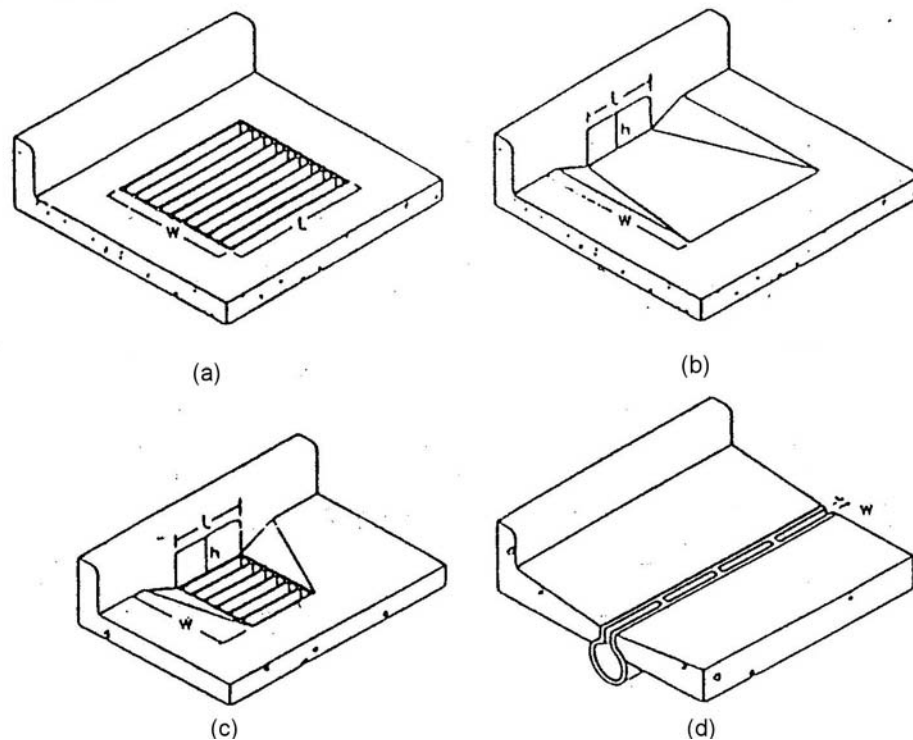


UNIDAD Nº 4: Diseño de bocas de tormenta

4.1 TIPOS DE BOCAS

Las bocas se pueden clasificar en uno de los siguientes tipos: a) en solera, b) en cordón, c) combinadas y d) ranuradas (Figura Nº 4.1).

Figura Nº 4.1: Bocas de tormenta (fuente: HEC22 - FHWA, 2001).



a) Bocas en solera:

Consisten de una abertura en la cuneta, cubierta por una o mas rejas (Figura Nº 4.1.a). Las barras pueden estar dispuestas paralela o transversalmente a la dirección del flujo y se denominan longitudinales y transversales, respectivamente.

Funcionan satisfactoriamente en un amplio rango de pendientes longitudinales de cordones cuneta. Generalmente pierden eficiencia con el aumento de la pendiente, pero en menor grado que las bocas en cordón.

La principal ventaja de las bocas en solera es que son instaladas a lo largo de la cuneta, donde está fluyendo el agua. Las desventajas son las siguientes:

- Ocupan parte de la senda de circulación de vehículos motorizados y bicicletas y pueden generar incomodidades a éstos cuando se construyen con depresión local.
- Tienen tendencia a obstrucciones frecuentes con residuos, con una disminución sensible de su capacidad, tornándose en algunos casos completamente inactivas. Cuando se ubican en puntos bajos la probabilidad de obstrucción es mayor, por lo que algunas ciudades de EUA han suprimido su uso en puntos bajos.

b) Bocas en cordón:

Son aberturas verticales en el cordón, a través de la cual ingresa agua de la cuneta, cubiertas por una losa superior.

Son efectivas para pendientes bajas, en puntos bajos y con caudales que pueden acarrear cantidades significativas de basura. **El uso de estas bocas es recomendado tanto en tramos de pendiente continua de hasta el 3% como en puntos bajos** (Figura N° 4.1.b). Para pendientes más altas y sin depresión local, se tornan ineficientes.

Este tipo de boca es ampliamente utilizado en proyectos de drenaje urbano y tienen las siguientes ventajas sobre la boca en solera:

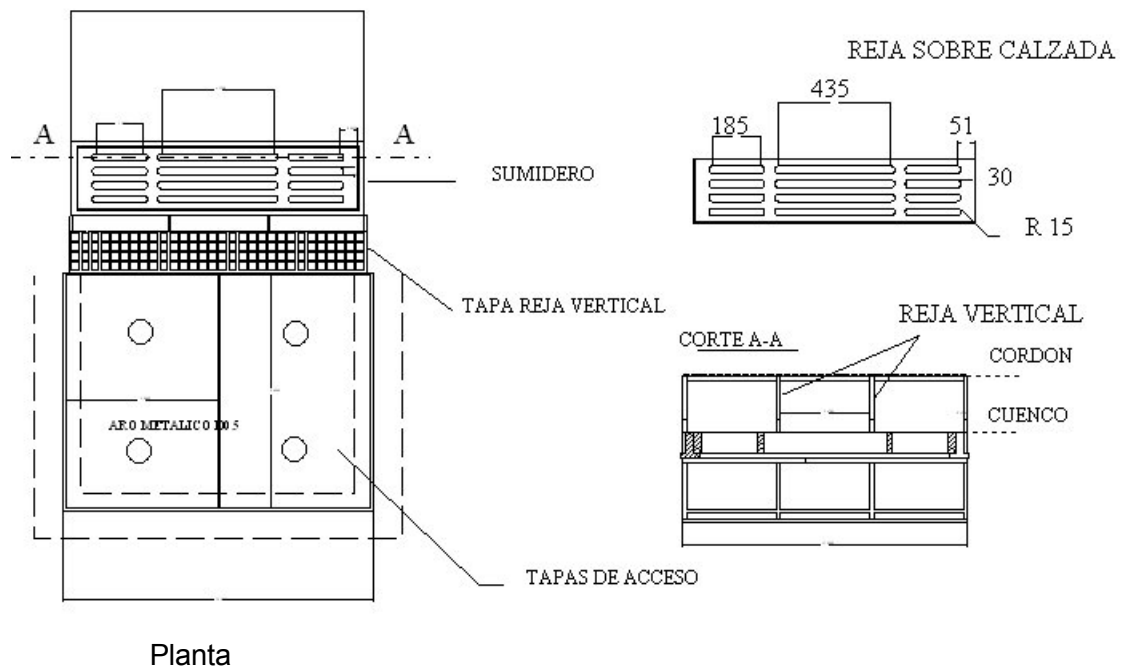
- No ocupa parte de la senda de circulación de vehículos motorizados o bicicletas. Son más seguras donde existe acceso de peatones.
- Son más efectivas donde es esperable afluencia de residuos.

c) Bocas combinadas:

Hay dos tipos de bocas combinadas: a) “acoplada” y b) “barredora”.

La boca “acoplada” (o simplemente combinada) consiste en una boca en cordón más una boca en solera adyacente, ubicadas en la misma sección del cordón cuneta. La Figura N°4.2 muestra una boca combinada tipo utilizada en la ciudad de Santa Fe. Es de hierro fundido con dimensiones: 1.1 m de longitud, una abertura en cordón de 0.15 m de altura y una reja en calzada de barras longitudinales, de ancho variable (0.24 m, 0.48 m y 0.72 m).

Figura N° 4.2: Boca combinada.



La boca combinada ofrece las ventajas de los dos tipos anteriores. Puede ser ubicada en tramos de pendiente continua o en puntos bajos.

La boca “barredora” consiste en ubicar la boca en cordón aguas arriba de la boca en solera (Figura N° 4.3). De este modo, la boca en cordón intercepta la basura arrastrada por el flujo, evitando que se obstruya la boca en solera. Si se la usa en un punto bajo, pueden ubicarse bocas en cordón a ambos lados de la boca en solera.

Figura N° 4.3: Boca combinada barredora (fuente: HEC22 - FHWA, 2001).



d) Bocas ranuradas: consisten en un conducto abierto en la parte superior a lo largo del eje longitudinal, con una reja de barras espaciadas para formar ranuras abiertas.

Figura N° 4.4: Boca ranurada en una intersección (fuente: HEC22 - FHWA, 2001).



El problema más comúnmente encontrado en este tipo de bocas es la deposición de basura en el conducto. Como ventaja, ofrecen poca interferencia al tránsito.

La intercepción de caudal de bocas ranuradas y de bocas en cordón se asemeja en que cada una es un vertedero lateral y el caudal captado está supeditado a la componente transversal del flujo sobre calzada, originada por la pendiente transversal del pavimento.

Cuando el caudal de llegada supera la capacidad de captación de una boca tipo, se proyecta una *boca múltiple*, compuesta por dos o más bocas tipo instaladas en serie, que funcionan como una unidad.

4.2 CAPACIDAD DE INTERCEPCIÓN Y EFICIENCIA DE LAS BOCAS

La *capacidad de intercepción* (o de captación) de una boca, Q_i , es el caudal interceptado (o captado) por la misma bajo un conjunto dado de condiciones.

La *eficiencia* de una boca es la relación entre el caudal interceptado y el caudal total de llegada a la boca:

$$E = \frac{Q_i}{Q} \quad (4.1)$$

De donde:

$$Q_i = E \cdot Q \quad (4.2)$$

E: eficiencia de la boca, Q_i : caudal interceptado [m³/s], Q: caudal total de llegada [m³/s].

Por lo tanto, calculando la eficiencia de una boca correspondiente a un Q dado, se puede calcular Q_i con (4.2).

En pendiente continua, el caudal que no es captado por una boca y continúa escurriendo hacia aguas abajo se denomina *caudal pasante*:

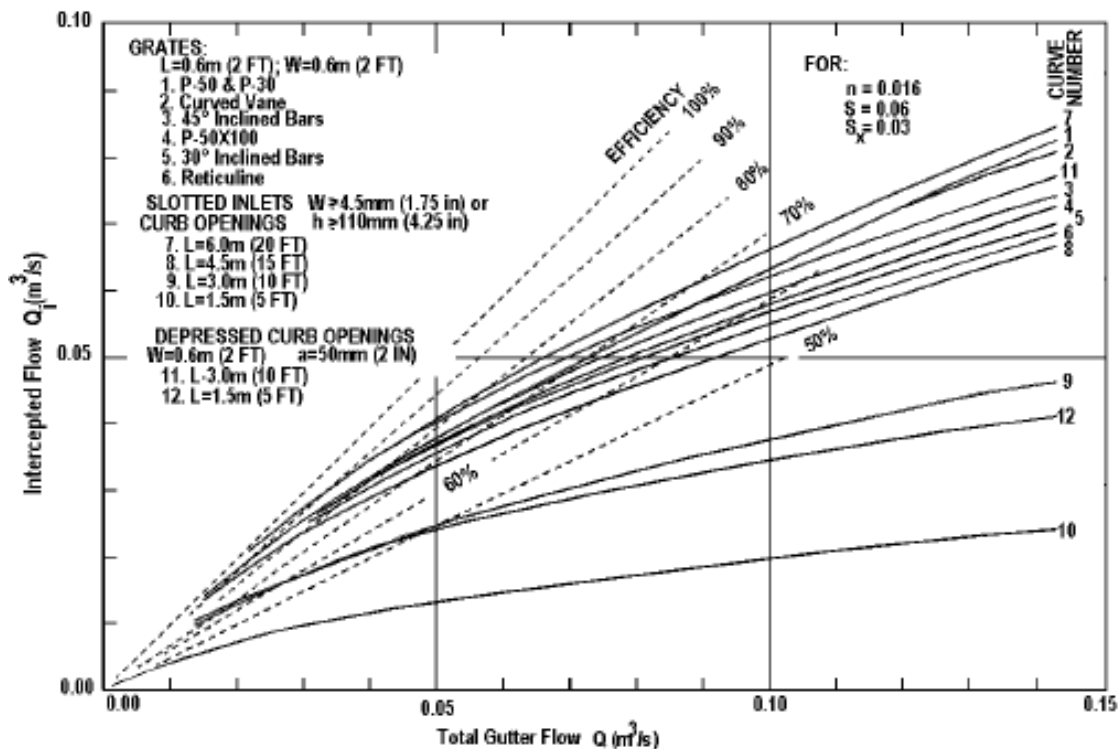
$$Q_b = Q - Q_i \quad (4.3)$$

Q_b : caudal pasante [m³/s].

La Figura N° 4.5 muestra las relaciones caudal de llegada – caudal interceptado para distintos tipos de boca: en solera (grates), en cordón (curb openings), en cordón con depresión (depressed curb openings) y ranuradas (slotted), para un cordón cuneta con una pendiente longitudinal $S = 0.06$ m/m, una pendiente transversal $S_x = 0.03$ m/m y una rugosidad $n = 0.016$.

Se representan, además, las rectas correspondientes a eficiencias del 50%, 60%, 70%, 80%, 90% y 100%. Puede observarse que **a medida que aumenta el caudal de llegada, la capacidad de intercepción de las bocas aumenta pero la eficiencia de las mismas disminuye.**

Figura N° 4.5: Relaciones caudal de llegada – caudal interceptado para distintos tipos de boca (fuente: HEC22 - FHWA, 2001).



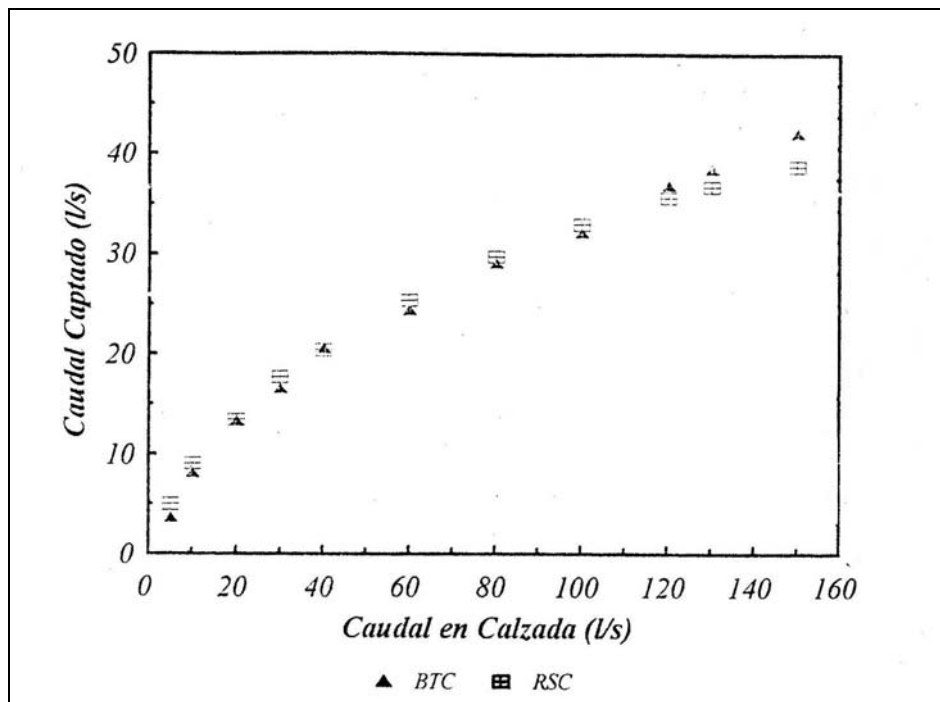
La curva N° 1 corresponde a bocas en solera de barras paralelas (a la dirección del flujo) tipo P50 y P30 (FHWA), de longitud $L = 0.6$ m y ancho $W = 0.6$ m y mantiene una cierta similitud con la curva N° 11, que corresponde a una boca en cordón con depresión local ($L = 3.0$ m, $W = 0.6$ m, $a = 0.05$ m). Se observa que para que ambos tipos de boca mantengan una eficiencia similar, la longitud de la segunda debe ser 5 veces la longitud de la primera.

La Figura N° 4.6.a muestra pares de valores caudal de llegada – caudal interceptado para una boca combinada tipo como la mostrada en la Figura N° 4.2 ($L = 1.1$ m, $h = 0.15$ m y $W = 0.24$ m), sobre un cordón cuneta con depresión continua ($S = 0.005$ m/m, $S_x = 0.015$ m/m, $W = 0.6$ m y $a = 0.03$ m). Los valores fueron obtenidos a través de ensayos hidráulicos sobre un dispositivo físico de calzada y boca de tormenta construido a escala 1:1 en el Laboratorio de Hidráulica de la FICH (Ocampo, 1998). También se muestran pares de valores correspondientes a una boca en solera, de igual longitud y ancho que la boca combinada.

Se observa que los caudales captados por la boca en solera son similares a los captados por la boca combinada, para el rango de caudales en calzada considerado. Sólo para caudales en calzada mayores a 0.120 m³/s, los caudales captados por la boca combinada son ligeramente superiores a los captados por la boca en solera, debido a que existe una captación adicional de flujo a través de la abertura en el cordón.

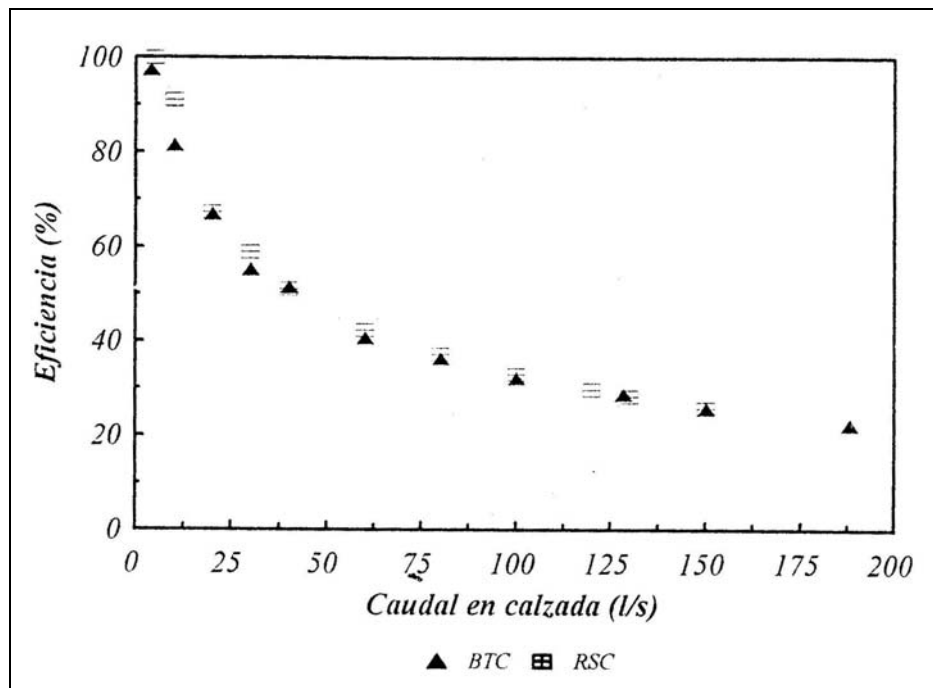
La Figura N° 4.6.b muestra la variación de la eficiencia de las bocas con el caudal de llegada.

Figura N° 4.6.a: Relaciones caudal de llegada – caudal captado para bocas de hierro fundido (fuente: Ocampo, 1998).



BTC: boca de tormenta combinada, RSC: reja sobre calzada.

Figura N° 4.6.b: Curvas de eficiencia de bocas de hierro fundido (fuente: Ocampo, 1998).

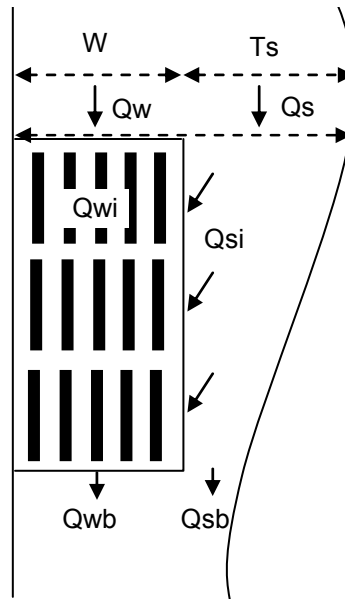


4.3. DISEÑO DE BOCAS EN PENDIENTE CONTINUA

4.3.1. Bocas en Solera

El caudal total en una cuneta puede considerarse como la suma de dos componentes: a) *caudal frontal* Q_w , que escurre en el ancho de la reja W , y b) *caudal lateral* Q_s , que escurre en el ancho $T_s = T - W$ (T : ancho anegado). De manera similar, el caudal captado por la boca en solera se puede considerar igual a la suma de 2 componentes, uno frontal Q_{wi} y otro lateral Q_{si} (Figura N° 4.7).

Figura N° 4.7: Cálculo de la eficiencia de una boca en solera.



Q_w : caudal frontal, Q_s : caudal lateral, Q_{wi} : caudal frontal captado, Q_{si} : caudal lateral captado, Q_{wb} : caudal frontal pasante ($Q_{wb} = Q_w - Q_{wi}$), Q_{sb} : caudal lateral pasante ($Q_{sb} = Q_s - Q_{si}$).

Cuando la velocidad de aproximación del flujo a la boca es menor que la velocidad de chapoteo ("splash-over"), la boca capta prácticamente todo el caudal frontal ($Q_{wi} \cong Q_w$). Por el contrario, cuando la velocidad del flujo excede la velocidad de chapoteo, la boca capta sólo una parte del caudal frontal ($Q_{wi} < Q_w$).

Por otra parte, la boca capta una parte del caudal lateral, dependiendo de la pendiente transversal de la calzada, de la longitud de la reja y de la velocidad del flujo.

La eficiencia total de una boca en solera es igual a la suma de la eficiencia frontal, aplicada a la fracción de caudal frontal, más la eficiencia lateral, aplicada a la fracción del caudal lateral:

$$E = R_f \frac{Q_w}{Q} + R_s \frac{Q_s}{Q} \quad (4.4)$$

R_f : eficiencia frontal o relación entre el caudal frontal captado y el caudal frontal total ($R_f = Q_{wi}/Q_w$), R_s : eficiencia lateral o relación entre el caudal lateral captado y el caudal lateral total ($R_s = Q_{si}/Q_s$).

Pero $Q_s = Q - Q_w$ y $E_0 = Q_w/Q$, de donde: $Q_s/Q = 1 - E_0$. Reemplazando en (4.4):

$$E = R_f E_0 + R_s (1 - E_0) \quad (4.4')$$

E_0 : la relación entre el caudal frontal y el caudal total.

E_0 se obtiene de (3.25). Para una pendiente transversal uniforme ($S_w/S_x = 1$), de (3.25) se obtiene:

$$E_0 = \frac{Q_w}{Q} = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67} \quad (4.5)$$

Q : caudal total [m^3/s], Q_w : caudal en el ancho W [m^3/s , W : ancho de la reja [m], T : ancho anegado total [m].

La relación entre el caudal lateral Q_s y el caudal total está dada por (3.26).

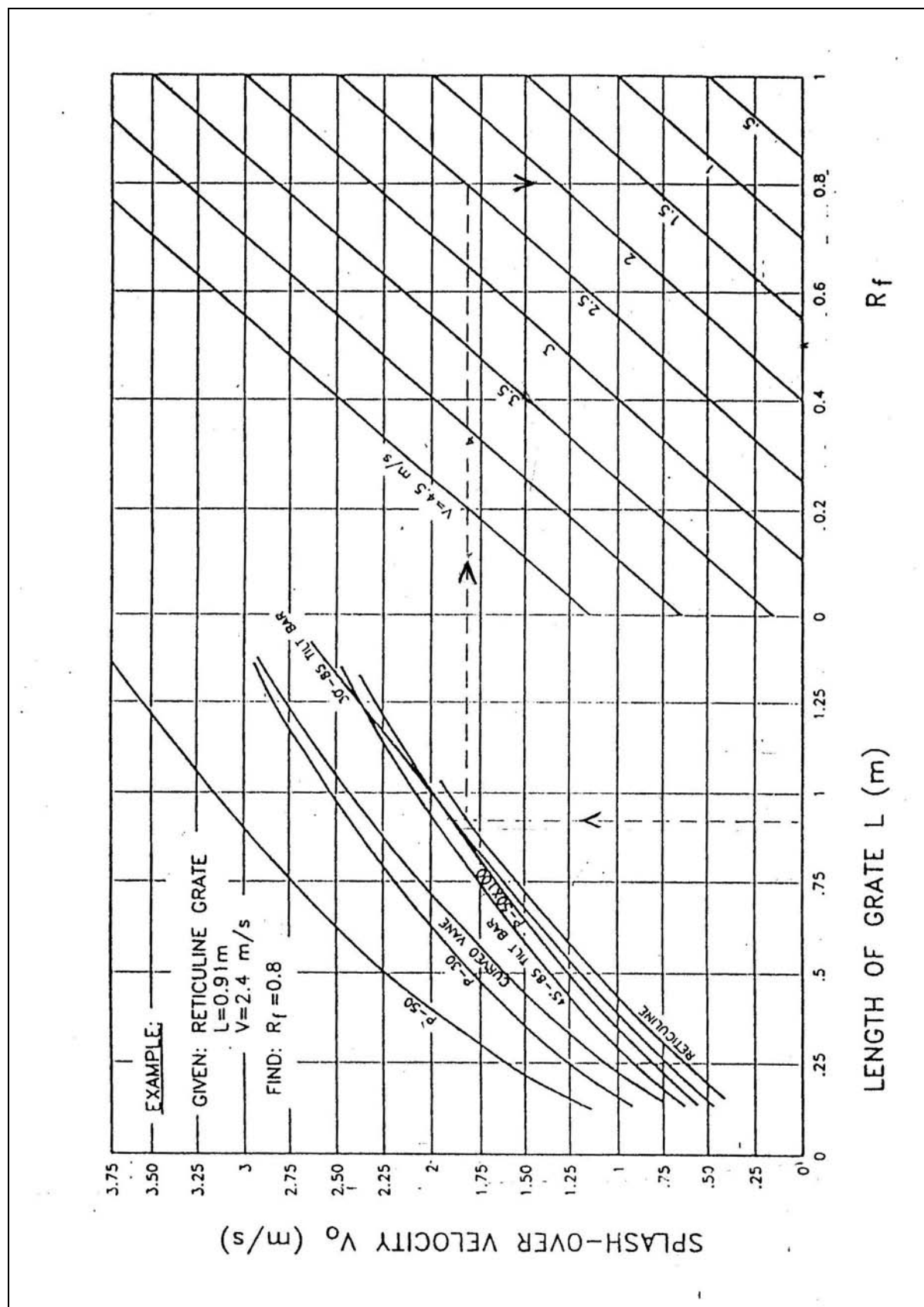
R_f se determina a partir de la expresión experimental (HEC22 - FHWA, 2001):

$$R_f = 1 - 0.295 (V - V_0) \quad (4.6)$$

V : velocidad del flujo en el cordón cuneta [m/s], V_0 : velocidad a partir de la cual ocurre el chapoteo [m/s], $R_f \leq 1$.

El ábaco de la Figura N° 4.8 provee una solución para la ecuación (4.6), a partir de los datos de la longitud de la boca en solera, la configuración de las barras y la velocidad del flujo en el cordón cuneta. Permite obtener simultáneamente R_f y V_0 .

Figura N° 4.8: Ábaco para determinar R_f y V_o para bocas en solera (HEC22 - FHWA, 2001).



R_s se calcula con la fórmula experimental (HEC22 - FHWA, 2001):

$$R_s = \frac{1}{1 + \frac{0.0828 V^{1.8}}{S_x L^{2.3}}} \quad (4.7)$$

L: longitud de la boca [m], V: velocidad del flujo [m/s], S_x : pendiente transversal [m/m].

A. Cuneta de sección uniforme

Problema: Calcular Q_i por una boca en solera en pendiente continua y cuneta de sección uniforme, para un Q dado.

Incógnita: Q_i

Datos: tipo de reja, L_{BT} , W_{BT} (longitud y ancho de la boca), S, S_x , n y Q.

Procedimiento:

- i) Calcular T con Q (3.8).
- ii) Calcular E_o (4.5) con W_{BT} .
- iii) Calcular V (3.9).
- iv) Calcular R_f (Figura N° 4.8), en función de V, L_{BT} y la configuración de las barras.
- v) Calcular R_s (4.7) con L_{BT} .
- vi) Calcular E (4.4').
- vii) Calcular Q_i (4.2).

Ejemplo N° 4.1: Calcular Q_i por una boca en solera, en pendiente continua y cuneta de sección uniforme, para los siguientes datos.

BT barras paralelas (P30)

$L_{BT} = 0.60$ m
 $W_{BT} = 0.60$ m
S = 0.04 m/m
 $S_x = 0.025$ m/m
n = 0.016
Q = 0.186 m³/s

Aplicando el procedimiento se tiene:

T = 3.00 m
 $E_o = 0.45$
V = 1.66 m/s
 $R_f = 1.0$
 $R_s = 0.036$
E = 0.47
 $Q_i = 0.087$ m³/s

B. Cuneta de sección compuesta

Problema: Calcular Q_i por una boca en solera, en pendiente continua y cuneta de sección compuesta, para un Q dado.

Incógnita: Q_i

Datos: Configuración de barras, L_{BT} y W_{BT} , W (ancho de la depresión continua), a , S , S_x , n y Q .

Procedimiento:

- i) Calcular T y E_0 con el procedimiento de aproximación descrito en pág. 3.15 (con W).
- ii) Calcular V (3.30) con W .
- iii) Calcular R_f (Figura N° 4.8), en función de V y L_{BT} .
- iv) Calcular R_s (4.7) con L_{BT} .
- v) Calcular E (4.4'). El valor de E_0 en esta ecuación corresponde al ancho de la reja (W_{BT}).
 Si $W_{BT} = W$, usar E_0 obtenido en el paso i).
 Si $W_{BT} < W$, usar $E'_0 = E_0 A_{WBT}/A_W$ (A_{WBT} y A_W : áreas mojadas para los anchos W_{BT} y W , respectivamente).
- vi) Calcular Q_i (4.2).

Ejemplo N° 4.2: Calcular Q_i por una boca en solera, en pendiente continua y cuneta de sección compuesta, para los siguientes datos.

BT barras paralelas (P30)

$L_{BT} = 0.60$ m
 $W_{BT} = 0.60$ m
 $S = 0.01$ m/m
 $S_x = 0.02$ m/m
 $n = 0.016$
 $a = 0.05$ m
 $W = 0.60$ m
 $Q = 0.060$ m³/s

Aplicando el procedimiento se obtiene:

$T = 2.41$ m
 $E_0 = 0.72$
 $V = 0.82$ m/s
 $R_f = 1.0$
 $R_s = 0.10$
 $E = 0.75$
 $Q_i = 0.045$ m³/s

4.3.2. Bocas en Cordón

La longitud de una boca en cordón requerida para captar el caudal total en un cordón cuneta pavimentado de sección uniforme es:

$$L_T = 0.817 Q^{0.42} S^{0.3} \left(\frac{1}{n S_x} \right)^{0.6} \quad (4.8)$$

L_T : longitud de la boca requerida para captar la totalidad del caudal Q [m], S : pendiente longitudinal [m/m], Q : caudal en el cordón cuneta [m³/s], n : coeficiente de rugosidad, S_x : pendiente transversal [m/m].

La eficiencia de una boca en cordón de longitud L_{BT} ($L_{BT} < L_T$) se expresa:

$$E = 1 - \left(1 - \frac{L_{BT}}{L_T} \right)^{1.8} \quad (4.9)$$

Esta ecuación es aplicable tanto para secciones transversales de cordón cuneta uniformes como compuestas.

La longitud de boca requerida para captar el caudal total en un cordón cuneta de sección compuesta o para una boca con depresión local, puede calcularse usando una pendiente transversal equivalente S_e (Figura N° 4.9):

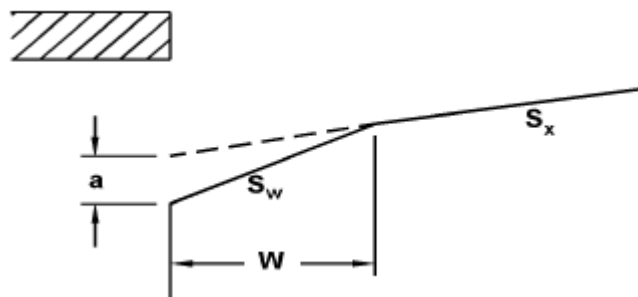
$$S_e = S_x + \frac{a}{W} E_0 \quad (4.10)$$

E_0 : relación entre el caudal en el ancho W y el caudal total en el cordón cuneta, determinado para la configuración de la cuneta aguas arriba de la boca; W : ancho de la depresión [m].

E_0 se calcula con el procedimiento de aproximación (pág. 3.15) para una depresión continua, o con (4.5) para una depresión local.

En (4.10) se observa que si E_0 tiende a 1, S_e tiende a S_w (3.22) y si E_0 tiende a 0, S_e tiende a S_x .

Figura N° 4.9: Boca en cordón con depresión (HEC22 - FHWA, 2001).



Usando la pendiente transversal equivalente, (4.8) se transforma en:

$$L_T = 0.817 Q^{0.42} S^{0.3} \left(\frac{1}{n S_e} \right)^{0.6} \quad (4.11)$$

Se observa que si aumenta S_e , disminuye L_T . Por lo tanto, **para reducir la longitud se debe aumentar la pendiente transversal equivalente**. Para ello, se debe incorporar una depresión continua en el cordón cuneta o una depresión local frente a la boca.

A. Cuneta de sección uniforme

Problema: Calcular Q_i por una boca en cordón, en pendiente continua y cuneta de sección uniforme, para un Q dado.

Incógnita: Q_i

Datos: L_{BT} , S , S_x , n y Q .

Procedimiento:

- i) Calcular L_T con (4.8).
- ii) Calcular E (4.9).
- iii) Calcular Q_i (4.2).

Ejemplo N° 4.3: Calcular Q_i de una boca en cordón para un Q dado, con los siguientes datos.

$L_{BT} = 3.00 \text{ m}$
 $S = 0.01 \text{ m/m}$
 $S_x = 0.02 \text{ m/m}$
 $n = 0.016$
 $Q = 0.05 \text{ m}^3/\text{s}$

Aplicando el procedimiento se obtiene:

$L_T = 7.29 \text{ m}$
 $E = 0.61$
 $Q_i = 0.031 \text{ m}^3/\text{s}$

B. Cuneta de sección compuesta ó boca con depresión local

Problema: Calcular Q_i por una boca en cordón, en pendiente continua y cuneta de sección compuesta o boca con depresión local, para un Q dado.

Incógnita: Q_i

Datos: L_{BT} , W , a , S , S_x , n y Q .

Procedimiento:

- i) Calcular E_o .
- ii) Calcular S_e (4.10).
- iii) Calcular L_T (4.11).
- iv) Calcular E (4.9).
- v) Calcular Q_i (4.2).

Ejemplo N° 4.4: Calcular Q_i por una boca en cordón, en pendiente continua y cuneta de sección compuesta, para los siguientes datos.

$L_{BT} = 3.00 \text{ m}$
 $S = 0.01 \text{ m/m}$
 $S_x = 0.02 \text{ m/m}$
 $n = 0.016$
 $Q = 0.05 \text{ m}^3/\text{s}$
 $a = 0.025 \text{ m}$
 $W = 0.60 \text{ m}$

Aplicando el procedimiento se obtiene:

$$\begin{aligned}E_o &= 0.63 \\S_e &= 0.046 \\L_T &= 4.41 \text{ m} \\E &= 0.87 \\Q_i &= 0.044 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

A partir de los resultados de los dos últimos ejemplos, se observa *una depresión continua como la planteada permite reducir la longitud L_T en aproximadamente un 40%*.

Problema: Calcular la longitud necesaria de una boca en cordón, en pendiente continua y cuneta de sección compuesta, para captar la totalidad de un Q dado.

Incógnita: L_T

Datos: W, a, S, S_x, n y Q .

Procedimiento:

- i) Calcular E_o .
- ii) Calcular S_e (4.10).
- iii) Calcular L_T (4.11).

Ejemplo N° 4.5: A partir de los datos de cordón cuneta de sección compuesta y caudal del Ejemplo N° 4.2, se pide calcular la longitud necesaria de una boca en cordón para captar la totalidad del caudal.

$$\begin{aligned}S &= 0.01 \text{ m/m} \\S_x &= 0.02 \text{ m/m} \\n &= 0.016 \\a &= 0.05 \text{ m} \\W &= 0.60 \text{ m} \\Q &= 0.060 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Aplicando el procedimiento:

$$\begin{aligned}E_o &= 0.72 \\S_e &= 0.08 \text{ m/m} \\L_T &= 3.43 \text{ m}\end{aligned}$$

4.3.3. Bocas Combinadas

La capacidad de intercepción de una boca combinada en pendiente continua es similar a la capacidad de la boca en solera sola, como puede observarse en la Figura N° 4.6.a. Por lo tanto, *para el diseño de una boca combinada se aplica el procedimiento para boca en solera* (se desprecia la abertura en cordón).

La capacidad de intercepción de la boca “barredora” es igual a la suma de las capacidades de la boca en cordón y de la boca en solera, contemplando que el caudal frontal, y por lo tanto la capacidad de la boca en solera, disminuyen por la intercepción de la boca en cordón ubicada aguas arriba. Por lo tanto, se deben *calcular secuencialmente, primero la boca en cordón y luego la boca en solera*.

4.4. DISEÑO DE BOCAS EN PUNTOS BAJOS

A diferencia del caso de bocas en pendiente continua, en el cual puede admitirse un caudal pasante, en el caso de puntos bajos **la totalidad del caudal que ingresa a éstos debe ser pasado a través de la boca.**

En puntos bajos, se recomienda el uso de bocas en cordón o combinadas. Las bocas *en solera* **no son recomendadas** en estos sitios, debido al riesgo que puedan ser obstruidas parcial o totalmente con basura.

Una boca ubicada en un punto bajo puede funcionar como **vertedero**, para pequeños tirantes, o como **orificio**, para tirantes grandes.

Para tirantes intermedios entre aquellos en los cuales prevalecen los flujos tipo vertedero y tipo orificio, el flujo está en un estado de **transición**. Para estos tirantes, el control es indefinido y el flujo puede fluctuar entre las condiciones de vertedero y orificio.

Los procedimientos de diseño que se presentan a continuación son una aproximación conservadora para estimar la capacidad de las bocas en puntos bajos.

4.4.1. Bocas en Solera

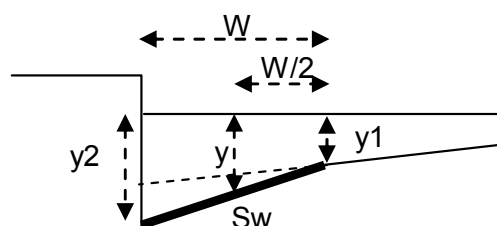
Una boca en solera funciona como vertedero para tirantes de hasta 0.15 m y como orificio para tirantes mayores a 0.43 m. Estos valores son aproximados y dependen de la configuración de las barras y del tamaño de la boca. Bocas de grandes dimensiones funcionan como vertedero para mayores tirantes que bocas pequeñas o que bocas con menor área de paso.

La capacidad de intercepción de una boca en solera funcionando como **vertedero** es:

$$Q_i = 1.66 P y^{1.5} \quad (4.12)$$

Q_i : caudal interceptado [m³/s], P : perímetro de la abertura de la reja (sin considerar el lado contra el cordón) [m], y : tirante medio del flujo sobre la reja [m], estimado por $y = y_2 - (W/2)S_w$.

Figura N° 4.10: Definición del tirante (HEC22 - FHWA, 2001).



Despejando el tirante:

$$y = \left(\frac{Q_i}{1.66 P} \right)^{0.667} \quad (4.13)$$

El perímetro de la reja requerido para captar un caudal Q_i con un tirante y es:

$$P = \frac{Q_i}{1.66 y^{1.5}} \quad (4.14)$$

Si la boca en solera está adyacente al cordón, el perímetro de la boca también se puede calcular (descontando el lado contra el cordón):

$$P = 2 W_{BT} + L_{BT} \quad (4.15)$$

W_{BT} y L_{BT} : longitud y ancho de la boca en solera [m].

Si la boca no está adyacente al cordón, el perímetro es:

$$P = 2 (W_{BT} + L_{BT}) \quad (4.16)$$

Si se asume una obstrucción longitudinal, C_c , expresada como fracción del ancho de la reja ($C_c < 1$), el perímetro efectivo de una boca adyacente al cordón es:

$$P_{ef} = 2 W_{BT} (1 - C_c) + L_{BT} \quad (4.17)$$

Reemplazando en (4.17) el valor de P obtenido de (4.14) se obtiene la longitud total necesaria para interceptar Q_i :

$$L_{BT} = P - 2 W_{BT} (1 - C_c) \quad (4.18)$$

Finalmente, se adopta la longitud de la boca como el múltiplo de la longitud de la reja tipo (L_{RT}) inmediato superior a L_{BT} .

Problema: Calcular la cantidad de rejillas tipo en un punto bajo, necesaria para no superar un T_{ad} con un caudal Q .

Incógnita: N_{RT} (cantidad de rejillas tipo).

Datos: S_x , Q_{izq} , Q_{der} , T_{ad} , C_c , L_{RT} , W_{BT} ,
 a y W (si existe sección compuesta)

Procedimiento:

- i) Calcular $y = y_2 - (W/2)S_w$, donde y_2 se calcula con T_{ad} aplicando (3.10) (sección uniforme) o (3.31) (sección compuesta). Si $y \leq 0.15$ m, funciona como vertedero.
- ii) Calcular P (4.14) con $Q = Q_{izq} + Q_{der}$.
- iii) Calcular L_T (4.18).
- iv) $N_{RT} = L_T / L_{RT}$ (redondear al entero inmediato superior).
- v) Calcular P_{ef} (4.17).
- vi) Verificar y (4.13) con P_{ef} .

Ejemplo N° 4.6: Calcular la longitud de una reja múltiple necesaria para no superar un T_{ad} con un caudal Q , con los siguientes datos.

$S_x = S_w =$	0.05 m/m	
$Q_{izq} =$	0.115 m ³ /s	
$Q_{der} =$	0.115 m ³ /s	
$T_{ad} =$	3.00 m	
$C_c =$	0.50	
$L_{BT} =$	0.90 m	(longitud de la reja tipo)
$W_{BT} =$	0.60 m	(ancho de la reja tipo)

Aplicando el procedimiento se obtiene:

$d_2 =$	0.15 m	
$d =$	0.135 m	
$P =$	2.79 m	
$L =$	2.19 m	
$L_{BT} =$	2.70 m	Se adopta una reja múltiple compuesta por 3 rejas tipo en serie.
$P_{ef} =$	3.30 m	
$y =$	0.12 m	(verifica funcionamiento como vertedero)

La capacidad de una boca en solera funcionando como **orificio** es:

$$Q_i = 0.67 A_n (2 g y)^{0.5} \quad (4.19)$$

A_n : área neta de paso [m²], g : aceleración de la gravedad, igual a 9.81 m/s², y : tirante.

$$A_n = \frac{Q_i}{0.67 (2 g y)^{0.5}} \quad (4.20)$$

Ensayos realizados por FHWA muestran que para rejas de barras planas, *el área neta de paso es igual al área total de la reja menos el área ocupada por las barras longitudinales y transversales.*

Si se considera una obstrucción de la boca, C_c , expresada como fracción de la superficie en planta ($C_c < 1$), el área total de paso necesaria es:

$$A_T = \frac{A_n}{(1 - C_c)} \quad (4.21)$$

A_T : área total de paso necesaria contemplando una obstrucción C_c .

Problema: Calcular la cantidad de rejas tipo necesaria para no superar un T_{ad} con un caudal Q .

Incógnita: N_{RT}

Datos: S_x , Q_{izq} , Q_{der} , T_{ad} , C_c , A_{RT} (área de paso de la reja tipo), W_{BT} , a y W (si existe sección compuesta)

Procedimiento:

- i) Calcular y . Si $y > 0.43$ m, funciona como orificio.
- ii) Calcular A_n (4.20), con $Q = Q_{izq} + Q_{der}$.
- iii) Calcular A_T (4.21).
- iv) Calcular $N_{RT} = A_T / A_{RT}$ (redondear al entero inmediato superior).

Si $0.15\text{ m} < y < 0.43\text{ m}$, efectuar el diseño para condiciones de vertedero y orificio y adoptar la condición más desfavorable.

4.4.2. Bocas en Cordón

Una boca en cordón funciona como vertedero para tirantes (en la boca) menores o iguales a la altura de la abertura del cordón ($y \leq h + a$) (h : altura de la boca, a : profundidad de la depresión) y como orificio para tirantes mayores a 1.4 veces dicha abertura. Si no existe depresión, considerar $a = 0$ en las condiciones anteriores.

Para tirantes intermedios, el flujo se encuentra en un estado de transición.

Cuando la boca en cordón funciona como **vertedero**, la capacidad de intercepción es:

a) Con depresión local:

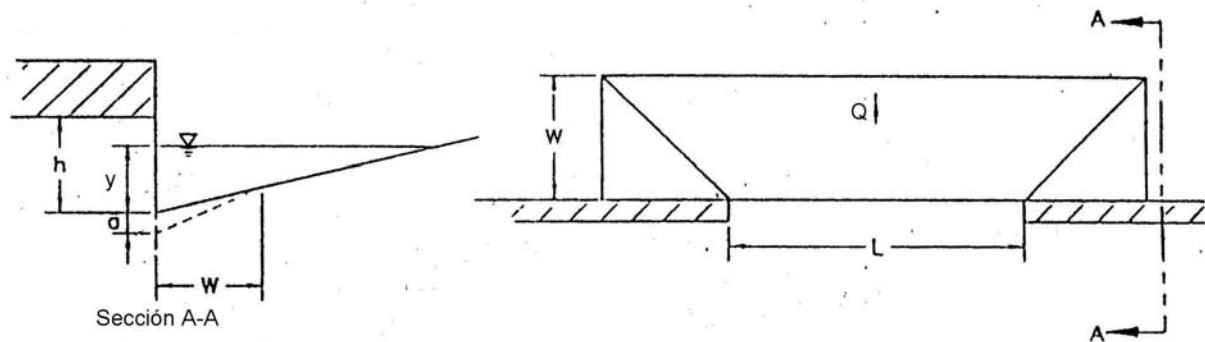
$$Q_i = 1.25 (L + 1.8 W) y^{1.5} \quad (4.22)$$

$$L = \frac{Q_i}{1.25 y^{1.5}} - 1.8 W \quad (4.23)$$

L : longitud de la boca [m], W : ancho de la depresión, y : tirante del flujo contra el cordón medido inmediatamente aguas arriba de la depresión (3.10) [m].

La ecuación (4.22) es también aplicable para bocas en cordón en puntos bajos con cordón cuneta de sección compuesta. En este caso el tirante se estima con (3.31).

Figura N° 4.11: Boca en cordón con depresión local en punto bajo.



b) Sin depresión local:

$$Q_i = 1.60 L y^{1.5} \quad (4.24)$$

$$L = \frac{Q_i}{1.60 y^{1.5}} \quad (4.25)$$

Si $L > 3.6$ m, se aplica (4.24) tanto para bocas sin depresión como con depresión.

Problema: Calcular Q_i de una boca en cordón con depresión local para un T_{ad} dado.

Incógnita: Q_i

Datos: L, h, S_x, a, W, T_{ad} .

Procedimiento:

- i) Calcular el tirante en la boca (3.31) con T_{ad} para verificar condición del flujo. Si el tirante es menor o igual a $(h+a)$, la boca funciona como vertedero.
- ii) Calcular el tirante del flujo inmediatamente aguas arriba de la depresión (3.10), con T_{ad} .
- iii) Calcular Q_i (4.22).

Ejemplo N° 4.7: Calcular Q_i de una boca en cordón con depresión local para un T_{ad} dado, con los siguientes datos.

$L = 2.5$ m
 $h = 0.13$ m
 $S_x = 0.02$ m/m
 $a = 0.025$ m
 $W = 0.6$ m
 $T_{ad} = 2.5$ m

Aplicando el procedimiento se obtiene:

$y = 0.075 \text{ m}$ (en la boca)
 $y = 0.075 \text{ m} < h + a$, por lo que existe condición de vertedero.
 $y = 0.05 \text{ m}$ (inmediatamente aguas arriba)
 $Q_i = 0.050 \text{ m}^3/\text{s}$

Cuando la boca en cordón funciona como **orificio**, la capacidad de intercepción es:

a) Con depresión:

$$Q_i = 0.67 L h (2 g d_0)^{0.5} \quad (4.26)$$

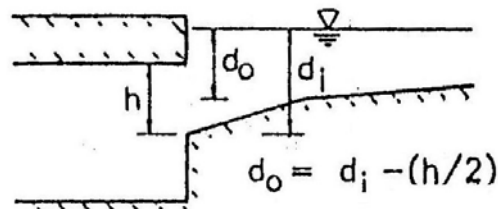
$$L = \frac{Q_i}{0.67 h (2 g d_0)^{0.5}} \quad (4.27)$$

$$d_0 = d_i - \frac{h}{2} \quad (4.28)$$

L: longitud del orificio [m], h: altura del orificio [m], d_0 : carga efectiva, medida sobre el centro de la garganta del orificio [m], d_i : tirante en la boca (sobre el labio de la abertura), estimado con (3.31) [m].

La ecuación (4.28) corresponde a una garganta horizontal (Figura N° 4.12).

Figura N° 4.12: Boca en cordón de garganta horizontal.



b) Sin depresión:

$$Q_i = 0.67 A_n \left[2 g \left(d_i - \frac{h}{2} \right) \right]^{0.5} \quad (4.29)$$

$$A_n = L h \quad (4.30)$$

$$L = \frac{Q_i}{0.67 h \left[2 g \left(d_i - \frac{h}{2} \right) \right]^{0.5}} \quad (4.31)$$

A_n : área neta de paso [m^2], d_i : tirante sobre el labio de la boca (3.10) [m], h: altura del orificio [m].

Problema: Calcular Q_i de una boca en cordón con depresión para un T_{ad} dado.

Incógnita: Q_i

Datos: L y h , S_x , a y W depresión, Q y T_{ad} .

Procedimiento:

- i) Calcular el tirante en la boca, d_i (3.31) con T_{ad} . Si $d_i > 1.4 h$, funciona como orificio.
- ii) Calcular d_o (4.28).
- iii) Calcular Q_i (4.26).

Para condiciones intermedias entre vertedero y orificio, adoptar la situación más desfavorable.

4.4.3. Bocas Combinadas

Las bocas combinadas son aconsejadas para usar en depresiones, donde pueden ocurrir anegamientos peligrosos.

Cuando una boca combinada funciona como **vertedero**, su capacidad de intercepción es similar a la de la boca en solera sola. Por lo tanto, en estas condiciones se aplican las ecuaciones vistas para boca en solera.

Cuando una boca combinada funciona como **orificio**, la capacidad es igual a la suma de las capacidades de las bocas en solera (4.19) y en cordón (4.26):

$$Q_i = 0.67 A_n (2 g y)^{0.5} + 0.67 L h (2 g d_o)^{0.5} \quad (4.32)$$

A_n : área neta de la boca en solera [m^2], y : tirante sobre la reja, L : longitud de la abertura en cordón [m].
 h : altura de la abertura en cordón [m], d_o : carga efectiva, medida sobre el centro de la garganta del orificio vertical [m].

4.5 UBICACIÓN DE LAS BOCAS

La ubicación de las bocas de tormenta se determina por: a) controles geométricos, que requieren bocas en lugares específicos (ej. puntos bajos) y b) el criterio de ancho anegado en tramos de pendiente continua.

Para determinar la ubicación de las bocas, se necesita la siguiente información básica:

- a) mapa planialtimétrico: cotas de centro de calzada y de cunetas con suficiente detalle, dinámica hídrica de cordones cuneta y badenes,
- b) perfiles transversales de calles colectoras,
- c) fotos aéreas del área en estudio.

4.5.1 Controles geométricos

Hay secciones donde las bocas son necesarias, independientemente del área de aporte a las mismas. Estas ubicaciones se deben marcar en los planos preliminares. Ejemplos de tales ubicaciones son:

- En todos los puntos bajos de las cunetas.
- Inmediatamente aguas arriba de intersecciones con avenidas o vías de alta velocidad, donde no se admiten badenes.

4.5.2 Espaciamiento de Bocas en Pendiente Continua

El *ancho anegado* admisible o el *tirante admisible* son los parámetros de diseño usados para ubicar las bocas en tramos de pendiente continua.

A medida que el flujo es aportado al cordón cuneta desde la cabecera hacia aguas abajo, el ancho anegado aumenta.

La *primera boca* (desde la cabecera de la cuneta hacia aguas abajo) se ubica en la sección donde el ancho anegado es aproximadamente igual al ancho admisible para el evento de diseño. La capacidad de intercepción de esta boca reducirá el ancho anegado (si se admite caudal pasante) o lo anulará (si no se admite caudal pasante).

La *boca subsiguiente* se ubica cuando se alcanza nuevamente el ancho admisible. Por lo tanto, el espaciamiento entre bocas sobre una pendiente continua es una función de la cantidad de flujo pasante aguas arriba, del área de drenaje local aportante y de la geometría de la cuneta.

Para ubicar las bocas sobre una pendiente continua, se utiliza una planilla de cálculo como se muestra en la Tabla N° 4.1. Se describe a continuación el procedimiento paso a paso para el uso de la planilla.

- i. Marcar sobre el plano de la cuenca la ubicación de las bocas que son necesarias por controles geométricos.
- ii. Para comenzar el proceso de cálculo del espaciamiento de bocas en pendiente continua, seleccionar una ubicación tentativa para la primera boca a unos 90 a 250m de longitud aguas abajo de la cabecera de la calle colectora y delimitar el área de aportes.
- iii. Col. 1, Col. 2 y Col. 19: número y ubicación de la boca (progresiva). En observaciones, identificar el tipo de cordón cuneta.
- iv. Col. 3: calcular el área de aportes delimitada en el paso ii.
- v. Col. 4: determinar el coeficiente de escorrentía C ponderado para el área de drenaje.
- vi. Col. 5: calcular el tiempo de concentración para la primera boca. El mínimo t_c a considerar es 5 min.

El tiempo de concentración es la suma de dos tiempos de traslado: a) tiempo de traslado del flujo superficial, desde el centro de manzana hasta que alcanza el cordón cuneta (con una longitud de hasta unos 25 m) y b) tiempo de traslado en cordón cuneta hasta la boca.

- vii. Col. 6: calcular la intensidad de lluvia, I , desde la curva IDF, para la recurrencia de diseño y para una duración igual a t_c .
- viii. Col. 7: calcular el caudal en el cordón cuneta con el Método Racional.
- ix. Col.8: a partir del perfil longitudinal de la calzada, ingresar la pendiente longitudinal del cordón cuneta S [m/m].
- x. Col. 9 y Col. 13: en base al perfil transversal, ingresar la pendiente transversal S_x en la Col. 9 y el ancho de la reja o de la cuneta en la Col. 13.
- xi. Col. 10 y Col. 11: para la primera boca de cálculo, ingresar 0 en la Col. 10 y entrar el valor de la Col. 7 en la Col.11, ya que no existe caudal pasante desde la cabecera.
- xii. Col. 12 y Col. 14: calcular el tirante contra el cordón (y) y el ancho anegado (T). Para ello, usar las ecuaciones correspondientes a sección uniforme o compuesta según corresponda.

Comparar T con el ancho anegado admisible, T_{adm} :

Si $T \approx T_{adm}$ ($y \approx y_{adm}$), continuar al paso xiii.

Si $T < T_{adm}$, aumentar el área de aportes corriendo la sección de cálculo hacia aguas abajo. Inversamente, si $T > T_{adm}$, disminuir el área de aportes desplazando la sección de cálculo hacia aguas arriba. En cualquiera de los dos últimos casos, repetir los pasos iii a xii hasta obtener la condición $T \approx T_{adm}$ ($y \approx y_{adm}$).

- xiii. Col. 15: calcular W/T y entrar el valor en la Col. 15.
- xiv. Col. 16: seleccionar el tipo de boca y dimensiones e ingresar los valores en la Col. 16.
- xv. Col. 17: calcular el caudal interceptado por la boca y entrar el valor de Q_i en la Col. 17.
- xvi. Col. 18: calcular el caudal pasante Q_b (Col. 11 menos Col. 17) y entrar el valor en la Col. 18. Si el valor obtenido no satisface lo deseado, redefinir las dimensiones de la boca (Col. 16) y recalcular Q_i y Q_b .
- xvii. Col. 1 a 4: pasar a la próxima boca hacia aguas abajo, entre unos 90 m a 250 m aguas abajo de la boca anterior. Repetir los pasos iii a v *considerando el área de aportes local entre las bocas actual y previa*.
- xviii. Col. 5: calcular el tiempo de concentración para la boca actual *considerando el área de aportes local entre las bocas actual y previa* y entrar este valor en la Col. 5.
- xix. Col. 6: determinar la intensidad de lluvia desde la IDF, en base al tiempo de concentración calculado, e ingresar este valor en la Col. 6.
- xx. Col. 7: calcular el *caudal generado por el área de aportes local entre las bocas actual y previa* y registrar el valor en la Col. 7.

- xxi. Col.11: registrar el valor de la Col. 18 de la línea previa en la Col. 10 de la línea actual. Calcular el caudal total en el cordón cuneta sumando los valores de la Col. 7 y la Col. 10 y registrar el valor en la Col. 11.
- xxii. Col. 12 y Col. 14: Calcular el ancho anegado y el tirante contra el cordón como se indica en los pasos xii y xiii.
- xxiii. Col. 16: seleccionar el tipo de boca y registrarlo en la Col. 16.
- xxiv. Col. 17: calcular el caudal interceptado.
- xxv. Col. 18: calcular el caudal pasante restando los valores de la Col. 17 menos Col. 11.
- xxvi. Repetir los pasos xvii a xxv para cada boca subsiguiente hacia aguas abajo, hasta alcanzar un punto bajo. Luego comenzar en la cabecera de otra calle colectora y avanzar hacia el mismo punto bajo.

Tabla N° 4.1

PLANILLA PARA CÁLCULO DE ESPACIAMIENTO DE BOCAS EN TRAMOS DE PENDIENTE CONTINUA									Fecha: _____ Calle: _____										
									Calculado por: _____ Hoja N° de _____										
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	
BOCA		Tr DE DISEÑO [años] =							ANCHO ANEGADO ADMISIBLE [m] =							CAUDAL EN LA BOCA			OBS.
Nro.	Sección	Area Drenaje	Coef Escorr.	Tiempo de Conc.	Intens. lluvia	Caudal Local	Pend. Long.	Pend. Transv.	Caudal Pasante Previo	Caudal Total	Tirante Cordón	Ancho Cuneta ó Reja	Ancho Aneg.	W/T	Tipo de Boca	Caudal Interc.	Caudal Pasante		
		A	C	tc	I	Q	S	Sx	Qb	Q	y	W	T			Qi	Qb		
		[ha]		[min]	[mm/h]	[m3/s]	[m/m]	[m/m]	[m3/s]	[m3/s]	[m]	[m]	[m]			[m3/s]	[m3/s]		