

CARRETERAS DESTAPADAS. NOCIONES DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO. OBRAS DE DRENAJE

Transporte y Vías

Este material de autoestudio fue creado en el año 2007 para el programa Ingeniería de Transporte y Vías y ha sido autorizada su publicación por el (los) autor (es), en el Banco de Objetos Institucional de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.



**CARRETERAS DESTAPADAS: NOCIONES DE DISEÑO,
CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO
- OBRAS DE DRENAJE -**



**NYDIA ELIZABETH CORREA ALBARRACÍN
HÉCTOR ERFWIN ALVARADO GUERRERO**

**DIRECTOR
Ing. MSc. GONZÁLO PÉREZ BUITRAGO**



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE TRANSPORTE Y VÍAS
GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN INFRAESTRUCTURA VIAL
- GRINFRAVIAL -
TUNJA
2007**

OBJETIVOS

GENERAL

Elaborar un manual de diseño, construcción y mantenimiento para obras de drenaje y subdrenaje en vías en afirmado, con criterios de diseño hidráulico e hidrológico el cuál hará parte del Manual de Carreteras Destapadas, proyecto de investigación en el que actualmente trabaja GRINFRAVIAL.



ESPECÍFICOS

- Realizar la revisión bibliográfica e infográfica sobre el tema de alcantarillas, cunetas y filtros para vías en afirmado.
- Elaborar ábacos de diseño para cunetas para diferentes condiciones hidráulicas e hidrológicas.
- Adoptar el Manual de Diseño de Alcantarillas de la Federal Highway Administration (FHWA), las cartas de diseño de las estructuras más utilizadas en nuestro país.
- Plantear criterios básicos de construcción y mantenimiento para obras de drenaje y subdrenaje en vías en afirmado.



PRINCIPIOS BÁSICOS DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

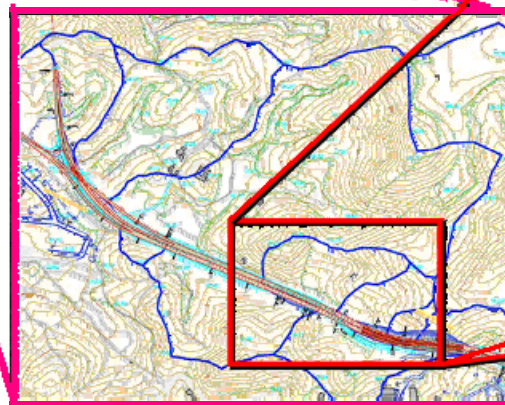
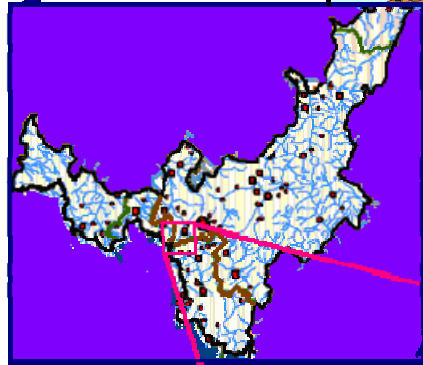
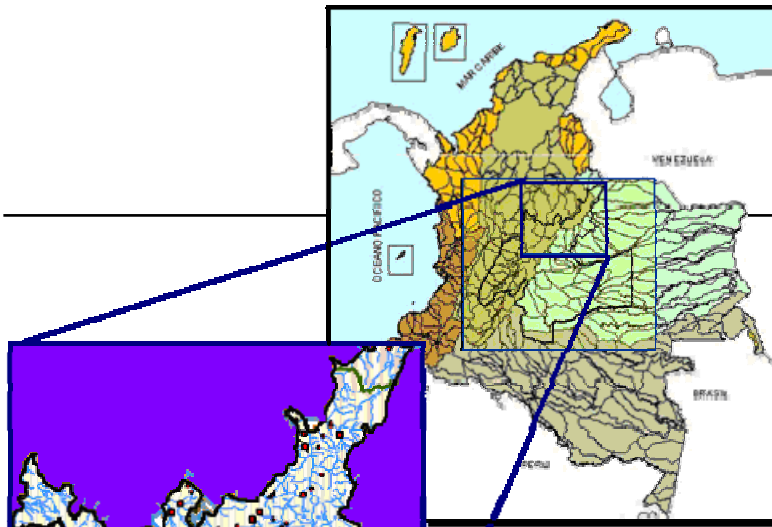


Las carreteras destapadas son más susceptibles al daño causado por el agua, por lo que resulta de vital importancia conocer los posibles factores hidrológicos e hidráulicos que afectan el comportamiento del agua frente a las diferentes obras de drenaje. En el diseño de estos sistemas u obras de drenaje existen tres elementos fundamentales para garantizar la funcionalidad y durabilidad:

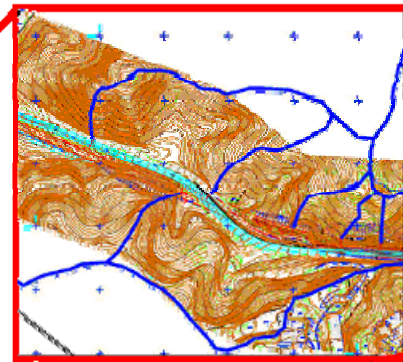
- Diseño Hidrológico
- Diseño Hidráulico
- Diseño Estructural

Tanto en el diseño hidrológico como hidráulico es necesario tener en cuenta aspectos como coeficientes de escorrentía, intensidad de la lluvia, tiempos de concentración, períodos de retorno, tipos de flujo, velocidad de flujo, coeficientes de rugosidad, sección transversal y forma de las obras de drenaje.





PLANOS A ESCALA
1:5.000



PLANOS A ESCALA
1:1000



ASPECTOS HIDROLÓGICOS

En el diseño hidrológico de obras de drenaje para carreteras destapadas es necesario estimar con certeza el caudal máximo de escorrentía del área tributaria a la obra de drenaje para un periodo de retorno dado. Los resultados del análisis estadístico no son tan exactos, como el resultado del análisis hidráulico. Sin embargo ambos deben realizarse, pero el estudio hidrológico debe hacerse primero.

- **Tiempo de concentración**
- **Intensidad**
- **Período de retorno**
- **Coeficiente de Escorrentía**
- **Caudal Pico de diseño**



Para cuencas rurales se tienen períodos de retorno de acuerdo al tipo de obra.

Cuencas rurales	
Sistema	Periodo de retorno (años)
Cunetas	5
Alcantarillas	10
Box-Culvert y pontones	10
Puentes	50

Fuente: Gavilán León Germán Eduardo. Manual de diseño de drenajes superficiales y subsuperficiales en vías 2001. pag. 39

Métodos para determinar el caudal pico de diseño.

LUGARES INSTRUMENTADOS	NO INSTRUMENTADOS
Distribución Normal	Ecuaciones de regresión de la USGS
Distribución Log-normal	Ecuaciones de regresión de la FHWA
Distribución de valores extremos de Gumbel	Método de descarga pico de la SCS
Distribución Log-Pearson tipo III	Método Racional
	Métodos de flujos pico regionales

Fuente: Traducido de "Hydraulics Design Of Highway Culverts. Federal Highway Administration. Reimpreso 1998. pag. 15.



PRINCIPIOS HIDRÁULICOS EN CANALES ABIERTOS

Se define como diseño hidráulico al cálculo del caudal que puede circular por una estructura de drenaje en función de su forma y material. Para el correcto diseño hidráulico se deben conocer y analizar los diferentes tipos y regímenes de flujo que se pueden presentar en las estructuras de drenaje de una carretera.

TIPOS DE FLUJOS.

En canales abiertos el flujo se clasifica en función al cambio del nivel del flujo considerando el tiempo y espacio. De acuerdo al tiempo se clasifica como permanente o no permanente y respecto al espacio en uniforme o variado. También hay una clasificación teniendo en cuenta el Número de Froude.



Flujo crítico. Corresponde a un estado inestable. De acuerdo a Ven Te Chow, ésto se debe a que un cambio de energía específica en estado crítico, o cerca de él, producirá un cambio grande en la profundidad. En el flujo crítico la energía específica y la fuerza específica son mínimas para un caudal determinado.

El flujo crítico tiene tres propiedades básicas que lo caracterizan:

La cabeza de velocidad es igual a un medio de la profundidad hidráulica;

$$\frac{V^2}{2 \cdot g} = \frac{1}{2} y_h$$

El Número de Froude es igual a uno; $Fr = \frac{V}{(g \cdot y_h)^{0.5}} = 1$

Si la energía es constante en el flujo crítico, entonces se da el caudal máximo.



Cuando:

$$\mathbf{y > y_c \Rightarrow V < V_c \Rightarrow Fr < 1}$$

Flujo subcrítico con velocidades bajas.

$$\mathbf{y = y_c \Rightarrow V = V_c \Rightarrow Fr = 1}$$

Flujo crítico con velocidad crítica.

$$\mathbf{y < y_c \Rightarrow V > V_c \Rightarrow Fr > 1}$$

Flujo supercrítico con velocidades altas.

Siendo y la profundidad de la lámina de agua, y_c la profundidad crítica de la lamina de agua, V_c la velocidad crítica del flujo.



Energía específica. Está definida como la energía que posee un fluido en una sección determinada. Cuando la energía específica es mínima se presenta el flujo crítico, como éste es una condición muy inestable para el diseño de obras de drenaje; y para no realizar el diseño en esta condición de flujo se establece una zona crítica la cual es una zona de diseño no admisible, se aconseja que la profundidad normal esté un 10% por encima o por debajo de la profundidad crítica. De esta forma la zona crítica se da entre $0.9 y_c$ (limite inferior) y $1.1 y_c$ (limite superior), en este rango de valores no deben diseñarse obras de drenaje.



HIDRÁULICA DE CUNETAS

Al momento de la selección de la forma de la cuneta, debe tenerse presente factores como la capacidad del canal, estabilidad del sector, economía y equipos empleados en su construcción y mantenimiento. Las secciones típicas utilizadas en cunetas son las triangulares y trapezoidales; cada una de ellas tiene una forma de determinar los elementos de su geometría, los que serán útiles en los cálculos posteriores sobre su velocidad, capacidad, profundidad crítica y normal.

$$Q = \frac{A}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_0^{1/2}$$

Donde:

Q: Caudal, en m³/s

A: Área de flujo, en m²

n: Coeficiente de rugosidad para canales abiertos.

R: Radio hidráulico, en m

S₀: Pendiente hidráulica del canal, en m/m



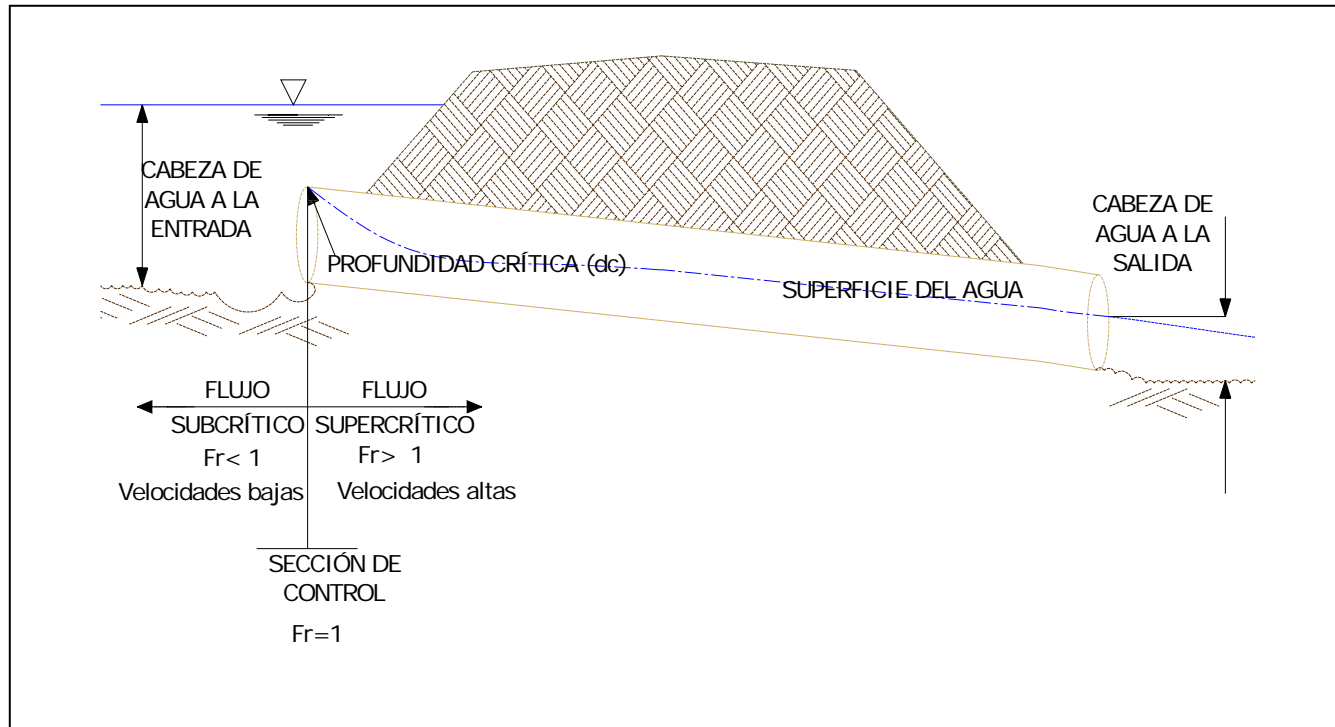
HIDRÁULICA DE ALCANTARILLAS

Básicamente existen dos condiciones de flujo en alcantarillas que dependen de las condiciones tanto aguas arriba como aguas abajo, los conductos pueden fluir llenos o parcialmente llenos, claro que el primero es una condición muy rara ya que generalmente aunque sea una mínima parte del conducto fluye parcialmente llena.

Flujo lleno. También llamado flujo a presión; es generado por un aumento de la presión en el conducto el cual sucede por niveles muy altos del agua en inmediaciones aguas arriba. En este tipo de flujo el conducto de la alcantarilla fluye lleno en toda su longitud, puede presentarse o no cabeza elevada de agua a la salida.



Flujo parcialmente lleno (Superficie libre). Para esta condición de flujo existen tres tipos de regímenes de flujo crítico, subcrítico y supercrítico. El tipo de régimen se determina mediante la evaluación del número de Froude. Estas situaciones se muestra continuación.



Fuente: Elaboración propia, 2007.



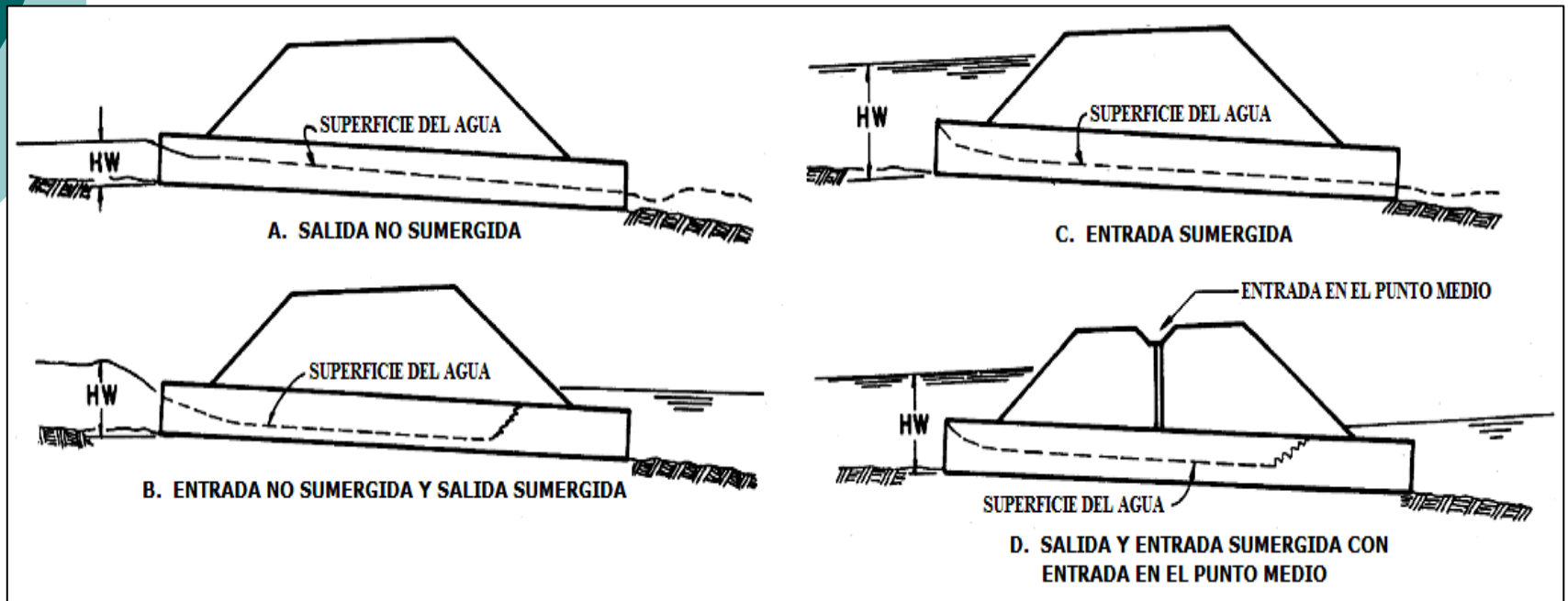
TIPOS DE CONTROL DE FLUJO.

Control a la entrada. Ocurre cuando el conducto de la alcantarilla es capaz de conducir más flujo del que puede aceptar la entrada. La profundidad crítica se da muy cerca de la entrada, y el régimen de flujo inmediatamente aguas abajo es supercrítico. Las características hidráulicas aguas abajo de la sección de control no afectan la capacidad de la alcantarilla. Sin embargo la cabeza a la entrada y la geometría de la entrada son los mayores controles de flujo.

Control a la salida. Se da cuando la alcantarilla no es capaz de conducir el flujo que puede aceptar la entrada. La sección de control para el flujo de control a la salida en una alcantarilla puede estar ubicada a la salida del conducto o en un punto aguas abajo de ésta. En conductos de alcantarillas con estas condiciones se presenta tanto el flujo subcrítico como el flujo a presión.



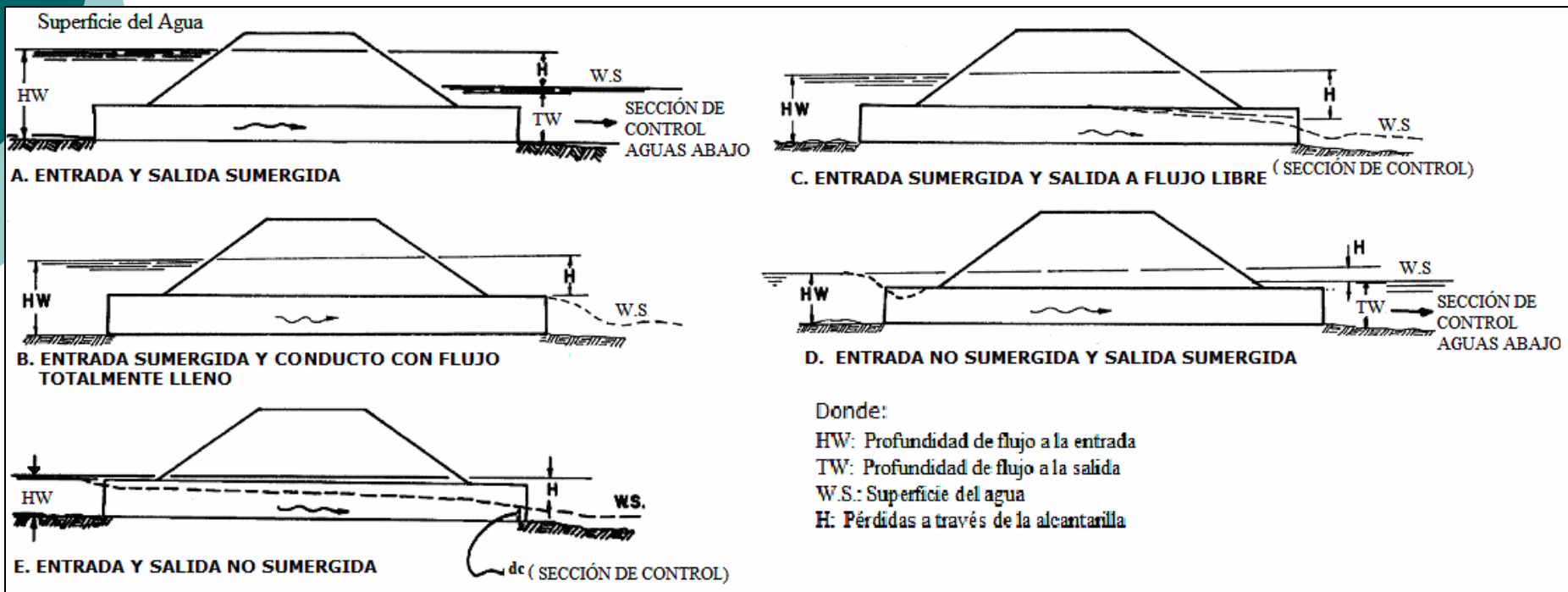
A continuación se muestra las condiciones de flujo para control a la entrada.



Fuente: Traducido del Hydraulics Design of Highway Culverts. Federal Highway Administration. Reimpreso 1998. pag. 26.



A continuación se muestra las condiciones de flujo para control a la salida.



Fuente: Traducido del Hydraulics Design of Highway Culverts. Federal Highway Administration. Reimpreso 1998. pag. 26.



Los factores que afectan los controles en una alcantarilla son:

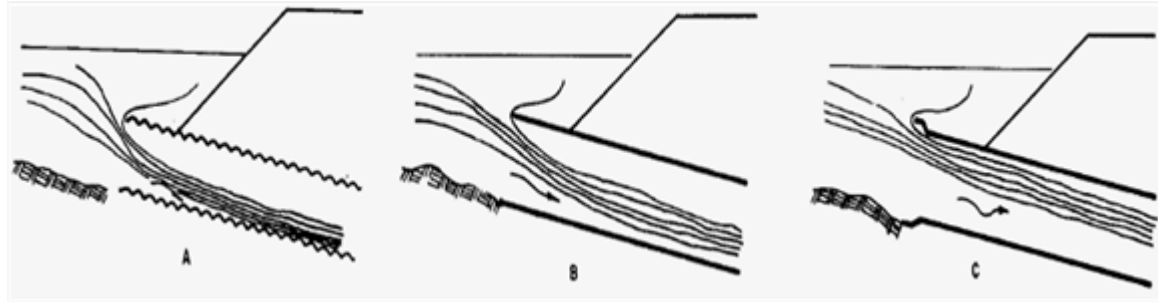
FACTOR	CONTROL A LA ENTRADA	CONTROL A LA SALIDA
Cabeza a la entrada	X	X
Área de la entrada	X	X
Configuración del borde a la entrada	X	X
Forma de la entrada	X	X
Rugosidad del conducto		X
Area del conducto		X
Forma del conducto		X
Longitud del conducto		X
Pendiente del conducto	*	X
Elevación de la profundidad de flujo a la salida		X
*La pendiente del conducto afecta el rendimiento del control a la entrada para pendientes pequeñas, pero puede ser despreciada.		

Fuente: Traducido del Hydraulics Design of Highway Culverts. Federal Highway Administration. Reimpreso en 1998. pag. 10.



Velocidad de salida. La velocidad de flujo se obtiene a partir del flujo y el área de la sección transversal en la salida.

Mejoras a la configuración de la entrada. La configuración del borde a la entrada es el mayor factor en el desempeño del control a la entrada y éste puede ser modificado para mejorarlo.

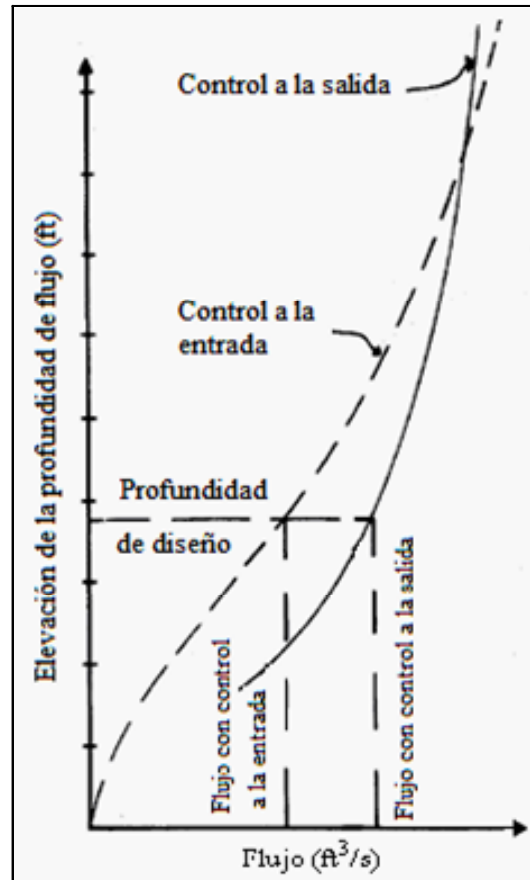


Fuente: Traducido del Hydraulics Design Of Highway Culverts. Federal Highway Administration. Reimpreso en 1998. pag. 27

Depresión en la entrada (Caída). Si el extremo de la entrada de la alcantarilla es deprimida por debajo del lecho de la corriente, ejerce más presión en la entrada para una misma elevación de cabeza a la entrada.



Curva de desempeño de una alcantarilla. Es un diagrama de Cabeza a la entrada Vs. Tasa de flujo.



Fuente: Traducido del *Hydraulics Design Of Highway Culverts*. Federal Highway Administration. Reimpreso en 1998. pag. 44.

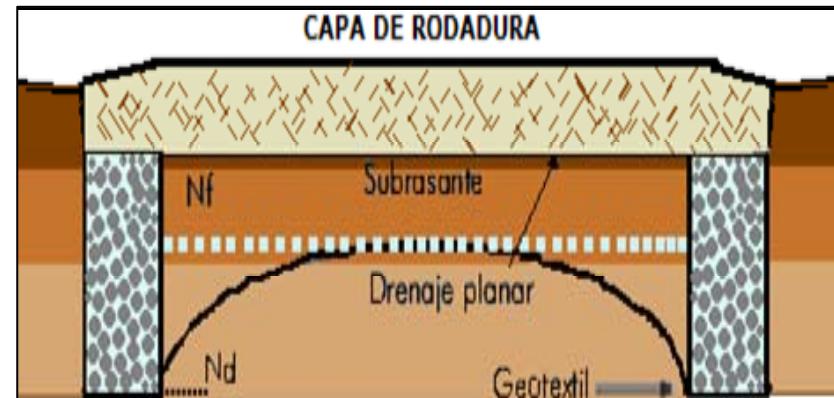


HIDRÁULICA EN FILTROS

Es un sistema de drenaje subsuperficial compuesto por dos elementos:

- Filtrante
- Drenante

La interrelación de los dos elementos le permiten al filtro las funciones de filtrar, captar, conducir y evacuar un caudal compuesto por aguas de infiltración y subterráneas.



Para la estimación del caudal de diseño, se tiene en cuenta el caudal de infiltración y el caudal de aguas subterráneas.

El caudal de diseño se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_f = q_{\text{infiltración}} + q_{Nf}$$

Donde:

Q_f : Caudal de diseño para el filtro, en m³/seg.

$q_{\text{infiltración}}$: Caudal de infiltración, en m³/seg.

q_{Nf} : Caudal de aguas subterráneas, en m³/seg.



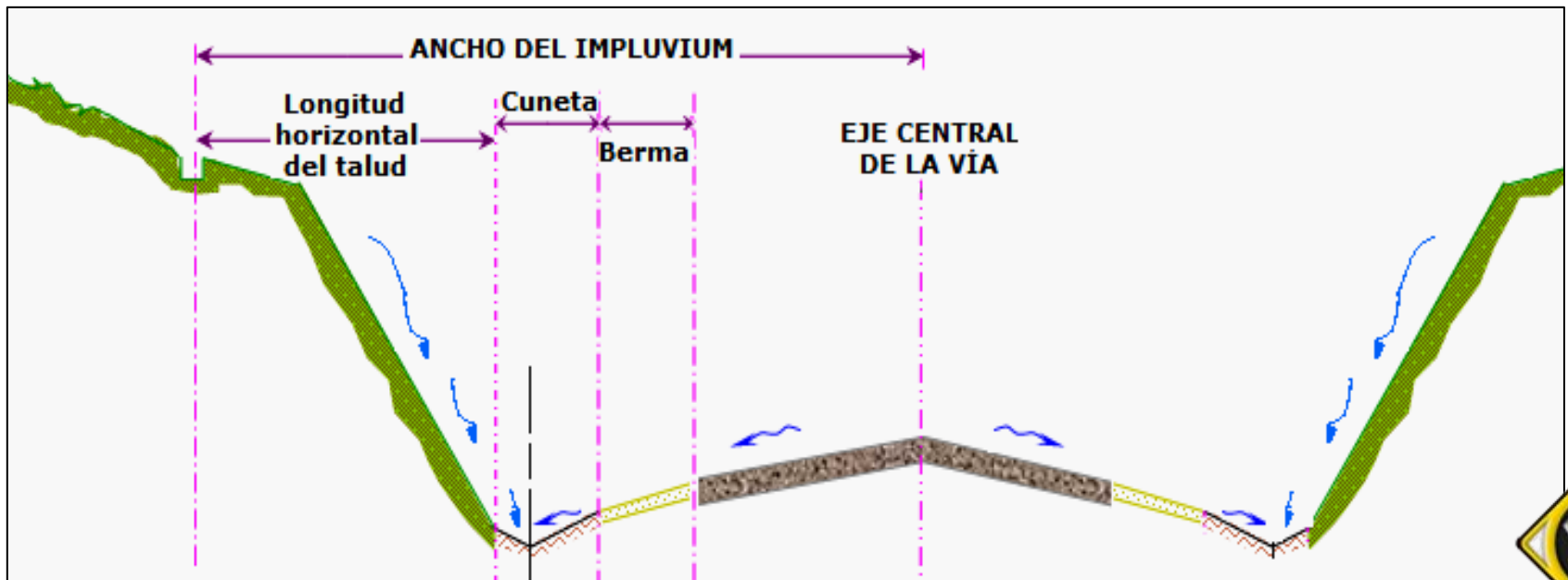
DISEÑO DE OBRAS DE DRENAJE Y SUBDRENAJE



DISEÑO DE CUNETAS

Velocidad máxima permisible. Es la velocidad máxima promedio que se desarrolla dentro del canal y no causa erosión a éste.

Lo primero es determinar el área aferente o tributaria de la cuneta, para este paso son necesarios los planos de planta y perfil de la carretera. Mediante estos se establecerá el ancho del impluvium característico del sector.



En el diseño de cunetas, el caudal hidrológico se iguala al caudal hidráulico, y así despejar la longitud de la cuneta L , que corresponde a la separación entre alcantarillas.

$$Q_{HIDRÓLOGICO} = 2.78 * 10^{-7} * C * I * A_{Triburaria}$$

$$Q_{HIDRÁULICO} = V * A_{Cuneta}$$

$$2.78 * 10^{-7} * C * I * (B * L) = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} * A_{Cuneta}$$

$$L = \frac{R^{2/3} * S^{1/2} * A_{Cuneta}}{2.78 * 10^{-7} * C * I * B * n}$$



Donde:

C: Coeficiente de escorrentía que depende del tipo de terreno. Anexo 9.

I: Intensidad de diseño en mm/hora.

A_{Tributaria}: Área tributaria o aferente de la cuneta en m².

V: Velocidad media en la cuneta en m/seg.

A_{Cuneta}: Área de la cuneta en m²

B: Ancho del Impluvium en metros.

L: Longitud de la cuneta en metros.

n: Coeficiente de rugosidad de Manning. Anexo 5.

R: Radio hidráulico de la cuneta

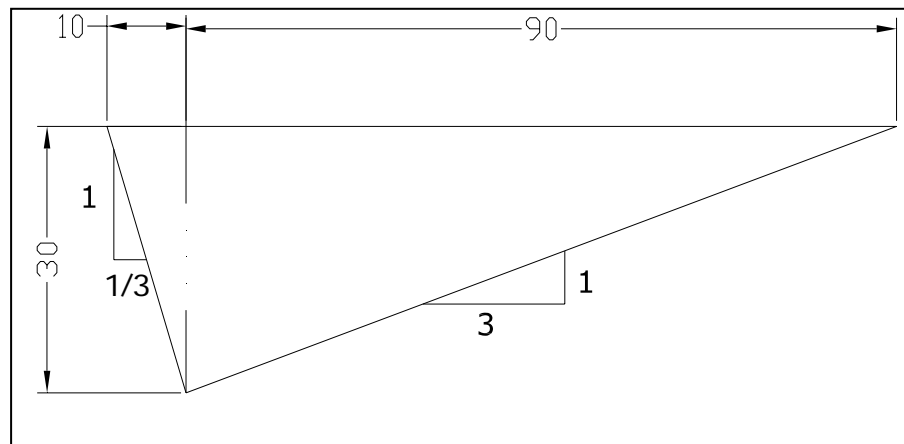
S: Pendiente longitudinal de la cuneta en tanto por uno.



ÁBACOS DE DISEÑO

Para la realización del ábaco de diseño para cunetas se determinó primero la sección transversal de la cuneta como también los parámetros de intensidad, coeficiente de escorrentía y de rugosidad.

La cuneta elegida es una triangular con pendientes $1:1/3$ en el lado del talud y $1:3$ en el lado de la vía.



Se calcula la longitud L variando el ancho del impluvium (B) y la pendiente longitudinal (S). Se calcula el caudal hidrológico utilizando la ecuación del Método Racional.

$$L = \frac{R^{2/3} * S^{1/2} * A_{Cuneta}}{2.78 * 10^{-7} * C * I * B * n}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\frac{y^2(m+z)}{2}}{y * (\sqrt{1+m^2} + \sqrt{1+z^2})} = \frac{\frac{0.30^2(3+0.333)}{2}}{0.30 * (\sqrt{1+3^2} + \sqrt{1+0.333^2})} = \frac{0.15 \text{ m}^2}{1.26 \text{ m}} = 0.12 \text{ m}$$

Área de la cuneta $A=0.15 \text{ m}^2$

Radio hidráulico $R = 0.12 \text{ m}$

Coefficiente de Escorrentía $C=0.50$

Intensidad $I = 93 \text{ mm/hora}$ (Curvas IDF para un período de retorno de 5 años)

Coefficiente de rugosidad $n= 0.028$ para cunetas en tierra.



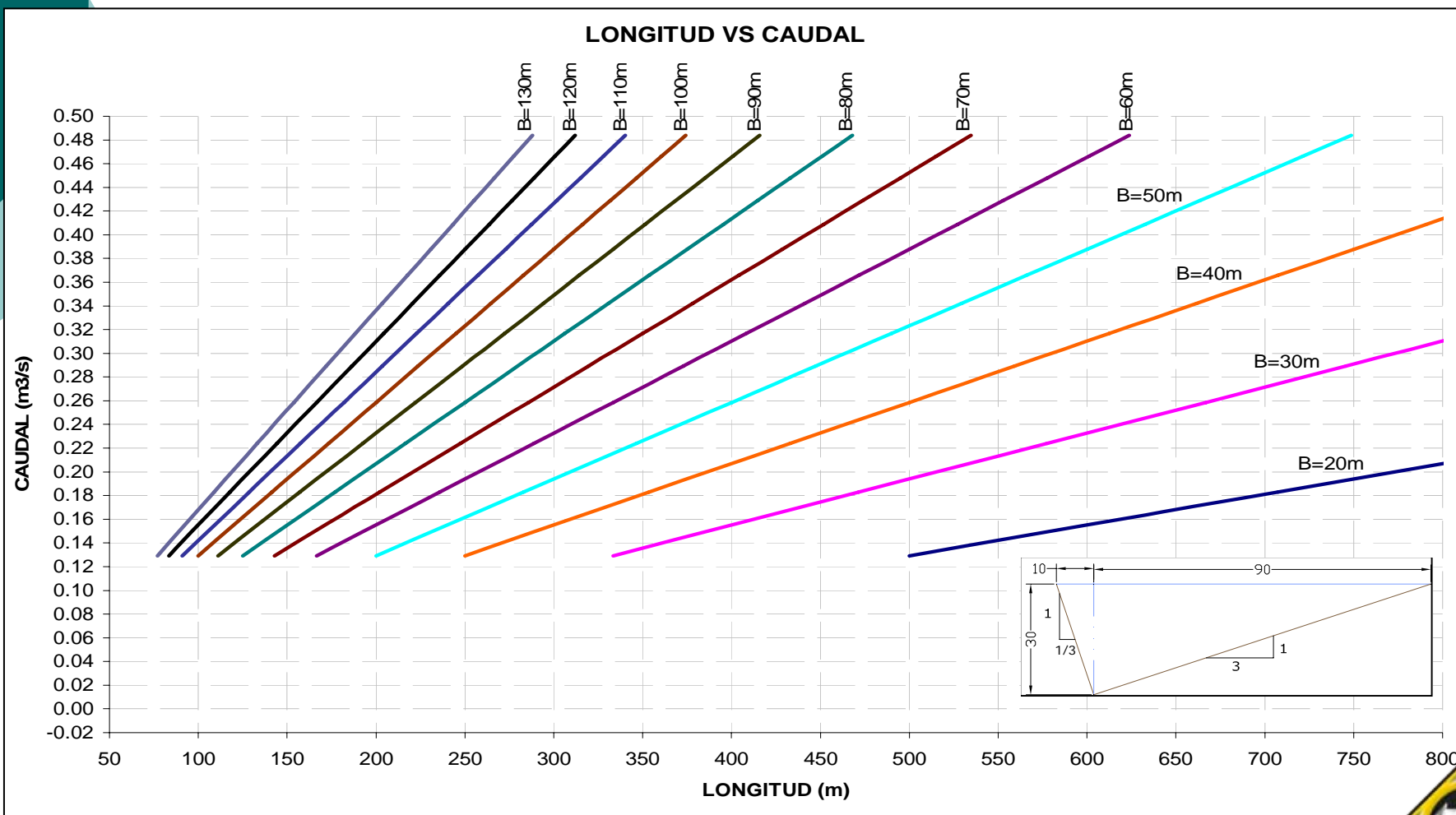
Cálculos de longitud y caudal hidrológico para cunetas en tierra con $n=0.028$

Ancho Impluvium	20		30		40		50		60		70		80		90		100		110		120		130	
S	L	Q	L	Q	L	Q	L	Q	L	Q	L	Q	L	Q	L	Q	L	Q	L	Q	L	Q	L	Q
0.01	500	0.13	333	0.13	250	0.13	200	0.13	167	0.13	143	0.13	125	0.13	111	0.129	100	0.13	91	0.13	83.4	0.13	76.9	0.13
0.02	707	0.18	472	0.18	354	0.18	283	0.18	236	0.18	202	0.18	177	0.18	157	0.183	141	0.18	129	0.18	118	0.18	109	0.18
0.03	866	0.22	578	0.22	433	0.22	347	0.22	289	0.22	248	0.22	217	0.22	193	0.224	173	0.22	158	0.22	144	0.22	133	0.22
0.04	1000	0.26	667	0.26	500	0.26	400	0.26	333	0.26	286	0.26	250	0.26	222	0.259	200	0.26	182	0.26	167	0.26	154	0.26
0.05	1118	0.29	746	0.29	559	0.29	447	0.29	373	0.29	320	0.29	280	0.29	249	0.289	224	0.29	203	0.29	186	0.29	172	0.29
0.06	1225	0.32	817	0.32	613	0.32	490	0.32	408	0.32	350	0.32	306	0.32	272	0.317	245	0.32	223	0.32	204	0.32	188	0.32
0.07	1323	0.34	882	0.34	662	0.34	529	0.34	441	0.34	378	0.34	331	0.34	294	0.342	265	0.34	241	0.34	221	0.34	204	0.34
0.08	1415	0.37	943	0.37	707	0.37	566	0.37	472	0.37	404	0.37	354	0.37	314	0.366	283	0.37	257	0.37	236	0.37	218	0.37
0.09	1500	0.39	1000	0.39	750	0.39	600	0.39	500	0.39	429	0.39	375	0.39	333	0.388	300	0.39	273	0.39	250	0.39	231	0.39
0.1	1582	0.41	1054	0.41	791	0.41	633	0.41	527	0.41	452	0.41	395	0.41	351	0.409	316	0.41	288	0.41	264	0.41	243	0.41
0.11	1659	0.43	1106	0.43	829	0.43	664	0.43	553	0.43	474	0.43	415	0.43	369	0.429	332	0.43	302	0.43	276	0.43	255	0.43
0.12	1733	0.45	1155	0.45	866	0.45	693	0.45	578	0.45	495	0.45	433	0.45	385	0.448	347	0.45	315	0.45	289	0.45	267	0.45
0.13	1803	0.47	1202	0.47	902	0.47	721	0.47	601	0.47	515	0.47	451	0.47	401	0.466	361	0.47	328	0.47	301	0.47	277	0.47
0.14	1871	0.48	1248	0.48	936	0.48	749	0.48	624	0.48	535	0.48	468	0.48	416	0.484	374	0.48	340	0.48	312	0.48	288	0.48

Fuente: Elaboración propia, 2007.



Se grafica la longitud de la cuneta vs. Caudal hidrológico como se muestra en la a continuación.



Para verificar la velocidad con la cual la cuneta evacua la escorrentía superficial, se hace necesario calcular la velocidad mediante la ecuación de Manning

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2} * A_{Cuneta}}{n} \cong \frac{\left[\frac{A_{cuneta}}{y * \left(\sqrt{1 + m^2} + \sqrt{1 + z^2} \right)} \right]^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

Con los mismos parámetros utilizados en el cálculo de la longitud de la cuneta, manteniendo constante las pendientes transversales de ésta (m y n), para diferentes valores de pendiente y profundidad de flujo. Se calcula el caudal hidráulico para el área de la cuneta establecida y para cada una de las velocidades halladas.



Cálculo de la velocidad y el caudal hidráulico para cunetas en tierra.

Pendiente (m/m):		0.01		0.02		0.03		0.04		0.05		0.06	
y	A	V _o	Q	V _o	Q	V _o	Q	V _o	Q	V _o	Q	V _o	Q
0.01	1.67E-04	8.9E-02	1.49E-05	1.3E-01	2.10E-05	1.5E-01	2.58E-05	1.8E-01	2.98E-05	2.0E-01	3.33E-05	2.2E-01	3.65E-05
0.03	1.50E-03	1.9E-01	2.79E-04	2.6E-01	3.94E-04	3.2E-01	4.83E-04	3.7E-01	5.57E-04	4.2E-01	6.23E-04	4.5E-01	6.82E-03
0.05	4.17E-03	2.6E-01	1.09E-03	3.7E-01	1.54E-03	4.5E-01	1.88E-03	5.2E-01	2.18E-03	5.8E-01	2.43E-03	6.4E-01	2.66E-03
0.07	8.17E-03	3.3E-01	2.67E-03	4.6E-01	3.77E-03	5.7E-01	4.62E-03	6.5E-01	5.34E-03	7.3E-01	5.97E-03	8.0E-01	6.54E-03
0.09	1.35E-02	3.9E-01	5.22E-03	5.5E-01	7.38E-03	6.7E-01	9.03E-03	7.7E-01	1.04E-02	8.6E-01	1.17E-02	9.5E-01	1.28E-02
0.11	2.02E-02	4.4E-01	8.91E-03	6.2E-01	1.26E-02	7.6E-01	1.54E-02	8.8E-01	1.78E-02	9.9E-01	1.99E-02	1.1E+00	2.18E-02
0.13	2.82E-02	4.9E-01	1.39E-02	7.0E-01	1.97E-02	8.6E-01	2.41E-02	9.9E-01	2.78E-02	1.1E+00	3.11E-02	1.2E+00	3.41E-02
0.15	3.75E-02	5.4E-01	2.04E-02	7.7E-01	2.88E-02	9.4E-01	3.53E-02	1.1E+00	4.07E-02	1.2E+00	4.55E-02	1.3E+00	4.99E-02
0.17	4.82E-02	5.9E-01	2.84E-02	8.3E-01	4.02E-02	1.0E+00	4.92E-02	1.2E+00	5.69E-02	1.3E+00	6.36E-02	1.4E+00	6.96E-01
0.19	6.02E-02	6.4E-01	3.83E-02	9.0E-01	5.41E-02	1.1E+00	6.63E-02	1.3E+00	7.65E-02	1.4E+00	8.55E-02	1.6E+00	9.37E-01
0.21	7.35E-02	6.8E-01	5.00E-02	9.6E-01	7.06E-02	1.2E+00	8.65E-02	1.4E+00	9.99E-02	1.5E+00	1.12E-01	1.7E+00	1.22E-01
0.23	8.82E-02	7.2E-01	6.37E-02	1.0E+00	9.00E-02	1.3E+00	1.10E-01	1.4E+00	1.27E-01	1.6E+00	1.42E-01	1.8E+00	1.56E-01
0.25	1.04E-01	7.6E-01	7.95E-02	1.1E+00	1.12E-01	1.3E+00	1.38E-01	1.5E+00	1.59E-01	1.7E+00	1.78E-01	1.9E+00	1.95E-01
0.27	1.21E-01	8.0E-01	9.76E-02	1.1E+00	1.38E-01	1.4E+00	1.69E-01	1.6E+00	1.95E-01	1.8E+00	2.18E-01	2.0E+00	2.39E-01
0.3	1.50E-01	8.6E-01	1.29E-01	1.2E+00	1.83E-01	1.5E+00	2.24E-01	1.7E+00	2.59E-01	1.9E+00	2.89E-01	2.1E+00	3.17E-01

Fuente: Elaboración propia, 2007.



Continuación. Cálculo de la velocidad y el caudal hidráulico para cunetas en tierra.

Pendiente (m/m):		0.07		0.08		0.09		0.10		0.11		0.12	
y	A	V _o	Q	V _o	Q	V _o	Q	V _o	Q	V _o	Q	V _o	Q
0.01	1.67E-04	2.4E-01	3.94E-05	2.5E-01	4.21E-05	2.7E-01	4.46E-05	2.8E-01	4.71E-05	3.0E-01	4.94E-05	3.1E-01	5.15E-05
0.03	1.50E-03	4.9E-01	7.37E-04	5.3E-01	7.88E-04	5.6E-01	8.36E-04	5.9E-01	8.81E-04	6.2E-01	9.24E-04	6.4E-01	9.65E-03
0.05	4.17E-03	6.9E-01	2.88E-03	7.4E-01	3.08E-03	7.8E-01	3.26E-03	8.3E-01	3.44E-03	8.7E-01	3.61E-03	9.0E-01	3.77E-03
0.07	8.17E-03	8.6E-01	7.06E-03	9.2E-01	7.55E-03	9.8E-01	8.00E-03	1.0E+00	8.44E-03	1.1E+00	8.85E-03	1.1E+00	9.24E-03
0.09	1.35E-02	1.0E+00	1.38E-02	1.1E+00	1.48E-02	1.2E+00	1.56E-02	1.2E+00	1.65E-02	1.3E+00	1.73E-02	1.3E+00	1.81E-02
0.11	2.02E-02	1.2E+00	2.36E-02	1.2E+00	2.52E-02	1.3E+00	2.67E-02	1.4E+00	2.82E-02	1.5E+00	2.95E-02	1.5E+00	3.09E-02
0.13	2.82E-02	1.3E+00	3.68E-02	1.4E+00	3.93E-02	1.5E+00	4.17E-02	1.6E+00	4.40E-02	1.6E+00	4.61E-02	1.7E+00	4.82E-02
0.15	3.75E-02	1.4E+00	5.39E-02	1.5E+00	5.76E-02	1.6E+00	6.11E-02	1.7E+00	6.44E-02	1.8E+00	6.75E-02	1.9E+00	7.05E-02
0.17	4.82E-02	1.6E+00	7.52E-02	1.7E+00	8.04E-02	1.8E+00	8.53E-02	1.9E+00	8.99E-02	2.0E+00	9.43E-02	2.0E+00	9.85E-01
0.19	6.02E-02	1.7E+00	1.01E-01	1.8E+00	1.08E-01	1.9E+00	1.15E-01	2.0E+00	1.21E-01	2.1E+00	1.27E-01	2.2E+00	1.33E-01
0.21	7.35E-02	1.8E+00	1.32E-01	1.9E+00	1.41E-01	2.0E+00	1.50E-01	2.1E+00	1.58E-01	2.3E+00	1.66E-01	2.4E+00	1.73E-01
0.23	8.82E-02	1.9E+00	1.68E-01	2.0E+00	1.80E-01	2.2E+00	1.91E-01	2.3E+00	2.01E-01	2.4E+00	2.11E-01	2.5E+00	2.21E-01
0.25	1.04E-01	2.0E+00	2.10E-01	2.2E+00	2.25E-01	2.3E+00	2.39E-01	2.4E+00	2.51E-01	2.5E+00	2.64E-01	2.6E+00	2.75E-01
0.27	1.21E-01	2.1E+00	2.58E-01	2.3E+00	2.76E-01	2.4E+00	2.93E-01	2.5E+00	3.09E-01	2.7E+00	3.24E-01	2.8E+00	3.38E-01
0.3	1.50E-01	2.3E+00	3.42E-01	2.4E+00	3.66E-01	2.6E+00	3.88E-01	2.7E+00	4.09E-01	2.9E+00	4.29E-01	3.0E+00	4.48E-01

Fuente: Elaboración propia, 2007.



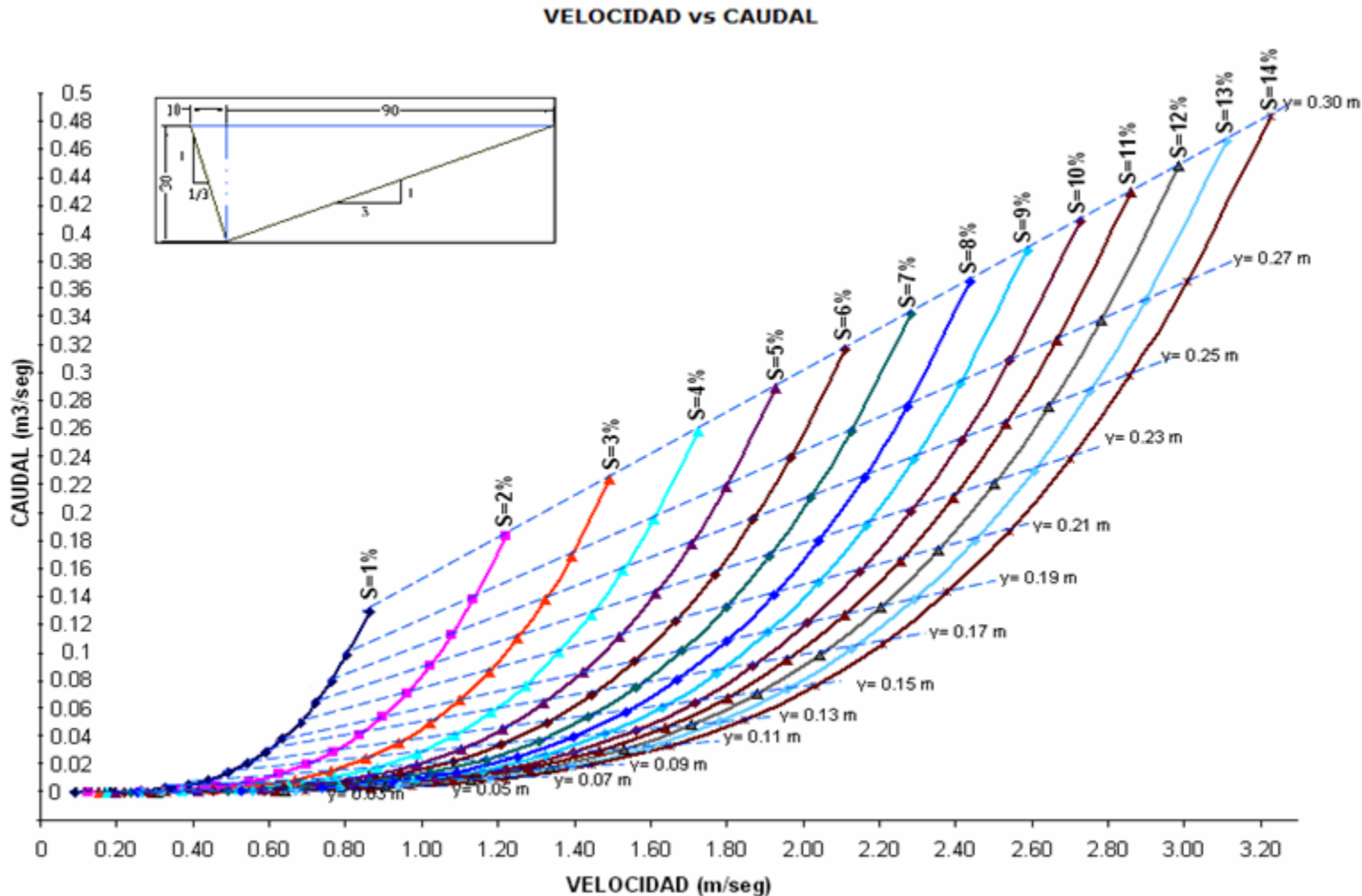
Continuación. Cálculo de la velocidad y el caudal hidráulico para cunetas en tierra.

Pendiente (m/m):		0.13		0.14	
y	A	Vo	Q	Vo	Q
0.01	1.67E-04	3.2E-01	5.37E-05	3.3E-01	5.57E-05
0.03	1.50E-03	6.7E-01	1.00E-03	6.9E-01	1.04E-03
0.05	4.17E-03	9.4E-01	3.92E-03	9.8E-01	4.07E-03
0.07	8.17E-03	1.2E+00	9.62E-03	1.2E+00	9.98E-03
0.09	1.35E-02	1.4E+00	1.88E-02	1.4E+00	1.95E-02
0.11	2.02E-02	1.6E+00	3.21E-02	1.7E+00	3.33E-02
0.13	2.82E-02	1.8E+00	5.01E-02	1.8E+00	5.20E-02
0.15	3.75E-02	2.0E+00	7.34E-02	2.0E+00	7.62E-02
0.17	4.82E-02	2.1E+00	1.03E-01	2.2E+00	1.06E-01
0.19	6.02E-02	2.3E+00	1.38E-01	2.4E+00	1.43E-01
0.21	7.35E-02	2.5E+00	1.80E-01	2.5E+00	1.87E-01
0.23	8.82E-02	2.6E+00	2.30E-01	2.7E+00	2.38E-01
0.25	1.04E-01	2.8E+00	2.87E-01	2.9E+00	2.98E-01
0.27	1.21E-01	2.9E+00	3.52E-01	3.0E+00	3.65E-01
0.3	1.50E-01	3.1E+00	4.66E-01	3.2E+00	4.84E-01

Fuente: Elaboración propia, 2007.



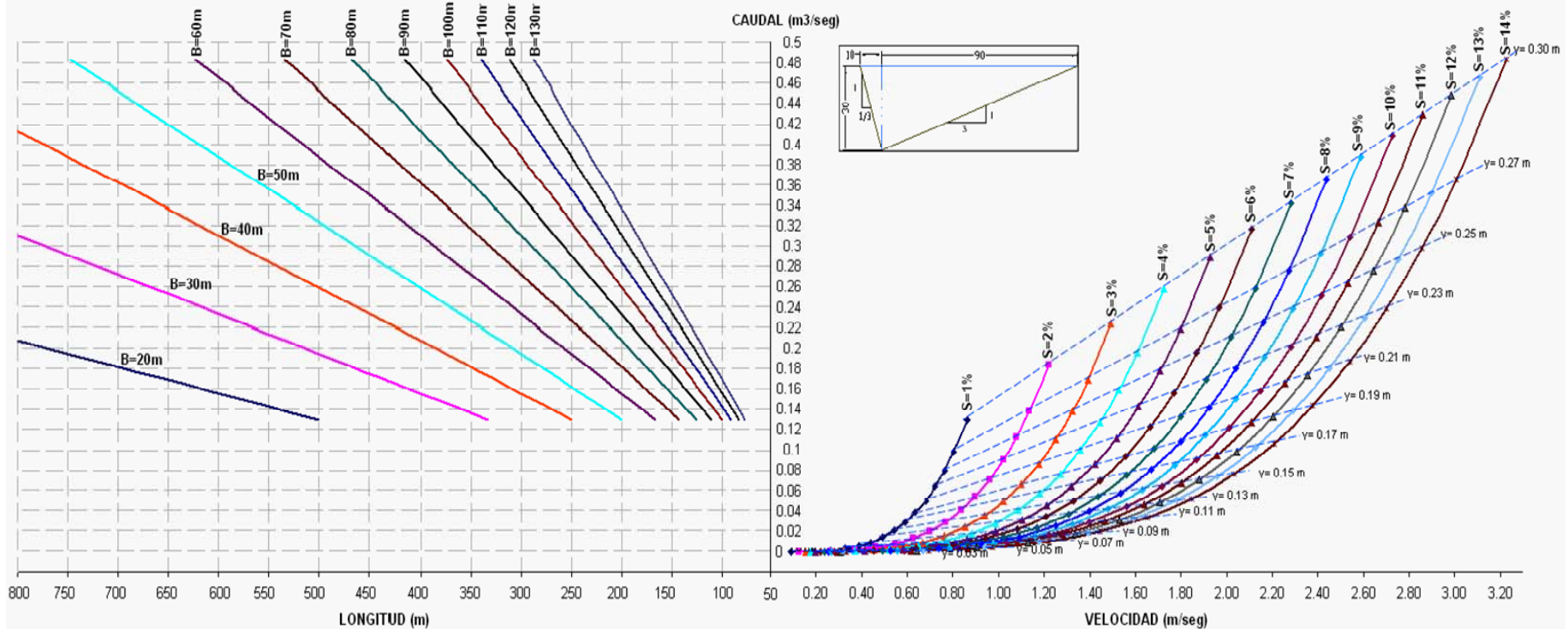
Se grafican la Velocidad vs. Caudal hidráulico, para diferentes pendientes (S) y profundidades de la cuneta (y); como se muestra



Fuente: Elaboración propia, 2007.



DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE LA CUNETA EN TIERRA O SEPARACIÓN ENTRE ALCANTARILLAS



Cuneta en tierra con pendientes laterales de 1:3 y 1:1/3, de un metro de ancho y profundidad de 0.30 m.

Los parámetros utilizados para la realización del ábaco son:
Coeficiente de rugosidad de Manning (n) = 0.028
Coeficiente de escorrentía (c) = 0.50

Intensidad de la precipitación = 93 mm/h
B: Ancho de impluvium, en m.
S: Pendiente longitudinal de la cuneta, en %.

Fuente: Elaboración propia, 2007.

*EJEMPLO DE DISEÑO PARA
CUNETETA*



Se requiere diseñar una cuneta para una carretera destapada, con un ancho de banca de 8 metros. Para la construcción del pavimento se colocará una capa de material granular, compactada al 95% del proctor modificado. El material de la subrasante es. Pero el material utilizado en la construcción de la cuneta será pizarra blanda, que se encuentra con facilidad en la zona y presenta mayores valores de velocidad erosiva.

- Ancho de impluvium de 70m.
- Pendiente longitudinal del 3%
- Caudal hidrológico de 0.20 m³/s (Obtenido del Estudio Hidrológico)
- El coeficiente de escorrentía es de 0.50
- Intensidad de la precipitación es de 93 mm/hora

Previamente se selecciona una sección transversal triangular o trapezoidal.



1. La cuneta se localiza en tangente, así que el ancho de impluvium consta de la semibanca y la longitud en horizontal del talud.
2. El caudal hidrológico se determina mediante el estudio hidrológico de la zona para lo cual dio un caudal de diseño de $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$
3. Previamente se selecciona una sección transversal triangular o trapezoidal, de tal manera que pueda utilizarse como cuneta.

