3,0 m. Las configuraciones geométricas se presentan en la tabla 1.7.

Tabla 1.7 Dimensiones de las alcantarillas de cuadro			
Luz (mm)	Altura (mm)	Pared (mm)	H (mm)
1500	1000 / 1500	150 / 200 / 250	250
2000	1000 / 1500 / 2000	150 / 200 / 250	250
2500	1000 / 1500 / 2000 / 2500	150 / 200 / 250	250
3000	1000 / 1500 / 2000 / 2500 / 3000	150 / 200 / 250	250

1.5 Pruebas

A las tuberías se les realizan diversas pruebas que comprenden los siguientes elementos:

- 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 les realizan pruebas periódicas para garantizar que cumplan las siguientes normas:

- INTE C15, equivalente a ASTM C33
- INTE C58, equivalente a ASTM C29
- INTE C49, equivalente a ASTM C117
- INTE C68, idéntica a ASTM C127
- INTE C69, idéntica a ASTM C128
- INTE C46, idéntica a ASTM C136
- INTE C147 (RTCR 479:2015)
- INTE C71, equivalente a ASTM C566

Tanto los agregados como el cemento provienen de las mejores fuentes, lo que representa un factor adicional de calidad.

Los materiales son dosificados por peso en planta y bajo 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 las normas INTE C19 (ASTM C31) e INTE C39 (ASTM C39) para determinar la resistencia del concreto utilizado para la fabricación de los tubos PC. La resistencia se prueba en los propios laboratorios de la empresa para garantizar que sea adecuada para el manipuleo de los tubos, previamente al período correspondiente a la cura húmeda en patio.

Aceros

El acero utilizado para los tubos PC reforzados es importado y cumple con las normas INTE C402 (ASTM A1064) e INTE C401 (ASTM A706), 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 Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), mediante la prueba INTE C403 (ASTM A370).

b) Pruebas sobre tubos individuales

Una vez que los tubos han sido fabricados, se llevan a cabo pruebas de calidad sobre muestras de cada lote de producción para asegurar que cumplan con la norma INTE C238 (ASTM C497), que contempla los siguientes aspectos:

Prueba de tres aristas

Esta prueba se realiza cargando la tubería en forma diametral (figura 3.18) y registrando la carga, en la que se produce una grieta longitudinal de 0,3 mm de ancho y 1,5 mm de espesor en una distancia de 30 mm. La carga se expresa en Newtons por metro de longitud por milímetro de diámetro.

Tras alcanzar esta carga, existe la opción de llevar la tubería hasta la carga última, en la que se forman cuatro articulaciones en la tubería creando un mecanismo de falla.

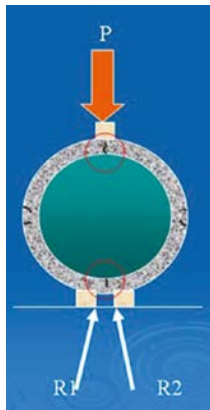


Figura 1.18 Prueba de tres aristas según INTE C238 (ASTM C497)

Absorción

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

Permeabilidad

Esta prueba mide si hay un flujo de agua a través de la tubería cuando está llena de agua y sin presión durante 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 los 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 ellas sino también el empaque. Las normas que se deben verificar son INTE C231 (ASTM C443), INTE C238 (ASTM C497), INTE C256 (ASTM C1619) e INTE C244 (ASTM C1628).

Prueba hidrostática

En esta prueba se somete un tubo o dos, si se desea probar también el empaque y la hermeticidad de la junta, a una presión de 90 Kpa durante 10 minutos para las tuberías tipo INTE C314 (ASTM C14) e INTE C376 (ASTM C76) (figura 1.19). Si bien las tuberías trabajan a gravedad, se analiza el caso en el que se obstruyen y trabajan a presión.



Figura 1.19 Ensamble y medición de la prueba hidrostática

En el caso de las tuberías cubiertas por la norma INTE C237 (ASTM C361), se prueban tanto estas como las juntas a un 120 de la presión especificada por 20 minutos.

Prueba de cortante de la junta

De acuerdo con la norma INTE C237 (ASTM C443), las juntas de la tubería deben someterse a una prueba de cortante para asegurar su capacidad estructural ante cargas diferenciales (figura 1.20).

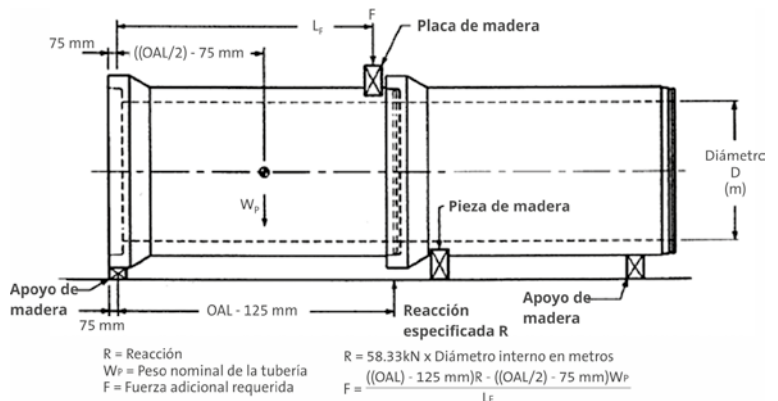


Figura 1.20 Prueba de cortante de la junta

1.6 Normas y estándares aplicables a las tuberías de concreto

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

- INTE C376 (ASTM C76) Tubos de concreto con refuerzo para alcantarillas y alcantarillado sanitario y pluvial. Requisitos.
- INTE C231 (ASTM C443) Juntas flexibles para tuberías de concreto y pozos de inspección, con el uso de empaques de hule.

Requisitos

- INTE C238 (ASTM C497) Métodos de ensayo para tubos y secciones de pozos de inspección prefabricados en concreto.
- INTE C239 (ASTM C655) Construcción. Tubos de concreto reforzado para alcantarillado pluvial o sanitario sometido a una carga específica. Especificaciones.
- INTE C240 (ASTM C822) Definiciones estándar de términos relacionados con tubería de concreto y productos afines.
- INTE C244 (ASTM C1628) Construcción. Juntas para tubería de concreto para alcantarillado a flujo por gravedad, usando empaques de caucho. Especificaciones.
- INTE C236 (ASTM C1417) Construcción. Tubos de concreto reforzado para alcantarillas y alcantarillado sanitario y pluvial fabricados según el método de diseño directo. Especificaciones.
- INTE C251 (ASTM C923) Norma para conectores elásticos entre estructuras de pozos de inspección de concreto reforzado, tubos y laterales.
- INTE C248 (ASTM C1577) Secciones rectangulares monolíticas prefabricadas de concreto reforzado utilizadas en alcantarillas, alcantarillado pluvial y sanitario, diseñadas de acuerdo con AASHTO LRFD.
- INTE C255 (BS 5911-1) Especificación para fabricación de tuberías de concreto reforzado para hincado (pipe jacking).
- INTE C257 (ASTN C1765) Construcción. Tubería de concreto reforzada con fibra de acero para alcantarillas, alcantarillado pluvial y sanitario. Especificaciones.
- INTE C147 Construcción. Cemento hidráulico. Requisitos.
- INTE C402 (ASTM A 1064) Alambre de acero al carbono liso y corrugado, y mallas electrosoldadas para refuerzo de concreto.
- INTE C314 (ASTM C14) Tubos de concreto sin refuerzo para alcantarillas y alcantarillado sanitario y pluvial.
- INTE C19 (ASTM C31) Práctica para hacer y curar especímenes de concreto para ensayo en el campo.
- INTE C39 (ASTM C39) Construcción. Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto. Método de ensayo.
- INTE C47 (ASTM C42) Método de ensayo para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas acerradas de concreto.

Normas internacionales relacionadas

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

- ASTM C31 Standard Test Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.
- ASTM C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C42 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.
- ASTM C260 Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete.

- ASTM C309 Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete.
- ASTM C361 Standard Specification for Reinforced Concrete Low-Head Pressure Pipe.
- ASTM C443/AASHTO M198 Standard Specification for Joints for Circular Concrete Sewer and Culvert Pipe, Using Rubber Gaskets.
- ASTM C444 Standard Specification for Perforated Concrete Pipe.
- ASTM C478/AASHTO M199 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Manhole Sections.
- ASTM C494M Specification for Chemical Admixtures for Concrete.
- ASTM A496 Specification for Steel Wire, Deformed, for Concrete Reinforcement.
- ASTM C497 Standard Test Methods for Concrete Pipe, Manhole Sections, or Tile.
- ASTM C506/AASHTO M206 Standard Specification for Reinforced Concrete Arch Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM C507/AASHTO M207 Standard Specification for Reinforced Concrete Elliptical Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM C595 Specification for Blended Hydraulic Cements.
- ASTM A615M Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement.
- ASTM C618 Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete.
- ASTM C655 Standard Specification for Reinforced Concrete D-Load Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM A706 Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement.
- ASTM C822 Standard Definitions of Terms Relating to Concrete Pipe and Related Products.
- ASTM C877 External Sealing Bands for Non-Circular Concrete Sewer, Storm Drain and Culvert Pipe.
- ASTM C890 Standard Practice for Minimum Structural Design Loading for Monolithic or Sectional Precast Concrete Water and Wastewater Structures.
- ASTM C913 Standard Specification for Precast Concrete Water and Wastewater Structures.

- ASTM C923 Resilient Connectors Between Reinforced Concrete Manhole Structures and Pipes.
- ASTM C969 Infiltration and Exfiltration Acceptance Testing of Installed Precast Concrete Pipe Sewer Lines.
- ASTM C985 Non-Reinforced Concrete Specified Strength Culvert, Storm Drain and Sewer Pipe Lines.
- ASTM C989 Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars.
- ASTM C990 Standard Specification for Joints for Concrete Pipe, Manholes, and Precast Box Sections Using Preformed Flexible Joint Sealants.
- ASTM C1017M Specification for Chemical Admixtures for use in Producing Flowing Concrete.
- ASTM C1103 Standard Practice for Joint Acceptance Testing of Installed Precast Concrete Pipe Sewer Lines.
- ASTM C1116 Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete.
- ASTM C1131 Standard Practice for Least Cost (Life Cycle) Analysis of Concrete Culvert, Storm Sewer, and Sanitary Sewer Systems.
- ASTM C1214 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 C1417 Standard Specification for Manufacture of Reinforced Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe for Direct Design.
- ASTM C1433/AASHTO M259/AASHTO M273 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Monolithic Box Sections for Culverts, Storm Drains, and Sewers.
- ASTM 1479 Standard Practice for Installation of Precast Concrete Sewer, Storm, Drain, and Culvert Pipe Using Standard Installations.
- ASTM C1577 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Monolithic Box Sections for Culverts, Storm Drains, and Sewers Designed According to AASHTO LRFD.
- ASTM C1619 Standard Specification for Elastomeric Seals for Joining Concrete Structures.
- ASTM C1628 Standard Specification for Joints for Concrete Box, Using Rubber Gaskets.
- ASTM C1675 Standard Practice for Installation of Precast Reinforced Concrete Monolithic Box Sections for Culverts, Storm Drains, and Sewers.
- ASTM C1677 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Box Sections for Culverts.
- 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 26 Standard Practice for Direct Design of Buried Precast Concrete Box Sections.
- 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.

1.7 Aspectos de diseño

a) Diseño estructural

La teoría clásica para determinar las cargas de suelo sobre las tuberías de concreto, publicada en 1930, fue desarrollada por A. Marston. Este autor presentó sus propuestas para tuberías colocadas en zanjas angostas (trench) en suelo natural, tuberías en terraplén (embankment) o sobre el nivel del terreno natural que seguidamente se cubren.

En 1933, M. G. Spangler presentó 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 depende de dos factores:

- El 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 esta actúa.

Aun cuando el trabajo de Marston y Spangler es conservador y da buenos resultados, sus conceptos de diseño tienen 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. El estudio 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. A su vez, esto tuvo como resultado el desarrollo de cuatro tipos de instalaciones estándar y un programa simplificado denominado Diseño Directo con Instalaciones Estándares o SIDD (ASCE 15).

Este desarrollo reemplazó las históricas condiciones de apoyo o camaras tipo A, B, C y D usadas en el método indirecto de diseño y supuso grandes ventajas, ya que se puede escoger entre diferentes niveles de compactación y suelos, lo que permite analizar la opción más económica para cada sitio de proyecto y el acarreo o no de material selecto.

Terminología y condiciones de instalación

En la figura 1.21 se muestra la terminología general y los elementos que conforman la estructura de soporte en la instalación de tuberías de concreto.

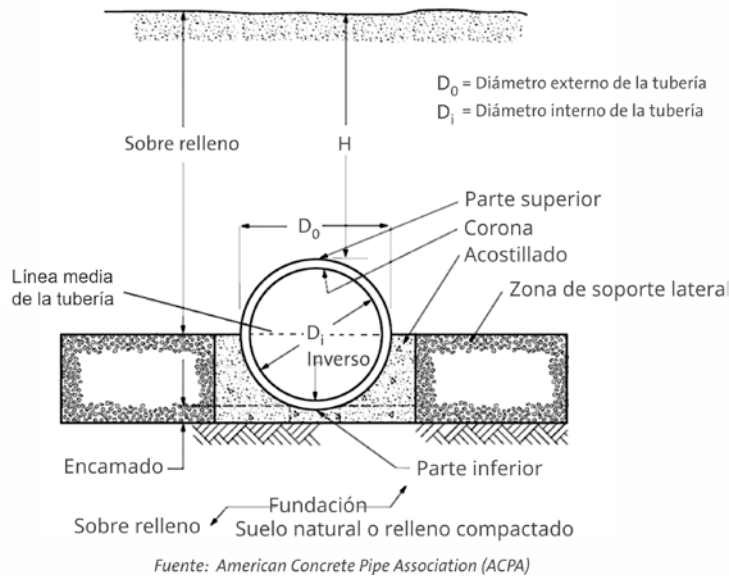


Figura 1.21 Terminología de la instalación de la tubería de concreto

De acuerdo con la altura del relleno o la forma de la zanja en la que se coloca la tubería, se pueden tener cuatro condiciones de instalación que determinan en gran medida la carga muerta que soportará la tubería (figura 1.22).

Estas condiciones van desde la más crítica hasta la menos crítica: instalación en terraplén o relleno en proyección positiva, instalación en terraplén o relleno en proyección negativa, instalación en trinchera e instalación hincada.

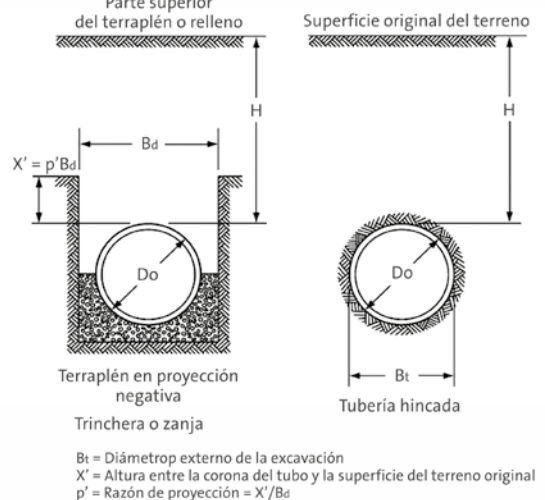
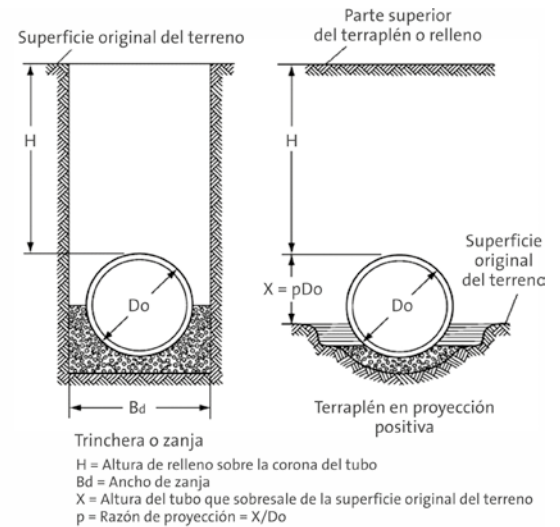
Tipos de instalación estándar

La instalación estándar se clasifica en cuatro tipos, según el material y su compactación, lo que define el grado de rigidez de la cama de apoyo y el 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 1.8 y 1.9).

Los tipos de instalación se muestran en la tabla 1.10 y están correlacionados con los factores de arco o de carga determinados por el estudio de ACPA (figura 1.23), utilizando una distribución de presiones tipo Heger.

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



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

H = Altura de relleno sobre la corona del tubo

B_d = Ancho de zanja

X = Altura del tubo que sobresale de la superficie original del terreno

p = Razón de proyección = X/D_0

B_t = Diámetro externo de la excavación

X' = Altura entre la corona del tubo y la superficie del terreno original

p' = Razón de proyección = X'/B_d

Figura 1.21 Condiciones típicas de instalación

tanto, la instalación tipo 4 requiere poco esfuerzo constructivo o de inspección.

La decisión sobre el tipo de instalación que se hará es de tipo económico, tomando en cuenta los materiales, la mano de obra y los equipos con que cuente el proyecto; así como la tubería que se desee utilizar, ya que entre menor sea la calidad de la instalación, mayor resistencia deberá tener la tubería.

Tabla 1.8 Sistema unificado de clasificación de suelos		
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 1.9 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)	A1, A3	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	GC, SM, SC o cualquier suelo que comience con alguna de estas categorías y que contengan más del 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)	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)
			CL	Arcilla 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	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)
			CL	Arcilla 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	MH	Limo de baja 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

Tabla 1.10 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 90% Proctor Estándar Suelo categoría II al 95% 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 interactúan en una tubería son el peso propio, el peso del agua, las cargas vivas en el proceso constructivo o en operación durante la vida útil de la estructura.

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

Tabla 1.11 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

El factor de encamado se obtiene al dividir la resistencia obtenida en el laboratorio en una prueba de tres aristas y la obtenida experimentalmente en el campo.

La carga viva es producto de los vehículos o camiones, trenes o aviones que transitan sobre o

Tabla 1.12 Factor de seguridad según tipo de tubería

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

Nota: Se puede interpretar linealmente para cargas de grieta

Tipo de instalación	VAF	HAF
1	1.35	0.45
2	1.40	0.40
3	1.40	0.37
4	1.45	0.30

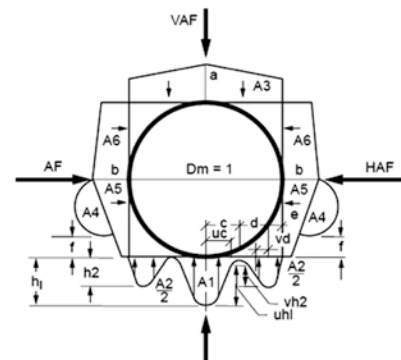


Figura 1.23 Condiciones típicas de instalación

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, en las que la condición constructiva no rige el diseño ni requiere cargas especiales como la de aviones o trenes, la carga viva es despreciable a partir de los 3 m de profundidad. La configuración y el tipo de carga que rigen entre 0 y 3 m de profundidad se muestran en la tabla 1.10. 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 que depende del tipo de tubería y de su diámetro (tabla 1.12). 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 obtiene la demanda, que se compara con las capacidades dadas en las tablas 1.1 y 1.2 para las tuberías INTE C14 (ASTM C14) e INTE C376 (ASTM C76), respectivamente.

Para más información sobre la forma de determinar las cargas de diseño según el tipo de carga, configuración e instalación utilizando el método indirecto, se puede consultar el Concrete Pipe Design Manual (2011) de la 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 el 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 tablas que se presentan a continuación.

En la cabecera de la tabla se da información general sobre las tuberías utilizadas, el tipo de instalación, las cargas y cualquier otro supuesto de análisis. En su lado izquierdo se muestra 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 3.12, se muestra cuál sería el tipo de tubería a utilizar, según corresponda bajo la norma INTE C376 (ASTM C76) o INTE C314 (ASTM C14).

Las tablas para el cálculo de las demandas y la selección de tuberías son las tablas 1.13, 1.14, 1.15 y 1.16, que se presentan en las siguientes páginas de este capítulo.

Tabla 1.13 Profundidades de instalación para tuberías clase C14 sin carga viva															
Instalación Tipo I															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	2.48	4.66	6.85	9.04	11.22	13.41	15.60	17.79	19.97	22.16	24.35	26.53	28.72	30.91	33.09
375	2.51	4.67	6.82	8.98	11.14	13.30	15.46	17.62	19.78	21.94	24.10	26.25	28.41	30.57	32.73
450	2.56	4.71	6.87	9.02	11.17	13.32	15.47	17.63	19.78	21.93	24.08	26.24	28.39	30.54	32.69
525	2.62	4.77	6.92	9.08	11.23	13.38	15.53	17.68	19.83	21.98	24.13	26.28	28.43	30.58	32.74
600	2.69	4.85	7.00	9.16	11.32	13.47	15.63	17.79	19.94	22.10	24.26	26.41	28.57	30.72	32.88
675	2.77	4.93	7.10	9.27	11.43	13.60	15.77	17.93	20.10	22.27	24.43	26.60	28.77	30.93	33.10
750	2.85	5.03	7.22	9.40	11.58	13.76	15.95	18.13	20.31	22.50	24.68	26.86	29.04	31.23	33.41
825	2.94	5.14	7.33	9.53	11.73	13.93	16.13	18.33	20.53	22.72	24.92	27.12	29.32	31.52	33.72
900	3.03	5.24	7.46	9.68	11.89	14.11	16.33	18.54	20.76	22.98	25.20	27.41	29.63	31.85	34.06
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	35.28	37.47	39.66	41.84	44.03	46.22	48.40	50.59	52.78	54.97	57.15	59.34	61.53	63.71	65.9
375	34.89	37.05	39.21	41.37	43.53	45.69	47.84	50.00	52.16	54.32	56.48	58.64	60.80	62.96	65.12
450	34.84	37.00	39.15	41.30	43.45	45.60	47.76	49.91	52.06	54.21	56.37	58.52	60.67	62.82	64.97
525	34.89	37.04	39.19	41.34	43.49	45.64	47.79	49.94	52.09	54.24	56.4	58.55	60.70	62.85	65.00
600	35.04	37.19	39.35	41.51	43.66	45.82	47.98	50.13	52.29	54.45	56.6	58.76	60.91	63.07	65.23
675	35.26	37.43	39.60	41.76	43.93	46.10	48.26	50.43	52.60	54.76	56.93	59.10	61.26	63.43	65.6
750	35.59	37.77	39.96	42.14	44.32	46.50	48.69	50.87	53.05	55.23	57.42	59.60	61.78	63.96	66.15
825	35.92	38.12	40.31	42.51	44.71	46.91	49.11	51.31	53.51	55.71	57.90	60.10	62.30	64.50	66.70
900	36.28	38.50	40.71	42.93	45.15	47.37	49.58	51.80	54.02	56.23	58.45	60.67	62.88	65.10	67.32
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	9.45	9.75	10.06	10.36	10.67	10.97	11.28	11.58	11.89	12.19	12.50	12.80	13.11	13.41	13.72
300	68.09	70.28	72.46	74.65	76.84	79.02	81.21	83.40	85.59	87.77	89.96	92.15	94.33	96.52	98.71
375	67.28	69.43	71.59	73.75	75.91	78.07	80.23	82.39	84.55	86.71	88.87	91.02	93.18	95.34	97.50
450	67.13	69.28	71.43	73.58	75.73	77.89	80.04	82.19	84.34	86.50	88.65	90.80	92.95	95.10	97.26
525	67.15	69.30	71.45	73.60	75.75	77.90	80.06	82.21	84.36	86.51	88.66	90.81	92.96	95.11	97.26
600	67.38	69.54	71.70	73.85	76.01	78.17	80.32	82.48	84.63	86.79	88.95	91.10	93.26	95.42	97.57
675	67.76	69.93	72.10	74.26	76.43	78.60	80.76	82.93	85.09	87.26	89.43	91.59	93.76	95.93	98.09
750	68.33	70.51	72.70	74.88	77.06	79.24	81.43	83.61	85.79	87.97	90.16	92.34	94.52	96.70	98.89
825	68.90	71.10	73.29	75.49	77.69	79.89	82.09	84.29	86.49	88.69	90.88	93.08	95.28	97.48	99.68
900	69.54	71.75	73.97	76.19	78.40	80.62	82.84	85.05	87.27	89.49	91.71	93.92	96.14	98.36	100.57

Tabla 1.13 Profundidades de instalación para tuberías clase C14 sin carga viva (continuación)

Instalación Tipo II															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.305	0.610	0.914	1.219	1.524	1.829	2.134	2.438	2.74	3.048	3.355	3.658	3.962	4.267	4.572
300	3.53	6.65	9.77	12.89	16.00	19.12	22.24	25.36	28.48	31.60	34.72	37.83	40.95	44.07	47.19
375	3.59	6.68	9.77	12.86	15.96	19.05	22.14	25.23	28.32	31.42	34.51	37.60	40.69	43.78	46.88
450	3.68	6.78	9.88	12.97	16.07	19.16	22.26	25.36	28.45	31.55	34.64	37.74	40.83	43.93	47.03
525	3.79	6.90	10.01	13.11	16.22	19.33	22.44	25.55	28.66	31.76	34.87	37.98	41.09	44.20	47.30
600	3.91	7.04	10.17	13.30	16.43	19.56	22.69	25.82	28.95	32.08	35.22	38.35	41.48	44.61	47.74
675	4.00	7.14	10.27	13.41	16.54	19.67	22.81	25.94	29.08	32.21	35.34	38.48	41.61	44.75	47.88
750	4.11	7.26	10.40	13.55	16.69	19.84	22.98	26.13	29.28	32.42	35.57	38.71	41.86	45.01	48.15
825	4.22	7.37	10.53	13.69	16.84	20.00	23.16	26.32	29.47	32.63	35.79	38.94	42.10	45.26	48.42
900	4.33	7.50	10.67	13.84	17.01	20.18	23.35	26.53	29.70	32.87	36.04	39.21	42.38	45.55	48.72
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.877	5.182	5.486	5.791	6.096	6.401	6.706	7.010	7.315	7.620	7.925	8.230	8.534	8.839	9.144
300	50.31	53.43	56.55	59.67	62.78	65.90	69.02	72.14	75.26	78.38	81.50	84.61	87.73	90.85	93.97
375	49.97	53.06	56.15	59.24	62.33	65.43	68.52	71.61	74.70	77.79	80.89	83.98	87.07	90.16	93.25
450	50.12	53.22	56.31	59.41	62.50	65.60	68.70	71.79	74.89	77.98	81.08	84.18	87.27	90.37	93.46
525	50.41	53.52	56.63	59.74	62.85	65.95	69.06	72.17	75.28	78.39	81.49	84.60	87.71	90.82	93.93
600	50.87	54.00	57.13	60.26	63.39	66.52	69.65	72.78	75.92	79.05	82.18	85.31	88.44	91.57	94.70
675	51.01	54.15	57.28	60.42	63.55	66.69	69.82	72.95	76.09	79.22	82.36	85.49	88.62	91.76	94.89
750	51.30	54.44	57.59	60.73	63.88	67.03	70.17	73.32	76.46	79.61	82.76	85.90	89.05	92.19	95.34
825	51.57	54.73	57.89	61.04	64.20	67.36	70.52	73.67	76.83	79.99	83.14	86.30	89.46	92.62	95.77
900	51.90	55.07	58.24	61.41	64.58	67.75	70.92	74.09	77.27	80.44	83.61	86.78	89.95	93.12	96.29
Instalación Tipo III															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.300	0.610	0.914	1.219	1.524	1.829	2.134	2.438	2.743	3.048	3.353	3.658	3.962	4.267	4.572
300	4.52	8.51	12.50	16.49	20.49	24.48	28.47	32.46	36.45	40.44	44.44	48.43	52.42	56.41	60.40
375	4.57	8.50	12.44	16.37	20.31	24.24	28.18	32.11	36.05	39.98	43.92	47.85	51.79	55.72	59.66
450	4.66	8.58	12.50	16.41	20.33	24.25	28.16	32.08	36.00	39.92	43.83	47.75	51.67	55.58	59.50
525	4.77	8.68	12.58	16.49	20.40	24.31	28.22	32.13	36.04	39.95	43.86	47.77	51.68	55.59	59.50
600	4.88	8.80	12.71	16.62	20.54	24.45	28.37	32.28	36.19	40.11	44.02	47.93	51.85	55.76	59.67
675	5.01	8.94	12.87	16.79	20.72	24.64	28.57	32.50	36.42	40.35	44.27	48.20	52.13	56.05	59.98
750	5.16	9.11	13.06	17.01	20.96	24.90	28.85	32.80	36.75	40.70	44.65	48.60	52.55	56.50	60.45
825	5.30	9.28	13.25	17.22	21.19	25.16	29.14	33.11	37.08	41.05	45.02	48.99	52.97	56.94	60.91
900	5.46	9.45	13.45	17.45	21.45	25.45	29.45	33.45	37.44	41.44	45.44	49.44	53.44	57.44	61.43
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	64.40	68.39	72.38	76.37	80.36	84.36	88.35	92.34	96.33	100.32	104.31	108.31	112.30	116.29	120.28
375	63.59	67.53	71.46	75.40	79.34	83.27	87.21	91.14	95.08	99.01	102.95	106.88	110.82	114.75	118.69
450	63.42	67.34	71.25	75.17	79.09	83.00	86.92	90.84	94.76	98.67	102.59	106.51	110.42	114.34	118.26
525	63.41	67.31	71.22	75.13	79.04	82.95	86.86	90.77	94.68	98.59	102.50	106.41	110.32	114.23	118.14
600	63.59	67.50	71.41	75.33	79.24	83.15	87.07	90.98	94.89	98.81	102.72	106.63	110.55	114.46	118.38
675	63.90	67.83	71.75	75.68	79.61	83.53	87.46	91.38	95.31	99.24	103.16	107.09	111.01	114.94	118.87
750	64.39	68.34	72.29	76.24	80.19	84.14	88.09	92.04	95.99	99.94	103.88	107.83	111.78	115.73	119.68
825	64.88	68.85	72.83	76.80	80.77	84.74	88.71	92.69	96.66	100.63	104.60	108.57	112.54	116.52	120.49
900	65.43	69.43	73.43	77.43	81.43	85.43	89.42	93.42	97.42	101.42	105.42	109.42	113.42	117.41	121.41
Instalación Tipo IV															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.305	0.610	0.914	1.219	1.524	1.829	2.134	2.438	2.743	3.048	3.353	3.658	3.962	4.267	4.572
300	6.88	12.96	19.04	25.12	31.20	37.28	43.36	49.44	55.52	61.60	67.68	73.76	79.84	85.92	92.00
375	6.89	12.82	18.76	24.69	30.62	36.56	42.49	48.42	54.36	60.29	66.22	72.16	78.09	84.03	89.96
450	6.96	12.81	18.65	24.50	30.35	36.19	42.04	47.89	53.73	59.58	65.43	71.27	77.12	82.97	88.82
525	7.04	12.82	18.59	24.37	30.14	35.92	41.70	47.47	53.25	59.02	64.80	70.57	76.35	82.12	87.90
600	7.14	12.86	18.59	24.31	30.03	35.75	41.48	47.20	52.92	58.64	64.36	70.09	75.81	81.53	87.25
675	7.25	12.94	18.62	24.30	29.98	35.66	41.34	47.02	52.70	58.38	64.06	69.74	75.42	81.10	86.78
750	7.39	13.04	18.69	24.35	30.00	35.66	41.31	46.96	52.62	58.27	63.93	69.58	75.23	80.89	86.54
825	7.51	13.14	18.77	24.39	30.02	35.64	41.27	46.90	52.52	58.15	63.77	69.40	75.03	80.65	86.28
900	7.65	13.25	18.85	24.45	30.06	35.66	41.26	46.87	52.47	58.07	63.67	69.28	74.88	80.48	86.09

Tabla 1.14 Profundidades de instalación para tuberías clase C14 con carga viva

Instalación Tipo I															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	89.61	53.28	38.75	33.91	31.48	30.27	31.48	32.70	33.91	36.33	38.75	39.96	43.59	46.02	48.44
375	83.55	49.65	37.54	32.70	30.27	30.27	30.27	31.48	33.91	35.12	37.54	39.96	42.38	44.80	47.23
450	75.08	47.23	36.33	31.48	29.06	29.06	30.27	31.48	32.70	35.12	37.54	38.75	42.38	44.80	47.23
525	62.97	46.02	35.12	30.27	29.06	29.06	30.27	31.48	32.70	35.12	36.33	38.75	42.38	44.80	46.02
600	55.70	44.80	33.91	30.27	29.06	29.06	30.27	31.48	32.70	35.12	36.33	38.75	42.38	44.80	46.02
675	49.65	43.59	33.91	30.27	29.06	29.06	30.27	31.48	32.70	35.12	36.33	38.75	42.38	44.80	47.23
750	47.23	39.96	32.70	30.27	29.06	29.06	30.27	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	42.38	44.80	47.23
825	44.80	37.54	32.70	29.06	29.06	29.06	30.27	31.48	33.91	35.12	37.54	39.96	42.38	44.80	47.23
900	43.59	35.12	32.70	29.06	29.06	29.06	30.27	31.48	33.91	35.12	37.54	39.96	43.59	46.02	47.23
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	50.86	53.28	56.91	59.34	61.76	64.18	66.60	70.23	72.66	75.08	77.50	79.92	83.55	85.98	88.40
375	49.65	52.07	55.70	58.13	60.55	62.97	65.39	69.02	71.45	73.87	76.29	78.71	82.34	84.77	87.19
450	48.44	50.86	55.70	56.91	59.34	61.76	64.18	66.60	70.23	73.87	75.08	77.50	79.92	83.55	85.10
525	48.44	50.86	55.70	56.91	59.34	61.76	64.18	66.60	70.23	73.87	75.08	77.50	79.92	83.55	84.77
600	48.44	50.86	55.70	56.91	59.34	61.76	64.18	66.60	70.23	73.87	75.08	76.29	78.71	82.34	84.77
675	48.44	50.86	55.70	56.91	59.34	61.76	64.18	66.60	70.23	73.87	75.08	77.50	79.92	83.55	85.98
750	49.65	50.86	55.70	56.91	59.34	61.76	64.18	66.60	70.23	73.87	75.08	77.50	79.92	83.55	85.98
825	49.65	52.07	55.70	58.13	60.55	61.76	64.18	66.60	70.23	73.87	75.08	77.50	79.92	83.55	85.98
900	49.65	52.07	55.70	58.13	60.55	62.97	65.39	69.02	71.45	73.87	76.29	78.71	82.34	84.77	87.19
Instalación Tipo II															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	82.34	50.86	38.75	35.12	33.91	33.91	36.33	38.75	41.17	43.59	47.23	50.86	53.28	56.91	60.55
375	76.29	47.23	37.54	33.91	32.70	33.91	35.12	37.54	39.96	43.59	46.02	49.65	52.07	55.70	59.34
450	70.23	46.02	36.33	32.70	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	42.38	46.02	49.65	52.07	55.70	59.34
525	59.34	43.59	35.12	32.70	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	42.38	46.02	49.65	52.07	55.70	59.34
600	50.86	42.38	35.12	31.48	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	43.59	46.02	49.65	52.07	55.70	59.34
675	47.23	41.17	33.91	31.48	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	43.59	46.02	49.65	52.07	55.70	59.34
750	44.80	39.96	33.91	31.48	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	43.59	46.02	49.65	53.28	55.70	59.34
825	42.38	36.33	32.70	31.48	31.48	32.70	35.12	37.54	39.96	43.59	46.02	49.65	53.28	55.70	59.34
900	41.17	33.91	32.70	31.48	31.48	32.70	35.12	37.54	41.17	43.59	47.23	49.65	53.28	56.91	59.34
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	64.18	67.81	71.45	73.87	77.50	81.13	84.77	88.40	92.03	95.66	99.30	102.93	106.56	110.20	113.83
375	62.97	66.60	69.02	72.66	76.29	79.92	83.55	87.19	90.82	94.45	98.09	100.51	104.14	107.77	111.41
450	61.76	66.60	69.02	72.66	76.29	78.71	82.34	85.98	89.61	93.24	98.09	100.51	104.14	106.56	110.20
525	61.76	66.60	69.02	72.66	75.08	78.71	82.34	85.98	89.61	93.24	98.09	100.51	102.93	106.56	110.20
600	62.97	66.60	69.02	72.66	76.29	79.92	82.34	87.19	89.61	93.24	98.09	100.51	104.14	107.77	111.41
675	62.97	66.60	69.02	72.66	76.29	79.92	82.34	85.98	89.61	93.24	98.09	100.51	104.14	107.77	110.20
750	62.97	66.60	69.02	72.66	76.29	79.92	83.55	85.98	89.61	93.24	98.09	100.51	104.14	107.77	111.41
825	62.97	66.60	70.23	72.66	76.29	79.92	83.55	87.19	90.82	93.24	98.09	100.51	104.14	107.77	111.41
900	62.97	66.60	70.23	73.87	77.50	79.92	83.55	87.19	90.82	94.45	98.09	101.72	104.14	107.77	111.41

Tabla 1.14 Profundidades de instalación para tuberías clase C14 con carga viva (continuación)

Instalación Tipo III															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	84.04	53.28	42.38	38.75	38.75	41.17	43.59	47.23	50.86	54.49	59.34	62.97	67.81	71.45	76.29
375	77.50	49.65	41.17	37.54	37.54	39.96	42.38	46.02	49.65	53.28	58.13	61.76	66.60	70.23	73.87
450	71.45	48.44	39.96	37.54	37.54	39.96	42.38	44.80	49.65	53.28	56.91	60.55	66.60	69.02	73.87
525	60.55	46.02	38.75	36.33	36.33	39.96	42.38	44.80	49.65	52.07	56.91	60.55	66.60	69.02	72.66
600	52.07	44.80	37.54	36.33	36.33	39.96	41.17	44.80	49.65	52.07	56.91	60.55	66.60	69.02	72.66
675	48.44	43.59	37.54	36.33	36.33	39.96	42.38	44.80	49.65	53.28	56.91	60.55	66.60	69.02	72.66
750	46.02	42.38	37.54	36.33	36.33	39.96	42.38	46.02	49.65	53.28	56.91	61.76	66.60	69.02	73.87
825	44.80	39.96	36.33	36.33	36.33	39.96	42.38	46.02	49.65	53.28	58.13	61.76	66.60	70.23	73.87
900	43.59	37.54	36.33	36.33	37.54	39.96	42.38	46.02	49.65	54.49	58.13	61.76	66.60	70.23	75.08

Instalación Tipo IV															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	81.13	85.98	89.61	94.45	99.30	104.14	107.77	112.62	117.46	122.30	127.15	131.99	136.84	140.47	145.31
375	78.71	83.55	87.19	92.03	96.88	100.51	105.35	110.20	115.04	118.67	123.52	128.36	131.99	136.84	141.68
450	77.50	82.34	85.98	90.82	95.66	99.30	104.14	108.98	112.62	117.46	121.09	125.94	130.78	135.63	139.26
525	77.50	81.13	85.98	90.82	94.45	99.30	102.93	107.77	112.62	116.25	121.09	124.73	129.57	134.41	138.05
600	77.50	81.13	85.98	89.61	94.45	99.30	102.93	107.77	111.41	116.25	121.09	124.73	129.57	133.20	138.05
675	77.50	82.34	85.98	90.82	94.45	99.30	102.93	107.77	111.41	116.25	121.09	124.73	129.57	134.41	138.05
750	77.50	82.34	85.98	90.82	94.45	99.30	104.14	107.77	112.62	116.25	121.09	125.94	129.57	134.41	139.26
825	78.71	82.34	87.19	90.82	95.66	100.51	104.14	108.98	112.62	117.46	122.30	125.94	130.78	135.63	139.26
900	78.71	83.55	87.19	92.03	96.88	100.51	105.35	108.98	113.83	118.67	122.30	127.15	131.99	135.63	140.47

Diseño hidráulico

Para facilitar la selección del tipo y diámetro del tubo que permita el comportamiento hidráulico adecuado de la alcantarilla que se proyecta instalar, se incluyen cinco tablas. Estas tablas contemplan los tres casos más comunes de usos para la 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 obtuvo a partir de las definiciones y valores dados en la tabla 1.17, que presenta información útil para el diseño hidráulico de tuberías y mediante la aplicación de las fórmulas de Manning y de flujo crítico.

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

para flujo crítico

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

para flujo normal (Manning)

Siendo:

- Q = caudal de diseño
- g = 9,8 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 = 0,013 es un valor de diseño que toma en cuenta la rugosidad propia del tubo y del sistema de alcantarillado con pozos u obstrucciones. De acuerdo con estudios conducidos en la Universidad de Utah y publicados por la ACPA, el valor de laboratorio normalmente es de 0,009 a 0,010 y es igual al de otros sistemas de tuberías como PVC.

Tabla 1.15 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 sin carga viva (continuación)

Instalación Tipo II (continuación)															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	9.4488	9.7536	10.0584	10.3632	10.6680	10.9728	11.2776	11.5824	11.8872	12.1920	12.4968	12.8016	13.1064	13.4112	13.7160
300	97.09	100.21	103.33	106.45	109.56	112.68	115.80	118.92	122.04	125.16	128.28	131.39	134.51	137.63	140.75
375	96.35	99.44	102.53	105.62	108.71	111.80	114.90	117.99	121.08	124.17	127.26	130.36	133.45	136.54	139.63
450	96.56	99.65	102.75	105.85	108.94	112.04	115.13	118.23	121.33	124.42	127.52	130.61	133.71	136.80	139.90
525	97.04	100.14	103.25	106.36	109.47	112.58	115.68	118.79	121.90	125.01	128.12	131.23	134.33	137.44	140.55
600	97.83	100.96	104.09	107.22	110.35	113.48	116.62	119.75	122.88	126.01	129.14	132.27	135.40	138.53	141.66
675	98.03	101.16	104.30	107.43	110.56	113.70	116.83	119.97	123.10	126.23	129.37	132.50	135.64	138.77	141.91
750	98.48	101.63	104.78	107.92	111.07	114.21	117.36	120.51	123.65	126.80	129.94	133.09	136.23	139.38	142.53
825	98.93	102.09	105.24	108.40	111.56	114.72	117.87	121.03	124.19	127.34	130.50	133.66	136.82	139.97	143.13
900	99.46	102.63	105.81	108.98	112.15	115.32	118.49	121.66	124.83	128.00	131.18	134.35	137.52	140.69	143.86
1050	99.66	102.83	106.00	109.17	112.34	115.51	118.69	121.86	125.03	128.20	131.37	134.54	137.71	140.89	144.06
1200	99.92	103.09	106.27	109.44	112.61	115.79	118.96	122.14	125.31	128.48	131.66	134.83	138.01	141.18	144.35
1350	100.36	103.54	106.72	109.91	113.09	116.27	119.45	122.64	125.82	129.00	132.18	135.36	138.55	141.73	144.91
1500	100.81	104.00	107.19	110.38	113.57	116.77	119.96	123.15	126.34	129.53	132.72	135.91	139.10	142.29	145.48
1650	101.38	104.59	107.79	110.99	114.19	117.40	120.60	123.80	127.00	130.21	133.41	136.61	139.82	143.02	146.22
1800	101.94	105.16	108.37	111.59	114.80	118.02	121.23	124.45	127.66	130.88	134.09	137.30	140.52	143.73	146.95
1950	101.98	105.19	108.40	111.61	114.82	118.03	121.24	124.45	127.66	130.87	134.08	137.29	140.50	143.71	146.92
2100	102.00	105.20	108.41	111.61	114.82	118.02	121.23	124.43	127.64	130.84	134.05	137.25	140.46	143.66	146.86
2250	102.08	105.28	108.48	111.68	114.89	118.09	121.29	124.49	127.69	130.89	134.09	137.29	140.49	143.70	146.90
2400	102.13	105.33	108.53	111.73	114.92	118.12	121.32	124.51	127.71	130.91	134.10	137.30	140.50	143.70	146.89

Instalación Tipo III															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.3048	0.6096	0.9144	1.2192	1.5240	1.8288	2.1336	2.4384	2.7432	3.0480	3.3528	3.6576	3.9624	4.2672	4.5720
300	4.52	8.51	12.50	16.49	20.49	24.48	28.47	32.46	36.45	40.44	44.44	48.43	52.42	56.41	60.40
375	4.57	8.50	12.44	16.37	20.31	24.24	28.18	32.11	36.05	39.98	43.92	47.85	51.79	55.72	59.66
450	4.66	8.58	12.50	16.41	20.33	24.25	28.16	32.08	36.00	39.92	43.83	47.75	51.67	55.58	59.50
525	4.77	8.68	12.58	16.49	20.40	24.31	28.22	32.13	36.04	39.95	43.86	47.77	51.68	55.59	59.50
600	4.88	8.80	12.71	16.62	20.54	24.45	28.37	32.28	36.19	40.11	44.02	47.93	51.85	55.76	59.67
675	5.01	8.94	12.87	16.79	20.72	24.64	28.57	32.50	36.42	40.35	44.27	48.20	52.13	56.05	59.98
750	5.16	9.11	13.06	17.01	20.96	24.90	28.85	32.80	36.75	40.70	44.65	48.60	52.55	56.50	60.45
825	5.30	9.28	13.25	17.22	21.19	25.16	29.14	33.11	37.08	41.05	45.02	48.99	52.97	56.94	60.91
900	5.46	9.45	13.45	17.45	21.45	25.45	29.45	33.45	37.44	41.44	45.44	49.44	53.44	57.44	61.43
1050	5.70	9.70	13.71	17.71	21.72	25.72	29.73	33.73	37.74	41.74	45.75	49.75	53.76	57.76	61.77
1200	5.94	9.96	13.97	17.99	22.00	26.01	30.03	34.04	38.06	42.07	46.09	50.10	54.11	58.13	62.14
1350	6.20	10.23	14.26	18.30	22.33	26.36	30.39	34.42	38.45	42.48	46.51	50.54	54.57	58.60	62.63
1500	6.46	10.51	14.56	18.61	22.66	26.70	30.75	34.80	38.85	42.89	46.94	50.99	55.04	59.08	63.13
1650	6.74	10.81	14.88	18.95	23.02	27.09	31.15	35.22	39.29	43.36	47.43	51.50	55.57	59.64	63.71
1800	7.01	11.10	15.19	19.28	23.38	27.47	31.56	35.65	39.74	43.83	47.92	52.01	56.11	60.20	64.29
1950	7.24	11.32	15.41	19.49	23.58	27.66	31.75	35.84	39.92	44.01	48.09	52.18	56.26	60.35	64.43
2100	7.46	11.54	15.62	19.70	23.78	27.86	31.93	36.01	40.09	44.17	48.25	52.33	56.41	60.48	64.56
2250	7.69	11.77	15.84	19.92	23.99	28.06	32.14	36.21	40.29	44.36	48.44	52.51	56.58	60.66	64.73
2400	7.92	11.99	16.06	20.13	24.19	28.26	32.33	36.40	40.47	44.54	48.61	52.68	56.75	60.82	64.88

Tabla 1.16 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 con carga viva (continuación)

Instalación Tipo I (continuación)															
D.I.	Altura de relleno en (m)														
(mm)	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	84.00	53.30	42.40	38.80	38.80	41.20	43.60	47.20	50.90	54.50	59.30	63.00	67.80	71.40	76.30
375	77.50	49.60	41.20	37.50	37.50	40.00	42.40	46.00	49.60	53.30	58.10	61.80	66.60	70.20	73.90
450	71.40	48.40	40.00	37.50	37.50	40.00	42.40	44.80	49.60	53.30	56.90	60.50	66.60	69.00	73.90
525	60.50	46.00	38.80	36.30	36.30	40.00	42.40	44.80	49.60	52.10	56.90	60.50	66.60	69.00	72.70
600	52.10	44.80	37.50	36.30	36.30	40.00	41.20	44.80	49.60	52.10	56.90	60.50	66.60	69.00	72.70
675	48.40	43.60	37.50	36.30	36.30	40.00	42.40	44.80	49.60	53.30	56.90	60.50	66.60	69.00	72.70
750	46.00	42.40	37.50	36.30	36.30	40.00	42.40	46.00	49.60	53.30	56.90	61.80	66.60	69.00	73.90
825	44.80	40.00	36.30	36.30	36.30	40.00	42.40	46.00	49.60	53.30	58.10	61.80	66.60	70.20	73.90
900	43.60	37.50	36.30	36.30	37.50	40.00	42.40	46.00	49.60	54.50	58.10	61.80	66.60	70.20	75.10
1050	41.20	33.90	36.30	36.30	37.50	40.00	43.60	47.20	50.90	54.50	58.10	63.00	66.60	71.40	75.10
1200	42.40	33.90	33.90	36.30	37.50	40.00	43.60	47.20	50.90	55.70	59.30	63.00	67.80	71.40	76.30
1350	41.20	35.10	33.90	36.30	38.80	41.20	44.80	48.40	52.10	55.70	60.50	65.40	67.80	72.70	76.30
1500	42.40	36.30	33.90	36.30	38.80	41.20	44.80	48.40	53.30	56.90	60.50	65.40	69.00	73.90	77.50
1650	42.40	37.50	33.90	36.30	38.80	42.40	46.00	49.60	53.30	58.10	61.80	65.40	70.20	75.10	78.70
1800	41.20	38.80	33.90	36.30	40.00	43.60	47.20	50.90	54.50	58.10	63.00	66.60	71.40	75.10	79.90
1950	38.80	37.50	36.30	37.50	40.00	43.60	47.20	50.90	54.50	59.30	63.00	67.80	71.40	76.30	79.90
2100	36.30	36.30	37.50	37.50	41.20	43.60	47.20	52.10	55.70	59.30	64.20	67.80	72.70	76.30	81.10
2250	35.10	36.30	37.50	38.80	41.20	44.80	48.40	52.10	55.70	60.50	64.20	69.00	72.70	77.50	81.10
2400	33.90	36.30	37.50	40.00	42.40	44.80	48.40	53.30	56.90	60.50	65.40	69.00	73.90	77.50	82.30
D.I.															
(mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	81.10	86.00	89.60	94.50	99.30	104.10	107.80	112.60	117.50	122.30	127.10	132.00	136.80	140.50	145.30
375	78.70	83.60	87.20	92.00	96.90	100.50	105.40	110.20	115.00	118.70	123.50	128.40	132.00	136.80	141.70
450	77.50	82.30	86.00	90.80	95.70	99.30	104.10	109.00	112.60	117.50	121.10	125.90	130.80	135.60	139.30
525	77.50	81.10	86.00	90.80	94.50	99.30	102.90	107.80	112.60	116.30	121.10	124.70	129.60	134.40	138.00
600	77.50	81.10	86.00	89.60	94.50	99.30	102.90	107.80	111.40	116.30	121.10	124.70	129.60	133.20	138.00
675	77.50	82.30	86.00	90.80	94.50	99.30	102.90	107.80	111.40	116.30	121.10	124.70	129.60	134.40	138.00
750	77.50	82.30	86.00	90.80	94.50	99.30	104.10	107.80	112.60	116.30	121.10	125.90	129.60	134.40	139.30
825	78.70	82.30	87.20	90.80	95.70	100.50	104.10	109.00	112.60	117.50	122.30	125.90	130.80	135.60	139.30
900	78.70	83.60	87.20	92.00	96.90	100.50	105.40	109.00	113.80	118.70	122.30	127.10	132.00	136.80	140.50
1050	79.90	83.60	88.40	92.00	96.90	101.70	105.40	110.20	113.80	118.70	123.50	127.10	132.00	136.80	140.50
1200	79.90	84.80	88.40	93.20	98.10	101.70	106.60	110.20	115.00	119.90	123.50	128.40	132.00	136.80	141.70
1350	81.10	86.00	89.60	94.50	98.10	102.90	106.60	111.40	116.30	119.90	124.70	129.60	133.20	138.00	142.90
1500	82.30	86.00	90.80	94.50	99.30	104.10	107.80	112.60	117.50	121.10	125.90	130.80	134.40	139.30	142.90
1650	83.60	87.20	92.00	95.70	100.50	105.40	109.00	113.80	118.70	122.30	127.10	132.00	136.80	140.50	145.30
1800	84.80	88.40	93.20	96.90	101.70	106.60	110.20	115.00	119.90	123.50	128.40	133.20	136.80	141.70	146.50
1950	84.80	89.60	93.20	98.10	101.70	106.60	111.40	115.00	119.90	124.70	128.40	133.20	138.00	141.70	146.50
2100	84.80	89.60	94.50	98.10	102.90	107.80	111.40	116.30	119.90	124.70	129.60	133.20	138.00	142.90	146.50
2250	86.00	90.80	94.50	99.30	102.90	107.80	112.60	116.30	121.10	125.90	129.60	134.40	138.00	142.90	147.70
2400	86.00	90.80	95.70	99.30	104.10	107.80	112.60	117.50	121.10	125.90	130.80	134.40	139.30	144.10	147.70
D.I.															
(mm)	9.449	9.754	10.1	10.4	10.7	11.0	11.3	11.6	11.9	12.2	12.5	12.8	13.1	13.4	13.7
300	150.2	155.0													
375	146.5	151.4													
450	144.1	148.9													
525	142.9	147.7													
600	142.9	146.5													
675	142.9	146.5													
750	142.9	147.7													
825	144.1	147.7													
900	145.3	148.9													
1050	145.3	150.2													
1200	145.3	150.2													
1350	146.5	151.4													
1500	147.7	152.6													
1650	148.9	153.8													
1800	150.2	155.0													
1950	151.4	155.0													
2100	151.4	156.2													
2250	151.4	156.2													
2400	152.6	156.2													

Tabla 1.16 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 con carga viva (continuación)

Instalación Tipo IV															
D.I. (mm)	Altura de relleno en (m)														
	0.30	0.61	0.91	1.22	1.52	1.83	2.13	2.44	2.74	3.05	3.35	3.66	3.96	4.27	4.57
300	109.00	71.00	59.30	55.70	55.70	59.30	64.20	70.20	76.30	82.30	88.40	95.70	101.70	109.00	115.00
375	101.70	66.60	55.70	53.30	54.50	58.10	61.80	67.80	73.90	78.70	86.00	92.00	98.10	105.40	111.40
450	93.20	64.20	54.50	52.10	53.30	56.90	60.50	66.60	71.40	77.50	83.60	89.60	95.70	102.90	109.00
525	78.70	61.80	52.10	50.90	52.10	55.70	60.50	65.40	70.20	76.30	82.30	88.40	94.50	100.50	106.60
600	69.00	60.50	52.10	49.60	52.10	54.50	59.30	64.20	70.20	76.30	81.10	87.20	93.20	99.30	106.60
675	61.80	58.10	50.90	49.60	50.90	54.50	59.30	64.20	70.20	75.10	81.10	87.20	93.20	99.30	105.40
750	55.70	56.90	49.60	49.60	50.90	54.50	59.30	64.20	69.00	75.10	81.10	87.20	93.20	99.30	105.40
825	50.90	52.10	49.60	48.40	50.90	54.50	59.30	64.20	69.00	75.10	81.10	86.00	92.00	98.10	104.10
900	47.20	49.60	49.60	48.40	50.90	54.50	59.30	64.20	69.00	75.10	81.10	86.00	92.00	98.10	104.10
1050	44.80	44.80	48.40	48.40	50.90	54.50	59.30	64.20	69.00	75.10	81.10	86.00	92.00	98.10	104.10
1200	46.00	43.60	46.00	48.40	50.90	54.50	59.30	64.20	70.20	75.10	81.10	87.20	92.00	98.10	104.10
1350	46.00	42.40	44.80	48.40	50.90	55.70	60.50	65.40	70.20	76.30	81.10	87.20	93.20	99.30	104.10
1500	46.00	42.40	44.80	47.20	52.10	55.70	60.50	65.40	71.40	76.30	82.30	88.40	93.20	99.30	105.40
1650	47.20	43.60	44.80	48.40	52.10	56.90	61.80	66.60	71.40	77.50	82.30	88.40	94.50	100.50	105.40
1800	46.00	44.80	44.80	48.40	52.10	56.90	61.80	66.60	72.70	77.50	83.60	89.60	94.50	100.50	106.60
1950	43.60	44.80	46.00	49.60	53.30	58.10	63.00	67.80	72.70	78.70	84.80	89.60	95.70	101.70	107.80
2100	42.40	43.60	46.00	49.60	53.30	58.10	63.00	67.80	73.90	79.90	84.80	90.80	96.90	101.70	107.80
2250	41.20	43.60	46.00	50.90	54.50	59.30	64.20	69.00	75.10	79.90	86.00	92.00	96.90	102.90	109.00
2400	40.00	43.60	46.00	50.90	55.70	60.50	65.40	70.20	75.10	81.10	87.20	92.00	98.10	104.10	109.00
D.I. (mm)	4.88	5.18	5.49	5.79	6.10	6.40	6.71	7.01	7.32	7.62	7.92	8.23	8.53	8.84	9.14
300	122.30	129.60	135.60	142.90	150.20	157.40	164.70								
375	117.50	124.70	130.80	138.00	145.30	151.40	158.60								
450	115.00	122.30	128.40	134.40	141.70	147.80	155.00								
525	113.80	119.90	125.90	133.20	139.30	145.30	151.40								
600	112.60	118.70	124.70	130.80	132.00	144.10	150.20								
675	111.40	117.50	123.50	129.60	132.00	142.90	148.90								
750	111.40	117.50	123.50	129.60	135.60	141.70	147.70								
825	110.20	116.30	122.30	128.40	134.40	141.70	147.70								
900	110.20	116.30	122.30	128.40	134.40	140.50	146.50								
1050	110.20	116.30	122.30	128.40	134.40	140.50	146.50								
1200	110.20	116.30	122.30	128.40	134.40	140.50	146.50								
1350	110.20	116.30	122.30	128.40	134.40	140.50	146.50								
1500	111.40	117.50	123.50	129.60	135.60	141.70	146.50								
1650	111.40	117.50	123.50	129.60	135.60	141.70	146.50								
1800	112.60	118.70	123.50	129.60	135.60	141.70	147.70								
1950	112.60	118.70	124.70	130.80	136.80	142.90	147.70								
2100	113.80	119.90	125.90	130.80	136.80	142.90	148.90								
2250	115.00	119.90	125.90	132.00	138.00	144.10	150.20								
2400	115.00	121.10	127.10	133.20	139.30	144.10	150.20								

Alcantarillas para carreteras y caminos

Los valores de caudal y la pendiente crítica que se presentan en la tabla 1.18 se calcularon 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 período de retorno de cinco años.

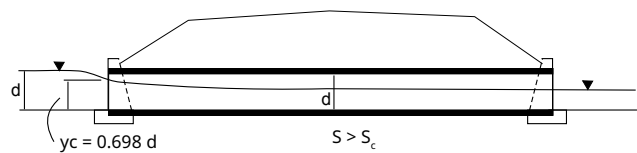


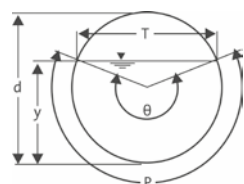
Figura 1.24 Alcantarilla con control a la entrada

En zonas con pendientes bajas a veces resulta difícil colocar el tubo en pendientes mayores que la pendiente crítica, dado que 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 1.19 permite seleccionar el tubo para estas condiciones de flujo en donde los diferentes tubos trabajan llenos y para varios gradientes hidráulicos (H/L).

Tabla 1.17 Propiedades geométricas de los tubos



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

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

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

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

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

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

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

$\frac{y}{d}$	$\frac{A}{d^2}$	$\frac{P}{d}$	$\frac{R}{d}$	$\frac{T}{d}$	$\frac{D}{d}$	$\frac{AD^{1/2}}{d^{5/2}}$	$\frac{AR^{2/3}}{d^{8/3}}$	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

Tabla 1.18 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

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).

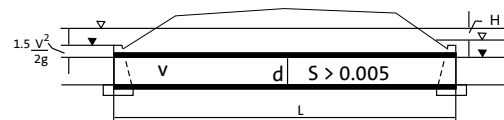


Figura 1.25 Alcantarilla con control de salida

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 $1.5v^2/2g$.

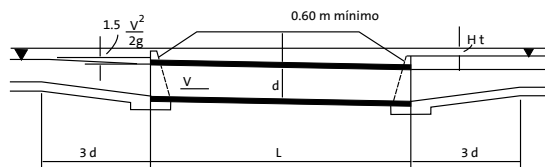


Figura 1.26 Alcantarilla con control de entrada

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 zanja.

Condiciones

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

1. El 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. El canal se está diseñando. Las pérdidas se compensan con la diferencia de elevación en el canal. La velocidad de flujo para el tubo trabajando lleno no debe exceder de:
 - 1,0 m/s en canales de tierra y zanjas.
 - 1,5 m/s en canales revestidos.

Alcantarillado pluvial o sanitario

En alcantarillados pluviales, el agua ingresa al sistema en los pozos. El análisis de cada pozo se efectúa 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.

Tabla 1.19 Alcantarillas trabajando a tubo lleno																		
Diám. nom. (cm)	Diám. int. (cm)	Área (m²)	Gradiente = 0.005			Gradiente = 0.01			Gradiente = 0.02			Gradiente = 0.03			Gradiente = 0.04			
			Caudal (m³/s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m³/s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m³/s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m³/s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m³/s)	V (m/s)	1.5hv (m)	
10.20	0.0082	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	
15.20	0.0181	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	
20.30	0.0324	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	
25.40	0.0507	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	
30.50	0.0731	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	
30.00	0.0707	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	
40.00	0.1257	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	
50.00	0.1963	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	
60.00	0.2827	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	
70.00	0.3848	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	

Tabla 1.20 Alcantarillas trabajando a velocidad indicada y a tubo lleno

Diám. nom. (cm)	Diám. int. (cm)	Área (m ²)	Velocidad = 0.60			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

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.

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 ingresa al sistema 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 AyA.

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.

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 aspecto de durabilidad. Cuando la velocidad es muy alta puede generar cavitación y, dependiendo de la característica 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 aspectos de erosión del suelo circundante a la salida de este.

En general, la velocidad máxima recomendada en tuberías de concreto es de hasta 6 m/s, aunque el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) solicita mantenerla en 5 m/s.

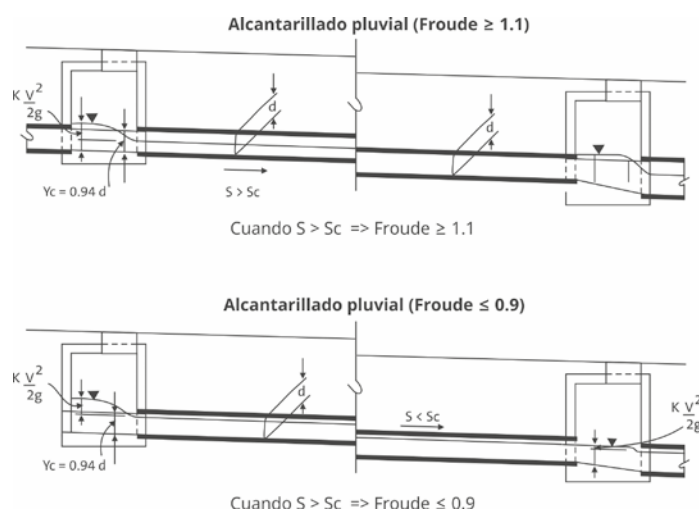


Figura 1.27 Detalle de alcantarillado pluvial

Por otro lado, la velocidad mínima en una tubería está relacionada con el arrastre de sólidos y con el hecho de permitir una autolimpieza. Según este criterio, se ha establecido que se debe tener una fuerza de arrastre de por lo menos 1N/m² (aprox. 0,6 m/s en los casos usuales).

Otro punto que controla la velocidad mínima se relaciona con la aireación 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 presentes en las aguas negras en sulfuro de hidrógeno a causa de la bacteria Concretivorius, que se desarrolla en medios anaeróbicos y da origen al ácido sulfúrico que corroe la superficie de concreto.

La producción de esta bacteria se evita 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 muestran en la tabla 1.22.

Tabla 1.21 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 ²)	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	10.2	0.0088	0.0008	0.01	1.29	0.0348	0.009	0.009	1.14	0.028	0.1
15	15.2	0.0177	0.0022	0.027	1.57	0.0305	0.025	0.025	1.4	0.0246	0.149
20	20.3	0.0316	0.0048	0.057	1.82	0.0277	0.051	0.051	1.61	0.0223	0.199
25	25.4	0.0494	0.0087	0.099	2.03	0.0257	0.089	0.089	1.8	0.0207	0.249
30	30.5	0.0713	0.0141	0.156	2.23	0.0242	0.141	0.141	1.98	0.0195	0.299
30	30	0.069	0.0135	0.15	2.21	0.021	0.277	0.135	1.96	0.0169	0.294
40	40	0.1226	0.0291	0.308	2.55	0.019	0.484	0.277	2.26	0.0153	0.392
50	50	0.1915	0.0528	0.538	2.85	0.0177	0.605	0.485	2.53	0.0142	0.49
60	60	0.2758	0.0859	0.849	3.13	0.0166	0.726	0.764	2.77	0.0134	0.588
70	70	0.3754	0.1295	1.25	3.38	0.0158	0.847	1.12	2.99	0.0127	0.686
80	80	0.4903	0.1849	1.74	3.61	0.0151	0.968	1.57	3.2	0.0122	0.784
90	90	0.6206	0.2532	2.34	3.83	0.0145	1.09	2.11	3.39	0.0117	0.882
100	100	0.7662	0.3353	3.05	4.04	0.014	1.21	2.74	3.58	0.0113	0.98
120	120	1.103	0.5452	4.81	4.42	0.0132	1.45	4.32	3.92	0.0106	1.18
137	137.2	1.442	0.7793	6.72	4.73	0.0216	1.66	6.04	4.19	0.0102	1.34
152	152.4	1.779	1.031	8.73	4.98	0.0122	1.84	7.86	4.42	0.0098	1.49
168	167.6	2.152	1.329	11.1	5.22	0.0118	2.03	9.97	4.63	0.0095	1.64
183	182.9	2.563	1.677	13.8	5.46	0.0115	2.21	12.4	4.84	0.0092	1.79
213	213.4	3.489	2.531	20.3	5.89	0.0109	2.58	18.2	5.23	0.0088	2.09

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

Tabla 1.22 Velocidad mínima de aguas residuales

DBO efectiva m/l	Velocidad mínima real 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 la corrosión, si no fuera posible controlar la velocidad mínima a los valores recomendados, se pueden modificar las características de las tuberías de concreto aumentando el recubrimiento, utilizando agregados calcáreos o cemento puzolánico, con revestimientos de polietileno o aditivos integrales o externos que inhiban el desarrollo de la bacteria.

1.8 Instalación

Configuraciones de la instalación

Cuando se instalan tuberías, se pueden tener las cuatro posibles configuraciones que se muestran en la figura 1.22. No obstante, las más usuales se ilustran en la figura 1.28.

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 y reduce el esfuerzo que este elemento debe realizar.

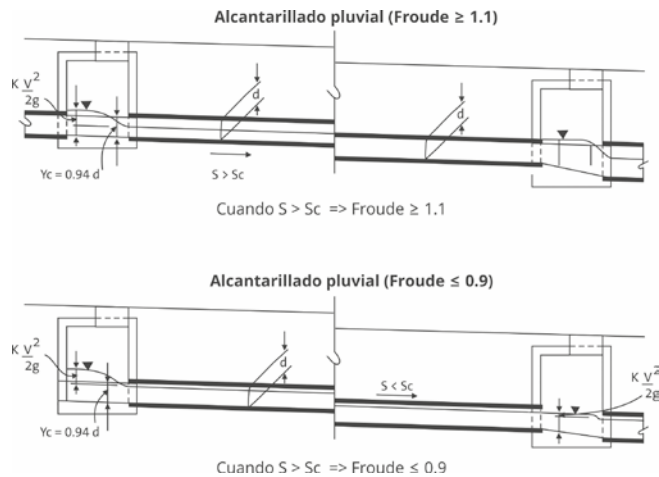


Figura 1.27 Detalle de alcantarillado pluvial

- Un encamado suelto sin compactar directamente bajo el inverso del tubo reduce significativamente la tensión y el esfuerzo que debe soportar.
- 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.
- El suelo, las secciones del encamado y el 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 a la parte superior de su lomo, 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.

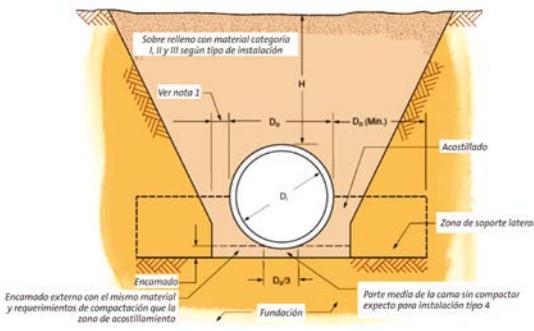


Figura 1.28 Instalación en trinchera o zanja

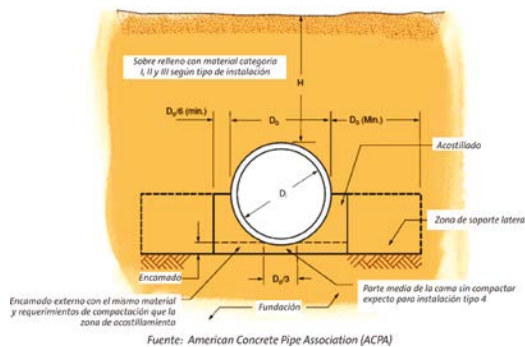


Figura 1.29 Instalación en terraplén en proyección positiva

- 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 compactarse a cuando menos el mismo nivel de compactación que para la mayor parte del suelo en la zona de relleno.
- Cuando se hacen subzanjas, su parte superior debe 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 $0,1H$ 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° 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° 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 1.23 y están basados en 1,25 veces el diámetro externo de la tubería más 300 mm.

Preparación de la zanja

Se debe 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 20 cm sobre la rasante, para realizar su acabado en el momento de instalación de la tubería.

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 pongan en peligro a los trabajadores.

Tabla 1.23 Anchos mínimos de la zanja	
Diámetro de la tubería	Ancho de zanja
mm	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

Se recomienda ubicarlo a una distancia del borde de la mitad de la profundidad de la zanja o a 2,0 m para zanjas no adermadas y 0,9 m para zanjas adermadas (figura 1.30).

El material extraído se usa frecuentemente para el relleno posterior, 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.

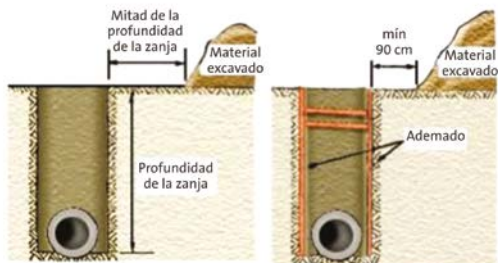


Figura 1.30 Colocación de la tierra excavada

Colocación del tubo

a) Limpiar los extremos de los elementos

Se debe eliminar cualquier suciedad o materia extraña en la campana o en la “espiga” que pueda impedir a la junta de neopreno cumplir su función (figura 1.31).

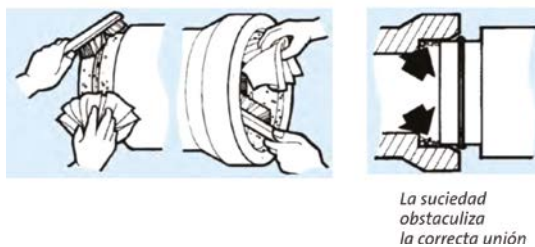


Figura 1.31 Limpieza de espiga y campana

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.

En lo que respecta al empaque, debe tenerse en cuenta la recomendación del fabricante de la tubería, dado que el espacio anular para acomodarlo es crucial para lograr la hermeticidad deseada y no quebrar la tubería.

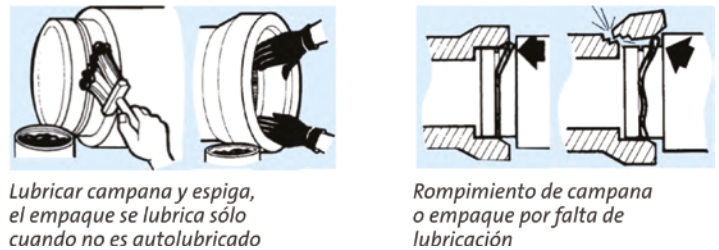


Figura 1.32 Instalación de empaques no auto-lubricados

Por el mejor desempeño y facilidad constructiva, en la mayoría de los casos se recomienda utilizar el empaque autolubricado de las figuras 1.12 y 1.33.

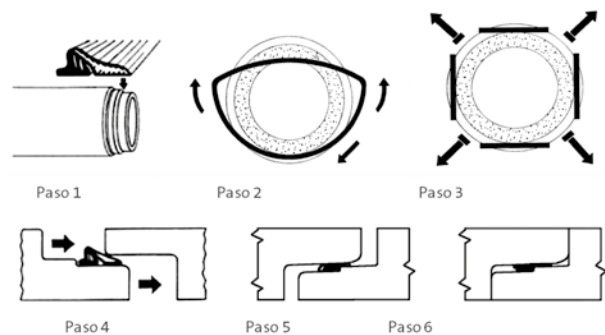


Figura 1.33 Instalación de empaque auto-lubricado

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.

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.

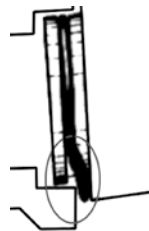


Figura 1.34 Tuberías mal alineadas



Figura 1.35 Mala práctica de instalación de tuberías

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



Figura 1.36 Instalación de tuberías de diámetros menores

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 y se le une un cable de acero con un tecele para ajustar la posición del tubo.

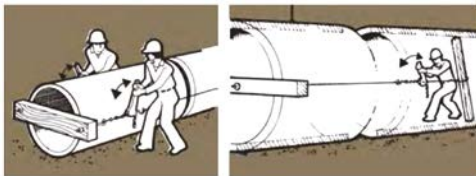


Figura 1.37 Instalación de tuberías de diámetros mayores

Dependiendo del tipo de tubería y si se cuenta con el tipo de izaje y de acople por medio de pin de la figura 1.38, también se puede utilizar para el proceso de instalación.

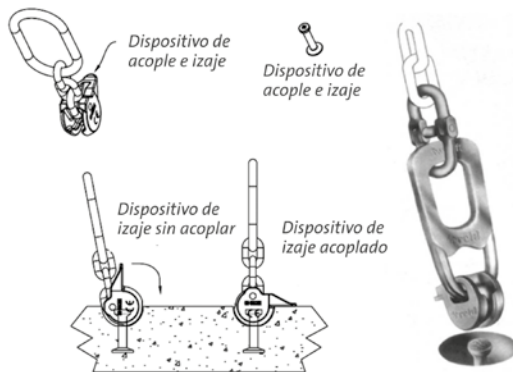


Figura 1.38 Dispositivos de izaje y acople

Este sistema permite izar la tubería como se ilustra en la figura 1.39 y, por medio del mismo aparejo y con un movimiento del retroexcavador, se puede hacer la unión de las tuberías.

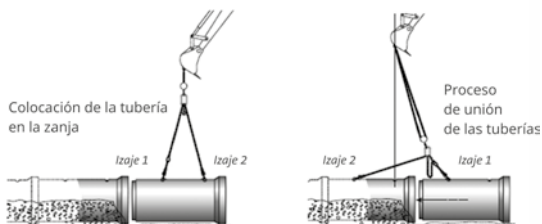


Figura 1.39 Unión de tuberías por medio de sistema de izaje Lifting Eye

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 figura 1.40 se muestra la forma correcta e incorrecta de soportar la campana.

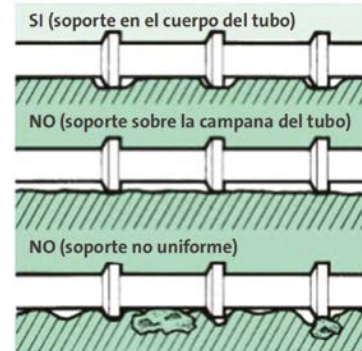


Figura 1.40 Soporte adecuado de la campana en tuberías

f) Relleno de la zanja

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

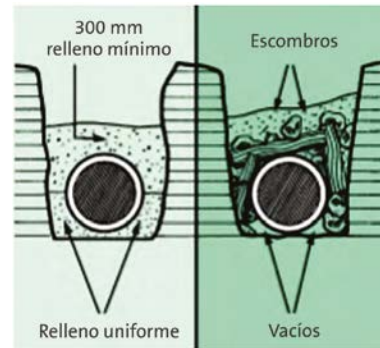


Figura 1.41 Relleno adecuado

Seguridad en trabajos de instalación de tuberías

Los riesgos más comunes para el personal son:

- 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 de estas situaciones, deben adoptarse normas y medidas preventivas, que pueden resumirse de la siguiente manera:

- El personal que labora en el interior de las zanjas debe conocer ampliamente los riesgos asociados a su trabajo.
 - Debe contarse con una escalera sólida para el acceso y salida de una zanja, que estará 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 dicho borde. Para salir, no se debe escalar por los ademes de la excavación.
 - Para pasar por encima de una zanja se deben instalar pasarelas adecuadas.
 - Los acopios (tierra, materiales, etc.) deben ubicarse a una distancia del borde de la mitad de la profundidad de la zanja o 2,0 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 hará mediante torres aisladas con toma de tierra en las que se colocarán 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 controlar la erosión y la estabilidad.
 - Se revisará el estado de los 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 hay paso de maquinaria para el movimiento de tierras.
 - Los trabajos que se realicen en los bordes de las zanjas con taludes no muy estables deberán ser ejecutados por trabajadores sujetos al cinturón de seguridad amarrado a “puntos fuertes” ubicados en la parte exterior.
 - 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.
- Con respecto 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 de las inspecciones de la excavación:
- Se revisarán los ademes tras la interrupción de los trabajos (receso nocturno o de más de dos horas) antes de reanudarse 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 debe llevarlas a cabo 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 el conocimiento para eliminar riesgos inmediatamente.

1.9 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 con medios mecánicos. No deben ser “empujadas” o lanzadas.

Tabla 1.24 Carga máxima de tubería ASTM C76 clase III por tipo de transporte									
Diámetro nominal mm	Lu	Lt	W	T	Pick up	Mediano	Camión	Tándem	Trailer
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

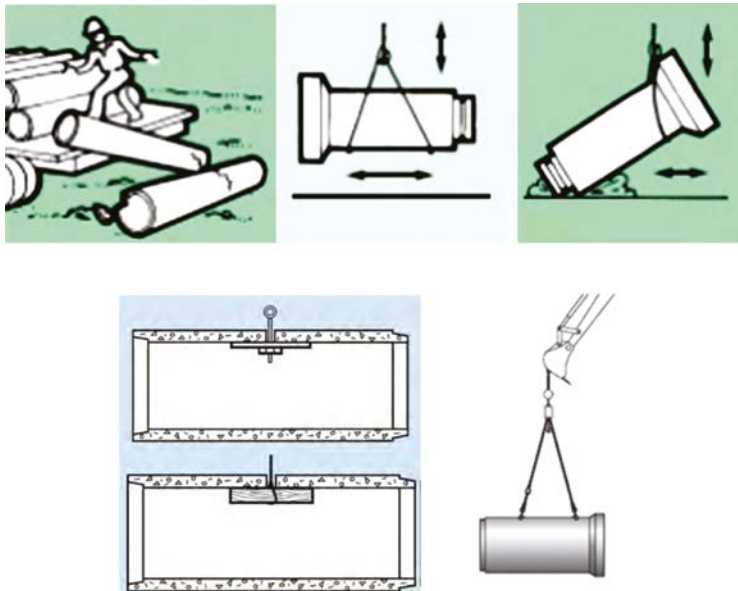


Figura 1.42 Descarga e izaje adecuado

- Cuando se utiliza equipo para descargar, el elemento debe izarse por el cuerpo para no dañar sus bordes y se pueden usar cadenas o eslingas.
- Cuando el levantamiento se realiza con excavadoras o retroexcavadoras, no debe superarse la carga de seguridad del equipo.

Almacenamiento

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

- El producto debe ubicarse lo más cercano al sitio de instalación en el lado opuesto a las tierras de excavación. Verificar que se cuenta con el espacio disponible para manipular la tubería.
- El sitio de descarga debe estar nivelado, libre de escombros o lodo y tener capacidad para soportar el peso de las tuberías.
- Colocar los tubos en grupos de un mismo diámetro.
- Para el 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).
- Por seguridad, se recomienda no tener estibas mayores de 1,8 m.
- Los empaques deben almacenarse en un lugar fresco, seco y oscuro, manteniéndolos libres de polvo, grasas, aceites y, principalmente, los rayos del sol.

Tabla 1.25 Peso máximo por tipo de transporte utilizado	
Transporte	Peso máximo (kg)
Pick up	4674
Mediano	6519
Camión	11606
Tándem	13712
Trailer	24875



Figura 1.43 Almacenamiento adecuado