

Nota Técnica #7

El diseño de los sistemas de cámaras subterráneas, como parte del diseño de un sitio, involucra muchas restricciones específicas del lugar que dejan necesariamente una responsabilidad general del diseño a cargo del ingeniero consultor. No obstante, StormTech® ofrece ayuda al ingeniero de diseño para el arreglo de los sistemas de cámaras y los distribuidores que conecten las cámaras con el sistema de drenaje. En esta hoja técnica se resumen los métodos que emplea StormTech® para calcular el tamaño y la configuración de los cabezales para el sistema de cámaras StormTech®.

Los cabezales de StormTech® se componen de tubos ADS de doble pared, secciones prefabricadas de cabezal y accesorios que se alinean con la separación adecuada de las hileras de la cámara. El uso de componentes de tubos comunes permite al ingeniero aplicar ecuaciones simples de hidráulica para dimensionar el sistema de cabezales.

Los objetivos primarios del diseño de cabezales son: 1) transmitir los caudales máximos hacia y desde el sistema de la cámara sin provocar una contracorriente inaceptable. 2) impedir la socavación de la grava estructural debajo del sistema de la cámara. StormTech® asume que la elevación máxima permitida de la superficie del agua es con el almacenamiento lleno (parte superior de la grava de acostillado). El ingeniero de diseño puede elegir si diseña una mayor altura en la elevación máxima de la superficie de agua. Como la relación entre hidrograma del caudal entrante, el control de salida, el tiempo para llegar al máximo y el almacenamiento acumulado es algo específico del sitio y es complejo, StormTech® supone que el caudal máximo de entrada ocurre cuando no hay agua en las cámaras. Esta es la peor situación para la socavación. StormTech® supone que las cámaras están llenas cuando ocurre el caudal máximo de salida.

Cabezal de entrada

El diseño del cabezal de entrada se divide en tres partes. 1) determinar la capacidad del troncal principal, 2) determinar la capacidad de cada derivación y su socavación potencial. Finalmente comparar los dos valores y seleccionar el menor de los dos.

Dimensionamiento del troncal de entrada

El diseño del troncal de entrada se puede determinar usando la ecuación del orificio de un tubo corto. En general, los sistemas StormTech® están a un nivel establecido con una mínima longitud entre el pozo de visita y la ubicación de la primera derivación. En este caso el "tubo corto" controlará la condición. El caudal en el troncal de entrada se verá reducido después de cada derivación y las pérdidas de carga en el balance del troncal no tienen el control.

Figura 1. Ecuación del orificio para un tubo corto

La ecuación para un orificio de un tubo corto es :

$$Q = Ca\sqrt{2gh}$$

Y las variables se definen de la siguiente manera:

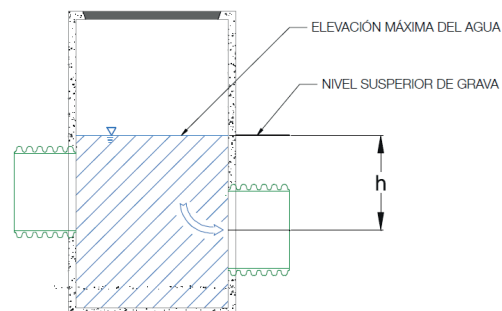
Q= Flujo máximo a través del orificio $cfs \left(\frac{m^3}{s}\right)$

C= 0.75 (coeficiente de descarga)

a= área del troncal de entrada $ft^2 (m^2)$

g= $32.2 \frac{ft}{s^2}, \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right)$

h= altura sobre el centro del orificio $ft (m)$



Nota Técnica #7

El valor “h” depende del tamaño, arrastre, y configuración del manifold seleccionado. El tamaño de cámara y el relleno pueden limitar los tamaños de manifold disponibles. De todas maneras, se considera aceptable un manifold cuando los valores de ambos “a” y “h” producen un valor de “Q” mayor del caudal de entrada requerido. Los valores de “h” son basados típicamente en componentes estándar de StormTech®. Los arrastres estándar de conexión pueden ser encontrados en la ficha técnica del correspondiente modelo.

El ingeniero de diseño podría aplicar un valor más alto a “h” si no está limitado por el nivel máximo de agua ubicado en la parte superior de grava.

Dimensionamiento de la línea derivadora de entrada

El dimensionamiento de las líneas derivadoras de entrada es calculado que evaluando cada conexión como un vertedero de cresta ancha. El caudal a través de cada ejecución puede ser calculado usando las siguientes ecuaciones:

$$Q = C_d d_0^{2.5} g^{0.5} f(\theta)$$

$$C_d = 0.93 + 0.10 \frac{H_1}{L}$$

Y las variables se definen de la siguiente manera:

C_d = Coeficiente de descarga

H_1 = Carga *ft (m)*

L = Longitud de cresta en dirección de caudal *ft (m)*

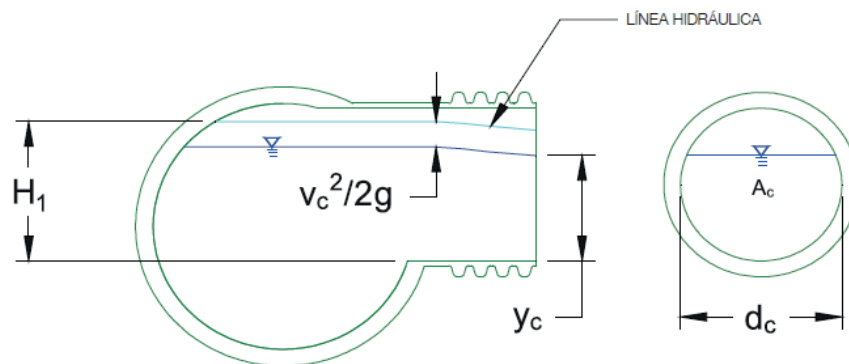
D_0 = Diámetro de derivación *ft (m)*

$g = 32.2 \frac{ft}{s^2}, (9.8 \frac{m}{s^2})$

$f(\theta)$ = factor de forma para la sección de control (sin unidad)

El factor de forma puede ser de la tabla 1 y varía de acuerdo con la carga (H_1). Larga “ H_1 ” se asume que no accede el diámetro de la derivación.

Figura 2- StormTech® manifold como vertedero de cresta ancha



Nota Técnica #7

Tabla 2. Velocidad de corte permisible y esfuerzo cortante para diversos tipos de materiales.

Material	Agua clara		Agua con transporte de limos coloidales	
	H _i / d _c	f(Ø)	H _i / d	f(Ø)
Arena fina, coloidal	1.50	0.027	2.50	0.075
Estrato arenoso, no coloidal	1.75	0.037	2.50	0.075
Estrato limoso, no coloidal	2.00	0.048	3.00	0.11
Limo aluvial, no coloidal	2.00	0.048	3.50	0.15
Ceniza volcanica	2.50	0.075	3.50	0.15
Estrato firme ordinario	2.50	0.075	3.50	0.15
Limo arcilloso, muy coloidal	3.75	0.26	5.00	0.46
Limo aluvial, coloidal	3.75	0.26	5.00	0.46
Lutitas y materia endurecida	6.00	0.67	6.00	0.67
Grava fina	2.50	0.075	5.00	0.32
Estrato graduado a piedra de rio no coloidal	3.75	0.38	5.00	0.66
Limo graduado a piedra de rio coloidales	4.00	0.43	5.50	0.80
Grava gruesa no coloidal	4.00	0.30	6.00	0.67
Piedra de rio y virutas de suelo	5.00	0.91	5.50	1.10

Típicamente ADS considera 230 mm (9") de agua en el fondo de los sistemas MC y 150 mm (6") de agua en el fondo de los sistemas SC cuando ocurre el caudal máximo. Adicional StormTech® no considera las perdidas en las piezas que lo conforman. en grandes diámetros de manifold existe la posibilidad de que se presente un salto hidráulico. La longitud de socavación a sido determinada para que este salto hidráulico ocurra antes del término del geotextil tejido colocado para este efecto.

Tabla 2. Velocidad de corte permisible y esfuerzo cortante para diversos tipos de materiales.

Diámetro de derivación mm (pulg)	Caudal de entrada por derivación por modelo de cámara				
	LP-160	SC-310	SC-740 / SC-780	MC-3500	MC-4500
150 (6)	10.4 (0.37)	12.1 (0.43)	12.1 (0.43)	12.1 (0.43)	12.1 (0.43)
200 (8)	20.9 (0.74)	25.1 (0.89)	25.1 (0.89)	25.1 (0.89)	25.1 (0.89)
250 (10)	NA	37.3 (1.32)	44.1 (1.56)	44.1 (1.56)	44.1 (1.56)
300 (12)	NA	58.5 (2.07)	65.0 (2.30)	70.1 (2.48)	70.1 (2.48)
375 (15)	NA	NA	79.2 (2.80)	99.0 (3.50)	99.0 (3.50)
450 (18)	NA	NA	79.2 (2.80)	155.6 (5.50)	155.6 (5.50)
600 (24)	NA	NA	79.2 (2.80)	240.5 (8.50)	268.8 (9.5)

Colectores de salida

El propósito de los colectores de salida es asegurar de que existan condiciones de inundación libre entre las cámaras StormTech® y la estructura de control de salida. El colector de salida debe ser capaz de pasar el caudal de salida máximo del diseño del sistema de cámaras a la estructura de control de salida, y la estructura de control de salida debe de hecho controlar el caudal.

La premisa del criterio de dimensionamiento de StormTech® es que la estructura de control de salida ha provocado que las cámaras estén llenas cuando ocurra el caudal máximo de salida. En esencia, la estructura de control de salida ha impedido el caudal y ha provocado una contracorriente en las cámaras StormTech®.

Nota Técnica #7

Tabla 1. Radios para determinar la descarga Q de un vertedero de cresta ancha con una sección circular.

H_1 / d_c	$f(\emptyset)$	H_1 / d_c	$f(\emptyset)$	H_1 / d_c	$f(\emptyset)$
0.0668	0.0027	0.4926	0.1311	0.9502	0.4189
0.0803	0.0039	0.5068	0.1382	0.9674	0.4314
0.0937	0.0053	0.5068	0.1455	0.9848	0.444
0.1071	0.0068	0.5354	0.1529	1.0025	0.4569
0.1206	0.0087	0.5497	0.1605	1.0204	0.4701
0.1341	0.0107	0.5641	0.1683	1.0386	0.4835
0.1476	0.0129	0.5786	0.1763	1.0571	0.4971
0.1611	0.0153	0.5931	0.1844	1.0759	0.5109
0.1746	0.0179	0.6076	0.1927	1.0952	0.5252
0.1882	0.0214	0.6223	0.2012	1.1148	0.5397
0.2017	0.0238	0.6369	0.2098	1.1349	0.5546
0.2153	0.027	0.6517	0.2186	1.1555	0.5698
0.2289	0.0304	0.6665	0.2276	1.1767	0.5855
0.2426	0.034	0.6814	0.2368	1.1985	0.6015
0.2562	0.0378	0.6964	0.2461	1.221	0.618
0.2699	0.0418	0.7114	0.2556	1.2443	0.6351
0.0736	0.046	0.7265	0.2652	1.2685	0.6528
0.2973	0.0504	0.7417	0.275	1.2938	0.6712
0.3111	0.055	0.757	0.2851	1.3203	0.6903
0.3248	0.0597	0.7724	0.2952	1.3482	0.7102
0.3387	0.0647	0.7879	0.3056	1.3777	0.7312
0.3525	0.0698	0.8035	0.3161	1.4092	0.7533
0.3663	0.0751	0.8193	0.3268	1.4432	0.7769
0.3802	0.0806	0.8351	0.3376	1.48	0.8021
0.3942	0.0863	0.8511	0.3487	1.5204	0.8293
0.4081	0.0922	0.8672	0.3599	1.5655	0.8592
0.4221	0.0982	0.8835	0.3713	1.6166	0.8923
0.4361	0.1044	0.8999	0.3829	1.6759	0.9297
0.4502	0.1108	0.9165	0.3947	1.7465	0.9731
0.4643	0.1174	0.9333	0.4068	1.8341	1.0248
0.4784	0.1289				

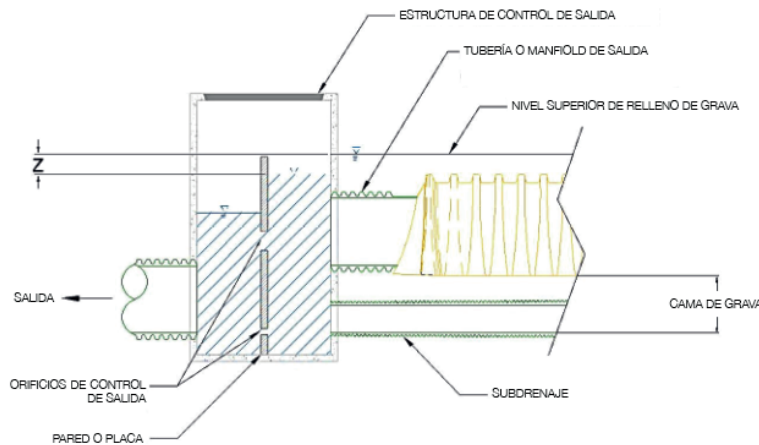
Además de determinar la capacidad hidráulica, la velocidad del flujo bajo la cámara debe ser revisada para asegurarse que no provocara una socavación. La velocidad de socavación está basada en el esfuerzo cortante crítico del material de encamado dependiendo del tamaño de partícula la grava No. 57 es usada para el análisis ya que el tamaño de partícula es el más pequeño permitido para los sistemas StormTech®. La velocidad de corte y esfuerzo cortante permitidos pueden ser encontrados en la tabla 2.

Nota Técnica #7

Este concepto es adecuado para la mayoría de los sistemas de atenuación de caudal y también simplifica el diseño. Como se supone que las cámaras están llenas, el caudal disponible a través de la hilera de cámaras es el caudal del área completa de la cámara multiplicada por la socavación aceptable. Sin embargo, cuando la intención del diseño es maximizar el almacenamiento en las cámaras, la estructura de salida ocasionaría un alto nivel de agua en el sistema y la cabeza o columna de agua sería pequeña. En el escenario de una baja columna de agua, el caudal del tubo es más restringido que el caudal de la hilera de cámaras.

Entonces, el dimensionamiento del cabezal de salida se convierte en caudal a tubo lleno, el cual depende de la altura de la columna de agua, las pérdidas en la entrada del tubo, las pérdidas por fricción en los tubos, las pérdidas en los accesorios (si es un cabezal) y las pérdidas de salida. Esto se resuelve mediante una simple aplicación de la ecuación de energía y la ecuación de Darcy Weisbach para la tubería que conecta dos depósitos; la elevación del depósito aguas arriba se convierte en la elevación máxima de la superficie del agua en el sistema de cámaras y la elevación del depósito aguas abajo se convierte en la elevación de la superficie del agua ocasionada por el control de salida (vea la Figura 3).

Figura 3. Conexiones de salida (Conexión de depósito a depósito)



Las fórmulas para utilizar son:

Ecuación de energía:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \alpha \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \alpha \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_l$$

Donde:

$\frac{p}{\gamma}$ = altura de presión

$\alpha \frac{v^2}{2g}$ = altura de velocidad *ft (m)*

α = factor de corrección por energía cinética (usualmente se define como 1)

z = elevación

Nota Técnica #7

Fórmula Darcy-Weisbach

$$h_f = f \frac{Lv^2}{D2g}$$

Donde:

hf = pérdida de altura en el tubo ft (m)

v² / 2g= altura de velocidad ft (m)

L = largo del tubo ft (m)

D = diámetro del tubo ft (m)

f = coeficiente de resistencia

Fórmula de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.0 \log \left(\frac{\frac{\epsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Donde:

f = pérdida de altura en el tubo

E/D= aspereza relativa

D = diámetro del tubo ft (m)

E = aspereza absoluta equivalente

Re = número de Reynolds

La pérdida de columna en las transiciones y en la unión se puede calcular usando la fórmula:

$$h_L = K \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

Ke = 0.5 para un tubo de entrada con bordes rectos

KE = 1.0 para un entrante (tubo en una estructura de control de salida)

KL = 2.0 para una T derivada (T de colector)

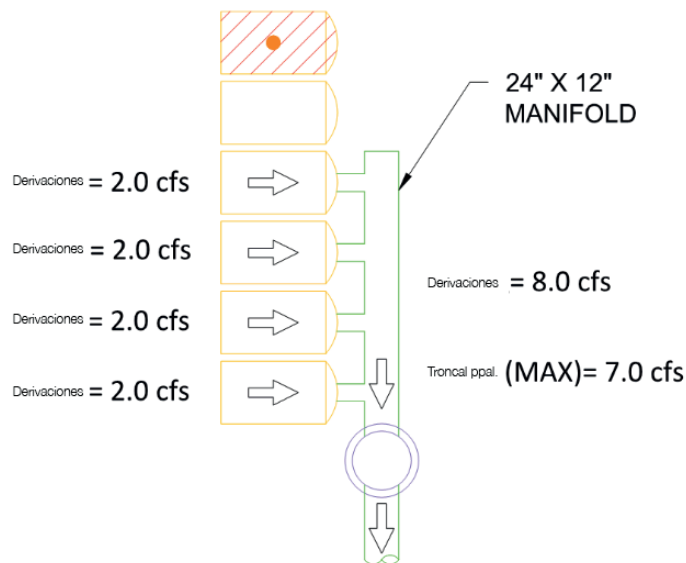
StormTech® ha resuelto la ecuación de la energía y la ecuación de Darby Weisbach con base en una altura de impulso con pérdidas de 76 mm (0.25 pies) que incluyen: 1 entrada de bordes rectos, 1 T, 1 salida y s 15 m de tubo, y sugiere razones de caudal máximo para tamaños de líneas auxiliares y colectores tal como se muestran en la Tabla 3. Cuando el tubo requerido es más grande que el tubo de tamaño máximo que puede ser entrada hacia la cámara, el tamaño de tubo calculado se especifica como troncal de colector principal (vea la Tabla 3). El número de líneas derivadoras requeridas para el colector se obtiene dividiendo el caudal de salida entre el caudal de flujo máximo de la Tabla 3, para obtener el tamaño deseado de línea auxiliar. Por ejemplo, con una razón de caudal de salida de 6 cfs se requiere un troncal colector de 24 pulg. para la cámara SC-310 (el tamaño máximo de tubo es de 12 pulg.). Para dimensionar un colector de salida de 24 x 12 pulg., los 6 cfs se dividen entre los 2.0 cfs (razón de caudal de salida máximo para un tubo de 12 pulg.) para obtener un total de tres líneas derivadoras de 12 pulg. requeridos.

Nota Técnica #7

Tabla 4. Máximo caudal de salida

Diámetro del tubo de salida mm (pulg)	Caudal de salida máximo permitido L/s (cfs)
150 (6)	11.3 (0.40)
200 (8)	19.8 (0.7)
250 (10)	28.3 (1.0)
300 (12)	56.6 (2.0)
375 (15)	76.4 (2.7)
450 (18)	133.2 (4.0)
600 (24)	198.2 (7.0)
750 (30)	311.4 (11.0)
900 (36)	453.0 (16.0)
1050 (42)	622.9 (22.0)
1200 (48)	792.8 (28.0)

Tabla 4. Máximo caudal de salida

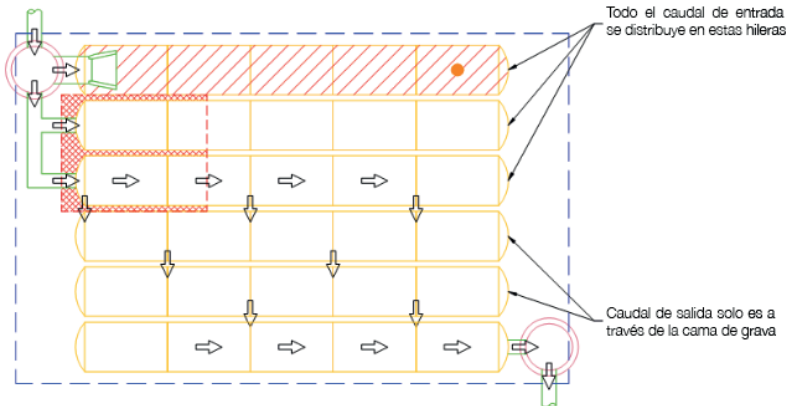


La figura 4 muestra como es determinando el máximo caudal de salida para situaciones con manifold de reducción. En este caso las 4 derivaciones de 12 plg proveen 56.6 L/s (2.0 cfs) cada uno para un total de 226.4 L/s (8.0 cfs). Estas derivaciones alimentarían al troncal principal el cual tiene una capacidad máxima de 198.1 L/s (7.0 cfs) (ver tabla 4). El menor de estos dos valores debe ser seleccionado. De ahí que, el caudal máximo de salida para este ejemplo es 198.1 L/s (7.0 cfs). Si solo 3 derivaciones de 12 pulg fueran consideradas (para un total de 169.8 L/s, 6.9 cfs) entonces 169.8 L/s (6.9 cfs) deberá ser el mayor caudal de salida considerado.

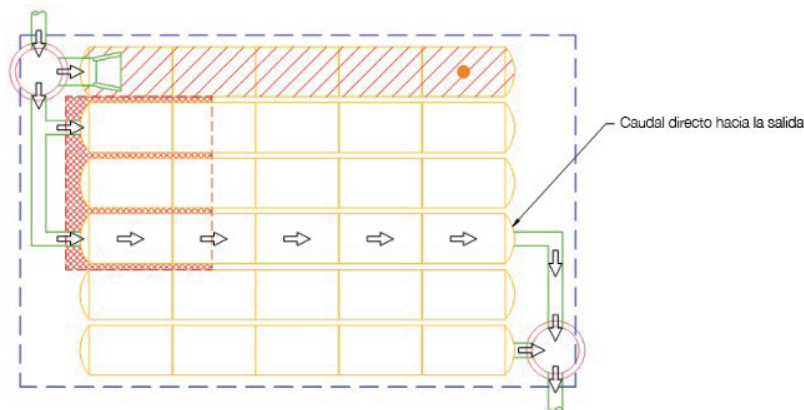
Nota Técnica #7

Configuración Manifold

Además de transmitir los caudales máximos, los manifold de StormTech® son diseñados para distribuir el agua a través de sistemas de cámaras y proveer una dirección de flujo de entrada hacia la salida para encamados más anchos las derivaciones de los manifolds son espaciados a través las hileras disponibles configuraciones extendidas ayudan a prevenir condiciones donde el caudal lateral a través del encamado limita la distribución a través del sistema.



Caudal forzado a través de la cama de grava



Caudal libre a través de hileras de cámaras.

El agregado usado de las cámaras StormTech tiene una permeabilidad sobre 0.1 ft/s (0.03 m/s) a 1.6 ft/s (0.49 m/s) (Valores Darcy k). (No. 57 No. 3 respectivamente) StormTech has estimated the flow through the stone beneath the chambers (una sola dirección) como:

Tabla 5. Caudal estimado a través de la cama de grava por graduación y modelo de cámara

Flujo por cámaras	Darcy "k"	LP 160	SC-310	SC-740	MC-3500	MC-4500
#3	1.6	64.5 (2.28)	86.0 (3.04)	118.0 (4.17)	188.7 (6.67)	120.2 (4.25)
#357, 4, 467, 5	0.6	24.0 (0.85)	32.2 (1.14)	45.2 (1.60)	70.7 (2.50)	45.2 (1.60)
#56, 57	0.1	3.9 (0.14)	5.3 (0.19)	7.3 (0.26)	11.8 (0.42)	7.6 (0.27)