



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

MANUAL DE OBRAS DE DRENAJE PARA CAMINOS RURALES

Pablo Enrique Barrios Rivas

Asesorado por el MSc. Ing. Carlos Enrique Barrios Chávez

Guatemala, octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MANUAL DE OBRAS DE DRENAJE PARA CAMINOS RURALES

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

PABLO ENRIQUE BARRIOS RIVAS

ASESORADO POR EL MSC. ING. CARLOS ENRIQUE BARRIOS CHÁVEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. María Del Mar Girón Cordón
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MANUAL DE OBRAS DE DRENAJE PARA CAMINOS RURALES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 16 de octubre de 2012.



Pablo Enrique Barrios Rivas

Guatemala, 27 de agosto de 2013

Ingeniero
Mario Estuardo Arriola Ávila,
Coordinador del Área de
Topografía y Transportes,
Escuela de Ingeniería Civil,
Presente.

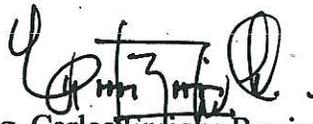
Estimado Ingeniero:

Por medio de la presente tengo el gusto de presentarle el trabajo de Tesis de graduación titulado "MANUAL DE OBRAS DE DRENAJE PARA CAMINOS RURALES", del estudiante Pablo Enrique Barrios Rivas, Carnet No. 200819253, para la cual fui nombrado asesor, según comunicación de fecha 16 de octubre de 2012.

Al mencionado trabajo se le ha dado el seguimiento correspondiente revisándolo y corrigiéndole hasta conseguir el resultado presentado, con la seguridad de que podrá llenar los fines propuestos de un buen trabajo de tesis.

Sin más por el momento y esperando que el presente trabajo llene los requisitos establecidos, se despide de usted,

Atentamente,



MSc. Ing. Carlos Enrique Barrios Chávez
Colegiado No. 3610





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
17 de septiembre de 2013

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **MANUAL DE OBRAS DE DRENAJE PARA CAMINOS RURALES**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Pablo Enrique Barrios Rivas, quien contó con la asesoría del Ing. Carlos Enrique Barrios Chávez.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la Escuela de Ingeniería Civil y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑADA TODOS



Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
TRANSPORTES
USAC

bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Carlos Enrique Barrios Chávez y del Coordinador del Área de Topografía y Transportes, Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila, al trabajo de graduación del estudiante Pablo Enrique Barrios Rivas, titulado **MANUAL DE OBRAS DE DRENAJE PARA CAMINOS RURALES**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre de 2013.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 691.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **MANUAL DE OBRAS DE DRENAJE PARA CAMINOS RURALES**, presentado por el estudiante universitario **Pablo Enrique Barrios Rivas**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 4 de octubre de 2013

/gdech



AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por guiarme en su camino.

Mis padres

Por su dedicación hacia mí.

Mis hermanas

Por su apoyo en los momentos difíciles

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres	Por su gran apoyo, entrega, amor, confianza y sacrificio, para que pudiera estudiar ingeniera.
Mis hermanas	Por el ánimo y la comprensión que me dieron cuando más lo necesitaba.
Mis maestros	Por ser quienes han transmitido sus conocimientos y experiencias a lo largo de la carrera.
Mis amigos	Por darme el privilegio de trabajar juntos y divertirnos durante estos años.
A quien le interese	El valor del conocimiento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. CONSIDERACIONES GENERALES	1
1.1. Instalación y uso de alcantarilla	1
1.2. El control de la entrada y salida del agua.....	3
1.3. El control de erosión en la superficie del camino.....	5
1.4. Drenajes superficiales.....	8
1.4.1. Bombeo superficial	8
1.4.2. Cunetas	9
1.4.3. Contracunetas	12
1.4.4. Canales	13
1.4.5. Bordos.....	13
1.5. Subdrenajes.....	14
1.5.1. Tipos de subdrenajes	15
2. HIDROLOGÍA APLICADA PARA DRENAJES	19
2.1. El ciclo hidrológico	19
2.2. Método Racional	20
2.3. Método de Talbot	22
2.4. Método de Jarvis-Myers.....	24

3.	DISEÑO HIDRÁULICO, ZAMPEADOS, FILTROS Y GEOTEXTILES	25
3.1.	Ecuacion de Manning para calcular velocidad de descarga en alcantarillas, drenajes naturales y tuberías	25
3.2.	Revestimiento de zampeado.....	32
3.3.	Uso y funcionamineto de geotextiles.....	37
3.3.1.	Evaluación del geotextil	40
3.3.2.	Cálculo hidráulico para la selección del geotextil.....	44
3.3.3.	Estimacion de caudal de diseño	48
3.3.3.1.	Caudal por infiltración	48
3.3.3.2.	Caudal por abatimiento del nivel freático ...	50
3.3.4.	Dimensionamiento de la sección transversal.....	52
4.	HIDROLOGÍA PARA DRENAJES MAYORES	55
4.1.	Tipos de drenajes mayores.....	55
4.1.1.	Vado.....	55
4.1.2.	Tubos.....	56
4.1.3.	Losas.....	58
4.1.4.	Bóvedas..	59
4.1.5.	Alcantarillas celulares.....	61
4.1.6.	Sifones.....	61
4.1.7.	Puente vado	62
4.2.	Selección del sitio	63
4.3.	Estudio hidrológico de drenajes mayores.....	66
5.	TRAVESÍA DE AGUA DE BAJO NIVEL.....	69
5.1.	Selección	69
5.2.	Tipo de estructuras	69
5.3.	Estudio hidrológico y diseño hidráulico	73

6.	USO DE NOMOGRAMA PARA DETERMINAR CAPACIDAD DE ALCANTARILLAS Y CANALES	75
6.1.	Escurrimiento de alcantarillas con control de entrada	75
6.2.	Escurrimiento de alcantarillas con control de salida	82
6.3.	Escurrimiento en canales	86
7.	MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE DRENAJES.....	91
7.1.	Identificación de puntos críticos	92
7.2.	Mantenimiento de cunetas	93
7.3.	Mantenimiento de puentes, cajas y vados.....	94
	CONCLUSIONES	97
	RECOMENDACIONES.....	99
	BIBLIOGRAFÍA.....	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de alcantarillas.....	1
2.	Diseño de rejilla contra basura para entrada de tuberías medianas y pequeñas.....	3
3.	Control de entrada y salida.....	4
4.	Alcantarilla con muros sencillos y gabacha.....	5
5.	Velocidad de escorrentía.....	6
6.	Desnivel del peralte hacia afuera del camino.....	8
7.	Bombeo superficial.....	9
8.	Sección transversal de cuneta típica V con recubrimiento.....	11
9.	Ubicación de la contracuneta.....	12
10.	Dimensiones de la contracuneta.....	13
11.	Bordo.....	14
12.	Subdren típico para caminos para eliminar agua subterránea.....	15
13.	Detalle de subdren con material granular.....	16
14.	Detalle de subdren con geotextil.....	16
15.	Ciclo hidrológico.....	19
16.	Método Racional valores de C.....	21
17.	Nomograma para resolver la ecuación de Talbot (sistema métrico).....	23
18.	Nomograma de Manning (sistema métrico).....	27
19.	Nomograma de Manning (sistema inglés).....	28
20.	Coeficiente de rugosidad n para ríos y otros cauces.....	29
21.	Coeficiente de rugosidad n para canales y tuberías.....	30

22.	Coeficiente de rugosidad n para canales y tuberías.....	31
23.	Distribución de velocidad de la sección de un cauce.....	33
24.	Tamaño de roca para resistir desplazamientos.....	36
25.	Geotextiles tejidos.....	37
26.	Geotextiles no tejidos.....	38
27.	Permeabilidad de los suelos.....	42
28.	Colmatación del filtro por penetración de partículas.....	43
29.	Localización del subdren.....	45
30.	Sección del subdren para cálculo.....	45
31.	Factores de reducción para permitividad admisible del geotextil....	47
32.	Sección transversal del sistema de subdrenajes laterales en una vía.....	51
33.	Pendiente vs velocidad, según tamaño del agregado (para agregados de tamaño uniforme).....	53
34.	Vado con nivel del agua por encima.....	56
35.	Proyección de tubo en terraplén.....	57
36.	Tipos de entradas y salidas para tubos.....	58
37.	Losa de concreto.....	59
38.	Bóvedas con protección.....	60
39.	Alcantarilla de cajón.....	61
40.	Detalle de sifón.....	62
41.	Puente vado.....	63
42.	Badén mejorado de concreto.....	71
43.	Badén mejorado de concreto con nivel del agua por encima.....	71
44.	Puente sumergible.....	72
45.	Escurrimiento con control de entrada.....	75
46.	Nomograma para el control de entrada para cajas de concreto.....	78
47.	Nomograma para el control de entrada para tubos de concreto.....	79

48.	Nomograma para el control de entrada para tubos circulares de metal corrugado (sistema métrico).....	80
49.	Nomograma para el control de entrada para tubos circulares de metal corrugado (sistema inglés).....	81
50.	Escurrimiento con control de salida.....	82
51.	Nomograma para el control de salida para tubos circulares estándares de metal corrugado con escurrimiento lleno.....	85
52.	Nomograma para el control de canales.....	87
53.	Nomograma para el escurrimiento de canales para graminia corta y alta.....	89

TABLAS

I.	Pendiente transversales.....	9
II.	Velocidades admisibles en canales (metros por segundo).....	10
III.	Coeficiente de rugosidad n para diversos materiales.....	31
IV.	Tamaño de roca según la alcantarilla.....	35
V.	Criterio de retención.....	41
VI.	Criterio de permeabilidad.....	42
VII.	Valores recomendados para F_I	49
VIII.	Valores recomendados para F_R	50
IX.	Consideraciones para la selección del sitio.....	64

GLOSARIO

Alcantarilla	Obra destinada a evacuar las aguas residuales domésticas u otro tipo de aguas usadas.
Canal	Construcción destinada al transporte de fluido y que, a diferencia de las tuberías, es abierta a la atmósfera.
Compactación	Reducción de la relación de vacíos del suelo mediante métodos mecánicos
Consolidación	Proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos, provocado por la actuación de cargas, que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo.
Crecidas	Elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de éste. Durante la crecida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo.
Cuenca	Territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, que drena sus aguas al mar a través de un único río.

Dren	Conducto o cauce construido para efectuar un drenaje.
Erosión	Proceso de sustracción de masa sólida al suelo o a la roca de la superficie, llevado a cabo por un flujo de agua que circula por la misma.
Escorrentía	Lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje.
Evaporación	Proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial.
Gaviones	Contenedores de piedras retenidas con malla de alambre.
Geotextiles	Lámina permeable y flexible de fibras sintéticas, principalmente, polipropileno y poliéster, las cuales se pueden fabricar de forma no tejida o tejida dependiendo de la resistencia y capacidad de filtración deseada.
Granulometría	Medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.

Infiltración	Proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo.
Lixiviado	Líquido resultante de un proceso de percolación de un fluido a través de un sólido. El lixiviado generalmente arrastra gran cantidad de los compuestos presentes en el sólido que atraviesa.
Nomograma	Instrumento gráfico de cálculo que permite el cómputo gráfico y aproximado de una función de cualquier número de variables. Representa simultáneamente el conjunto de las ecuaciones que definen determinado problema y el rango total de sus soluciones.
Perímetro mojado	Longitud de la línea de la intersección de la superficie mojada del canal con la sección transversal normal a la dirección del flujo.
Periodo de retorno	Tiempo esperado o tiempo medio entre dos sucesos improbables y con posibles efectos catastróficos.
Precipitación	Cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve y granizo,
Radio hidráulico	Relación entre el área mojada y el perímetro mojado,

Socavación	Excavación profunda causada por el agua, uno de los tipos de erosión hídrica.
Subdren	Consisten en una red colectora de tuberías perforadas o ranuradas, alojadas en zanjas para permitir recolectar el agua subterránea.

RESUMEN

Para poder trabajar el diseño de los diferentes elementos del sistema de drenajes, es importante conocer cada uno de los elementos que se pueden aplicar para los caminos rurales, dentro del manual se incluyen los más importantes, así como su funcionamiento que tienen cada uno de estos.

Para el diseño de los drenajes se toman en cuenta las ecuaciones para el cálculo del gasto, para poder encontrar las dimensiones necesarias de los elementos. Muchos de estas ecuaciones se han trabajado por medio de observaciones, y han dado muy buenos resultados prácticos, de manera que es importante conocerlas.

Para poder tener un control sobre el agua fuera del camino, es importante tomar en cuenta los criterios que se deben considerar para evitar problemas futuros dentro del sistema de drenajes, muchos de estos se presentan en detalle tanto al inicio como al final del sistema de drenajes.

El cuidado que se debe tener con los drenajes después de su diseño y construcción, es considerado como el mantenimiento periódico que se le debe dar a los diferentes elementos durante su vida útil, ya que con esto se puede asegurar un funcionamiento adecuado del sistema de drenajes, tomando en cuenta los puntos claves para detectar y controlar los problemas que se puedan dar.

OBJETIVOS

General

Elaborar un guía con las consideraciones necesarias para el diseño de drenajes para caminos rurales.

Específicos

1. Enlistar las obras de drenajes básicas que requiere un camino.
2. Definir el funcionamiento y parámetros de diseño de las diferentes obras de drenaje
3. Definir los parámetros necesarios para llevar a cabo el diseño un drenaje.
4. Conocer qué criterios se deben considerar para el mantenimiento de las obras de drenaje

INTRODUCCIÓN

Las condiciones en las que se encuentra un drenaje juegan un papel muy importante en el mantenimiento de los caminos, ya que su función principal es eliminar el agua y la humedad en el menor tiempo posible, ya sean aguas superficiales o subterráneas.

El término drenaje en carreteras es amplio, ya que incluye desde las pendientes transversales y longitudinales, las cunetas, contracunetas, tuberías, bóvedas, puentes y subdrenajes.

Los principios usados para el diseño de drenajes para caminos son básicos, pero no se les da la importancia que merecen. Un buen sistema de drenajes para un camino requiere mucha atención en los detalles, tanto en su diseño como en su construcción.

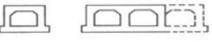
1. CONSIDERACIONES GENERALES

En el diseño y construcción de caminos el sistema de drenajes es el aspecto más importante a considerar por el impacto ambiental, costo de la construcción, mantenimiento y reparación.

1.1. Instalación y uso de alcantarilla

Existe una gran variedad de estructuras de drenaje y alcantarillas apropiadas para cruzar desagües naturales, desaguar la superficie de caminos y para cunetas; como tubos redondos y ovalados, alcantarillas de caja, arcos de bóveda, entre otros.

Figura 1. Tipos de alcantarillas

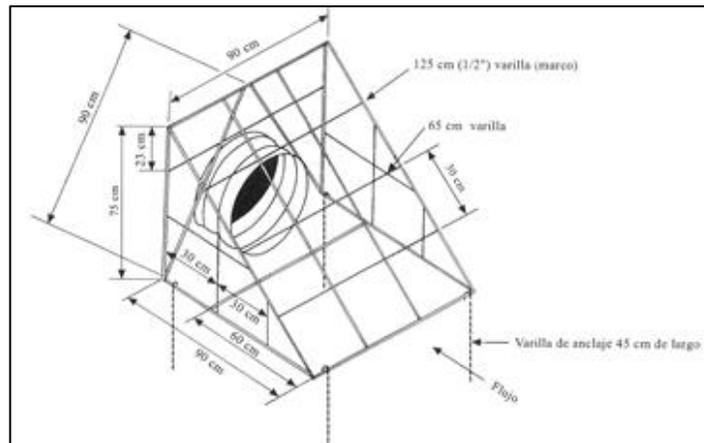
Tipo de alcantarilla	Sección transversal típica	Materiales comunes
Tubo sencillo o múltiple.		Metal corrugado, concreto simple o reforzado, arcilla vitrificada, hierro fundido.
Arco de tubo sencillo o múltiple.		Metal corrugado.
Alcantarilla de caja. Claro sencillo o claro múltiple.		Concreto reforzado.
Alcantarilla de puente, claro sencillo o claro múltiple.		Concreto reforzado.
Arco, Bóveda.		Concreto reforzado, metal corrugado, o arco de mampostería de piedra sobre cimentación de concreto reforzado.

Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 9-13.

Los factores más importantes a considerar en la instalación y el uso de las alcantarillas son:

- Usar el tipo de alcantarilla apropiado y de menor costo.
- Usar disipadores de energía a la salida de la tubería para evitar socavación.
- Mantener una pendiente mínima de 2 por ciento, para la tubería o la pendiente natural del terreno.
- Colocar la tubería directamente en medio del drenaje natural o usar varios tubos en los canales amplios.
- En tuberías grandes usar estructuras de entrada como muros, para evitar la erosión del relleno (ver figura 4).
- Colocar la tubería sobre el material compactado.
- Cuando se utiliza tubería de metal como arcos, se debe sellar las uniones con un empaque de hule, para evitar filtraciones que provoquen socavación o escurrimiento.
- Uso de rejillas contra basura en desagües y cauces que llevan mucho arrastre (ver figura 2).

Figura 2. **Diseño de rejilla contra basura para entrada de tuberías medianas y pequeñas**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 9-24.

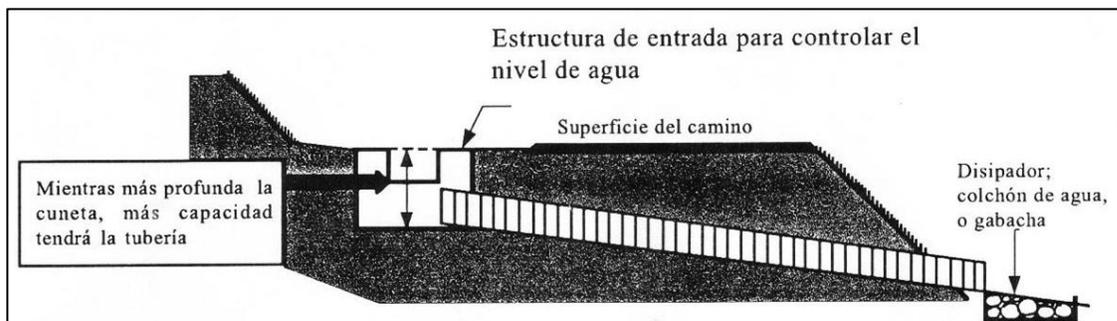
1.2. El control de la entrada y la salida de agua

Es muy importante el control de entrada y salida en alcantarillas, tuberías, cunetas y desagües, para evitar erosión y daños significativos a las estructuras. Esto se puede lograr de diversas maneras, algunos de estos métodos de control son los siguientes:

- Alinear la tubería para que la descarga sea estable y de forma natural, o en áreas rocosas o con vegetación.
- Utilizar estructuras de entrada, como cajas de concreto, para estabilizar la pendiente de las cunetas delante de la entrada a la tubería.
- Usar tuberías o cunetas para trasladar agua de áreas inestables y de mucha pendiente a áreas seguras.
- Utilizar disipadores de energía en las salidas de la tubería o cuneta (ver figura 3).

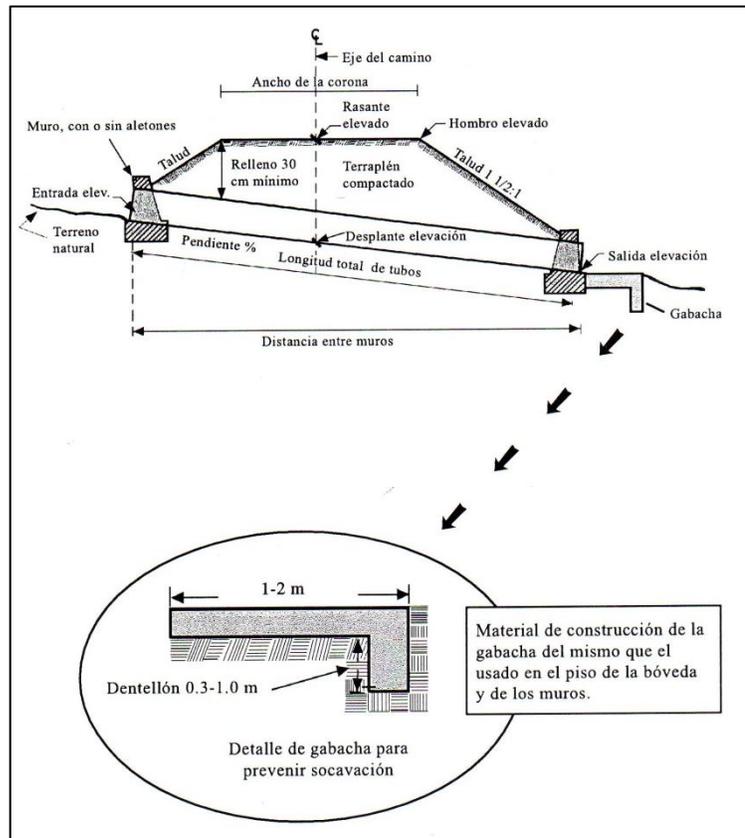
- Utilizar colchones de agua o gabachas para disipar energía (ver figura 4 y 3).
- No cambiar la pendiente de la cuneta, o cuando sea necesario aumentar la inclinación gradualmente. Reducir la pendiente genera un área plana, lo que provocará depósito de material en la cuneta, tapándolo o disminuyendo su capacidad.
- Limitar las pendientes de las cunetas de 2 a 5 por ciento. Cuando sea necesario hacer cunetas con pendiente mayor al 5 por ciento, estas se deben revestir para disminuir su velocidad.
- Utilizar estructuras de entradas lo suficientemente grandes para que no se tapen por el arrastre de sólidos, y que pueda ser fácil de limpiar.

Figura 3. **Control de entrada y salida**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 9-16.

Figura 4. **Alcantarilla con muros sencillos y gabacha**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 9-21.

1.3. El control de erosión en la superficie del camino

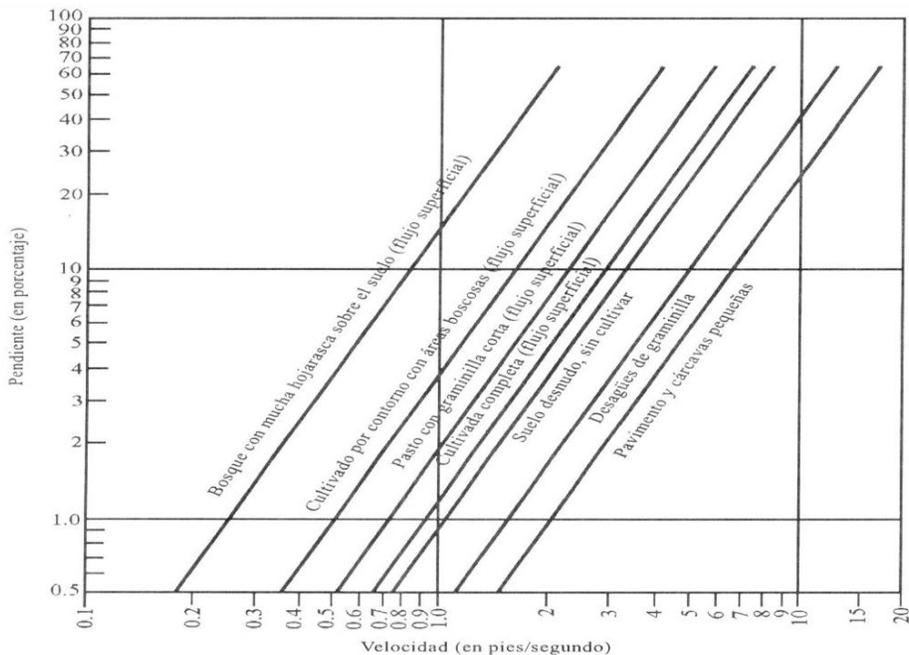
Se define la erosión como el movimiento del suelo debido al agua, el viento, u otros factores geológicos. Es uno de los impactos más comunes y serios en los proyectos de caminos. La erosión del suelo está en función del clima, la topografía, el suelo, la vegetación y la acción humana.

La mayoría de los suelos tales como arena, limos y arcillas sedimentarias, solo pueden tolerar una velocidad de agua de un metro por segundo sin que se comience a erosionar. En la figura 5, se presenta una serie de curvas que pueden utilizarse para estimar la velocidad del agua que puede esperarse en corrientes superficiales de caminos.

Para evitar la erosión del terreno se ve la necesidad de reducir al mínimo la velocidad y la distancia en que recorre el agua hacia afuera.

Para reducir las distancias que el agua recorre sobre la superficie del camino, se pueden utilizar peraltes hacia adentro y afuera, coronas y badenes o contra cunetas con espaciamiento frecuente.

Figura 5. **Velocidad de escorrentía**

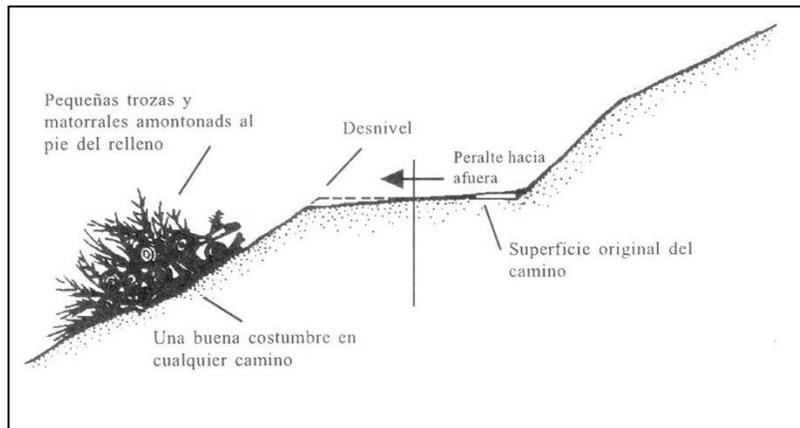


Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 9-43.

Para tener un control de la erosión de la superficie del suelo se pueden seguir las siguientes recomendaciones:

- Usar revestimiento que evite la erosión como grava, gramínea, roca pequeña y asfalto.
- Usar peraltes hacia afuera lo más frecuentemente. Dispersar el agua en suelos estables, revestidos o cubiertos de vegetación. De esta manera se evita el uso de cuneta y de una tubería transversal para evacuar (ver figura 6).
- Usar peraltes hacia dentro y cunetas para coleccionar el agua en áreas inestables y erosivas y en las áreas con suelos arcillosos.
- Usar roca u otro disipador de energía en la salida de los drenajes.
- Utilizar bordillos para controlar el agua y prevenir el daño por el agua existente en los rellenos erosivos.
- Cambiar la pendiente del camino frecuentemente, para distribuir el agua.
- Utilizar drenajes transversales frecuentemente, cada 15 a 100 metros, dependiendo el tipo de suelo y la pendiente del camino.

Figura 6. **Desnivel del peralte hacia afuera del camino**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 9-51.

1.4. **Drenajes superficiales**

Son los encargados de eliminar el agua que escurre encima del terreno o del camino, ya sea proveniente de la lluvia o por escurrimiento.

Los objetivos del drenaje superficial es el de evitar que el agua llegue al camino por medio de obras de protección, y eliminar la presencia de agua que esté en contacto directo con el camino en el menor tiempo posible.

1.4.1. **Bombeo superficial**

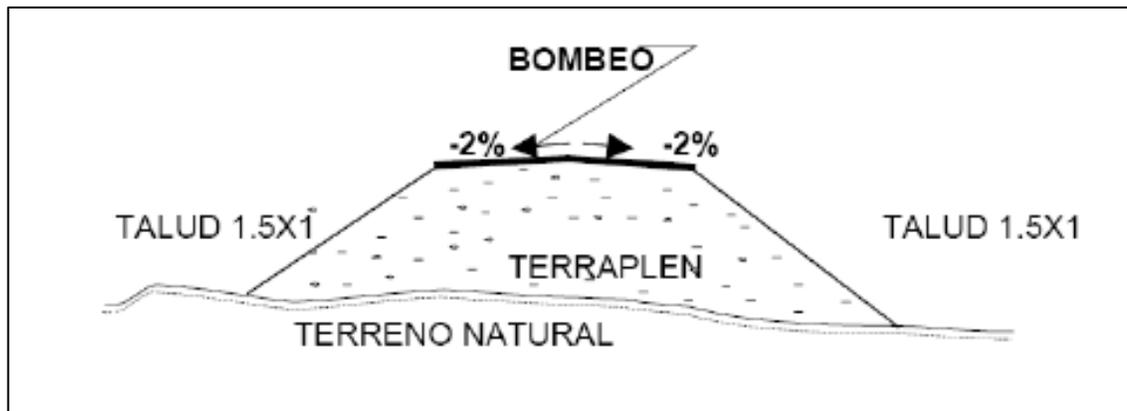
Se le denomina así a la forma que se le da al camino en su sección para permitir el flujo del agua fuera de él, evitando daños al camino. El bombeo del camino dependerá de la precipitación del área y el tipo del terreno que sea.

Tabla I. **Pendientes transversales**

Clase de superficie	Pendiente transversal recomendada	
	Mínima %	Máxima %
Tierra	2	8
Grava	1	6
Pavimentos asfálticos	½	3

Fuente: GUTIÉRREZ, René. Manual de caminos vecinales. p. 233.

Figura 7. **Bombeo superficial**



Fuente: PERALTA, José. Obras de drenaje para caminos y el impacto que estas causan al entorno. p. 30.

1.4.2. **Cunetas**

Son los elementos encargados de recolectar el agua que escurre de la superficie del camino, dado por el bombeo superficial. Las cunetas son zanjas localizadas en las orillas del camino.

La forma depende de la cantidad de agua que escurra y del ancho del camino, y sus dimensiones dependen del escurrimiento.

La forma que mantiene en mejores condiciones el camino es la forma de V, con el talud adyacente.

La pendiente de la cuneta se dará de acuerdo con la del camino o de acuerdo con el gasto por drenar y la sección de la misma, pero teniendo como limite la velocidad que puede resistir el terreno sin erosionarse.

Tabla II. **Velocidades admisibles en canales
(metros por segundo)**

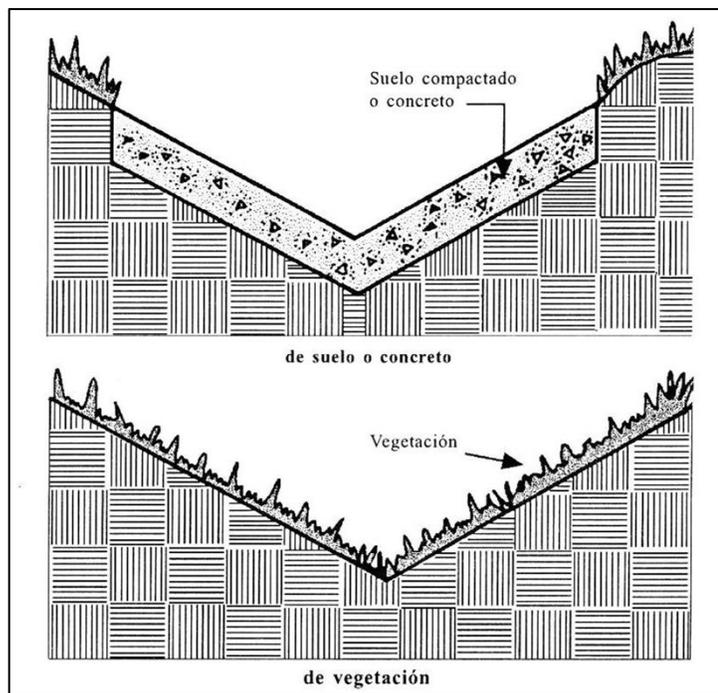
Velocidades admisibles en canales, después de varios años de servicio				Velocidades máximas recomendables para cunetas
Material	Agua clara	Agua con sedimentos	Agua con arena, grava fragmentos de roca o sedimentos	
Arena fina	0,45	0,75	0,45	0,50
Barro arenoso	0,55	0,75	0,60	0,60
Barro de sedimento	0,60	0,90	0,60	0,60
Sedimento aluvial	0,60	1,10	0,60	0,60
Barro firme ordinario	0,75	1,10	0,70	0,70
Arcilla firme		1,50	0,90	0,90
Grava firme	1,15	1,50	1,15	1,15

Continuación de la tabla II.

Grava gruesa				1,20
Barro y grava				1,50
Pizarras suaves				1,50
Tepetates				1,50

Fuente: GUTIÉRREZ, René. Manual de caminos vecinales. p. 236.

Figura 8. **Sección transversal de cuneta típica V con recubrimiento**



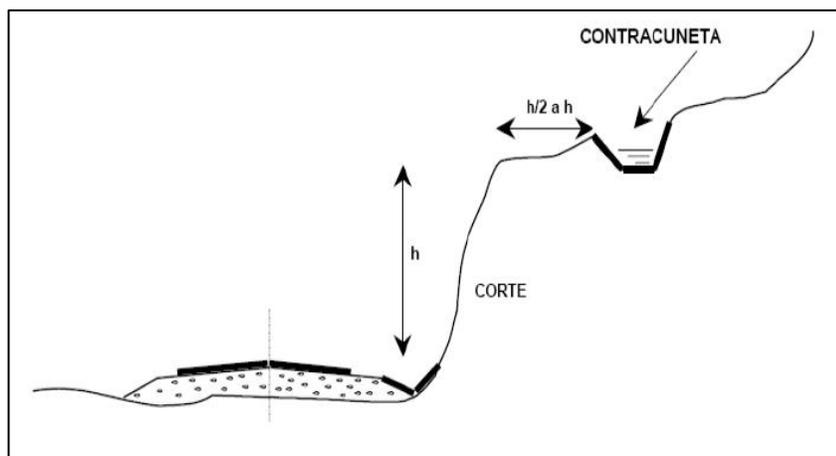
Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 9-35.

1.4.3. Contracunetas

Son canales con el fin de evitar que el agua llegue a las cunetas y evitar deslaves. Su localización está en función de su uso, por lo general se colocan en las laderas, del lado aguas arriba y a una distancia prudente del corte entra (ver figura 9).

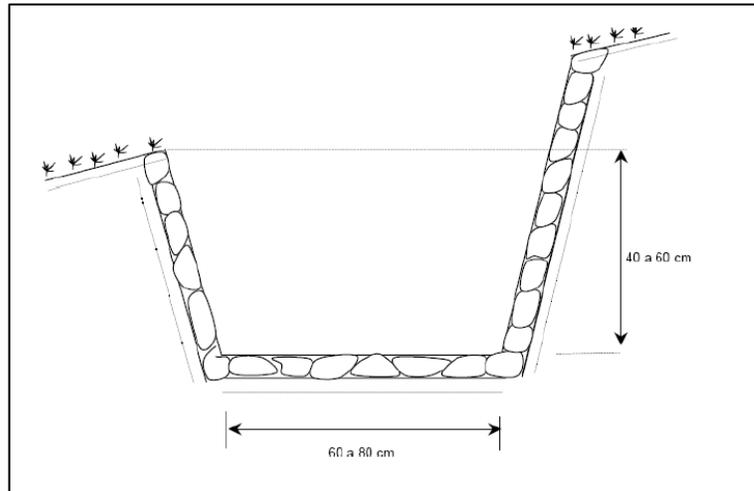
El desfogue de la contracuneta debe ser siempre libre y lo suficientemente alejado del terraplén para no ocasionar perjuicios en él.

Figura 9. **Ubicación de la contracuneta**



Fuente: PERALTA, José. Obras de drenaje para caminos y el impacto que estas causan al entorno. p. 28.

Figura 10. **Dimensiones de la contracuneta**



Fuente: PERALTA, José. Obras de drenaje para caminos y el impacto que estas causan al entorno. p. 28.

1.4.4. **Canales**

Son elementos de protección que sirven para evitar que el agua llegue al camino, se localizan a los lados de los cortés para recoger el agua que escurre sobre la superficie. Su principio es el mismo que el de las cunetas.

1.4.5. **Bordos**

En ciertos casos es necesario encauzar el agua para no construir un gran número de alcantarillas de escaso gasto o bien porque la lámina de agua es muy extensa sin cauces definidos, como en terrenos desérticos o bien en zonas bajas.

El encauzamiento se hace por medio de bordos de tierra, zampeados o no de acudo con el gasto, tirante y velocidad del agua.

Figura 11. **Bordo**



Fuente: bordo las colmenas, México.

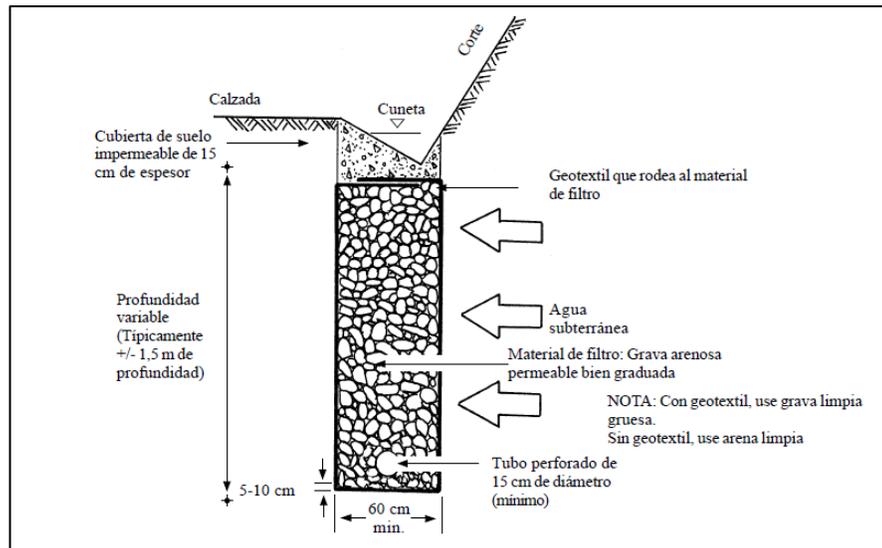
1.5. Subdrenajes

El drenaje subterráneo está constituido por los dispositivos necesarios para eliminar el agua subterránea, o bien para abatir su nivel hasta donde no sea perjudicial al camino.

El agua que se encuentra bajo la superficie de la tierra se presenta en corrientes o estancada. Cuando se encuentra estancada puede apreciarse a simple vista.

El nivel del agua subterránea, generalmente es paralelo a la superficie del terreno, por lo que en terrenos planos es muy difícil de averiguar a qué profundidad se encuentra el agua subterránea.

Figura 12. **Subdren típico para caminos para eliminar agua subterránea**

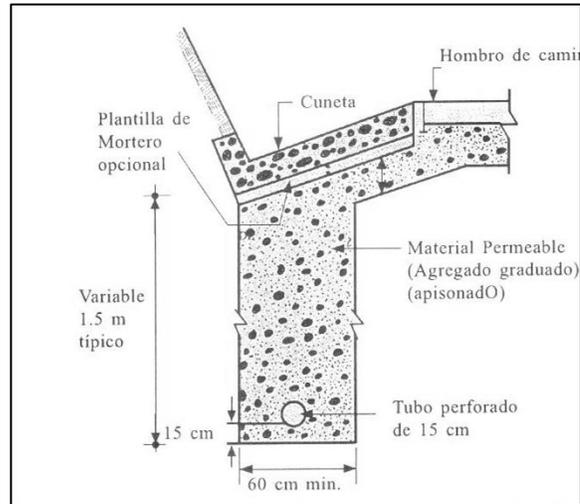


Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 9-71.

1.5.1. Tipos de subdrenajes

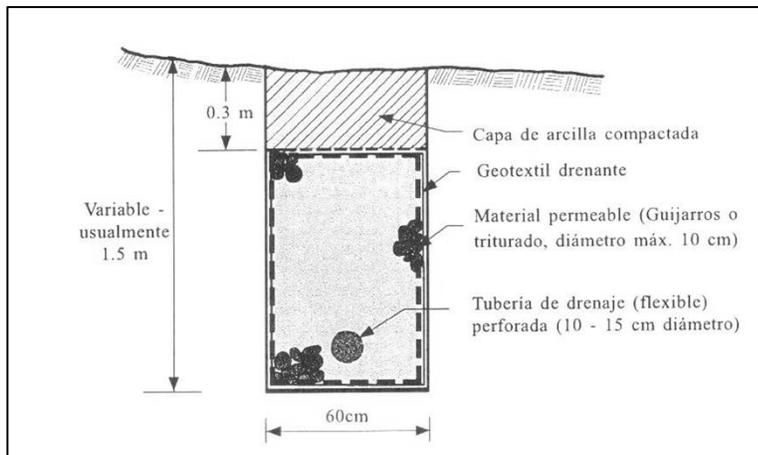
El primer tipo de dren subterráneo lo constituyen los tubos, con juntas abiertas y paredes perforadas o permeables, estos tubos se alojan dentro de un relleno permeable que sirve como conducto para que el agua llegue al tubo y pueda salir. En la figura 13 se puede ver el detalle de un subdren con tubo con material granular, y en la figura 14. el detalle del subdren mejorado con uso de geotextil.

Figura 13. **Detalle de subdren con material granular**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 9-71.

Figura 14. **Detalle de subdren con geotextil**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 9-71.

El segundo tipo consiste en abrir una zanja y poner el material permeable, suprimiendo el tubo. El ideal es que la zanja tuviera la profundidad necesaria para captar todo el espesor del manto de agua, pero como esto no es posible, bastará darle la profundidad a que quiera abatirse el nivel subterráneo para que este no sea perjudicial para el camino.

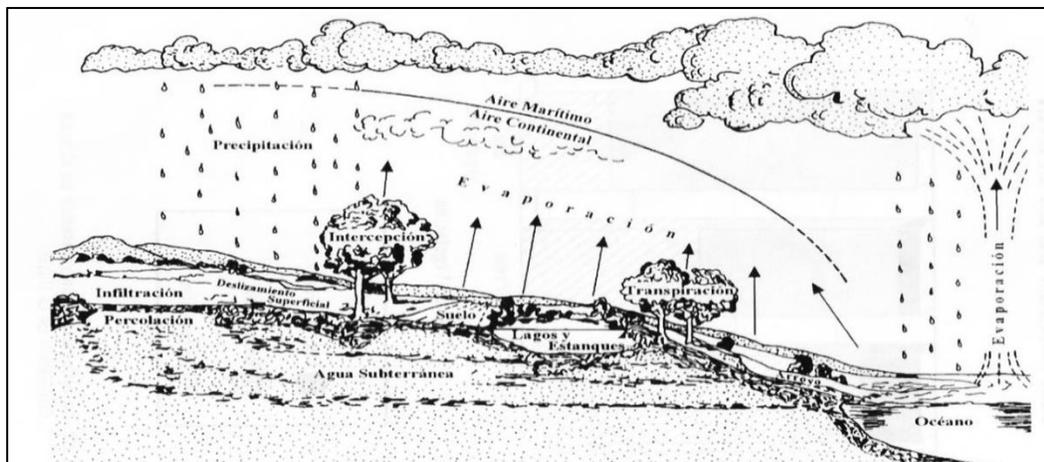
2. HIDROLOGÍA APLICADA PARA DRENAJES

2.1. El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es la circulación continua de humedad de la tierra; ilustra la distribución de agua en el ambiente, así como las fases del ciclo del agua incluyendo precipitación, infiltración, intercepción, transpiración y evaporación.

Cuando llueve, el agua cae a la superficie de la tierra y es interceptada por la vegetación y por el suelo. El agua interceptada por la vegetación es evaporada y transpirada hacia la atmósfera. El agua que entra en contacto con el suelo se infiltra a través de este, y sigue su curso hacia un cuerpo de agua, donde el ciclo continúa otra vez.

Figura 15. Ciclo hidrológico



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 4-7.

2.2. Método Racional

Es una herramienta muy práctica para medir la descarga de pequeños drenajes. Se ajusta muy bien para la determinación de la esorrentía de drenajes superficiales de caminos y descarga para alcantarillas de pequeñas cuencas. Se aplica muy bien para cuencas no mayores 120 Has.

Para este método se asume que la lluvia es uniforme sobre el área de drenaje para un tiempo considerado. La fórmula para el Método Racional es la siguiente:

$$Q = \frac{CiA}{360}$$

Donde:

- Q = cantidad de esorrentía, en metros cúbicos por segundo (m³/s).
- C = coeficiente de esorrentía. El coeficiente es seleccionado para reflejar las características de la cuenca como topografía, tipo de suelo, vegetación y uso de la tierra (Figura 16.)
- I = intensidad promedio de lluvia para la frecuencia seleccionada y para la duración igual al tiempo de concentración, en milímetros por hora.
- A = área de la cuenca en hectáreas.

Figura 16. Método Racional valores de C

Uso de La Tierra	Valor C
Agricultura	
Suelo desnudo	
Liso	0.30-0.60
Áspero	0.20-0.50
Suelo cultivado	
Suelo pesado sin cultivos	0.30-0.60
Suelo pesado con cultivos	0.20-0.50
Suelo arenoso sin cultivos	0.20-0.40
Suelo arenoso con cultivos	0.10-0.25
Pasto	
Suelo pesado	0.15-0.45
Suelo arenoso	0.05-0.25
Bosque	
Bosques en áreas de terreno plano y praderas	0.05-0.25
Bosques en áreas con mucha pendiente	0.15-0.40
Suelo desnudo en áreas inclinadas y rocosas	0.70-0.90
Caminos	
Pavimento de asfalto	0.80-0.90
Pavimento empedrado o adoquines	0.75-0.85
Pavimento de macadam	0.25-0.80
Caminos de acceso	
Con balasto	0.40-0.80
Sin balasto	0.20-0.80
Áreas Desarrolladas	
Zonas comerciales o en el centro de ciudades	0.70-0.95
Zonas residenciales	0.30-0.70
Parques y campos deportivos	0.10-0.30

Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 4-20.

2.3. Método de Talbot

El diseño hidráulico de una obra consiste en calcular el área necesaria para dar paso al volumen de agua que se concentra a su entrada, para ello se requiere un estudio previo que abarca precipitación pluvial, área, pendiente y formación geológica de la cuenca, además del uso que tendrá el terreno.

La ecuación de Talbot fue determinada mediante observaciones en zonas de alta precipitación pluvial (máxima 100 mm/hora), es muy útil cuando no se conocen datos de la precipitación. Por lo que en casos de precipitaciones iguales o menores a los 100 mm/hora, es muy confiable.

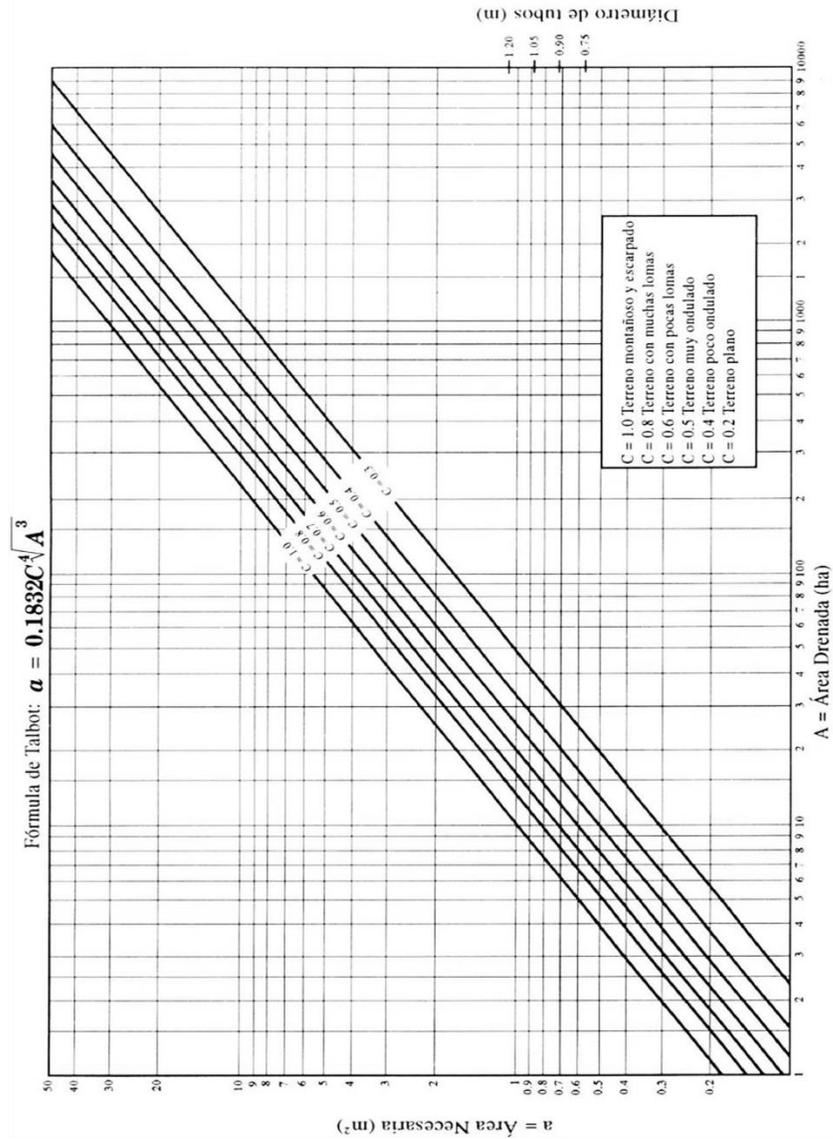
Para hacer una estimación preliminar del tamaño de alcantarillas destinadas a drenajes menores, generalmente se usa la ecuación de Talbot, que se expresa de la siguiente manera:

$$a = 0.183CA^{3/4}$$

Donde:

- a = área hidráulica necesaria en la obra (m²).
- A = área de la cuenca (Ha).
- C = coeficiente que varía de acuerdo a las características del terreno.
 - C = 1,0 terreno montañoso y escarpado
 - C = 0,8 terreno con muchas lomas
 - C = 0,6 terreno con pocas lomas
 - C = 0,5 terreno muy ondulado
 - C = 0,4 terreno poco ondulado
 - C = 0,2 terreno plano

Figura 17. **Nomograma para resolver la ecuación de Talbot (sistema métrico)**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 5-7.

2.4. Método de Jarvis–Myers

La fórmula de Jarvis-Myers se basa en estudios efectuados en diversas zonas de los Estados Unidos. Esta fórmula da el gasto para la descarga máxima. Es aplicable a drenajes menores, la fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$Q = 17.64 P \sqrt{M}$$

Donde:

- Q = caudal en metros cúbicos por segundo (m³/s)
- M = área de la cuenca de escurrimiento en hectáreas (ha)
- P = coeficiente que varía de acuerdo a las características del terreno.
- P = 1,0 para terrenos montañosos con suelos de roca y pendientes muy pronunciadas.
- P = 0,65 para terrenos quebrados con pendientes moderadas.
- P = 0,50 para cuencas irregulares muy largas.
- P = 0,33 para terrenos agrícolas ondulados, en los que el largo de la cuenca es de 3 a 4 veces el ancho.
- P = 0,20 para terrenos llanos, sensiblemente horizontales, no afectados por inundaciones fuertes.

3. DISEÑO HIDRÁULICO, ZAMPEADOS, FILTROS Y GEOTEXTILES

3.1. Ecuación de Manning para calcular velocidad de descarga en alcantarillas, drenajes naturales y tuberías

La fórmula de Manning, llamada así por el ingeniero irlandés, Robert Manning, es usualmente utilizada para el diseño de canales. Esta determina la velocidad principal del flujo, en función de la forma del canal, rugosidad y pendiente.

La fórmula de Manning es una de las ecuaciones más utilizadas en el análisis hidráulico y diseño de estructuras de drenajes. Se puede aplicar para cauces naturales, arroyos, ríos, canales, zanjas, badenes o rampas. En otras formas, se aplica la ecuación a tuberías circulares que no trabajan a presión.

Para calcular la velocidad de cualquier canal abierto y drenaje natural se utiliza la ecuación siguiente:

En el sistema internacional:

$$V = \frac{1}{n} (R^{2/3}) (S^{1/2})$$

Donde:

- V = velocidad promedio de la descarga (m/s).
n = coeficiente de rugosidad (Según figura 10, 11 y 12).
R = radio hidráulico (m). $R = \frac{A}{P}$
A = área de sección transversal del canal (m²)
P = perímetro mojado (m)
S = pendiente del canal (m/m).

En el sistema inglés:

$$V = \frac{1,49}{n} (R^{2/3})(S^{1/2})$$

Donde:

- V = velocidad promedio de la descarga (pies/s)
n = coeficiente de rugosidad (según figura 10, 11 y 12)
R = radio hidráulico (pies). $R = \frac{A}{P}$
A = área de sección transversal del canal (pies²)
P = perímetro mojado (pies)
S = pendiente del canal (pies/pies)

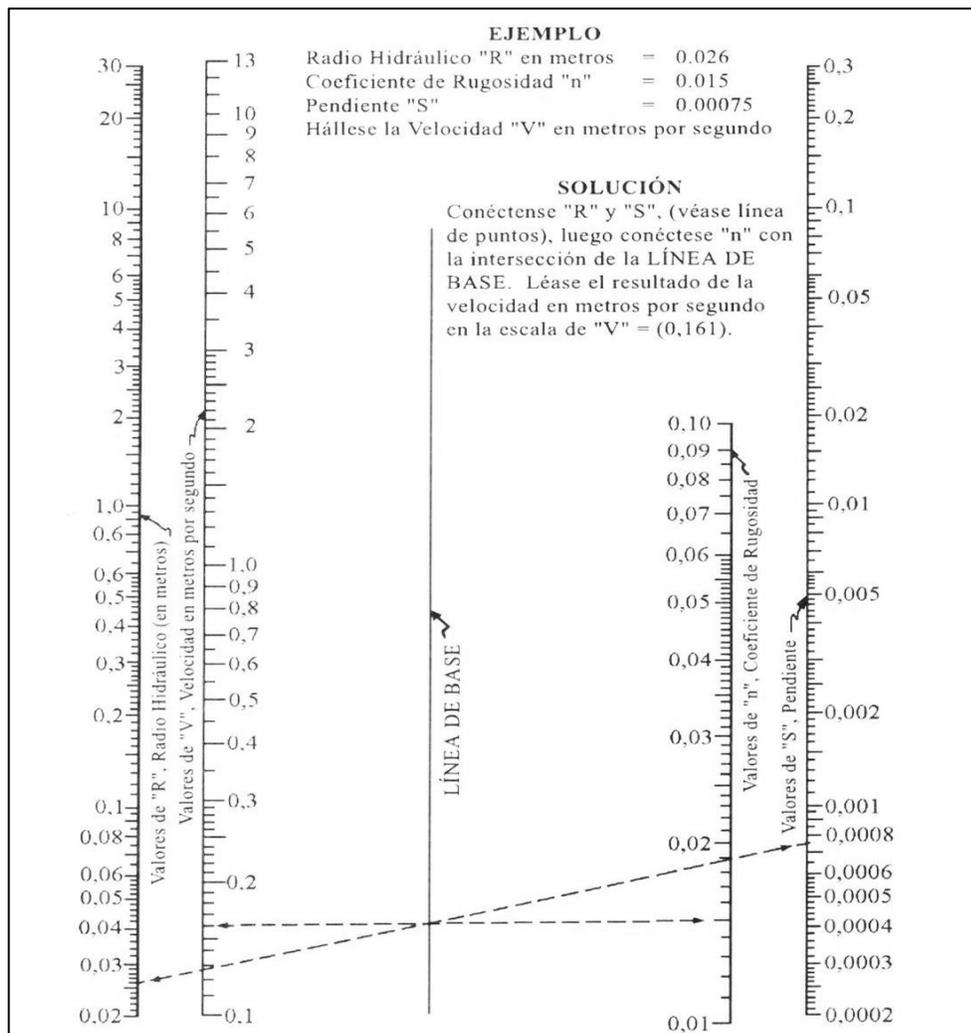
Para el cálculo de la velocidad de descarga para tuberías redondas sin presión y llenas:

$$V = \frac{0,03428}{n} (D^{2/3})(S^{1/2})$$

Donde:

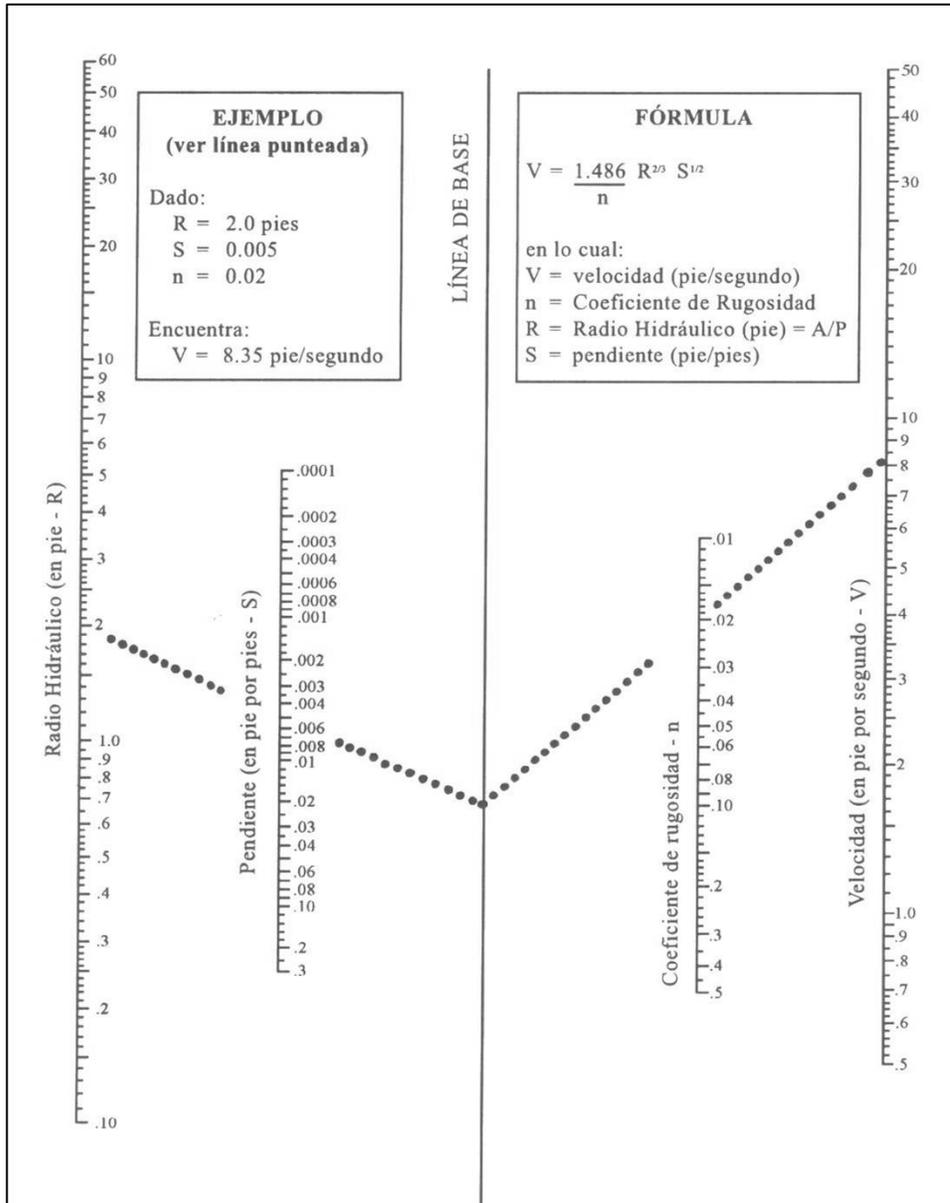
- V = velocidad promedio de la descarga (m/s)
- n = coeficiente de rugosidad (según figura 10, 11 y 12)
- D = diámetro de las sección redonda (pulgadas)
- S = pendiente del canal (m/m)

Figura 18. **Nomograma de Manning (sistema métrico)**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 5-7.

Figura 19. **Nomograma de Manning en (sistema inglés)**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 5-8.

Figura 20. **Coeficiente de rugosidad n para ríos y otros cauces**

Naturaleza del cauce	Bueno	Regular	Malo
1. Limpio, con márgenes rectas, tirante grande, sin bajas ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Limpio, con márgenes rectas, tirante grande, sin bajos ni pozos profundos con algo de yerbas y piedras	0.030	0.035	0.040
3. Sinuoso, con algunos pozos y bancos de arena, limpio	0.330	0.040	0.045
4. Sinuoso, con algunos pozos y bancos de arena, limpio, tirante pequeño y secciones y pendientes menos efectivas	0.040	0.050	0.055
5. Sinuoso, con algunos pozos y bancos de arena, con algo de yerbas y piedras	0.035	0.045	0.050
6. Sinuoso, con algunos pozos y bancos de arena, tirante pequeño, secciones y pendientes menos efectivas, cauce pedregoso	0.045	0.055	0.060
7. Tramos de corriente muy lenta, con mucha yerba o con pozos muy profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos demasiado llenos de yerbas, y muy poca profundidad	0.075	0.125	0.150
9. Quebradas Montañosas, sin vegetación en el canal, taludes con mucha pendiente, vegetación a lado del cauce sumergido durante tiempos de flujo alto			
• el fondo de la quebrada consiste en grava pequeña, mediana y pocos cantos rodados	0.030	0.040	0.050
• el fondo de la quebrada consiste en grava pequeña y cantos rodados grandes	0.040	0.050	0.070
• el fondo de la quebrada consiste en cantos rodados, desperdicios orgánicos, con flujo sinuoso	0.050	0.070	0.100
10. Llanura de Inundaciones			
• pasto, sin arbusto			
-grama corta	0.025	0.030	0.035
-grama alta	0.030	0.035	0.050
• área cultivada			
-sin siembra	0.020	0.030	0.040
-cultivos sembrado en líneas (como maíz y frijoles)	0.025	0.035	0.045
-cultivos sembrados en pareja (como trigo y avena)	0.030	0.040	0.050

¹ El coeficiente "n" es función del alineamiento, rugosidad, vegetación o roca del cauce.

Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 5-9.

Figura 21. **Coefficiente de rugosidad n para canales y tuberías**

Naturaleza del cauce	Buena	Regular	Mala
1. Canales limpios, con márgenes rectas, tirante grande sin bajos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Canales de placas con remaches embutidos, juntas perfectas y aguas limpias. Tubos de cemento y de fundición, en perfectas condiciones	—	0.011	—
3. Canales de concreto muy liso de dimensiones limitadas, de madera lijada, en ambos casos, tramos rectilíneos y curvas de gran radio y agua limpia	—	0.012	—
4. Canales con aplanado de cemento liso, pero con madera lisa y con curvas de radio moderado	—	0.013	—
5. Canales con aplanado de cemento no completamente liso; de madera como en el no. 2, pero con trazado sinuoso y curvas de pequeño radio y juntas imperfectas	—	0.014	—
6. Canales con paredes de cemento no completamente lisas con curvas estrechas y aguas con detritos; construidos de madera no lijada de chapas remachadas	—	0.015	—
7. Canales con aplanado de cemento no muy alisado y pequeños depósitos en el fondo; revestidos con madera, no lijada y de mampostería construida con esmero; de tierra, sin vegetación	—	0.016	—
8. Canales con aplanado de cemento incompleto, juntas irregulares, trazado sinuoso y depósitos en el fondo; de mampostería revistiendo taludes no bien perfilados	—	0.017	—
9. Canales con aplanado de cemento rugoso, depósitos en el fondo, musgo en las paredes y trazado tortuoso	—	0.018	—
10. Canales de mampostería en malas condiciones de conservación y fondo con barro, o de mampostería de pedruscos de tierra, bien construidos, sin vegetación y con curvas de gran radio	—	0.020	—

¹ El coeficiente "n" tiene un valor de 0.015 para tubos de concreto prefabricado y de 0.013 para tubos fundidos en el lugar, considerando en ambos casos, tubos de longitud normal. Para tubos de asbestos cemento hasta 6 metros de largo y de 24 pulgadas de diámetro, se recomienda emplear n - 0.010.

Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 5-10.

Figura 22. **Coefficiente de rugosidad n para canales y tuberías**

Naturaleza del cauce	Buena	Regular	Mala
11. Canales con placas remachadas y juntas irregulares, de tierra, bien construidas con pequeños depósitos en el fondo y vegetación rasante en los taludes	—	0.022	—
12. Canales de tierra; con vegetación rasante en el fondo y en los taludes	—	0.025	—
13. Canales de tierra, con vegetación normal, fondo con escombros o irregular a causa de las erosiones; revestidos de pedruscos y vegetación	—	0.030	—
14. Canales revestidos con zampeado			
• pequeña, promedio 8 cm	—	0.030	—
• pequeña, promedio 20cm	—	0.035	—
• grande, promedio 45 cm	—	0.040	—
• grande, promedio 90 cm	—	0.045	—
15. Excavaciones naturales, cubiertas de escombros y vegetación	—	0.035	—
16. Excavaciones naturales, trazado sinuoso	—	0.040	—
17. Tubería de concreto prefabricado	0.011	0.015	0.017
18. Caja de concreto	0.014	0.016	0.018
19. Tubería metal corrugado			
• ondulaciones pequeñas 68mm x 13 mm, sin revestir	—	0.024	—
• ondulaciones pequeñas 68mm x 13 mm, 25% revestido	—	0.021	—
• ondulaciones grandes 152mm x 51 mm, sin revestir	—	0.033	—
• ondulaciones grandes 152mm x 51 mm, 25% revestido	—	0.026	—
20. Concreto, construido en sitio, suave	—	0.013	—
21. Cemento asbesto, hasta 60 cm diámetro	—	0.010	—

Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 5-11.

Tabla III. **Coeficiente de rugosidad n para diversos materiales**

Material	Coeficiente de Manning n
Asbesto cemento	0,011
Latón	0,011
Tabique	0,015
Fierro fundido (nuevo)	0,012
Concreto (cimbra metálica)	0,011
Concreto (cimbra madera)	0,015
Concreto simple	0,013
Cobre	0,011
Acero corrugado	0,022
Acero galvanizado	0,016
Acero (esmaltado)	0,010
Acero (nuevo, sin recubrimiento)	0,011
Acero (remachado)	0,009
Plomo	0,011
platico (PVC)	0,009
Madera (duelas)	0,012
Vidrio (laboratorio)	0,011

Fuente: Computer Applications in Hydraulic Engineering. Haestad Methods.

3.2. **Revestimiento de zampeado**

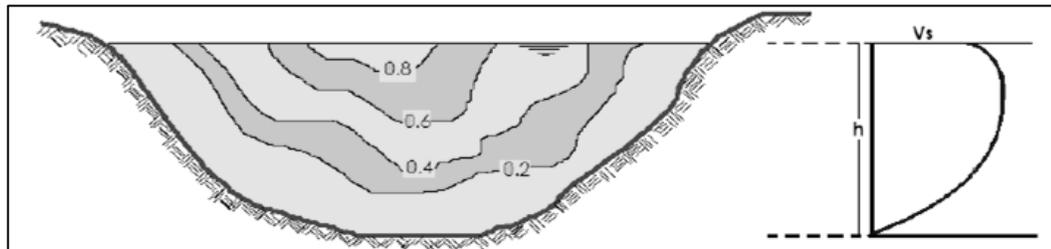
El revestimiento de zampeado se utiliza para prevención de socavación y protección de rellenos, canales, estribos y otras áreas que se encuentran descubiertas, que puedan ser erosionadas por acción del agua. Generalmente el tamaño de la piedra que se utilizará es suficiente para que no se mueva por la fuerza del agua. Debajo de la roca se coloca una capa de filtro para evitar el movimiento del suelo que se encuentra debajo de la roca.

La resistencia que posee la roca al movimiento de la corriente del agua está en función del tamaño del material, que está influido por la forma, el ángulo, graduación y densidad de la roca.

En la figura 24 se muestra el diámetro necesario que debe tener para mantenerse estable ante el flujo del agua, esto también en función de la pendiente del terreno.

La velocidad media del agua se puede determinar mediante la fórmula de Manning. Las medidas reales de corrientes altas pueden ser utilizadas si están disponibles. Debe de considerarse que la velocidad superficial es de 1,1 a 1,2 veces la velocidad media del caudal, mientras que la velocidad inferior es de 0,3 a 0,7 veces la velocidad media.

Figura 23. **Distribución de velocidad en la sección de un cauce**



Fuente: ANDIA, Agustín; MORALES, Weimar. Hidrología. p. 140.

Tomar en cuenta los siguientes factores para el zampeado:

- Utilizar aproximadamente el 50 por ciento de la roca de un tamaño mayor al necesario o hasta dos veces el peso según el gráfico dado.

- Colocar el enrocado encima de un filtro o cobertura para prevenir la mitigación del suelo.
- Utilizar material de diversos tamaños para el enrocado, graduando del tamaño más grande hasta el más pequeño, para evitar la mayor cantidad de espacios vacíos.
- La profundidad de la capa del colchón debe ser 1,5 veces el grueso de las piedras más grandes del zampeado.
- Si hay rocas con las características necesarias, se debe considerar el uso de gaviones, piedra cementada o uso de mampostería. El zampeado debe ser duro y resistente de manera que no se deshaga al golpearlo con un martillo
- Es muy beneficioso mezclar las rocas con algún tipo de vegetación, de manera que las raíces ayuden con el amarre.
- Cuando se coloque el zampeado sobre curvas se debe de aumentar de un 25 a 100 por ciento del tamaño de la roca según especifica el gráfico, ya que la velocidad en la curva aumenta respectivamente.
- Colocar un borde libre por encima del nivel máximo esperado.
- Para la protección de salida de alcantarillas se debe de considerar la tabla siguiente:

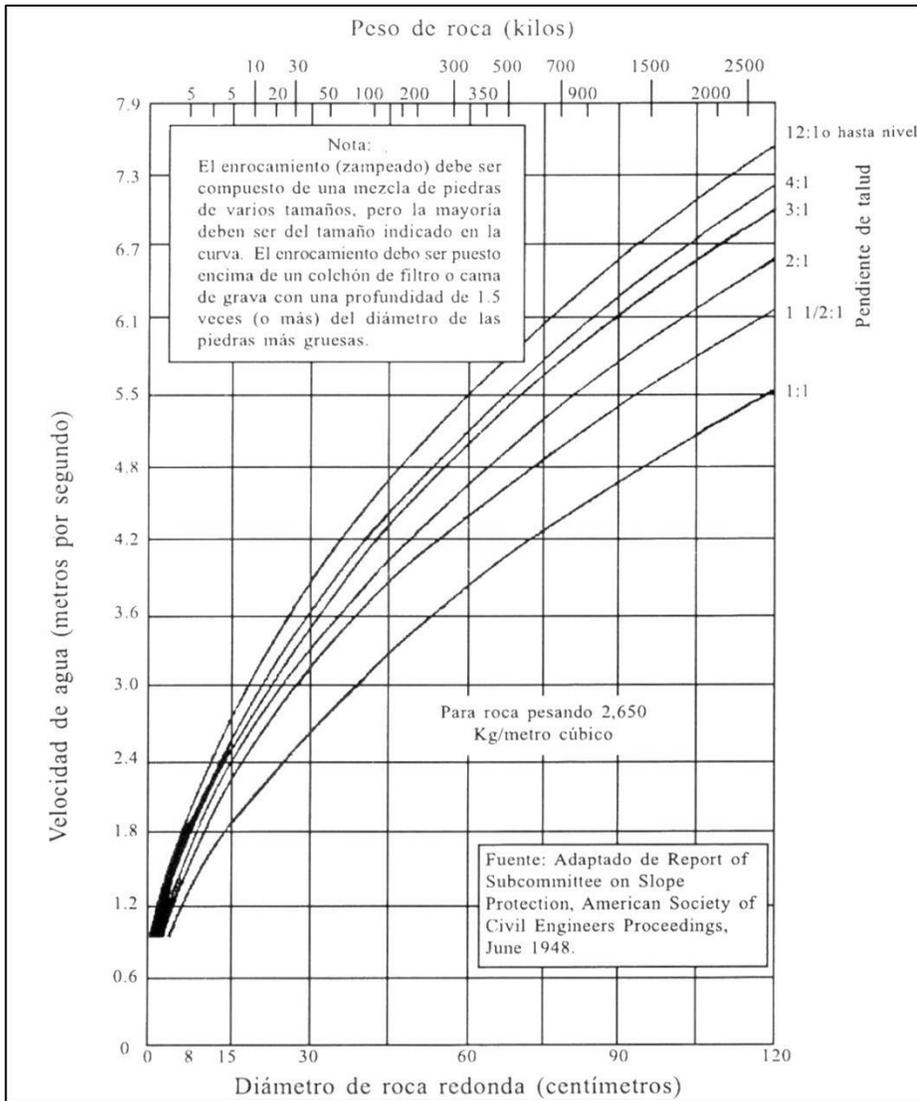
Tabla IV. **Tamaño de roca según la alcantarilla**

Tamaño de alcantarilla (pulgadas)	Descarga (pies ³ /segundo)	Tamaño de la roca (centímetro)
12	3 a 10	11 a 23
24	15 a 50	19 a 45
36	40 a 100	23 a 54
48	80 a 200	30 a 60

Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 5-25.

- El coeficiente de rugosidad de Manning para el zampeado tiene rangos de 0.035 a 0.050.

Figura 24. Tamaño de roca para resistir desplazamientos



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 5-27.

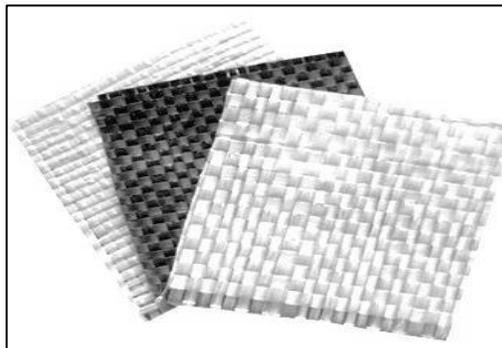
3.3. Uso y funcionamiento de geotextiles

El uso de geosintéticos no es un concepto nuevo en ingeniería, ya que desde mucho tiempo atrás se ha buscado la forma de cómo mejorar la capacidad de los suelos con diversos métodos, como uso de troncos, bambú, piedras, paja, entre otros.

El uso de textiles, para mejorar la capacidad de carga de los suelos en la construcción de carreteras, empezó en Estados Unidos en 1926, y fueron muy utilizados durante los años 60 en aplicación para control de erosión.

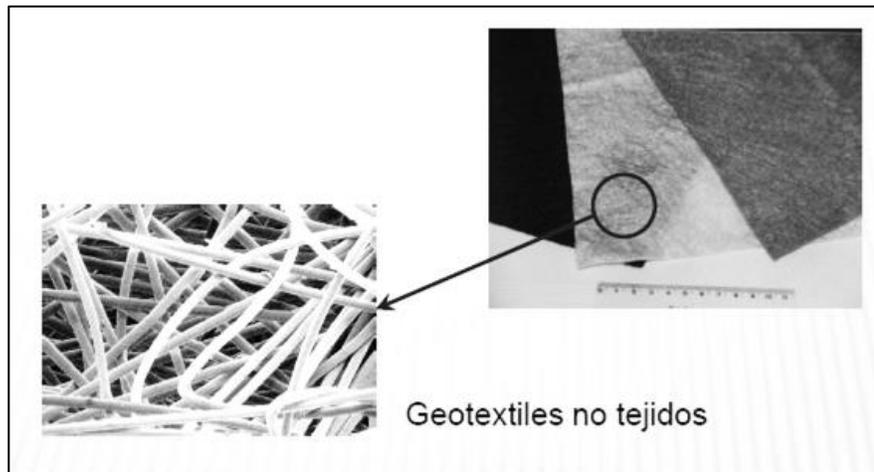
En los proyectos de ingeniería, los geotextiles más utilizados son hechos de materiales de nylon, poliéster y polipropileno. Las dos formas son tejido y no tejidos (ver figura 25 y 26). Los geotextiles tejidos son cintas planas de múltiples o mono fibrilado. Los geotextiles no tejidos son filamentos continuos o de filamentos cortados con unión de material con calor o agujado.

Figura 25. **Geotextiles tejidos**



Fuente: PALMEIRA, Ennio. Empleo de geosintéticos en filtro y drenaje. p. 4.

Figura 26. **Geotextiles no tejidos**



Fuente: PALMEIRA, Ennio. Empleo de geosintéticos en filtro y drenaje. p. 4.

Esta variedad de materiales pueden usarse en diversos proyectos de ingeniería tales como carreteras, vías ferroviarias, diques, muros de contención, túneles, rellenos sanitarios, áreas de recreación, etc., realizando tareas como refuerzo de suelo, repavimentación, control de erosión y estabilización de la subrasante.

Los geotextiles más utilizados para el drenaje y filtración en proyectos de caminos son las telas no tejidas y perforadas. Los tejidos con ranuras (slit-film woven) son más apropiados para aplicaciones de separación y refuerzo de subrasante por su bajo costo y aplica resistencia a la tracción.

La función principal de los geotextiles se clasifica de la siguiente manera:

- Filtrar: retención de partícula de grano fino al fluir agua de la capa de grano fina a la capa de grano gruesa. La principal tarea del geotextil es garantizar la estabilidad mecánica e hidráulica del filtro durante la vida útil de la obra.
- Separar: separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades físicas (granulometría, consistencia, densidad). El geotextil debe evitar en forma permanente la mezcla de material.
- Drenar: conducción de líquidos y gases; evacuación del agua y aire del suelo. Debe garantizar el transporte del agua y del gas en el plano del geotextil.
- Reforzar: el mejoramiento de la calidad del suelo para aumentar la capacidad portante y la estabilidad de la construcción. El geotextil se encarga de aumentar la resistencia al corte del suelo mediante el mecanismo inducido al sistema Geotextil-Suelo.
- Proteger: protección mecánica de membranas sintéticas contra perforaciones y desgaste. La tarea del geotextil es la protección permanente de sistemas de impermeabilización de geomembranas contra daños mecánicos en la etapa de construcción y posteriormente.
- Impermeabilizar: es crear una capa impermeable mediante la impregnación del geotextil. La tarea del material es generar un soporte adecuado para la impregnación con asfalto u otro material impermeable sintético modificado.

3.3.1. Evaluación del geotextil

Para el diseño de geotextiles para drenajes se deben de seguir los siguientes criterios:

- Criterio de retención

Este criterio asegura que las aberturas sean lo suficientemente pequeñas para evitar el traslado del suelo hacia donde se dirige el flujo. Para esto el geotextil debe cumplir con la siguiente condición:

$$TAA < D_{85} * B$$

Donde:

TAA = tamaño de abertura aparente, dato suministrado por el fabricante (mm)

D_{85} = tamaño de la partículas que corresponde al 85 por ciento del suelo (mm)

B = Coeficiente que varía entre 1 y 3. Depende del tipo de suelo, de las condiciones del flujo y del tipo del geotextil.

Tabla V. **Criterio de retención**

Para arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (con menos del 50% que pasa tamiz #200), Bes función del coeficiente de uniformidad C_u , donde $C_u = D_{60}/D_{10}$,	$C_u \leq 2$ o' $C_u \geq 8 \rightarrow B = 1$ $2 < C_u \leq 4 \rightarrow B = 0.5 * C_u$ $4 < C_u \leq 8 \rightarrow B = 8 / C_u$
Para suelos arenosos mal graduados.	$B = 1.5 \sim 2$
Para suelos finos (más del 50% pasa tamiz #200), B es función del tipo de geotextil.	Para Tejidos: $B = 1$ Para No Tejidos $B = 1.8$
Para suelos cohesivos con índice de plasticidad mayor a 7.	$TAA < 0.30 \text{ mm}$

Fuente: Geosistemas Pavco. Manual de diseño de geosintéticos. p. 197.

- **Criterio de permeabilidad**

Permitir un adecuado flujo del agua a través del geotextil. El coeficiente de permeabilidad es la propiedad hidráulica por medio de la cual el geotextil permite un adecuado paso de flujo perpendicular al plano del mismo, para revisar la permeabilidad del geotextil se debe tener en cuenta lo siguiente:

Tabla VI. **Criterios de permeabilidad**

Para condiciones de flujo estable o laminar no dispersivos, con porcentajes de finos mayores al 50%	$K_g > K_s$
Para condiciones de flujo crítico, altos gradientes hidráulicos y buscando un correcto desempeño a largo plazo reduciendo riesgo.	$K_g > 10 * K_s$

Fuente: Geosistemas Pavco. Manual de diseño de geosintéticos. p. 198.

Donde:

K_g = permeabilidad del geotextil

K_s = permeabilidad del suelo (ver figura 27)

Figura 27. **Permeabilidad de los suelos**

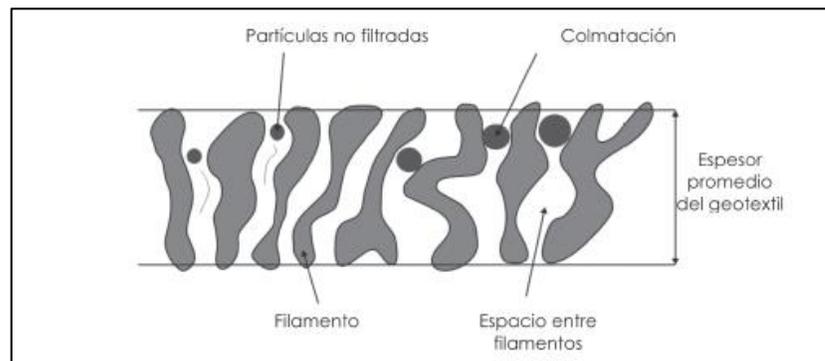


Fuente: Permeabilidad de los suelo. FAO.

- Criterio de colmatación

La colmatación resulta cuando las partículas finas de suelo penetran dentro del geotextil, bloqueando sus canales de poros, produciendo una reducción significativa de la permeabilidad. Por lo tanto, el geotextil debe tener un porcentaje mínimo de espacios vacíos.

Figura 28. **Colmatación del filtro por penetración de partículas**



Fuente: Geosistemas Pavco. Manual de diseño de geosintéticos. p. 198.

Para esto se considera la porosidad del geotextil, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$n = 1 - m/(\rho * t)$$

Donde:

- n = porosidad (adimensional)
- m = masa por unidad de área (g/m^2)
- ρ = densidad (g/m^3)
- t = espesor (m)

Los geotextiles usados como medios filtrantes deben de tener una porosidad mayor del 50 por ciento, lo que garantiza que en caso de colmatación parcial del material, siga existiendo una alta porosidad, suficiente para permitir el paso del flujo en el sistema.

- Criterio de durabilidad

Este criterio se basa en la resistencia que debe de tener un geotextil en el tiempo, bien sea por ataque químico, biológico o por intemperismo. Los geotextiles por ser un material fabricado de polipropileno no son biodegradables y son altamente resistentes al ataque químico como en aplicaciones de manejo de lixiviados

En caso donde el geotextil vaya a quedar expuesto a la intemperie por un tiempo prolongado, se recomienda utilizar geotextiles fabricados por compuestos que le proporcionen alta resistencia a la degradación UV.

3.3.2. Cálculo hidráulico para la selección del geotextil

En el caso en donde los geotextiles sean usados como recubrimiento de tubos, que a su vez se encuentran en un medio drenante, se debe de revisar la cantidad de flujo volumétrico que puede pasar por unidad de área, en el plano normal al geotextil frente a la cantidad de flujo volumétrico a evacuar por metro lineal. Para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

$$\psi = k/t$$

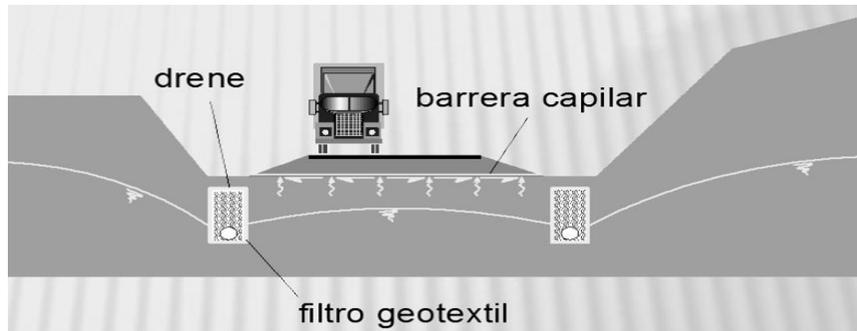
Donde:

Ψ = permitividad (s^{-1})

k = permeabilidad del geocompuesto (m/s)

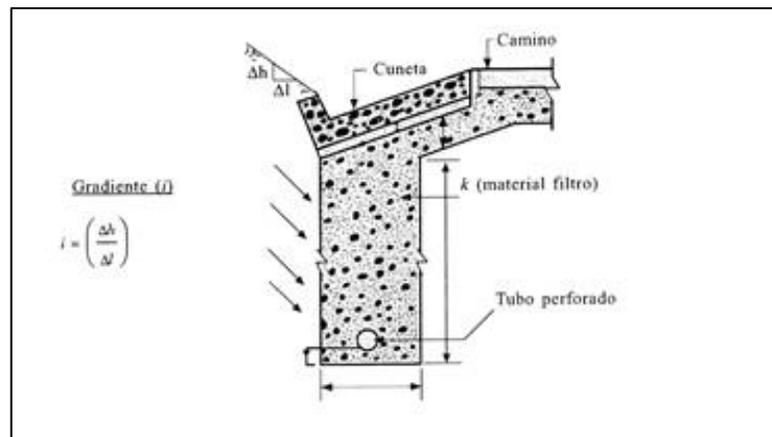
t = espesor de una cara del geocompuesto (m)

Figura 29. **Localización del subdren**



Fuente: PALMEIRA, Ennio. Empleo de geosintéticos en filtro y drenaje. p. 12.

Figura 30. **Sección del subdren para cálculo**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 9-73.

- Teniendo el caudal que se requiere pasar por el filtro, el cual es el caudal calculado por metro lineal de subdren, se calcula la permitividad requerida del geotextil, haciendo uso de la ecuación de Darcy:

$$Q = k * i * A$$

$$i = \frac{\Delta h}{t}$$

$$Q = k * \frac{\Delta h}{t} * A$$

$$k/t = Q/(\Delta h * H * L)$$

$$\psi_{req} = Q/(\Delta h * H * L)$$

$$\psi_{req} = q_w/(\Delta h * H)$$

Donde:

ψ_{req} = permitividad requerida del geotextil, k/t (s⁻¹).

q_w = caudal por unidad de longitud (teniendo el caudal y la longitud del tramo en consideración, Q/L) (m²/s).

Q = caudal total a evacuar calculado (m³/s).

Δh = cabeza hidráulica, que es igual a la altura del subdrenaje (m).

A = área conformada por la cara perpendicular a la entrada del caudal (m²).

H = altura del subdren.

L = longitud del tramo de drenaje en consideración (m)

- Se calcula la permitividad admisible, la cual se obtiene de la permitividad entregada por el fabricante, dividida por unos factores de reducción:

$$\psi_{adm} = \psi_{ult} / (FR_{SCB} * FR_{CR} * FR_{IN} * FR_{CC} * FR_{BC})$$

Donde:

- ψ_{adm} = permisividad admisible (s^{-1})
- ψ_{ult} = permitividad última, entregada por el fabricante (s^{-1})
- FR_{SCB} = factor de reducción por colmatación
- FR_{CR} = factor de reducción por fluencia
- FR_{IN} = factor de reducción por intrusión
- FR_{CC} = factor de reducción por colmatación química
- FR_{BC} = factor de reducción por colmatación biológica

Figura 31. **Factores de reducción para permitividad admisible de geotextil**

Área	Colmatación	Reducción de vacíos por Creep	Intrusión en los vacíos	Colmatación Química	Colmatación Biológica
	FR_{SCB}	FR_{CR}	FR_{IN}	FR_{CC}	FR_{BC}
Filtros en el espaldón de muros de contención	2.0 a 4.0	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	1.0 a 1.3
Sistema de subdrenaje	2.0 a 10.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 4.0
Filtros de control de erosión	2.0 a 10.0	1.0 a 1.5	1.0 a 1.2	1.0 a 1.2	2.0 a 4.0
Filtros en rellenos sanitarios	2.0 a 10.0	1.5 a 2.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	2.0 a 5.0
Drenaje por gravedad	2.0 a 4.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.2 a 1.5	1.2 a 1.5
Drenaje por presión	2.0 a 3.0	2.0 a 3.0	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3	1.1 a 1.3

Fuente: Geosistemas Pavco. Manual de diseño de geosintéticos.

- Si la superficie del geotextil se cubrirá con bloque de hormigón, utilizar los valores máximos o factores adicionales de reducción.
- Valores más grandes pueden ser necesarios con agua subterránea con alta alcalinidad.

- Valores más grandes pueden ser necesarios para turbiedad y/o cantidades de microorganismos superiores a 5000 miligramos sobre litro.

3.3.3. Estimación de caudal de diseño

Para diseñar el subdrenaje lateral en una vía, se debe considerar primero la distancia entre alcantarillas o los sitios en donde los subdrenajes realizan la descarga de agua. Para establecer las distancias de los tramos, se debe tener en cuenta que cada tramo conserve en lo posible, características similares, como pendientes, condiciones geomorfológicas similares o condiciones geométricas de la vía similares.

Los caudales de aporte que conforman el caudal total para el diseño de un subdrenaje en la estructura de un camino son:

- El caudal generado por la infiltración del agua de lluvia
- El caudal generado por el abatimiento del nivel del agua subterránea

3.3.3.1. Caudal por infiltración

El agua de lluvia cae directamente sobre la superficie del camino. Una parte de este, inevitablemente se infiltra en la estructura del camino. Por lo tanto el caudal de infiltración se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{inf} = I_R * B * L * F_I * F_R$$

Donde:

- I_R = precipitación máxima horaria de frecuencia anual.
- B = para subdrenajes longitudinales, B es la semibanca de la vía (ancho de la vía/2). Para el caso de subdrenajes transversales B es la distancia entre subdrenajes
- L = longitud del tramo de drenaje
- F_I = factor de infiltración (ver tabla VII)
- F_R = factor de retención de la base, refleja el hecho de que las bases dado su tiempo de servicio disminuye permeabilidad (ver tabla VIII)

Tabla VII. **Valores recomendados para F_I**

Tipo de carpeta	F_I
Carpetas asfálticas muy bien conservadas	0.30
Carpetas asfálticas normales conservadas	0.40
Carpetas asfálticas pobremente conservadas	0.50
Carpetas de concreto de cemento portland	0.67
Sin carpeta asfáltica	0.80

Fuente: Geosistemas Pavco. Manual de diseño de geosintéticos. p. 193.

Tabla VIII. **Valores recomendados para F_R**

Tipo de base	F_R
Bases bien graduadas, en servicio 5 años o mas	1/4
Bases bien graduadas, en servicio menos de 5 años	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio 5 años o mas	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio menos de 5 años	1/2

Fuente: Geosistemas Pavco. Manual de diseño de geosintéticos. p. 193.

3.3.3.2. Caudal por abatimiento del nivel freático

En sitios donde el nivel freático o el agua proveniente a presión alcancen una altura tal, que supere el nivel de subrasante afectando a la estructura del camino, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconveniente por excesos de agua. El cálculo de este caudal se basa en los siguientes parámetros:

$$Q_{NF} = k * i * A_a$$

$$i = (N_d - N_f) / B$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

Donde:

Q_{NF} = caudal de infiltración

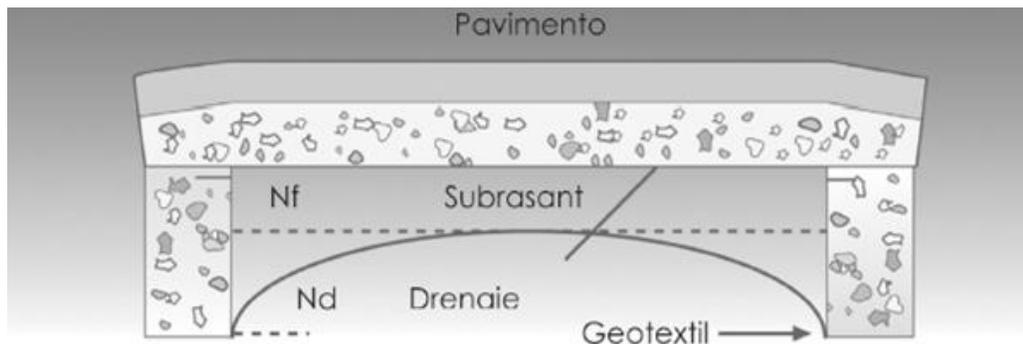
i = gradiente hidráulico

N_d = cota del subdren (ver figura 32)

N_f = cota superior del nivel freático (ver figura 32)

- A_a = área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático
 B = para subdrenajes longitudinales, B es la semibanca de la vía (ancho de la vía/2). Para el caso de subdrenajes transversales B es la distancia entre subdrenajes.
 L = longitud del tramo de drenaje

Figura 32. **Sección transversal del sistema de subdrenajes laterales en una vía**



Fuente: Geosistemas Pavco. Manual de diseño de geosintéticos. p. 194.

Una vez estimados los caudales de aporte al sistema se obtiene el caudal de diseño:

$$Q_T = Q_{inf} + Q_{NF}$$

Nota: el caudal por abatimiento del nivel freático en la mayoría de los casos se presenta a los dos lados de la sección transversal del subdren, por lo que el caudal de diseño deberá ser dos veces el caudal de infiltración.

3.3.4. Dimensionamiento de la sección transversal

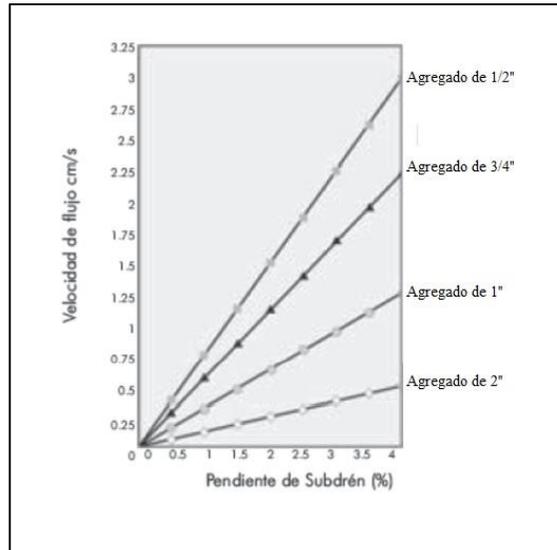
Teniendo en cuenta el caudal total, el cual es la suma de los caudales calculados, se realiza el siguiente procedimiento:

$$Q_T = V * i * A$$

Donde:

- Q_T = caudal total
- V = velocidad del flujo, la cual depende de la pendiente longitudinal y del agregado usado en el subdren (ver figura 33)
- i = gradiente hidráulico que para el caso de subdrenajes es igual a 1
- A = área de la sección transversal del subdren, normalmente se fija el ancho con un mínimo de 0,60 metros y se despeja la altura.

Figura 33. **Pendiente vs velocidad, según tamaño del agregado (para agregados de tamaño uniforme)**



Fuente: Geosistemas Pavco. Manual de diseño de geosintéticos. p. 196.

Una vez obtenida la sección transversal del subdrén, se puede calcular su perímetro. La longitud de desarrollo del geotextil corresponde al perímetro más el traslape (0,25 – 0,35 m).

4. HIDROLOGÍA PARA DRENAJES MAYORES

4.1. Tipos de drenajes mayores

La construcción de puentes grandes representa una gran proporción del presupuesto de muchos proyectos de caminos. Este factor combinado con la complejidad de cuencas hidrológicas de gran tamaño y el potencial de grandes impactos ambientales hace que los procedimientos de diseño, tales como, estudios de selección del sitio, análisis hidrológicos e hidráulicos y evaluaciones geotécnicas sean de gran importancia.

Los estudios principales para la selección del sitio, deberán realizarse con miras al diseño final de un puente en la forma más económica y segura posible. Un diseño que se adecúa a las características del sitio en vez de tratar de que el puente se adecúe al sitio, implicará menos riesgos hidráulicos y ambientales.

4.1.1. Vado

Existe una gran cantidad de ríos y arroyos secos con escurrimiento insignificantes durante el estiaje; en la temporada de lluvias estos poseen una lámina de agua que, en determinados días, aumenta e impide el cruce de vehículos.

Cuando se presenta este caso y el cauce se amplía, se podrá utilizar un vado que permita el cruce aun con una pequeña lámina de agua, esto siempre y cuando las interrupciones del paso de vehículos por avenidas extraordinarias no sean excesivas para la importancia del tránsito.

Figura 34. **Vado con nivel del agua por encima**



Fuente: KELLER, GORDON; shearar, James. Ingeniería de caminos rurales. p. 98.

4.1.2. Tubos

Las alcantarillas construidas con tubos prefabricados en secciones se llaman tubulares, estos pueden ser metálicos o de concreto. Su ventaja es la rigidez de su construcción, pues inmediatamente después de tendido se puede construir el terraplén.

Para su buen uso se deben seguir las siguientes recomendaciones:

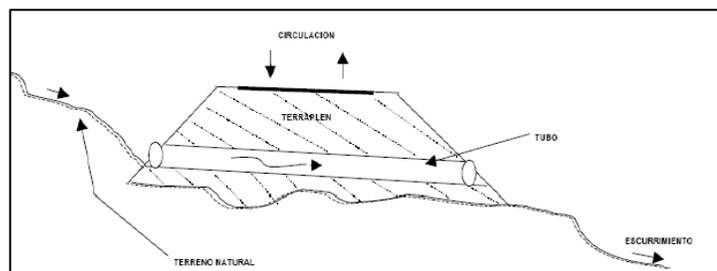
- Buena preparación de la plantilla donde se colocará el tubo, evitando que haya cama rígida, diferente resistencia del terreno, huecos, etc.

- Colocarla según especificaciones del fabricante.
- Articulaciones convenientes.
- Colocación del colchón por capas compactadas.
- Adecuada protección en la salida y a la entrada.
- Tener suficiente pendiente para evitar azolve (0,5 por ciento mínimo, 2 por ciento conveniente).

Generalmente se colocan muros de cabeza o cabezales que sirven tanto a la entrada como a la salida para anclar la obra y para impedir que la tierra del terraplén caiga en los tubos (ver figura 36).

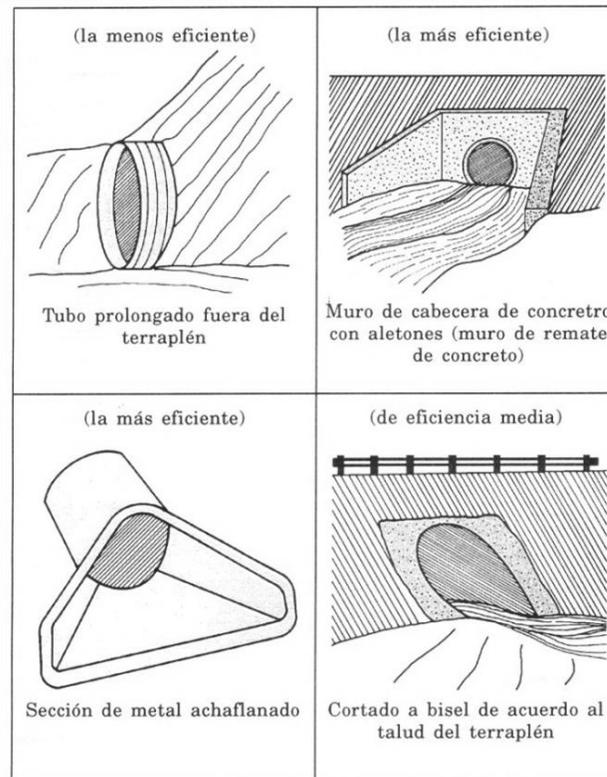
Cuando la pendiente es muy grande y existe el peligro de deslizamiento de la tubería, es recomendable el uso de muros de anclaje en puntos intermedios.

Figura 35. **Proyección de tubo en terraplén**



Fuente: PERALTA, José, *Obras de drenaje para caminos y el impacto que estas causan al entorno*. p. 33.

Figura 36. Tipos de entradas y salidas para tubos



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 5-18.

4.1.3. Losas

Son comúnmente llamadas a las losas de concreto reforzados sobre muros de mampostería, se usan cuando la magnitud del gasto o forma de la vaguada no permita usar una batería de tubos, o por el costo y el transporte de los tubos. También es recomendable su utilización cuando se tiene a la disposición el material como arena, grava, piedras y la mampostería, así como la mano de obra necesaria.

Para su construcción es importante trabajarlas con anticipación para que no se interrumpa el camino y no sea necesario mantener una desviación por mucho tiempo.

Figura 37. **Losa de concreto**



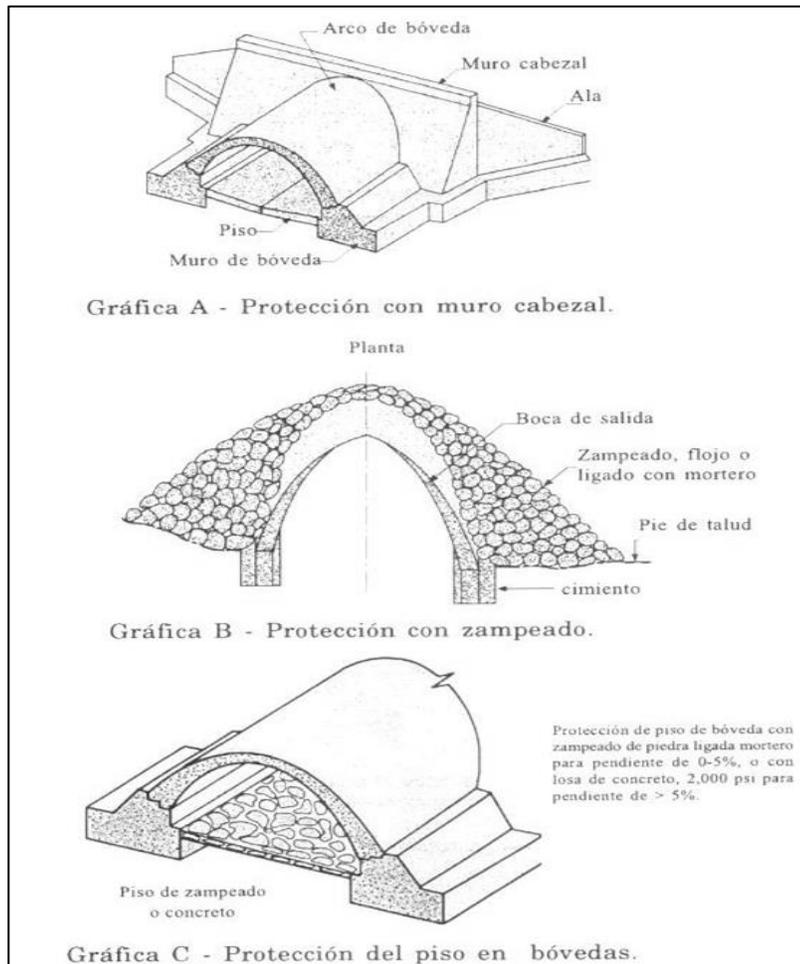
Fuente: San pedro de los baños km 6, Ixtlahuaca, México.

4.1.4. Bóvedas

Estructuras cuya parte superior que carga el camino está compuesta de mampostería, concreto armado o concreto simple, incluso también las hay metálicas. Se utilizan bóvedas al igual que la losas cuando no se puede utilizar tubos y al no tener abundancia de piedra.

Su desventaja es que requiere de tiempo para su ejecución. La gran ventaja que presente es su estabilidad sobre todo si los estribos están bien cimentados. La bóvedas pueden ser simples, gemelas o múltiples.

Figura 38. **Bóvedas con protección**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 5-22.

4.1.5. Alcantarillas celulares

Se les llama alcantarillas celulares o de cajón a las estructuras de concreto armado que tiene varias celdas. Se utiliza esta estructura cuando el terreno tiene poca resistencia, como pantanos, y cuando la altura del colchón es moderada y la extensión del cauce es muy grande. La desventaja de esta es su alto costo y el tiempo que lleva su construcción.

Figura 39. **Alcantarilla de cajón**



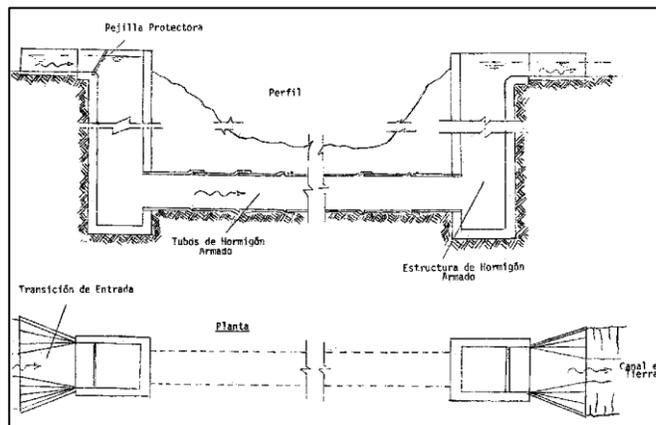
Fuente: KELLER, Gordon; SHEARAR, James. *Ingeniería de caminos rurales*. p. 78.

4.1.6. Sifones

Esta estructura se usa bajo condiciones hidráulicas especiales, como en los canales de riego. En este caso tanto el nivel de entrada como el de salida son obligados, la parte inferior de la tubería deberá trabajar con tubo reforzado ya que esta sección trabajará a presión y debe ser a prueba de fugas.

Este tipo de estructuras, generalmente son hechas de acero o de concreto reforzado, y a la entrada y salida se proyectan las obras necesarias de protección.

Figura 40. **Detalle de sifón**



Fuente: República de Bolivia, *Cuenca del plata*. p. 165.

4.1.7. **Puente vado**

Puente bajo o puente vado se le conoce a la estructura en forma de puente que sirve para dar paso al gasto de aguas máximas ordinarias y que durante el periodo de máximas extraordinarias permite que el agua pase por encima de ella.

El puente vado deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Altura y longitud que pueda permitir el paso del gasto de las avenidas extraordinarias.

- Superestructura de espesor mínimo con el objetivo de que haya la menor obstrucción al paso del agua.
- Procurar que la superestructura quede tan bajo de la superficie del agua, en las crecientes máximas extraordinarias, como sea necesario para que los árboles pasen encima del puente sin dañarlo.
- La zona de acceso se construirá con piedra o bien utilizará zampeado.

Figura 41. **Puente vado**



Fuente: KELLER, Gordon; SHEARAR, James. *Ingeniería de caminos rurales*. p. 98.

4.2. Selección del sitio

Para la selección inicial del sitio no es necesario que se encuentre ligada a la alineación inicial del camino. Para la selección del sitio, en general se deben seguir los siguientes criterios:

- Máxima eficiencia económica
- Mínimo impacto ambiental
- Cimientos y accesos que sean sólidos y seguros

El proceso de selección de sitio debe ser la etapa inicial para el prediseño de un puente, esto implica una serie de estudios de campo y laboratorio. Dentro de los aspectos a considerar para la selección del sitio se debe considerar los siguientes:

Tabla IX. **Consideraciones para la selección del sitio**

Información	Datos Necesarios	Investigación
Mapas y fotos aéreas	Cartas topográficas; mapas del suelo y geológicos; fotos aéreas; imágenes satélite a escala.	Análisis de cambios en curso del río.
Estructuras existentes	Dimensiones detalles y fechas de construcción; perfil del camino en zonas de inundación; cotas de cimientos, niveles máximos de crecidas reales; datos geotécnicos; cálculos de socavación.	Conocimiento de sitios, buscar daños, cambios en los diseños originales; analizar socavación.

Continuación de la tabla IX.

<p>Hidrología y análisis de la cuenca</p>	<p>Datos de estaciones meteorológicas cercanas; curvas de intensidad; curvas de frecuencia; área de la cuenca, uso de la tierra y coberturas vegetales; pendientes; clasificación del suelo, intensidades y distribución de lluvia; características climatológicas.</p>	<p>Tomar en cuenta huellas de riadas antiguas y sus efectos; conocimiento de la cuenca; chequeo de confiabilidad de los datos; recoger datos de lluvia, flujo y escurrimiento.</p>
<p>Hidráulica</p>	<p>Fotos aéreas para ayudar al levantamiento; fotos aéreas para investigación del campo: pendientes de la zona; mapas topográficos y terrenos afectados.</p>	<p>Obtener dimensiones del cauce; sacar fotos de cauce y zonas cercanas; medir pendiente del cauce principal; estimar daños potenciales por remanso; analizar lugares de control hidráulico; estimar coeficientes de rugosidad.</p>
<p>Geotécnica</p>	<p>Informes geotécnicos de estructuras existentes: investigaciones de suelos; profundidad de lecho rocoso.</p>	<p>Tomar muestras de material del lecho; buscar muestra del tamaño máximo de piedra transportable; fotografías de las orillas; buscar afloramiento de roca madre; cumplir análisis subterráneo hasta la profundidad máxima posible de socavación; excavar hasta encontrar roca madre.</p>

Continuación de la tabla IX.

Geomorfología	Analizar mapas y fotos de distintos años, buscando evidencia de mitigación lateral, meandros, erosión, etc.	Medir profundidades de socavación, constricciones, y estructuras existentes, buscar ejemplos de erosión, cambios del cauce, etc. Y buscar la fuente del problema; buscar indicaciones de deposición y transporte; notar características y movimiento de las formas de lecho del río
---------------	---	---

Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 6-13.

4.3. Estudio hidrología de drenajes mayores

El objetivo de todo estudio hidrológico para proyecto de drenajes es de proporcionar el caudal de diseño para definir los parámetros hidráulicos óptimos. Los métodos simples como el método racional o talbot son muy buenos para el diseño de drenajes menores, pero las grandes cuencas relacionadas con puentes y drenajes mayores requieren un estudio mucho más complejo, de acuerdo con su magnitud y costo.

Los estudios hidrológicos mínimos que se deben considerar son los siguientes:

- Análisis estadísticos de registro disponibles sobre precipitaciones y escorrentía.

- Análisis de cuencas adyacentes o similares (si fuera posible)
- Reconocimiento de campo de huellas de nivel máximo; características de cuencas tales como: suelos, cubierta vegetal; coeficientes de rugosidad, ubicación de terrazas antiguas, entre otros.
- Análisis de gabinete de pendientes de cuencas, patrones de drenaje, forma de la cuenta, entre otros; para lo cual debe utilizarse mapas topográficos, fotos aéreas, entre otros.
- Tormenta de diseño y cálculo de escurrimiento por subcuencas.
- La regulación de las crecidas de flujos de subcuencas al puente, para determinar el caudal pico de diseño.

Generalmente, los caudales picos para puentes grandes se estiman utilizando datos pluviométricos que representan un período de retorno de 100 años, considerándose razonable un período de 50 años para puentes pequeños. Se recomienda un período de retorno de 100 años para cualquier puente con un tramo mayor a los 20 metros.

5. TRAVESÍA DE AGUA DE BAJO NIVEL

5.1. Selección

La selección de la estructura deberá hacerse con mucho cuidado y solamente después de considerar los diferentes factores como el sitio, el canal, el diseño, los costos y el impacto ambiental.

La selección del sitio para una travesía debe ser un lugar estable o un sitio que reducirá al mínimo su longitud y tamaño, los impactos, y los costos de construcción y, de mantenimiento cualquier estructura. Los factores que influyen en el uso de una travesía son:

- El uso del camino
- Impactos y costos de demora
- Tiempo de duración del nivel alto de agua y número de veces por año
- Volumen de escorrentía y rango de fluctuación de agua
- Las características del sitio
- Costo y vida útil de la estructura

5.2. Tipos de estructuras

Los tipos básicos de travesías de agua de bajo nivel incluyen:

- Travesías: badenes, vados, vados reforzados, trozas, empedrados, gaviones, estructuras de concreto.
- Travesías mejoradas: travesías con tubería o alcantarillado, travesías con fundaciones y gabachas, travesías de vigas concreto.
- Puentes para aguas de bajo nivel: cajas de concreto, cajas de vigas de acero o madera, puentes con vados al lado, puentes sumergibles, puentes flotantes, puentes Bailey.

Los badenes o vados pueden estar sin refuerzo en suelos rocosos y cauces estables. En suelo erosivo y arcilloso se debe de reforzar y estabilizar por el tramo del camino con trozas, grava, zampeado, gaviones u otro tipo de revestimiento o barreras.

Los badenes mejorados son relativamente simples, tal como una plataforma reforzada con roca o gaviones, y una boca de caída o revestimiento para el control de socavación (ver figuras 42 y 43). Pueden tener revestimiento con materiales duraderos o estribos de concreto o gaviones y dientes para el control de la socavación, dependiendo que tan erosivo puede ser el lecho.

También los badenes mejorados pueden ser combinados con tubería y dan la oportunidad para el paso del agua, manteniendo los vehículos fuera del agua, cruzando por un tramo seco, durante periodos de flujos bajos. Se puede proveer la oportunidad para el cruce de peces y otros animales acuáticos sin ser molestados por el tránsito. Durante períodos de corriente alta, la estructura entera estará bajo el agua.

Figura 42. **Badén mejorado de concreto**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. F7-1

Figura 43. **Badén mejorado de concreto con nivel del agua por encima**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. F7-1

Los puentes sumergibles son aquellos que pueden acomodar corrientes considerables a través de la estructura, aun cuando esta se inunde totalmente. La diferencia con este diseño y un puente convencional es el refuerzo que la plataforma necesita durante la inundación.

También están los puentes temporarios, que son removidos con anterioridad a las corrientes altas. Para acomodar los flujos medio altos de agua o mantener una estructura de perfil bajo, se puede utilizar puentes sumergibles o de flotación. Los puentes temporales, como puentes Bailey, frecuentemente son usados en tiempo de medio o bajo flujo para promover paso, pero no son sumergibles y se necesita quitarlos antes de flujos altos.

Figura 44. **Puente sumergible**



Fuente: río Yi. Uruguay.

5.3. Estudio hidrológico y diseño hidráulico

Los estudios hidrológicos son los mismos para cualquier tipo de estructura. Se usa el tipo de información que existe y que puede producir valor de descarga preciso. Los métodos que se pueden utilizar están el método racional, estudios de precipitación y escorrentía, huellas de nivel máximo de agua, entre otros.

La forma del drenaje, material del cauce, características del flujo y condiciones ambientales, como limitaciones por sedimentos, requerimientos de fauna acuática o cantidad de materia ajena que puede entrar al cauce, usualmente influyen en el diseño de la estructura. También es importante la nivelación y formación del camino para que el agua que cae o baja de terrenos más altos desagüe con mínimos daños.

Para el diseño de estas estructuras se debe considerar lo siguiente:

- Un diseño efectivo y económico.
- Un paso cómodo para el vehículo de diseño.
- Una apertura adecuada para la corriente de diseño.
- Un baden bien definido para asegurar que el agua se quede sobre la estructura.
- Un canal estable o adecuado revestimiento.

- La protección del canal hasta el nivel máximo del agua con un mínimo de por lo menos 0,5 metros de altura extra.
- Proveer de corredores de peces en arroyos de pesquerías.

El diseño de la estructura deber incluir la carga vehicular de diseño, buenos datos hidrológicos, datos hidráulicos que permitan el paso del agua, un diseño con registros adecuados protección del cauce, etc. Generalmente se puede utilizar la fórmula de Manning para determinar la capacidad y la velocidad del flujo.

Es importante la protección del lecho contra la socavación y la erosión con uso de zampeado, gaviones, concreto, etc. Donde pasa o cae la travesía del agua se necesita proteger el cimiento con un colchón o con dientes enterrados debajo de la profundidad de socavación.

Las cajas o tuberías pequeñas, usualmente no deben ser usadas en drenajes muy empinados, ya que el lecho llevará mucho arrastre, que tapaná o dañará la tubería. También los drenajes que llevan un volumen de materia o mueven piedras grandes que pueden bloquear las estructuras es preferible diseñarlos sin tubería.

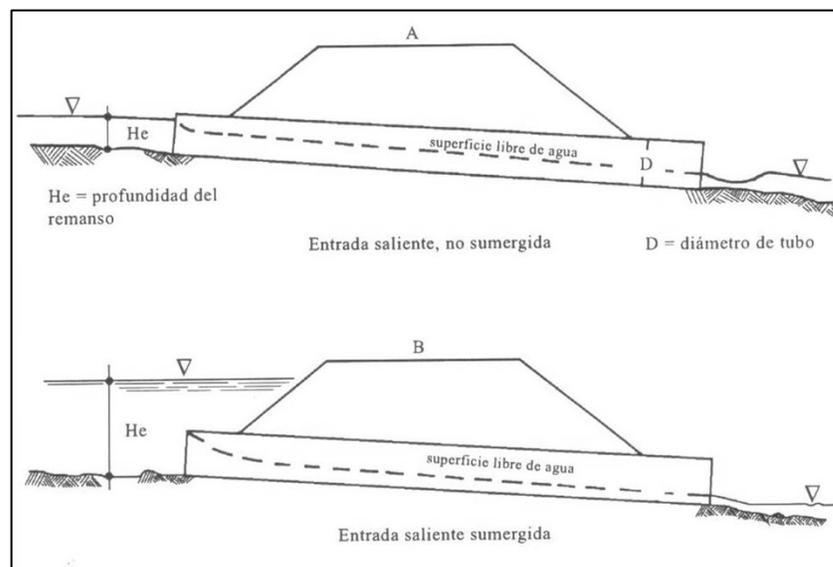
Los drenajes de alta velocidad requieren el uso de gaviones, zampeado de gran dimensión, revestimiento de concreto, o uso de gabachas y dientes para disipar la energía y prevenir erosión. Un drenaje hondo necesita una tubería o estructura de caja en vez de un vado para mantener una alineación vertical satisfactoria del camino.

6. USO DE NOMOGRAMA PARA DETERMINAR CAPACIDAD DE ALCANTARILLAS Y CANALES

6.1. Escurrimiento en alcantarillas con control de entrada

El control de entrada significa que la capacidad de descarga de una alcantarilla estará controlada por la profundidad del remanso (H_e) y su geometría, que influye la forma y área de una sección transversal del conducto, y el tipo de aristas de aquella.

Figura 45. Escurrimiento con control de entrada



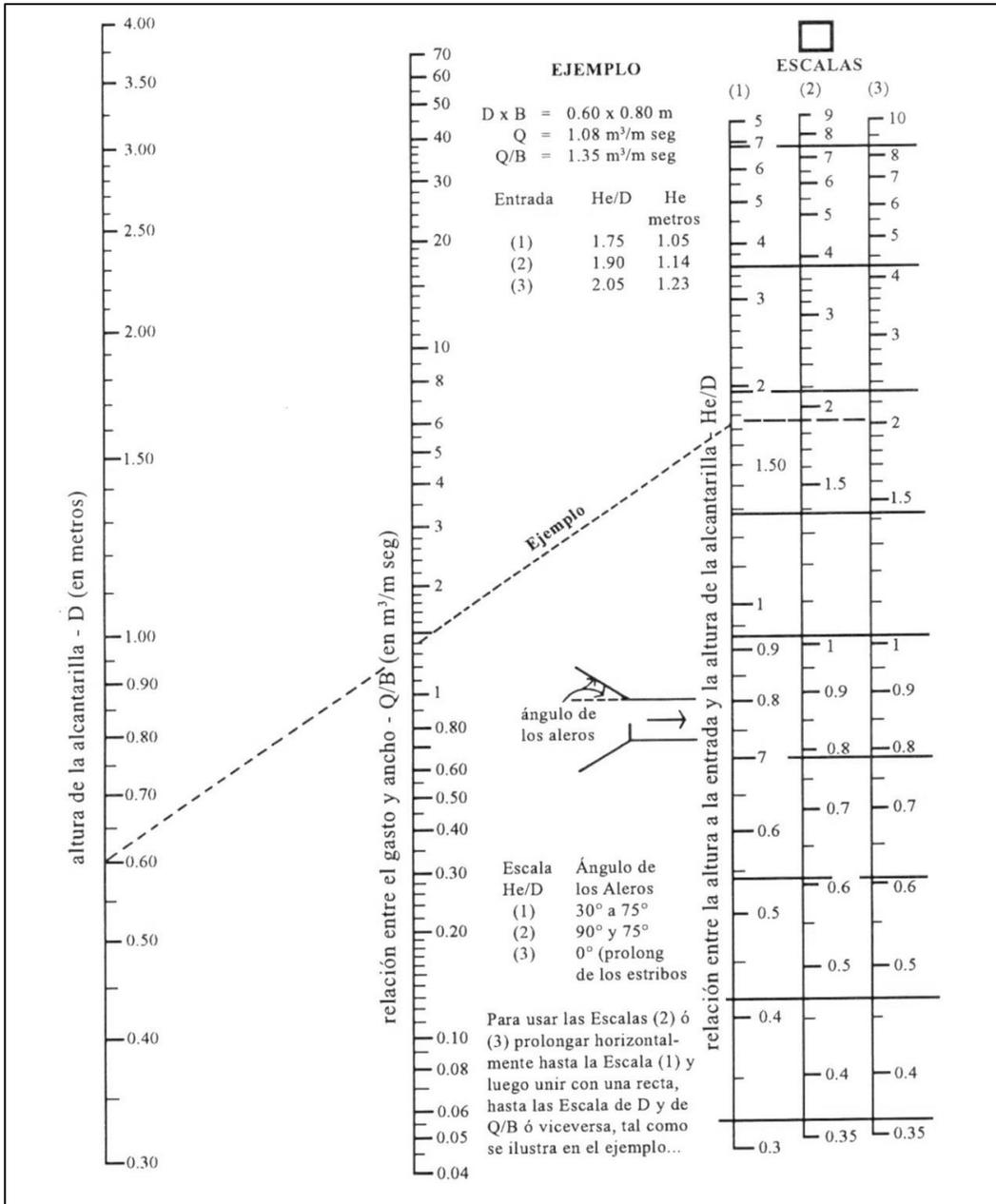
Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 8-3

- Determinación de la altura de la entrada (H_e), a partir de los datos (Q), dimensiones y tipo de alcantarilla (figuras 46, 47, 48 y 49):
 - Unir mediante una línea recta, el diámetro o altura (D), con un gasto (Q), o Q/B para alcantarillas de cajón; y se marca la intersección de esta recta sobre la escala (1) de H_e/D .
 - Si la escala (1) de H_e/D representa el tipo de entrada usada, se lee el valor H_e/D sobre la escala. En caso contrario, desde este punto de intersección, se prolonga horizontalmente hasta la escala (2) o (3) y se lee H_e/D .
 - Calcular H_e , multiplicando H_e/D por D .

- Determinación del gasto (Q) que puede descargar una alcantarilla dado su tipo, tamaño del conducto y H_e (Figura 46, 47, 48 y 49):
 - Calcular H_e/D para las condiciones dadas.
 - Ubicar H_e/D en la escala correspondiente al tipo de entrada. Si esta escala es de (2) o la (3) se prolonga horizontalmente desde ese punto hasta la escala (1).
 - Unir este último punto a la escala (1) con el diámetro o la altura D en la escala de la izquierda. Se lee Q o Q/B sobre la escala de gastos.
 - Si se ha leído Q/B , se multiplica por el ancho B de la alcantarilla para obtener Q .

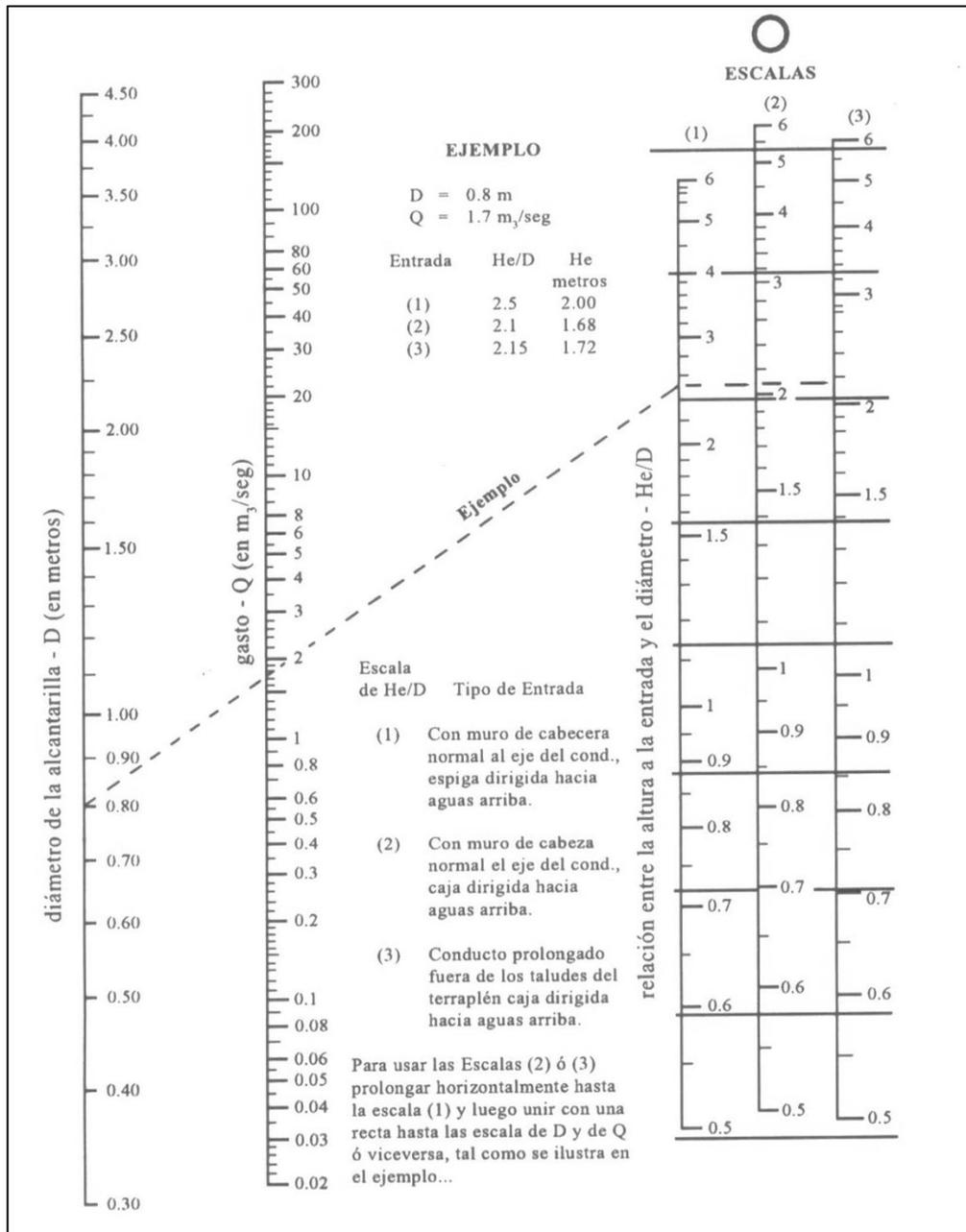
- Determinación de las dimensiones del conducto, dados Q , H_e y el tipo de alcantarilla (figuras 46, 47, 48 y 49):
 - Adoptar las dimensiones aproximadas de H_e/D .
 - Ubicar H_e/D sobre la escala que corresponda al tipo de entrada. Si esta escala es la (2) o (3), se traza desde este último punto una horizontal hasta la escala (1).
 - Unir este último punto de la escala (1) con el gasto Q o Q/B , y prolongar hasta la escala de la izquierda donde se leerá el diámetro (D), altura o de dimensiones de la alcantarilla, compatibles con el valor H_e/D .
 - Si el valor D obtenido no es el supuesto previamente, se repite el procedimiento con un nuevo valor de D .

Figura 46. **Nomograma para el control de entradas para cajas de concreto**



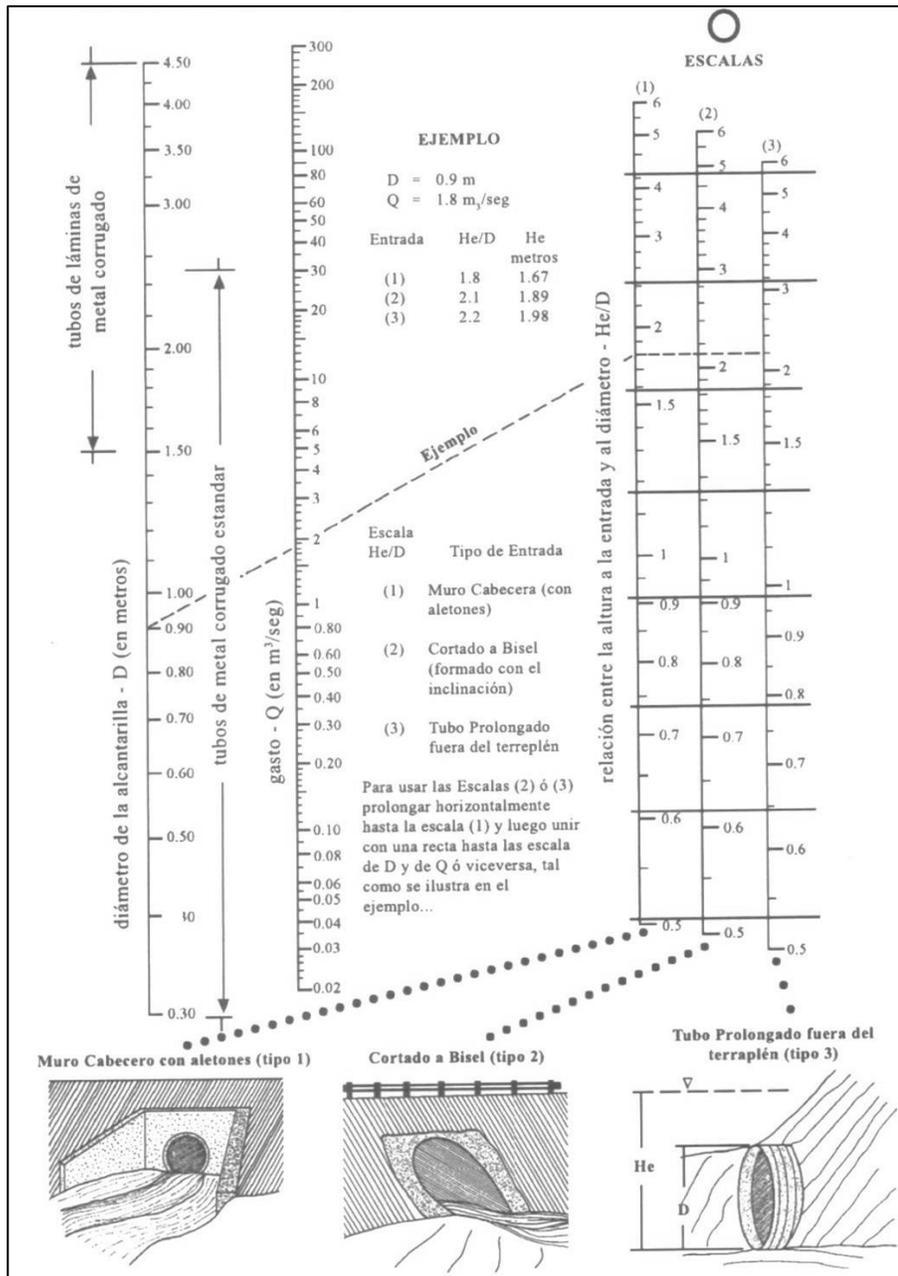
Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 8-9.

Figura 47. **Nomograma para el control de entrada para tubos de concreto**



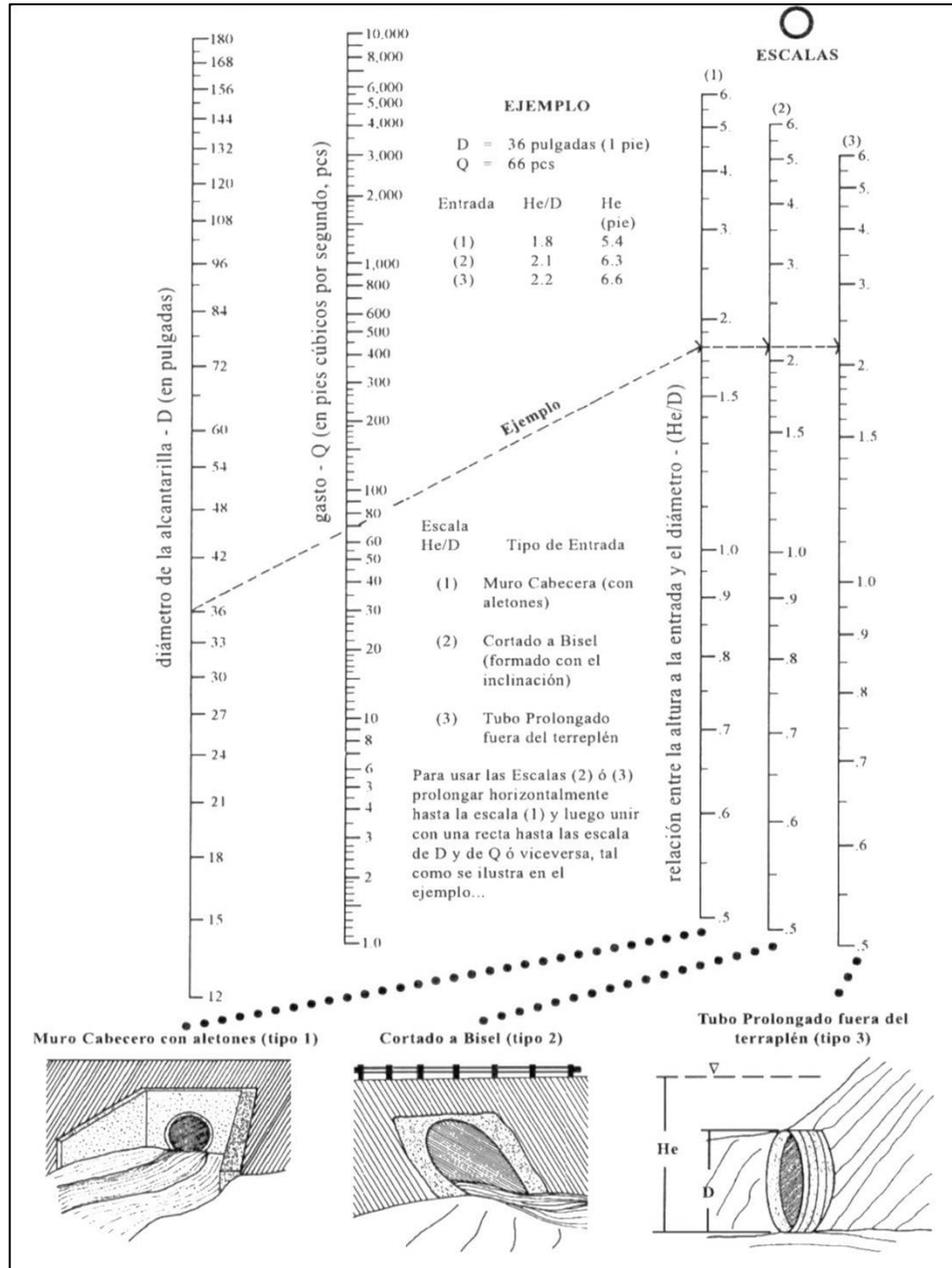
Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. P. 8-10.

Figura 48. **Nomograma para el control de entrada para tubos circulares de metal corrugado (sistema métrico)**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 8-11.

Figura 49. **Nomograma para el control de entrada para tubos circulares de metal corrugado (sistema inglés)**

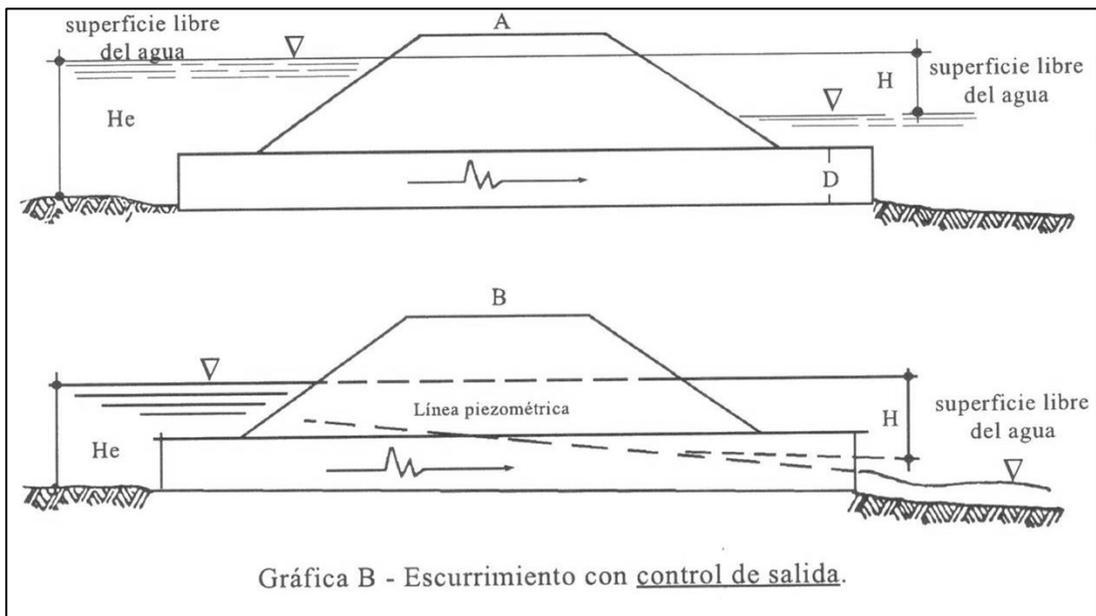


Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 8-12.

6.2. Esgurrimiento de alcantarillas con control de salida

El esgurrimiento en alcantarillas con control de salida puede presentarse a conductos llenos o parcialmente llenos, en una porción o en toda su longitud. Si la alcantarilla está llena a lo largo de toda su longitud, se dice que esgurre llena o parcialmente llena. La elevación de agua de descarga puede definirse, ya sea arriba de un conducto de salida o corriendo parcialmente llena a la salida. Estos procedimientos permiten la exacta determinación de la profundidad del agua a la entrada para las condiciones de esgurrimiento expuestas.

Figura 50. Esgurrimiento con control de salida



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 8-3.

Cuando el conducto de la alcantarilla escurre lleno en toda su longitud se utiliza nomogramas en la determinación de la altura de carga H, para algunas condiciones de escurrimiento a conducto parcialmente lleno con control de salida. Los nomogramas no solucionan en su totalidad la obtención que solamente da el valor de H en la expresión:

$$H_e = H + H_1 - Li$$

Donde:

L = longitud de la alcantarilla

i = pendiente del fondo de la alcantarilla

Determinación de la altura de carga H, para alcantarilla y gastos dados (Figura 51):

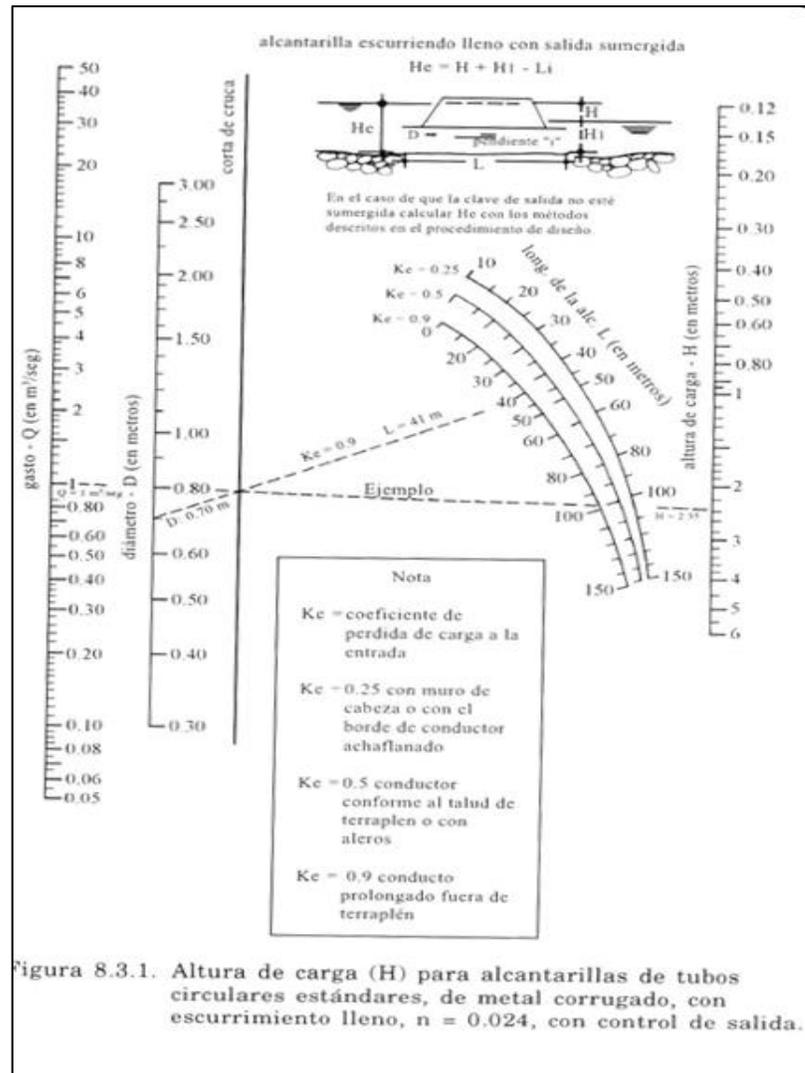
- Utilizar el nomograma correspondiente al tipo de alcantarilla elegida. De acuerdo al tipo de entrada, se halla K_e .
- Ubicar en el nomograma el punto de arranque en la escala longitudes de alcantarilla, de acuerdo a las siguientes instrucciones:

- Si el coeficiente de rugosidad (n) de Manning del nomograma corresponde al del conducto dado, se utiliza la curva de las longitudes de alcantarilla correspondiente al valor Ke y se ubica el punto de arranque sobre el valor de la longitud de la alcantarilla. Si la gráfica no se encuentra, la escala correspondiente al valor de Ke se procede de acuerdo con el punto siguiente. Si el valor de (n) de la alcantarilla difiere de (n) del nomograma, se procede de acuerdo al punto (c).
- Para (n) coincide con el valor del nomograma y Ke con un valor intermedio al de las escalas, se unen con una línea recta los puntos correspondientes a las longitudes dadas, de las escalas adyacentes y se ubica sobre este segmento, en la proporción debida el punto de arranque.
- Para un coeficiente de rugosidad (n1) diferente del (n) de la figura se encuentra otra figura, es decir, se usa en las escalas de longitud de conducto un valor L1 ficticio, calculando mediante la fórmula:

$$L1 = L \left(\frac{n1}{n} \right)^2$$

- Unir con una línea recta el punto de arranque con el correspondiente a las dimensiones de la abertura del conducto en la escala respectiva y se marca el punto de intersección con la recta del cruce.
- Unir este último punto ubicado en la recta de cruce, con el valor del gasto (Q) de diseño sobre la escala correspondiente y se prolonga la recta hasta leer (H) en la escala respectiva.

Figura 51. **Nomograma para el control de salida para tubos circulares estándares de metal corrugado con escurrimiento lleno**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 8-15.

6.3. Esgurrimiento en canales

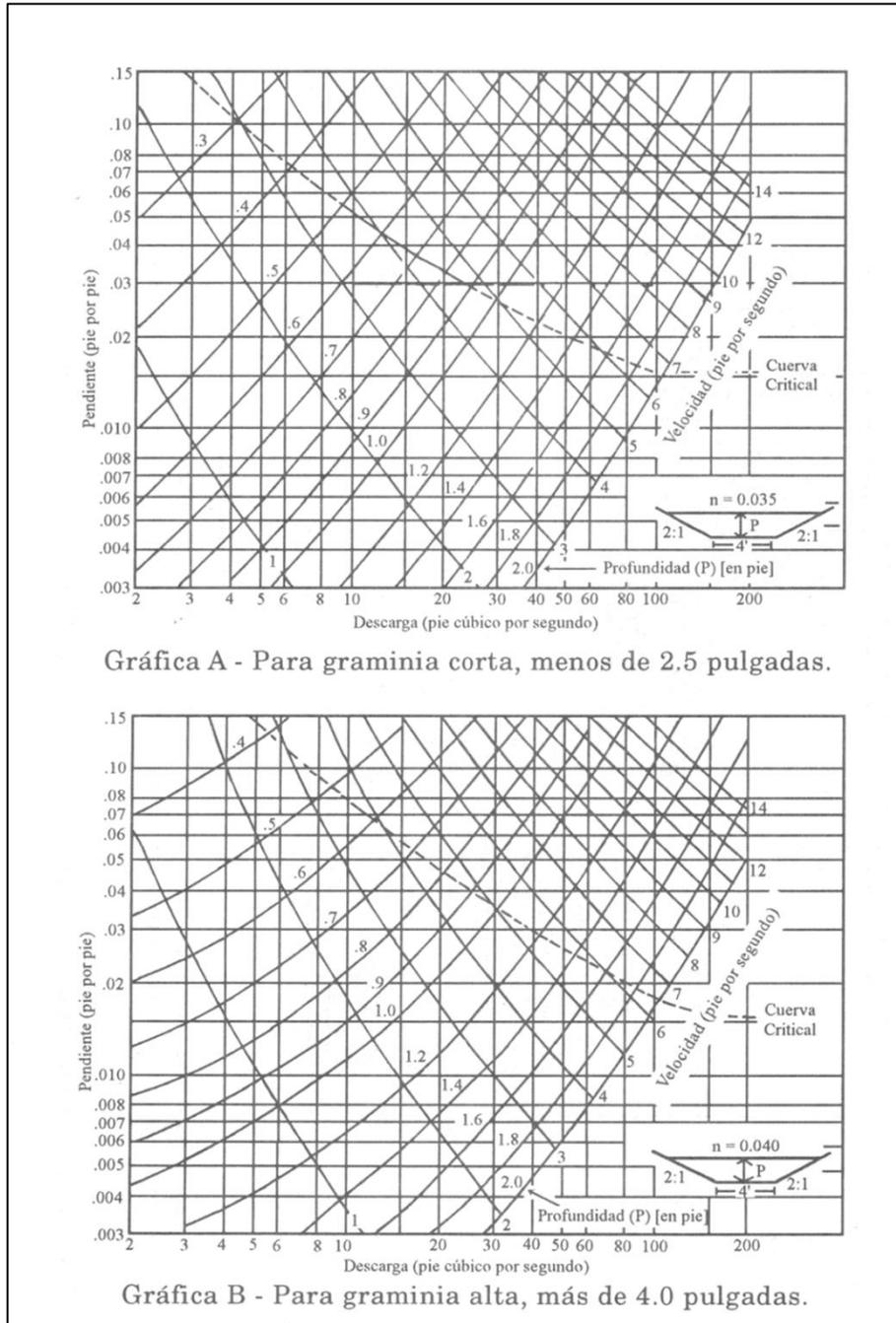
La capacidad de escurrimiento (descarga) se determina en funci3n de la forma de un canal dado y tipo de revestimiento (aspereza cobertura), pendiente del canal, y la profundidad de la corriente. La velocidad de corriente puede tambi3n ser determinada. Las figuras para canales trapecoidales y regulares con anchuras diferentes se presentan en sistema m3trico e ingl3s.

Determinaci3n de la descarga (Q) para el canal y la profundidad (D) de flujo dado (figura 52):

- Escoger el nomograma apropiado para forma del canal a construir.
- T3picamente una descarga (Q) y la pendiente del terreno se conoce. Ubicar el valor determinado de descarga y extender esa l3nea vertical hasta intersectar con la familia de l3neas para valores variables de pendiente.
- Observar donde se intersectan las l3neas de descarga y pendiente. Este punto de intersecci3n yace sobre o dentro de una familia de l3neas para la profundidad de flujo. La l3nea o valor interpolado de las l3neas de profundidad en el punto de intersecci3n muestra la profundidad de flujo.
- Este punto de intersecci3n, tambi3n puede usarse para determinar la velocidad de flujo. Proyectar este punto de intersecci3n horizontal a la izquierda a su punto de intersecci3n con la escala de velocidad. Esto da el valor de velocidad, en metros por segundo. Los valores de velocidad multiplicados por el valor de n de Manning n se muestran tambi3n.

- Ubicar la descarga dada y extender la línea vertical al punto de intersección con la línea horizontal con el valor de la pendiente del canal.
- En el punto de intersección de descarga y la pendiente, observar donde ese punto intersecciona o yace entre valores de profundidad en la familia de curvas para la profundidad. Este valor de profundidad (P) es la profundidad del flujo necesitada para llevar la descarga determinada (Q). Viendo la familia de curvas para la velocidad La velocidad (V) de cualquier flujo puede ser determinado.
- Si se sabe la pendiente y la profundidad, entonces la descarga (Q) puede determinarse en una manera similar. Usando valores de descarga y profundidad dadas, también puede determinarse la pendiente necesaria.

Figura 53. **Nomograma para el escurrimiento de canales para gramínea corta y alta**



Fuente: KELLER, Gordon; et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. p. 8-20.

7. MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN DE DRENAJES

Un buen mantenimiento es primordial en el manejo de caminos. Una vez ejecutado el diseño, el mantenimiento periódico es necesario para que el camino funcione adecuadamente según su diseño.

Las prioridades en el mantenimiento deben ser determinadas durante la inspección de campo llevadas a cabo en la época lluviosa, cuando los problemas asociados a los drenajes de agua superficial se aprecian claramente. Basados en estas inspecciones, las actividades de mantenimiento pueden ser identificadas teniendo en mente las siguientes prioridades:

- Un cronograma de mantenimiento debe ser establecido para que los drenajes sean inspeccionados periódicamente y limpiados de material cuando estén obstruidos. Los derrumbes y deslizamientos son por lo general, causados por la obstrucción de alcantarillas, cunetas, entre otros.
- Un mínimo de 10 metros de área de amortiguamiento cubierta de vegetación debe ser establecido a lo largo de ambos lados de los cursos de agua. Los caminos y brechas abandonados deben ser recubiertos con vegetación.
- Nivelación de la superficie del camino para quitar el material deslizante y reducir al mínimo la pérdida de material de revestimiento.

- Eliminación de secciones fangosas llenándolas con grava o con el material de calidad requerido.
- Reposición necesaria de zampeado, revestimiento y medidas de control de erosión alrededor de las estructuras de drenaje.
- Limpieza de la orilla del camino de árboles y arbustos para mantener distancia visual y limpiar las cunetas:

Algunas de las actividades de mantenimiento pueden ser desfavorables si se hacen excesivamente, particularmente con respecto al control de erosión, si son realizadas con frecuencia, por ejemplo, las actividades de limpieza de las cunetas, hombros y taludes, con los cuales se remueve la cobertura vegetal de la superficie, puede promover erosión en los suelos y degradar la calidad del agua local.

Se debe mantener las cunetas limpias y en forma para dejar el agua, pero la superficie debería ser reforzada con rocas o una capa de grama. La nivelación de las cunetas que aumenta la pendiente del corte y escarba al pie del talud solo sirve para promover erosión y la inestabilidad del talud.

7.1. Identificación de puntos críticos

Para reparar o brindar mantenimiento a una obra es necesario determinar, no solo el método de reparación a utilizar, sino también asegurar que la reparación sea permanente y evitar que se extienda el daño hacia los demás elementos que rodean el área reparada.

Antes de efectuar una reparación se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- Las condiciones generales de la obra
- Condiciones de uso del área reparada
- Limitación en la eliminación del nivel de la obra terminada
- Tiempo permitido para los trabajos de reparación

7.2. Mantenimiento de cunetas

Debido a la naturaleza de estos elementos, los trabajos de mantenimiento se concentran no en la estructura misma, sino en su funcionamiento.

La función primordial de las cunetas es la recolección y evacuación de las aguas de lluvia, y considerando que las comunidades servidas no cuentan con sistemas de alcantarillado, las cunetas también cumplen una segunda función recolectando y evacuando aguas residuales no tóxicas.

El mantenimiento de cunetas consiste en la limpieza de los cauces para mantenerlos libres de la presencia de cualquier material extraño, el cual impida el paso libre del flujo del agua.

En el caso de una falla estructural importante, cuya presencia signifique la obstrucción de la cuneta, el tramo de falla deberá ser reparado mediante un proceso de reconstrucción de la sección dañada, tomando en cuenta las medidas necesarias para que no se vuelva a presentar el problema nuevamente.

7.3. Mantenimiento de puentes, cajas y vados

El mantenimiento de las estructuras de los drenajes mayores es de gran importancia, ya que estas deben prestar un servicio adecuado a los usuarios, para lo cual es necesario efectuar inspecciones periódicas a cada una de ellas.

Las inspecciones periódicas que se hagan a las estructuras no deben de exceder de un año, sin embargo el ingeniero u otro encargado del mantenimiento deberá familiarizarse con cada una de las estructuras para conocer su comportamiento durante sus inspecciones y poder tener un mejor control en el mantenimiento. Además, las estructuras hidráulicas deben de revisarse antes del inicio del período regular de lluvias, así como después de tormentas torrenciales.

En la inspección se deben tomar en cuenta los siguientes elementos:

- Cauce del río

La dirección de la corriente, para evitar que aguas arriba se formen bancos de arena, maleza, árboles y bancos socavados que puedan desviar la corriente principal hacia los estribos o cualquier otro apoyo de la estructura y eventualmente causar daños. Adicionalmente, tanto los canales de entrada y salida deberán mantenerse limpios y libres de obstrucción en todo tiempo.

- Cimentación

La fuerza de la corriente durante las crecientes crean remolinos que golpean la cara aguas debajo de la estructura, esto provoca socavación la cual draga los elementos de apoyo. Esto sucede en cualquier tipo de material de cimentación, con excepción de formaciones de roca dura.

La revisión y reparación de estos elementos se puede llevar a cabo una vez haya bajado el nivel del agua lo suficiente.

- Elementos de subestructura

- Revisar el alineamiento y las elevaciones de los estribos o cualquier otro elemento de apoyo para determinar si la estructura tiene problemas de asentamiento o si existe excesiva presión de tierra detrás de los muros del cuerpo y alas del estribo.
- Investigarse las grietas y los desplazamientos de las diferentes partes de la estructura, y en caso de presentarse, deberán efectuarse las reparaciones correspondientes.
- Verificar asentamientos y/o socavaciones de acuerdo a los niveles de desplante indicados en los planos de construcción.

- Vigas y diafragmas

Revisar los elementos de concreto para determinar agrietamiento en vigas y diafragmas. Cualquier agrietamiento que se presente deberá ser rellenado con material sellador de superficies de concreto.

- Losa superior

Inspeccionar la losa superior para verificar si hay excesivo desgaste de la superficie de contacto, así como la presencia de agrietamientos longitudinales que indique excesivas cargas de impacto.

CONCLUSIONES

1. Los drenajes en los caminos permiten mantener al camino libre de agua y humedad en el menor tiempo posible y conducirla lo más lejos posible, para esto existen diversos tipos de drenajes utilizados. Dentro la diversidad de drenajes se puede mencionar el bombeo superficial, las cunetas, contra cunetas, las tuberías transversales, los badenes, los vados, los puentes, entre otros.
2. Cada elemento dentro del camino tiene su propia función en el sistema de drenajes. Para que la conducción del agua fuera del camino sea adecuada, se debe de considerar que no cause daños a las áreas cercanas, tomando en cuenta el control de entrada y de salida de cada drenaje. De igual forma se debe de considerar el control de las velocidades para evitar la erosión y el desgaste de los drenajes.
3. Para el diseño adecuado del sistema de drenaje para caminos, es importante tomar en cuenta las condiciones topográficas, tipo de suelo, condiciones meteorológicas, niveles freáticos, tráfico promedio, características de la cuenca, etc. Con esta información se puede diseñar el sistema de drenaje, considerando cuál de todos se aplica mejor a las necesidades del lugar para su óptimo desempeño.

4. El mantenimiento de los sistemas de drenajes de los caminos es muy importante, ya que con esto se asegura un funcionamiento adecuado. El mantenimiento debe ser periódico, identificando los obstáculos y elementos que necesite reparación, con esto se asegura de que los drenajes se encuentre en óptimas condiciones

RECOMENDACIONES

1. Para un sistema de drenaje para camino óptimo, es importante evacuar el agua que tiene contacto con el camino en el menor tiempo posible, y llevarla lo más lejos, y en la menor distancia, para no arrastrar el agua más de lo necesario, evitando un sobre diseño y un desgaste mayor dentro del sistema de drenaje.
2. Tomar en cuenta los diferentes tipos de drenajes, para utilizarlos de la manera adecuada, tomando en cuenta los parámetros de su diseño y el cuidado que se les debe de dar.
3. Contar con todos los datos necesarios previo al diseño del sistema de drenajes, con esto se puede tomar en cuenta todos los factores que puedan afectar directa o indirectamente. También la información que se puede obtener del área mediante visitas y entrevistas a las personas que viven cerca, permitirá tener una idea de las condiciones a las cuales el sistema de drenaje estará trabajando.
4. Es importante la inspección del sistema de drenajes, antes, durante y después del período de lluvia para poder observar y corregir las posibles fallas que se puedan presentar, así poder evitar que el daño se extienda afectando las condiciones del camión.

BIBLIOGRAFÍA

1. DONIS, Pedro; *El drenaje en las carreteras de Guatemala, selección de la estructura requerida en función del gasto*. Universidad Mariano Gálvez, Facultad de Ingeniería, 1991, 80 p.
2. Geosistemas PAVCO. *Manual de diseño con geosintéticos*. Colombia, 9a ed. 2012.
3. GUTIÉRREZ, René, *Manual de caminos vecinales*. México, Industria Editorial núm. 663, 2a ed., 1972, 387 p.
4. KELLER, Gordon. et. al. *Caminos rurales con impactos mínimos*. México, 1995, 743 p.
5. KELLER, Gordon. SHEARAR, James. *Ingeniería de caminos rurales*. Guatemala, 2004. 180 p.
6. Ministerio de Obras Públicas. *Manual de caminos vecinales*. Costa Rica. 1979, 128 p.
7. PALMEIRA, Ennio. *Empleo de Geosintéticos en filtro y drenaje*, Seminario Argentino sobre aplicación de geosintéticos, Universidad de Brasilia, Junio 2011, 80 p.
8. Secretaria de Asentamientos Caminos y Obras Públicas, *Instructivo para la construcción de los caminos rurales*. México, 185 p.

9. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, *Manual para el uso de gráficas hidráulicas para el diseño de alcantarillas* México, 1985, 107 p.

10. Secretaria Permanente del Tratado General de Integración Económico Centroamericana, *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras, alcantarillas y puentes*. Guatemala, Litografía ImpColor, 1974, 561 p.

