

Nota Técnica #8

Introducción

Las cámaras StormTech tienen la gran ventaja y versatilidad que les permiten ser diseñadas con el fondo abierto para cruce de arroyos de bajo caudal. Alcantarillas de fondo abierto implementando cámaras son una gran combinación en escurrimientos de baja velocidad que ayudan el cruce de vida silvestre. Las alcantarillas de fondo abierto son altamente susceptibles a la socavación. Utilizando un buen diseño y tomando las precauciones sobre la socavación, son una buena opción para escurrimientos de baja velocidad. StormTech® no recomienda utilizar las cámaras donde se tienen altas velocidades que son capaces de mover rocas y residuos grandes que podrían ocasionar daños sobre las cámaras.

El diseño de alcantarillas involucra muchas especificaciones y restricciones del sitio, que dejan la responsabilidad al diseñador incluyendo la implementación de una alcantarilla de fondo abierto. Debido a la complejidad del diseño de una alcantarilla y de las condiciones del sitio donde se implementarán este documento es de referencia general cuando se especifique StormTech®. Las referencias y recursos enlistadas en este documento le facilitan más información al diseñador.

Las cámaras no deben de ser utilizadas para una alcantarilla común ya que los caudales / velocidades podrían fácilmente exceder las medidas de socavación que se hayan tomado.

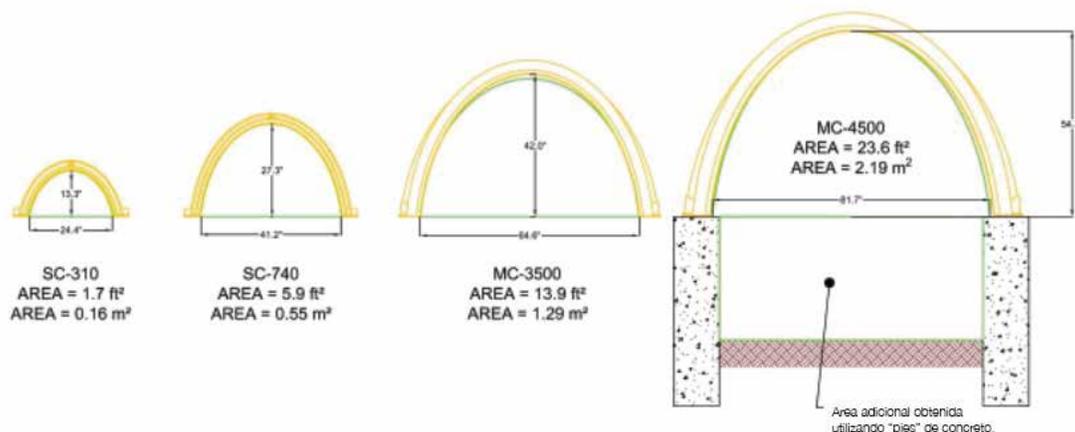
General

El diseñador debe entender las aplicaciones y consecuencias de falla. Esto nos lleva al diseño hidráulico y solución de socavación con esta información deberá tomar en cuenta las medidas de prevención contra la socavación y determinar si la opción de fondo abierto es viable para proyecto. Software para diseño de alcantarillas puede ser utilizado para determinar caudal, velocidad, tirante dentro de la cámara. Para modelar cámaras usando un Software de diseño de alcantarillas contacte a ADS Mexicana.

Las cámaras StormTech® vienen en 5 tamaños con ancho exterior que va desde las 25" hasta las 100", teniendo una gran variedad para seleccionar en todo proyecto.

La Figura 1 muestra las cuatro cámaras más grandes con sus dimensiones. Para dimensiones adicionales y límites máximos y mínimos de cobertura revise el catálogo de producto de StormTech® y los manuales de diseño.

Figura 1. Dimensiones de cámara y área abierta



Nota Técnica #8

Consideraciones de diseño

Hay 4 consideraciones de diseño básicas: 1) diseño estructural y relleno sobre el sistema 2) diseño de pies o cimentación 3) diseño de apertura y alineación 4) diseño para prevención de socavación. Estas consideraciones de diseño no son independientes. Por ejemplo, puede impactar la socavación, el relleno sobre el sistema puede impactar la cimentación, y la cimentación podría impactar el espacio abierto.

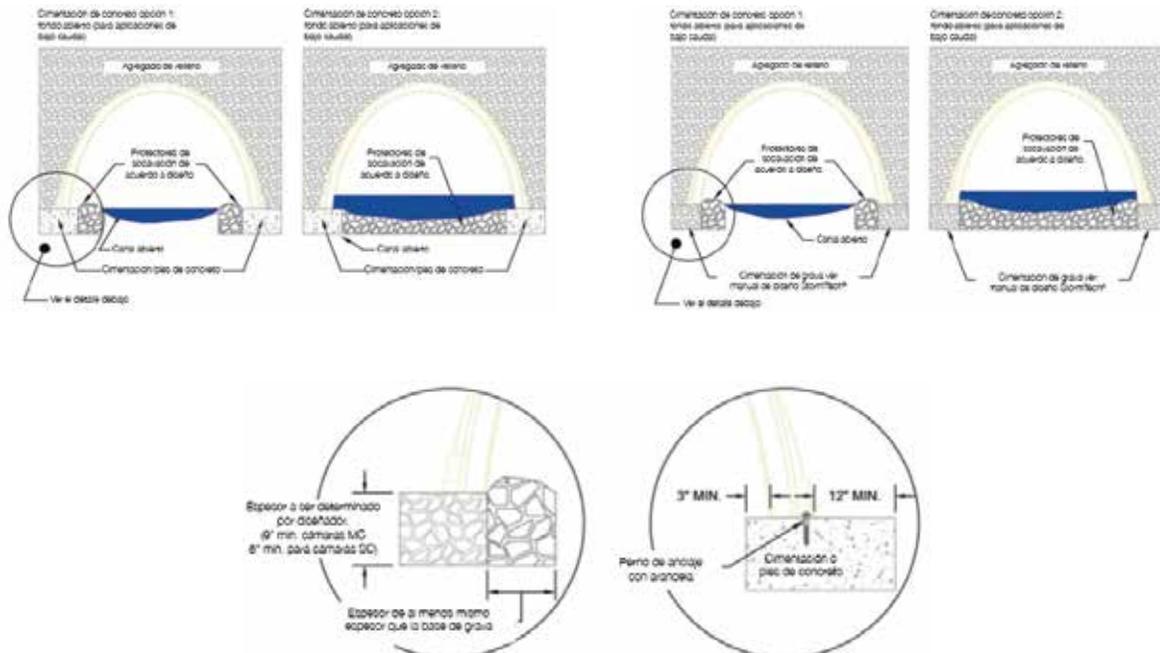
Diseño estructural

Generalmente, el diseño estructural simplemente significa que StormTech® cumple con las especificaciones de relleno, instalación. Note que las cámaras StormTech® requieren grava encima y a los lados de las cámaras. Vea el manual de diseño de StormTech® para revisar los requerimientos para la grava. Las coberturas máximas y mínimas también están especificadas para cada modelo de cámara cuando "pies/cimentación" son utilizadas debajo de las cámaras es importante el ancho de este pie o cimentación se extienda al menos al ancho normalmente especificado del perímetro de grava que es de 12". Dado que el desempeño estructural de la cámara depende de la rigidez de los materiales que la rodean, es importante establecer un correcto enrutamiento de las cargas hacia la cimentación.

Cimentación para cámaras y "pies" de concreto

Las cámaras StormTech® requieren una cimentación estable para soportar el pie de la cámara y distribuir las cargas al suelo de desplante. Cuando las cámaras son utilizadas como sistema de almacenamiento, la cimentación consiste en una capa compactada de grava triturada, limpia angular y el correcto espesor de esta capa depende de la cobertura de relleno y capacidad de carga del suelo de desplante. Para aplicaciones de fondo abierto la roca de cimentación puede ser erosionable o en otros casos un fondo natural será requerido. De ahí que la cimentación con fondo abierto son diseños especiales. El diseño de la cimentación deberá asegurar la no erosión de la base y distribuir la carga de los pies de la cámara al suelo de desplante. Figura 2 muestra 4 casos posibles de cimentación.

Figura 2. Ejemplo de cimentación de cámaras StormTech



Nota Técnica #8

La guía HEC 18 provee información para determinar la elevación profundidad de los pies sobre los cuales se desplantarán los cámaras basados en la socavación y criterios observados en el sitio. Parte de esta guía sugiere en la parte superior del pie debería estar debajo de la suma de la degradación de largo plazo, migración lateral y socavación por contracción. Basado en el diseño hidráulico y la socavación potencial el ingeniero diseñador tiene muchas opciones para la cimentación de las cámaras StormTech®. El diseñador deberá determinar qué medidas contra socavación deberán ser tomadas en cuenta.

Diseños que tienen de flujos moderados a altos están altamente expuestos a tener socavación. No es recomendable utilizar la solución con cámaras StormTech® para estos casos. La Tabla 1 enlista algunas velocidades permisibles para diferentes tipos y tamaños de materiales. El ingeniero diseñador puede utilizar esta tabla como referencia para determinar si va a tener situaciones de socavación. Nótese que hay consideraciones adicionales para la socavación aparte de las velocidades. Vea el apéndice B para un ejemplo de diseño.

Figura 4. Socavación por contracción

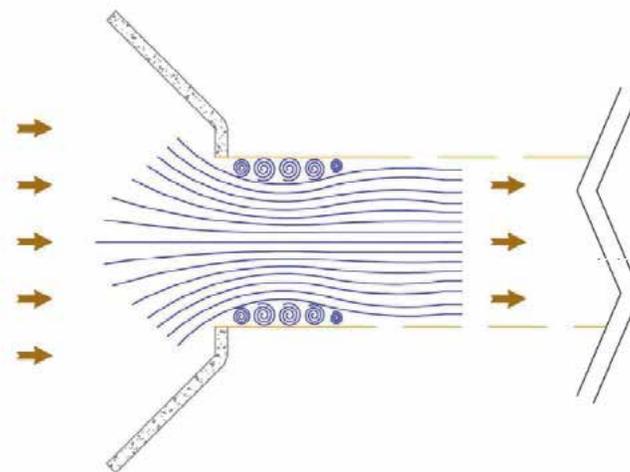


Tabla 1. Velocidades permisibles

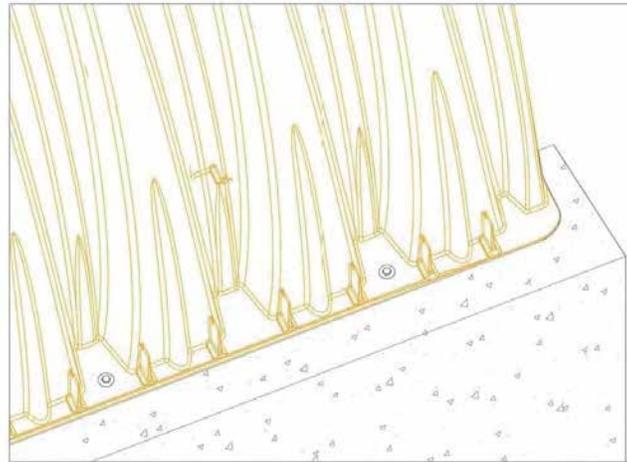
Material	N	Agua clara		Agua con transporte de limos coloidales	
		N (ft/s)	T ₀ (lbs/ft ²)	U (ft/s)	T ₀ (lbs/ft ²)
Arena fina, coloidal	0.020	1.50	0.027	2.50	0.075
Estrato arenoso, no coloidal	0.020	1.75	0.037	2.50	0.075
Estrato limoso, no coloidal	0.020	2.00	0.048	3.00	0.11
Limo aluvial, no coloidal		2.00	0.048	3.50	0.15
Ceniza volcánica	0.020	2.50	0.075	3.50	0.15
Estrato firme ordinario	0.020	2.50	0.075	3.50	0.15
Limo arcilloso, muy coloidal	0.025	3.75	0.26	5.00	0.46
Limo aluvial, coloidal	0.025	3.75	0.26	5.00	0.46
Lutitas y materia endurecida	0.025	6.00	0.67	6.00	0.67
Grava fina	0.020	2.50	0.075	5.00	0.32
Estrato graduado a piedra de río no coloidal	0.030	3.75	0.38	5.00	0.66
Limo graduado a piedra de río coloidales	0.030	4.00	0.43	5.50	0.80
Grava gruesa no coloidal	0.025	4.00	0.30	6.00	0.67
Piedra de río y virutas de suelo	0.035	5.00	0.91	5.50	1.10

Un ejemplo de una alcantarilla con fondo abierto es mostrado en el apéndice A y B.

Nota Técnica #8

La cimentación de concreto puede ser colada en sitio o con bloques de concreto. El ancho superior de un pie debe extenderse por lo menos 3" hacia el interior de la cámara y 12" hacia el exterior. El ancho de los pies de las cámaras varía de 4 a 8" dependiendo del modelo esto nos lleva a un ancho de pies de concreto mínimo de entre 19 a 23". Los pies de concreto deberán ser continuos a todo lo largo de la hilera de cámaras. El pie de las cámaras deberá ser sujeto con 4 pernos de 5/16" por cada cámara.

Figura 3. Ubicación de perno de anclaje



Diseño para cruce de caminos, alcantarilla fondo abierto

La altura libre, longitud y aperturas correspondientes para cada modelo de StormTech® pueden ser encontrados en la Figura 1. Estos valores son representativos de la cámara sobre una cimentación plana. Colocando el pie de la cámara sobre pies a todo lo largo del ancho de la cámara quedando así con apertura inferior. Esta apertura inferior permite una menor ruptura a los estratos naturales dentro de la sección formada con la cámara. Mantener esos estratos naturales dentro de la sección de la cámara es benéfico para la vida acuática organismos y el tránsito de anfibios, la cama natural promueve la continuidad del flujo y su transporte, habilitando un cruce seguro debajo de caminos. Elevando el desplante del pie de las cámaras sobre asientos de concreto aumenta su radio habilitando espacio para el cruce de especies.

Diseño contra socavación

El ingeniero diseñador debe asegurar que las velocidades que se tendrán debajo de la sección de cámaras (alcantarilla) no excedan las velocidades máximas. Cuando se diseña una alcantarilla de fondo abierto existen diversos puntos que se deben de analizar por el potencial de socavación. Estos incluyen, pero no se limitan por socavación interior, socavación por contracción, socavación del material encamado.

El mayor potencial de socavación podría ser en las esquinas superiores a la entrada de la "alcantarilla" (ver Figura 4). Un adecuado muro cabezote es importante para evitar esta socavación. La guía de diseño HEC-23 provee detalles y guías de diseño para evitar estos puntos. Las medidas para evitar socavación deben de ser seleccionadas por ingeniero de sitio de acuerdo con el tamaño de cámaras seleccionado, caudal de diseño, velocidad y diseño de muro cabezote.

Nota Técnica #8

Utilización de StormTech® para cruce de arroyos

NT 6.33

Referencias / Bibliografía

Federal Highway Administration, 2012, "Evaluating Scour at Bridges," Hydraulic Engineering Circular 18, 5th Edition, Report No. FHWA-HIF-12-003-HEC-18.

Federal Highway Administration, 2009, "Bridge Scour and Stream Stability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance," Hydraulic Engineering Circular 23, 3th Edition, Volume 2, Publication No. FHWA-NHI-09-112.

Federal Highway Administration, 2007, "Bottomless Culvert Scour Study: Phase II Laboratory Report," Report No. FWHA-HRT-07-026 (Kerenyl, K., J.S. Jones, and S. Stien).

Federal Highway Administration, 2003, "Bottomless Culvert Scour Study: Phase 1 Laboratory Report," Report No. FWHA-RD-07-.78 (Kerenyl, K., J.S. Jones, and S. Stien).

Apéndice A

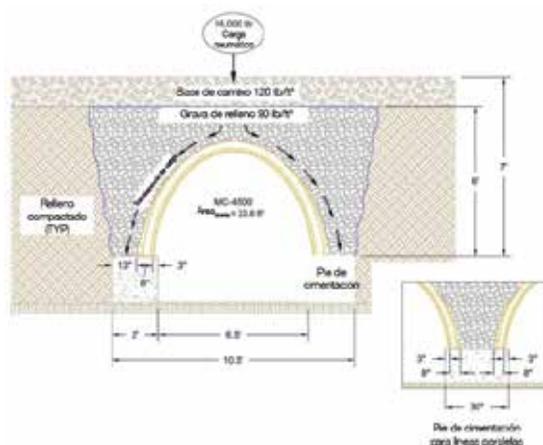
Cruce de camino con fondo abierto:

La aplicación requiere un área abierta de 30 ft² para un cruce de vida silvestre debajo de un camino de grava. El ingeniero estaría considerando usar una cámara MC-4500 que tiene un área abierta de 23.6 ft². Instalando las cámaras MC-4500 sobre unos pies/cimentación de 12" de alto, un área de aproximadamente de 30 ft² va a ser alcanzada. Para minimizar los trabajos de relleno el ingeniero busca la mínima cobertura sobre las cámaras StormTech® la cual especifica 24" para la cámara MC-4500. El tipo de suelo en sitio es descrito como una arena limosa compacta.

El ingeniero de sitio especifica que el manual de diseño de las cámaras MC-3500 y MC-4500 debe ser seguido. Este manual provee dimensiones y especificaciones sobre materiales de relleno adecuados, separaciones y colocación de geotextiles. El pie de la cámara MC-4500 es aproximadamente de 8" de ancho. Permitiendo 3" del interior del pie de la cámara al interior de la cimentación y 12" hacia fuera del pie de la cámara resulta en un total de 23". Considerar 24" de amplio contra 12" de altura de la cimentación.

Un diseño correcto de cámaras a sido asegurado bajo los requerimientos de instalación del manual StormTech®. Los puntos principales son 1) revisar la capacidad de carga del suelo de desplante para asegurar la estabilidad 2) determinar que controles contra socavación deben de ser considerados.

Figura 3. Diseño de fondo abierto



Nota Técnica #8

Utilización de StormTech® para cruce de arroyos

NT 6.33

Usando los criterios de diseño de AASHTO:

Carga viva: Carga neumático 16,000 lb sobre una huella de 10" a 20" (camiones AASHTO)

Aplicar factor de presencia de 1.2 = 19,200 lbs

Aplicar factor dinámico por 24" de colchon de 1.25 = 24,000 lbs

Dividir la carga viva total entre 2 por cada pie de cimentación= 12,000 lbs

Determinar distribución de la carga fuera del carril. Esto será la carga esparcida a lo largo de la cámara. Utilizar las 10" de huella para ser conservativos y considerar distribución de carga con 24" de colchón de acuerdo con AASHTO de 1.15 h donde $h = 24"$: $L = 10" + 1.15 (24) = 37.6"$.

Utilizar 3 pies.

$12,000 \text{ lbs} / (2 \text{ ft anchos de cimientos} \times 3 \text{ ft longitud fuera de "carril"}) = 2000 \text{ lbs/ft}^2$ al fondo de cimientos

Carga muerta: Base de camino = $1 \text{ ft} \times 10.5 \text{ ft} \times 120 \text{ lbs} / \text{ft}^3 = 1,260 \text{ lb} / \text{ft}$

Relleno acostillado = $((6 \text{ ft} \times 10.5 \text{ ft}) - 26.5 \text{ ft}^2) \times 90 \text{ lbs} / \text{ft}^3 = 3285 \text{ lb} / \text{ft}$

Cimientos de concreto = $1 \text{ ft} \times 2 \text{ ft} \times 15 \text{ lbs} / \text{ft}^3 = 300 \text{ lbs} / \text{ft}$

$$\frac{(1260 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} + 3285 \frac{\text{lb}}{\text{ft}})}{(2 \text{ ft de cámaras} \times 2 \text{ ft anchura de cimiento})} + \frac{300 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}}}{(2 \text{ ft anchura de cimiento})} = 1286 \frac{\text{lbs}}{\text{ft}} \text{ al fondo de cimientos}$$

Debido que este es un camino de grava, el diseñador deberá considerar una capacidad aproximada más allá que contratar a un especialista geotécnico para determinar la capacidad real. Para una arena limosa con contenido de finos a medios el US Army muestra una capacidad nominal de 5000 PSF. De ahí que el cimiento sea suficientemente ancho.

Apéndice B

Ejemplo

El cruce es diseñado principalmente como cruce de vida silvestre, pero estará sometido a algunos eventos de escurrimientos de tormenta. Un área drenada de 20 acres se define como una alcantarilla de dimensión menor para un Tr de 25 año. Usando un software de hidrograma unitario, un Tc de 150 minutos y un coeficiente CN de 66, el área drenada produce un caudal de 10 ft³/s.

El software HY-8 (Federal Highways) fue utilizado para calcular las velocidades. Las velocidades son verificadas para asegurar las correctas medidas preventivas para el diseño. Para este diseño sera colocado un "espigon" en el punto bajo del cruce.

Los siguientes datos fueron introducidos al software para una cámara MC-4500:

Caudal de diseño – 10 ft³/s

Ripo de canal – Rectangular

Línea piezométrica – 8.5 ft

Coefficiente Manning's n – 0.025

Cota arrastre ingreso – 100

Cota arrastre salida – 99.5

Muro cabezote cuadrado

"Tramo" – 6.81 ft*

Zona de espigón Manning's n – 0.035 (Espigón)

Altura – 4.56 ft*

Manning's n superior y lateral – 0.022 (Corrugaciones)



Nota Técnica #8

Utilización de StormTech® para cruce de arroyos

NT 6.33

*Ver apéndice C para detalles de información de ingreso

Con la información el cruce fue analizado arrojando lo siguiente:

Profundidad normal – 0.035 ft

Profundidad crítica – 0.40 ft

Altura línea piezométrica – 0.48 ft

Velocidad de salida – 4.01 ft/s

Velocidad línea piezométrica – 2.98 ft/s (Para ser checados con velocidades admisibles debajo del cruce)

Las velocidades de salida son mostradas para estar debajo de las permisibles enlistadas en la tabla 1 para grava y espigones de 4 y 5 ft/s.

Nota Técnica #8

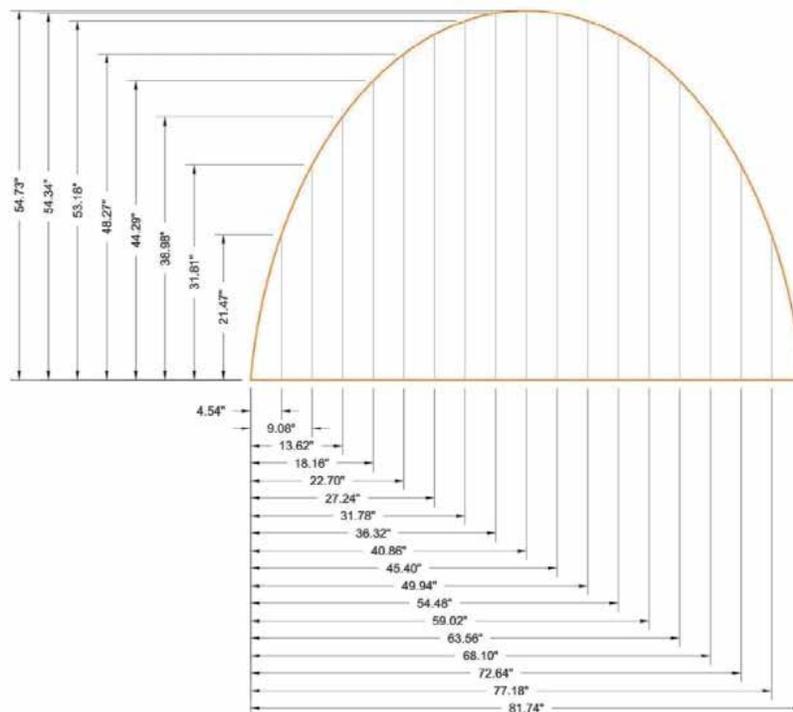
Utilización de StormTech® para cruce de arroyos

NT 6.33

Apéndice C

Valores para ingresar en el software HY8 como alcantarilla de geometría definida.

Número	MC-4500 Forma conocida		
	X (pies)	Y-superior (pies)	Y-inferior (pies)
1	0	0	0
2	0.3833	1.792	0
3	0.7583	2.65	0
4	1.133	3.25	0
5	1.5167	3.692	0
6	1.892	4.025	0
7	2.275	4.267	0
8	2.65	4.433	0
9	3.025	4.525	0
10	3.408	4.558	0
11	3.783	4.525	0
12	4.1667	4.433	0
13	4.542	4.267	0
14	4.917	4.025	0
15	5.3	3.692	0
16	5.675	3.25	0
17	6.058	2.65	0
18	6.433	1.792	0
19	6.808	0	0

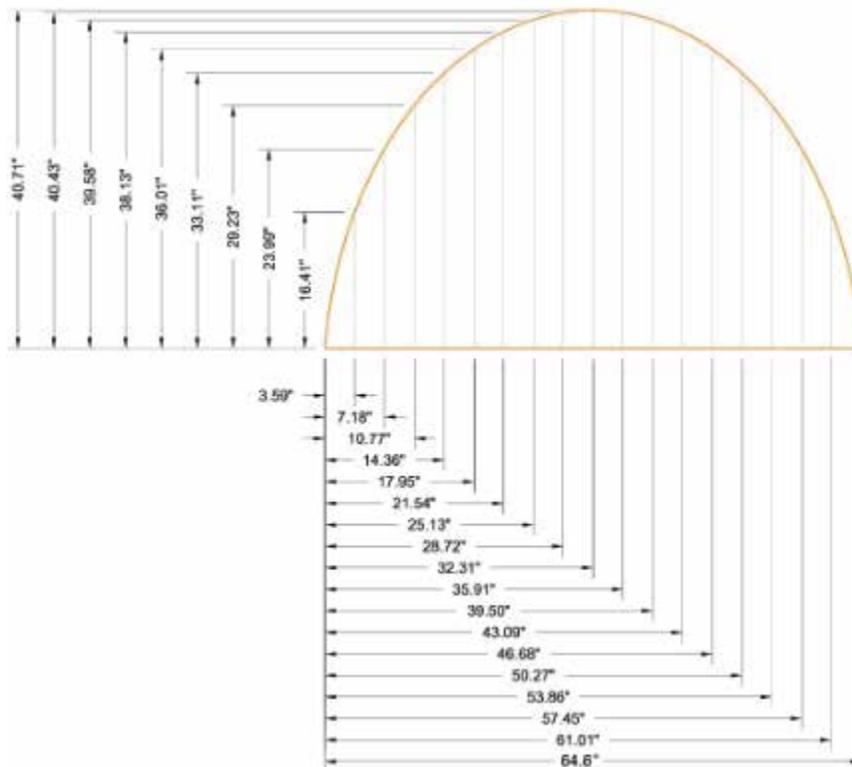


Nota Técnica #8

Utilización de StormTech® para cruce de arroyos

NT 6.33

Número	MC-3500 Forma conocida		
	X (pies)	Y-superior (pies)	Y-inferior (pies)
1	0	0	0
2	0.3	1.367	0
3	0.6	2	0
4	0.9	2.433	0
5	1.2	2.758	0
6	1.5	3	0
7	1.792	3.175	0
8	2.092	3.3	0
9	2.392	3.367	0
10	2.691	3.392	0
11	2.992	3.367	0
12	3.292	3.3	0
13	3.592	3.175	0
14	3.892	3	0
15	4.192	2.758	0
16	4.492	2.433	0
17	4.783	2	0
18	5.083	1.367	0
19	5.383	0	0

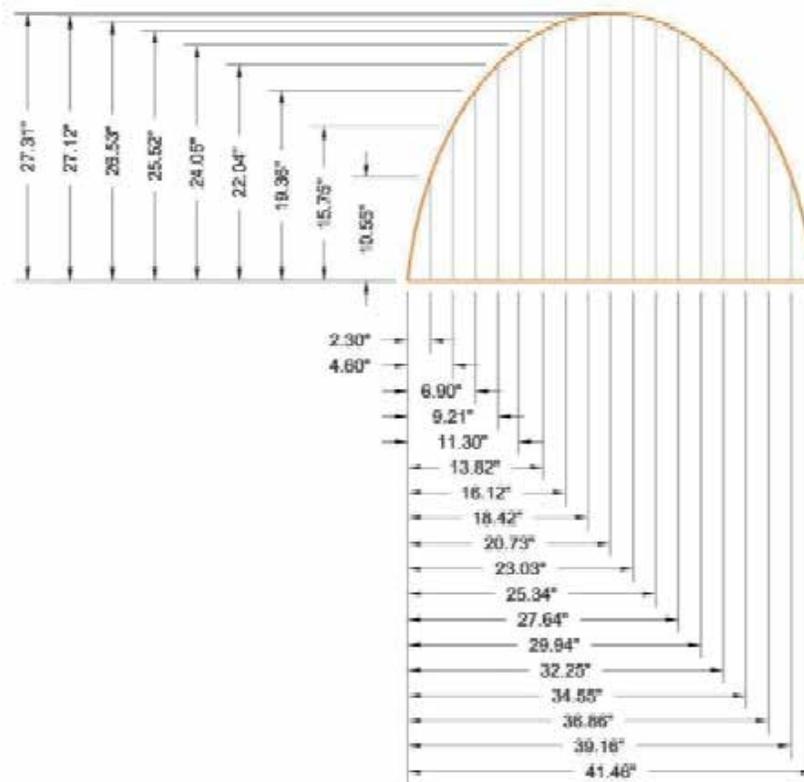


Nota Técnica #8

Utilización de StormTech® para cruce de arroyos

NT 6.33

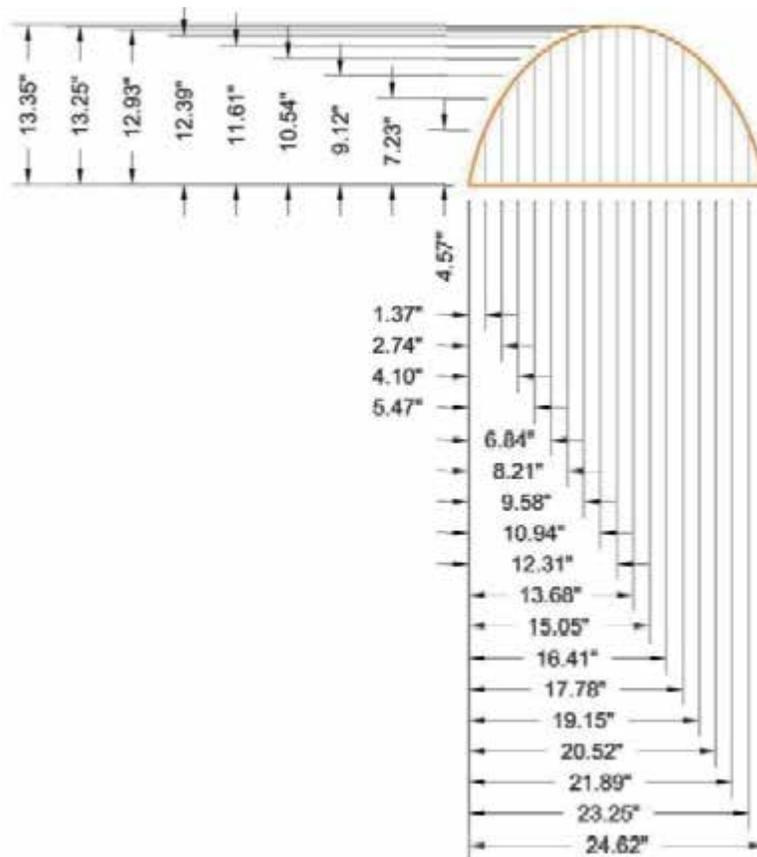
Número	SC-740 Forma conocida		
	X (pies)	Y-superior (pies)	Y-inferior (pies)
1	0	0	0
2	0.192	0.875	0
3	0.383	1.308	0
4	0.575	1.617	0
5	0.767	1.833	0
6	0.958	2.008	0
7	1.15	2.125	0
8	1.342	2.208	0
9	1.533	2.258	0
10	1.725	2.275	0
11	1.917	2.258	0
12	2.108	2.208	0
13	2.3	2.125	0
14	2.5	2.008	0
15	2.692	1.833	0
16	2.883	1.617	0
17	3.075	1.308	0
18	3.267	0.875	0
19	3.458	0	0



Utilización de StormTech para Cruce de Arroyos

Infraestructura

Número	SC-740 Forma conocida		
	X (pies)	Y-superior (pies)	Y-inferior (pies)
1	0	0	0
2	0.114	0.381	0
3	0.228	0.603	0
4	0.342	0.76	0
5	0.456	0.878	0
6	0.57	0.968	0
7	0.684	1.033	0
8	0.798	1.078	0
9	0.912	1.104	0
10	1.026	1.113	0
11	1.14	1.104	0
12	1.254	1.078	0
13	1.368	1.033	0
14	1.482	0.968	0
15	1.596	0.878	0
16	1.71	0.76	0
17	1.824	0.603	0
18	1.938	0.381	0
19	2.052	0	0



Utilización de StormTech para Cruce de Arroyos

Infraestructura

Número	MC-3500 Forma conocida		
	X (pies)	Y-superior (pies)	Y-inferior (pies)
1	0	0	0
2	0.3	1.367	0
3	0.6	2	0
4	0.9	2.433	0
5	1.2	2.758	0
6	1.5	3	0
7	1.792	3.175	0
8	2.092	3.3	0
9	2.392	3.367	0
10	2.691	3.392	0
11	2.992	3.367	0
12	3.292	3.3	0
13	3.592	3.175	0
14	3.892	3	0
15	4.192	2.758	0
16	4.492	2.433	0
17	4.783	2	0
18	5.083	1.367	0
19	5.383	0	0

