

18
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"CAMPUS ARAGÓN"

Ingeniería Discontinua

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE DRENAJE
EN CARRETERAS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A :

I SELA ESPINOZA LÓPEZ.

DIRECTOR DE TESIS: ING. JOSÉ MARIO AVALOS HERNÁNDEZ.

MÉXICO

1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

258623



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGÓN

DIRECCION

ISELA ESPINOZA LOPEZ
P R E S E N T E .

En contestación a la solicitud de fecha 4 de julio del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSE MARIO AVALOS HERNANDEZ pueda dirigirle el trabajo de Tests denominado, "ANALISIS Y DISEÑO DE DRENAJE EN CARRETERAS", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

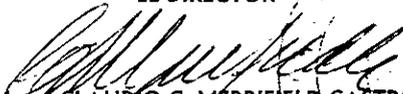
Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

San Juan de Aragón, México., a 9 de julio de 1997

EL DIRECTOR


MERRI CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO



- c c p Jefe de la Unidad Académica.
- c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.
- c c p Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/vr



***DEDICATORIA Y
AGRADECIMIENTOS***

DEDICATORIA

A Dios por incluirme en su creación.

**A MI MAMÁ ENRIQUETA LÓPEZ HERNÁNDEZ
Y A MI PAPÁ MAURO ESPINOZA HERNÁNDEZ**

A quienes velaron mi sueño, ellos que con amor y devoción atendieron cada una de mis necesidades de manera incondicional y por quienes he alcanzado mi meta.

**A MIS HERMANOS
DELIA, HÉCTOR y ELSA**

*Por haber compartido cada uno de mis sueños, cada uno de mis logros y mis tropiezos.
Por estar siempre conmigo.*

A MI CUÑADO ANTONIO.
Por sus consejos, por ser uno más de mis hermanos.

A MIS SOBRINOS

**MIROSLAVA GISELLE Y
JOSÉ ANTONIO**

Por ser mi fuente de alegría y creación.

**A LA FAMILIA ESPINOZA
Y
LA FAMILIA LÓPEZ**

Por su apoyo y por ser la inspiración de mis ideales.

**A MIS DEMÁS FAMILIARES QUE ESTARÁN
SIEMPRE CONMIGO**

(t)

Mis abuelitos Dominga, Francisca y Melitón.

A mi primo Norberto.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS.

Por compartir cada momento de esta larga trayectoria.

A LA UNAM CAMPUS ARAGÓN.

Por darme la oportunidad de ser parte de ella.

A MIS PROFESORES.

Por compartir no solo sus conocimientos, sino además su valiosa experiencia.

**DE MANERA ESPECIAL AGRADEZCO A MI DIRECTOR DE TESIS
EL ING. JOSÉ MARIO AVALOS HERNÁNDEZ.**

Por depositar en mi su confianza y por dedicar su tiempo para que este trabajo llegará a buen fin.

GRACIAS

ISELA ESPINOZA LÓPEZ



ÍNDICE

ÍNDICE

HOJA

INTRODUCCIÓN	9
PRESENTACIÓN	10
I. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL DRENAJE.	
I.1 DRENAJE NATURAL Y ARTIFICIAL.....	14
I.2 CLASIFICACIÓN DEL DRENAJE ARTIFICIAL.....	16
I.3 DRENAJE SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO.....	17
II. DRENAJE LONGITUDINAL.	
II.1. CUNETAS.....	19
II.2. CONTRACUNETAS.....	26
II.3. BORDILLOS.....	29
II.4. CANALES DE ENCAUZAMIENTO.....	33
II.5. DIVERSOS :	
a) LAVADEROS.....	34
b) BORDOS.....	39
c) BOMBEO TRANSVERSAL.....	40
d) BERMAS.....	42
e) ESCALONAMIENTOS.....	43
III. DRENAJE TRANSVERSAL.	
III.1. ALCANTARILLAS.	
• DEFINICIÓN, OBJETIVO Y CLASIFICACIÓN.....	44
• CARACTERÍSTICAS GENERALES:	
LOCALIZACIÓN, COLOCACIÓN Y LONGITUD, Y ALINEAMIENTO.....	50
• FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO.....	
• RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS PARA LA COLOCACIÓN.....	56
• CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN :	
ALCANTARILLAS RÍGIDAS.....	57
ALCANTARILLAS FLEXIBLES.....	65
• ELECCIÓN DEL TIPO DE OBRA.....	69

III.1.2. TUBOS.....	73
III.1.3. BÓVEDAS.....	78
III.1.4. LOSAS SOBRE ESTRIBOS.....	81
III.1.5. CAJÓN.....	87
III.2. VADO.....	89
III.3. PUENTE-VADO.....	91
III.4. SIFÓN INVERTIDO.....	92
III.5. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y SOLUCIONES DE DRENAJE MAYOR.....	96
IV. DRENAJE SUBTERRÁNEO.	
IV.1. CONDICIONES GENERALES.....	98
IV.2. DEFINICIÓN, OBJETIVO Y CLASIFICACIÓN DE DRENES.....	101
V. PUENTES.	
V.1. DEFINICIÓN, OBJETIVO Y CLASIFICACIÓN.....	114
V.3. ESTUDIOS PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES.....	118
ANEXO I.....	132
ANEXO I.....	142
GLOSARIO.....	147
CONCLUSIONES.....	149
BIBLIOGRAFÍA.....	150



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN.

Las carreteras son consideradas como una de las principales vías de comunicación, teniendo en cuenta que está evaluadas y programadas de acuerdo a beneficios sociales y económicos de la población, razón por la cual, es responsabilidad del Ingeniero Civil proyectar tales estructuras de manera que logren satisfacer las necesidades requeridas.

La experiencia ha demostrado, que el factor más relevante en cuanto a costos y a la vida útil de una carretera, es el que se refiere a los sistemas de drenaje instalados a lo largo de ella; ya que; un drenaje adecuado protegerá y aumentará la vida de la carretera, por eso es conveniente estudiar varias y diversas maneras de drenar una carretera y así mismo, conocer las diferentes estructuras de drenaje, para realizar un proyecto adecuado y lograr solucionar de manera óptima los distintos problemas de drenaje que se presenten a lo largo del trazo de una carretera.

Por tanto, el presente trabajo de tesis "Análisis y Diseño de Drenaje en Carreteras" esta enfocado al estudio de las distintas formas en las que se drena una carretera. Y tiene como objetivo principal comprender los parámetros que abarca el análisis previo al diseño de una variedad de estructuras de drenaje; para realizar un proyecto adecuado y solucionar de manera óptima los problemas ocasionados por el agua en una carretera: evitando principalmente que el agua llegue a la estructura y la dañe, o bien cuando esto sea inevitable, drenarla para desalojar el agua lo más pronto posible.

Para cumplir con el objetivo de este trabajo, se ha convenido en dividir el tema para su correcto desarrollo, en primer lugar, definiendo y clasificando el drenaje en carreteras; y posteriormente revisando cada tipo, abarcado al Drenaje Superficial (Longitudinal y Transversal); Drenaje Subterráneo Y finalmente los Puentes (enfocando su análisis únicamente a la función que desempeñan en el drenaje de carreteras). Cada tipo de drenaje incluye distintas estructuras, las cuales serán analizadas realizando una breve descripción de los principales parámetros, requeridos para realizar un adecuado diseño; pero, debido a la magnitud del tema, serán revisadas solo las obras de mayor importancia.



PRESENTACIÓN

PRESENTACIÓN

El drenaje de los caminos tiene por objeto, en primer lugar, reducir lo más que sea posible la cantidad de agua que llega a las diferentes partes de un camino, y en segundo lugar, dar salida expedita al agua cuyo acceso al camino sea inevitable.

Ahora bien, el agua llega al camino por :

- a) Precipitación directa.
- b) Esguerrimiento del agua del terreno adyacente.
- c) Crecientes de ríos o arroyos.
- d) Infiltración a través del subsuelo del camino.

Así pues, el objetivo que debe perseguir el ingeniero de drenajes es conseguir, en primer lugar, reducir la entrada del agua de cualquiera de las fuentes mencionadas, y en segundo lugar, desalojar rápidamente el agua que puede llegar al camino.

Para que un camino tenga buen drenaje debe evitarse :

- a) Que el agua circule en cantidades excesivas por el camino destruyendo el pavimento y originando la formación de charcos o baches.
- b) Que el agua de las cunetas laterales remoje y reblandezca los terraplenes, originando asentamientos con el consiguiente perjuicio de revestimientos y pavimentos.
- c) Que los cortes de materiales falsos se saturen de agua con peligro de derrumbes de tierra, deslizamientos de los cortes, y aún deslizamientos del camino mismo.
- d) Que el agua de arroyos, hondonadas y thalwegs sea remansada por los terraplenes con el peligro de deslazarlos.
- e) Que el agua subterránea reblandezca la subrasante , formando también charcos o baches; etc.

Como se ve el drenaje adecuado es una de las fases más importantes en un camino, por lo que debe procurarse por todos los medios el mejor drenaje que sea posible.

La experiencia enseña que el drenaje inadecuado más que ninguna otra causa, ha hecho que muchos caminos hallan sido dañados, o bien, hallan perdido su eficiencia, o bien hallan dejado de usarse.

El drenaje imperfecto es el máximo defecto en la construcción de caminos modernos. El drenaje debe preverse y estudiarse desde la localización misma del camino, siendo éste uno de los puntos que constantemente debe tener en la mente el ingeniero localizador, con el fin de evitar en lo posible el trazo de caminos por terrenos que no se drenen por sí mismos, pues eso requerirá drenaje artificial. Así pues, el ingeniero siempre tratará de localizar el camino en suelos estables, permeables y naturalmente drenados. Sin embargo, la necesidad de rutas más directas, las reducciones de pendiente, y la poca uniformidad de condiciones topográficas, requieren hacer grandes cortes y terraplenes en toda clase de suelos. Por tal motivo no puede impedirse que los suelos atraviesen suelos permeables e impermeables, manantiales, filtraciones y exceso de humedad. Por tanto, en muchos casos se necesita emplear sistemas propiamente diseñados de drenaje artificial para dar al suelo la estabilidad necesaria y obtener las condiciones más económicas de cimentación.

En la planeación de un drenaje adecuado es indispensable destacar, que las obras de vías terrestres están íntimamente relacionadas con la Geología, Topografía, Geotecnia y el Clima, de la siguiente manera :

La geología influye en la estructuración de las vías terrestres en lo que se refiere a los materiales que pueden utilizarse y al drenaje que se tenga en las zonas que cruzan ; razón por la que conviene se conozca la formación de accidentes geológicos que se presentan .

La topografía y la precipitación pluvial estarán íntimamente relacionadas con el drenaje y la posición de la rasante. Las características mecánicas o geotécnicas de las zonas en que se localiza la obra influirán en la cimentación de alcantarillas y puentes ; en el uso de materiales y en sus costos.

Para lograr que la vía terrestre opere adecuadamente, su estructura debe ser acorde al tipo de clima de la zona en cuestión. Las zonas con temperaturas altas requerirán carpetas asfálticas de mayor estabilidad que en aquellas con temperaturas menores ; en las zonas de temperaturas de congelamiento se requerirá un espesor de pavimento tal, que rompa el ascenso capilar del agua y no tenga su presencia en las capas superiores, ya que al solidificarse, hace que pierda la compactación de los materiales y, por tanto, disminuya su resistencia.

Relación del drenaje con las etapas principales del proyecto de vías terrestres :

Elección de ruta. Para el fin de la estructuración de la obra, en esta etapa, por medio de recorridos y fotointerpretaciones topográficas y geológicas, se pueden tener datos cuantitativos de pendientes transversales del terreno, de la posible pendiente longitudinal, del tipo y densidad del drenaje, de la formación geológica, las fallas estructurales, los plegamientos de la posición de los echados, de las zonas pantanosas y de inundación. Por tanto, en ésta etapa se deberá de elegir la zona que provoque menos problemas de escurrimiento. De ser posible, utilizando las pendientes máximas permisibles se tratará de aprovechar los parteaguas donde el drenaje será mínimo.

Anteproyecto. En ésta etapa intervienen ingenieros hidrólogos que detallan las características del drenaje y de hidrología a lo largo de la ruta, siendo importante que obtengan los datos de precipitación pluvial.

Proyecto definitivo. El ingeniero geólogo asesora a los especialistas que realizan los estudios definitivos ; los ingenieros hidrólogos detallan los estudios para la construcción de obras de drenaje y los ingenieros especialistas en geotecnia dan a conocer los datos tales cómo : capacidad de carga de las cimentaciones de las terracerías y de obras de drenaje, tanto de alcantarillas como de puentes ; deberán de indicar a lo largo de la línea, la posición del NAF y la clasificación de los materiales, tanto desde el punto de vista geotécnico como para el pago por extracción ; deberán indicar los posibles problemas de subdrenaje y la forma de resolverlos ; así mismo, realizarán las exploraciones necesarias para proporcionar

los bancos adecuados para capas subrasantes y las de base, sub-base y carpeta, de acuerdo con las funciones que vaya a tener cada una de ellas. Con los datos anteriores, por tanto, se deberán de proporcionar los datos definitivos para la construcción del drenaje.

Durante las etapas de anteproyecto, si lo hay, o en la de proyecto definitivo, se hará el estudio detallado del drenaje ; los defectos de una mala elección de ruta, se reflejarán en estas etapas y posteriormente en la construcción y operación del camino.

Otro punto importante en el estudio del drenaje en carreteras es el criterio hidrológico, el cual dependerá de los factores que afectan el escurrimiento del agua, por lo cual se describen a continuación :

- a. Cantidad y tipo de precipitación. Se debe tener en cuenta la cantidad de agua que cae al año.
- b. Ritmo de precipitación. Se debe saber si la precipitación es en forma de aguacero o de lluvia fina durante periodos largos.
- c. Tamaño de la cuenca. El tamaño del área por drenar es importante, ya que un aguacero puede abarcar la totalidad de una cuenca pequeña, pero si las cuencas son muy grandes, la lluvia puede caer sólo en parte de ella e infiltrarse bastante al escurrir sobre la zona no mojada.
- d. Declive superficial. La pendiente de la cuenca es importante, ya que el agua se concentra más rápidamente a medida que la pendiente es mayor y que la topografía permite cruces más directos.
- e. Permeabilidad de suelos y rocas. Si la permeabilidad de suelos y rocas es alta debido a su formación geológica (estratigrafía, fracturación, etc.), el escurrimiento es menor, ya que una parte importante del agua se infiltrará.
- f. Condiciones de saturación. En suelos de saturación alta o con una cubierta de pastizales cerrada, el escurrimiento es cerrado, el escurrimiento es mayor aunque en el último de los casos, puede ser lento.

Actualmente se cuenta con diferentes métodos hidrológicos para obtener el gasto que una cuenca puede aportar. Estos métodos se clasifican en :
Empíricos, Estadísticos y los basados en la relación lluvia-escurrimiento.

Métodos empíricos. Están basados en la experiencia del proyectista y, en general, requieren del conocimiento del tamaño de la cuenca considerada. Este método es válido para zonas que tengan características similares a aquellas que ya han sido desarrolladas ; es por ello necesario que el proyectista aplique un buen juicio y experiencia a fin de seleccionar los factores hidrológicos en forma adecuada.

Métodos estadísticos. Estos hacen uso de datos de precipitaciones y escurrimientos que se han registrado durante un largo tiempo y se basan en los gastos máximos anuales de la corriente de que se trate.

Métodos basados en la relación lluvia-escorrentía. Requieren de datos de precipitación así como algunas características de la cuenca en estudio, su aplicación está limitada a cuencas pequeñas, ya que estos métodos fueron desarrollados para áreas hasta del orden de 50 Km².



CAPITULO I

DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL DRENAJE.

CAPITULO I. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL DRENAJE

I.1. DRENAJE NATURAL Y DRENAJE ARTIFICIAL.

El drenaje es el factor más importante en el estudio y construcción de una vía terrestre; pues, el agua es considerada como la causa principal de la mayoría de los problemas que sufre un camino, ya que en general provoca disminución de la resistencia de los suelos, por lo que se presentan fallas en los terraplenes, cortes y superficies de rodamiento; estas razones conducen a resolver el drenaje, de manera que el agua se aleje lo más pronto posible de la obra.

Para dar solución al problema del drenaje en una vía terrestre se requerirá de drenaje artificial, el cual ayudará a captar, conducir y alejar el agua de la vía.

Debido a que son muy diferentes los procedimientos empleados para captar, conducir y eliminar el agua de la superficie del camino, se requiere dividir el estudio del drenaje en "Drenaje Superficial" y "Drenaje Subterráneo"; sin embargo, para comenzar un estudio adecuado del drenaje es indispensable conocer las características del drenaje natural que se tenga en la zona en estudio.

DRENAJE NATURAL

La buena disposición de los drenajes naturales existentes previamente en el terreno es fundamental durante la construcción, así como en la explotación de la obra terminada. Cuando se construye una obra se rompe generalmente la topografía original al obtener drenajes naturales, y si se efectúa el alejamiento del agua superficial de los terrenos de la obra tanto durante la construcción como cuando la obra está terminada. Debe investigarse el nivel de las aguas del subsuelo, pues los métodos de excavación se complican grandemente cuando el agua sobrepasa el nivel de cimentación o excavación a alcanzar.

Las necesidades de aguas provisionales de obra para la construcción a veces dependen de esta agua del subsuelo y es conveniente conocerla tanto desde el punto de vista cuantitativo como cualitativo.

Tomando en cuenta las características topográficas, geológicas y de posición del nivel de aguas freáticas el drenaje se puede clasificar en bueno, regular y malo; a continuación se describe cada una de manera cualitativa.

Bueno. Considera a aquellas zonas donde la precipitación pluvial es baja, incluyendo generalmente zonas desérticas o semidesérticas con lluvias esporádicas a lo largo del año. Un drenaje bueno se presenta en zonas con pendiente transversal mayor a los 25°, terrenos permeables (grava-arena) y posición del nivel de aguas freáticas (NAF) mayor a 5m.

Regular. Considera zonas con una temporada de lluvias bien definida a lo largo del año. Tal drenaje se presenta en zonas con pendiente transversal entre 10° - 25° terreno semipermeable (arenas limosas ó arenas arcillosas) y posición del NAF con profundidades de 1 y 5m.

Malo. Considera zonas de alta precipitación pluvial, considerando que llueve más del 40 % de todos los días del año (por ejemplo en el Sudeste de la República Mexicana) Un drenaje malo se presenta en zonas con pendiente transversal menor a 10° terrenos impermeables (arcillas), y posición del NAF a profundidades menores de 0.5m.

DRENAJE ARTIFICIAL

Drenaje artificial. Es el conjunto de obras que sirven para captar, conducir y alejar del camino el agua la cual le puede causar problemas.

El drenaje artificial se clasifica en superficial y subterráneo, según que el escurrimiento se realice o no a través de las capas de la corteza terrestre. El drenaje superficial se clasifica, según la posición que las obras guardan con respecto al eje del camino, en paralelo y transversal.

El drenaje longitudinal es el que tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar que lleguen al camino o permanezcan en él, de tal manera que no le causen desperfectos; quedan comprendidos en este tipo las cunetas, contracunetas, bordillos y canales de encauzamiento. Se llaman de drenaje longitudinal porque están situadas más o menos en forma paralela al eje del camino.

El drenaje transversal es el que tiene por objeto dar paso expedito al agua que cruza de un lado a otro del camino, o bien, retirar lo más pronto posible el agua de su corona; quedan comprendidas en este tipo de drenaje alcantarillas (tubos, bóvedas, cajones, losas sobre estribos de mampostería), sifones invertidos, vados, puentes vados y los puentes. De acuerdo a la dimensión del claro de las obras de drenaje transversal, se ha convenido dividir a éste en mayor o menor. El drenaje mayor es aquel que requiere obras con claro mayor a 6 m. A las obras de drenaje mayor se les denomina puentes y a las de drenaje menor alcantarillas.

I.2. CLASIFICACIÓN DEL DRENAJE ARTIFICIAL.

S U P E R F I C I A L

DRENAJE
LONGITUDINAL U
OBRAS DE
CAPTACIÓN Y
DEFENSA

- CUNETAS.
- CONTRACUNETAS.
- BORDILLOS.
- CANALES DE ENCAUZAMIENTO.
- DIVERSOS :
 - LAVADEROS
 - BORDOS
 - BOMBEO LONGITUDINAL
 - BERMAS
 - ESCALONAMIENTOS

DRENAJE
TRANSVERSAL
U OBRAS DE
CRUCE

- ALCANTARILLAS.
- VADOS.
- PUENTE-VADO.
- PUENTES.

DRENAJE ARTIFICIAL

S U B T E R R Á N E O

- ZANJAS CON DRENES DE TUBO.
- DRENES CIEGOS.
- TRINCHERAS ESTABILIZADORAS.
- DRENES TRANSVERSALES DE PENETRACIÓN.

I.3. DRENAJE SUPERFICIAL Y DRENAJE SUBTERRÁNEO.

DRENAJE SUPERFICIAL

Se llama drenaje superficial al que tiende a eliminar el agua que escurre encima del terreno sea que provenga directamente, de la lluvia, de escurrimientos naturales o de aguas almacenadas. El drenaje superficial comprende dos aspectos : uno es que trata de evitar que el agua llegue al camino, por medio de obras que lo protejan y el otro es el que inevitablemente llega al camino, por medio de estructuras especiales.

El sistema de drenaje superficial deberá diseñarse para dar salida en forma eficaz y económica a toda agua que fluye en la superficie de la carretera y para interceptar y eliminar el agua de la superficie de las zonas adyacente. Pueden utilizarse sistemas de drenaje superficial, o para resolver problemas específicos asociados con el flujo del agua subterránea.

Lógicamente, los procedimientos de diseño pueden dividirse en tres fases principales:

- 1) Una estimación probable de la cantidad de agua que puede llegar a cualquier elemento del sistema.
- 2) El diseño hidráulico de cada elemento del sistema.
- 3) Comparación de los sistemas de drenaje y materiales alternativos, además de otras variables con objeto de determinar el sistema más económico.

En la tercera fase, deberá, ponerse atención al seleccionar el sistema que tenga el costo anual más bajo, tomando en consideración todas las variables.

DRENAJE SUBTERRÁNEO.

El drenaje subterráneo o subdrenaje consiste pues en proveer salidas adecuadas para las aguas del subsuelo en colectores y tubos apropiados que intercepten y regulen el escurrimiento de dichas aguas.

En muchos aspectos el drenaje subterráneo es semejante al drenaje superficial, ya que las capas impermeables forman canales bien definidos o vasos de almacenamiento de agua subterránea tal como sucede en la superficie del terreno ; cuando el nivel de agua freática o superficie de aguas subterráneas permanezca a tal altura que reduce la estabilidad de las cimentaciones y otras estructuras, es necesario recurrir a medios artificiales para rebajar el nivel de aguas subterráneas ; esto puede conseguirse perforando el depósito subterráneo para proveerlo de una salida. En otras ocasiones es preciso interceptar las aguas subterráneas antes de que al área que afectan de modo adverso.

Para poder fijar los requisitos de un adecuado drenaje subterráneo. lo primero que es necesario hacer es localizar el agua subterránea que está causando o va a causar perjuicios, determinar de donde mana y hacia donde se inclina la capa freática. Para ello es necesario muestrear el terreno en diferentes lugares, levantar secciones transversales y perfiles, anotar el resultado de los muestreos en cada sondeo indicado de la clasificación de los suelos y la humedad en diferentes niveles.

Los datos de campo que se siguen son esenciales para el proyecto de drenaje subterráneo.

A. Plano del lugar a escala, indicando :

- 1) La distancia de la línea del centro del camino al pie del talud del terraplén; a la cima del talud del corte, y al de las cunetas.
- 2) Localización y dimensiones de la obra de drenaje que existan.
- 3) Localización de banquetas, lugares impermeables, entrada a las propiedades adyacentes, cercas, etc.
- 4) Localización de los sondeos.

B. Perfiles de :

- 1) Línea del centro del camino.
- 2) Nivel del agua en las cunetas tanto en la creciente como normalmente.
- 3) Nivel del agua en crecientes y en nivel normal en obras de drenaje superficial.

C. Secciones transversales indicando :

- 1) Curvas de nivel en los estratos superficiales y subterráneos.
- 2) Elevación del nivel freático y el fondo del estrato del acuífero.
- 3) Clasificación de los estratos del camino.
- 4) Ancho del pavimento del camino.
- 5) Ancho del terraplén en la corona.



CAPÍTULO II
DRENAJE LONGITUDINAL

CAPITULO II. DRENAJE LONGITUDINAL.

El drenaje longitudinal comprende obras de captación y defensa, cuya ubicación hay que fijar, calculando también área hidráulica requerida, sección, longitud, pendiente y elevación del fondo, tipo y proyecto constructivo.

El drenaje longitudinal comprende las obras siguientes :

- 1) Cunetas.
- 2) Contracunetas.
- 3) Bordillos.
- 4) Canales de encauzamiento.
- 5) Diversos.

II.1. CUNETAS.

Definición : Son canales que se construyen a un lado (sección en balcón) o en ambos lados de un tramo del camino (sección en cajón o en corte).

Objetivo o finalidad.

Las cunetas longitudinales son proyectadas para satisfacer una o varias de las finalidades siguientes :

- a) Recoger las aguas del área de influencia del ancho de corona y en las curvas en su totalidad.
- b) Recoger las aguas que escurren por los cortes y pequeñas áreas adyacentes.
- c) Recoger las aguas infiltradas en el firme.
- d) Almacenar la nieve.
- e) Controlar el nivel freático.

Localización.

Su localización está al borde de los acotamientos. Cuando la cuneta pasa de corte a terraplén, debe protegerse éste, prolongando la cuneta sobre el terreno natural o prolongando el corte, alejándola al pie del terraplén para evitar que el agua la erosione o bien si la pendiente es contraria (caso de curva sobreelevada) deberá pasarse transversalmente mediante una alcantarilla.

Diseño :

Al proyectar una cuneta se deben fijar, mediante los cálculos hidráulicos correspondientes, su sección transversal, la pendiente longitudinal, los puntos de desagüe, así como el tipo de revestimiento en caso necesario.

Las cunetas se deben proyectar bajo las siguientes normas :

Capacidad :

Fórmula de Manning. La capacidad hidráulica se puede determinar aplicando la fórmula de Manning, con los coeficientes de rugosidad que se señalan en la Tabla II.1.1. La fórmula de Manning es aplicable a diversos tipos de cunetas. Existe también nomogramas, los cuales se han elaborado a partir de la aplicación de la fórmula de Manning y tienen como finalidad obtener el gasto para cunetas de diferente sección transversal y para distintas condiciones dadas, tales como velocidad, en m/s ; pendiente, en porcentaje ; y la altura de la lámina de agua, en m. Mediante el análisis de cauces naturales bien definidos, se puede obtener el caudal, aplicando la fórmula de Manning para movimiento de cauces abiertos.

$$Q = 1/n AR^{2/3} S^{1/2}$$

Donde :

Q : Caudal, en m³/s

n : Coeficiente de rugosidad del cauce.

A : Area de la sección de la corriente, en m².

R : Radio hidráulico, en m

P : Perímetro mojado correspondiente al tramo elegido para el máximo nivel del agua, en m

S : Pendiente de la línea de carga.

Tabla II.1.1. Coeficiente *n* de rugosidad aplicable en la fórmula de Manning

<i>Cursos naturales del agua Naturaleza del cauce. / Condición general del cauce.</i>	<i>Muy buena</i>	<i>Buena</i>	<i>Regular</i>	<i>Mala</i>
1. Limpio, con márgenes rectas, tirante grande, sin bajos ni pozos profundos.	0.025	0.0275	0.030	0.033
2. Limpio, con márgenes rectas, tirante grande, sin bajos ni pozos profundos y con algo de yerbas y piedras.	0.030	0.033	0.035	0.040
3. Sinuoso, con algunos pozos y bancos de arena, limpio.	0.033	0.035	0.040	0.045
4. Sinuoso, con algunos pozos y bancos de arena, limpio, tirante pequeño y secciones y pendientes menos efectivas.	0.040	0.045	0.050	0.055
5. Sinuoso, con algunos pozos y bancos de arena, con algo de yerbas y piedras.	0.035	0.040	0.045	0.055
6. Sinuoso, con algunos pozos y bancos de arena, tirante pequeño, secciones y pendientes menos efectivas, cauce pedregoso.	0.045	0.050	0.055	0.060
7. Tramos de corriente muy lenta, con mucha yerba o con pozos muy profundos.	0.050	0.060	0.070	0.080
8. Tramos demasiado llenos de yerba, y muy poca profundidad.	0.075	0.100	0.125	0.15

La determinación de los elementos de la fórmula se realizará de la manera siguiente :

1. Se elige un tramo del cauce cuya longitud mínima sea 60 m, el cauce debe ser en lo posible : uniforme, de alineación recta, próximo al lugar de ubicación de la obra, debe mostrar señales claras de los niveles máximos alcanzados por las riadas.
2. Deducir la pendiente del perfil de los máximos niveles alcanzados por el agua, para obtener un valor aproximado de la pendiente "S" de la línea de carga, dividiendo la pérdida de altura del principio al final del tramo por la longitud del mismo.
3. Se debe de obtener el coeficiente de rugosidad "n" de acuerdo a las características del cauce.

NOTA : El caudal obtenido mediante la fórmula de Manning es meramente una aproximación del caudal real ; ya que en la fórmula de Manning se plantea una hipótesis donde la pendiente "S" es considerada como la pérdida de altura del agua en un tramo dividida entre la longitud del mismo, cuando en realidad es la pendiente de la línea de carga ; y como consecuencia es necesario realizar otro tanteo de caudal, el cuál sea más aproximado al caudal real.

4. El caudal obtenido en el primer tanteo se dividirá entre las áreas medias a la entrada y a la salida del tramo, con el objeto de obtener valores aproximados de la carga de velocidad en ambas secciones.
5. Se obtiene la carga dinámica, restando el valor de la diferencia de niveles de agua a la entrada y a la salida del tramo, por lo que :

$$(V^2 / 2g) = [(Q / A_{entrada})^2 / 2g] - [(Q / A_{salida})^2 / 2g]$$

6. Se divide el resultado anterior entre la longitud del tramo, obteniendo de esta forma el valor corregido de la pendiente "S_c".
7. A partir de la pendiente corregida se procede a calcular el valor del caudal Q más próximo al real.

Fórmula de Talbot. Esta fórmula relaciona la sección de desagüe necesaria con el área de la cuneta, de la siguiente manera :

$$J = k A^{3/4}$$

Donde :

- J : Sección de desagüe de la obra, en m².
- k : Coeficiente variable de las características topográficas y físicas de la cuenca aportadora.
- A : Superficie de la cuenca aportadora, en Ha.

Sección transversal :

La tendencia es hacer las cunetas tan pequeñas y poco profundas como sea posible, tanto para mayor seguridad, como para mayor economía en la construcción y conservación de la misma, ajustándose de cualquier modo a las necesidades hidráulicas, donde su diseño se basa en los principios del flujo de los canales abiertos. No se usarán nunca de sección rectangular, por peligrosas y por tener conservación difícil, además de que pasan humedad a la base del camino. Tampoco deben de usarse de sección trapezoidal. Se emplearán las de sección triangular con el talud adyacente al camino lo más tendido posible, de preferencia como prolongación del bombeo. Es conveniente emplear una sección de cuneta constante no solo para la buena apariencia y seguridad del camino, sino también con el objeto de hacerla de más fácil construcción y conservación. Los taludes de las cunetas de sección triangular deben de ser tan inclinadas como sea posible, aunque su desventaja es que deben de hacerse muy anchas en pendientes suaves y si el camino va en cortés muy fuertes puede resultar muy costoso dar el ancho necesario. La cuneta triangular tiene la ventaja de que su forma se aproxima al badén común, y así si algún día se amplía la pavimentación del camino, con poco trabajo podrá transformarse la cuneta en badén. Se designa con el nombre de badén a toda cuneta que además de ser pavimentada tiene la característica de que forma parte de la calzada misma, por lo que es de poca pendiente, de poca profundidad y con frecuentes salidas para el agua, haciendo estas salidas mediante rejillas, coladeras, etc.

Pendientes :

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 límite la velocidad que puede resistir el terreno sin erosiones. Debe conservarse siempre la misma velocidad del agua en las cunetas, por lo que es necesario proyectar transiciones y cambiar la sección en los cambios de alineamiento tanto vertical como horizontal, pues en las curvas el agua tiende a salirse y en los cambios de pendiente tiende a perder o a aumentar la velocidad, ocasionando en esa forma depósitos o erosiones. Siempre que sea posible, se procurará llegar al 1% de pendiente ; sin embargo, las pendientes mínimas serán las siguientes :

- a). Cunetas revestidas 0,2 %
- b). Cunetas sin revestir 0,5 %

Velocidad :

La velocidad de circulación del agua debe limitarse para evitar la erosión, sin reducirla tanto que pueda dar lugar al depósito de sedimentos. La velocidad mínima aconsejable es de 0.25 m/s y las máximas admisibles se indican en la Tabla II.1.2.

TABLA II.1.2.

MATERIAL	VELOCIDADES ADMISIBLES EN CANALES			VELOCIDADES MAXIMAS RECOMENDABLES PARA CUNETAS
	AGUA CLARA	AGUA CON SEDIMENTOS COLOIDES	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	1.15	1.50	0.90	0.90
Grava fina	0.75	1.50	1.15	1.15
Grava gruesa				1.20
Barro y grava	1.15	1.50	1.50	1.50
Pizarras suaves				1.50
Tepetate				
Cunetas zampeadas				
Roca firme				

Velocidades máximas recomendables para cunetas, en metros por segundo.

Dimensiones :

Se determinarán de acuerdo con su forma y capacidad. Existe sin embargo, una cuneta tipo la cual tiene talud interior de 3 : 1 (del lado del camino) y 1.5 : 1 del lado exterior con un tirante de agua de 30 cm. Figura II.1.1.

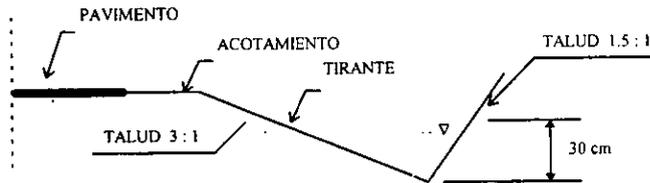


FIGURA II.1.1. CUNETA TIPO.
(CORTE LONGITUDINAL)

Longitud. Se limitará la longitud de las cunetas desaguándolas en los cauces naturales del terreno, en las obras de fábrica que cruzan la carretera, o proyectando desagües donde no existan, de forma que la longitud máxima entre desagües no exceda de 150 m.

Sin embargo, para que el funcionamiento de las cunetas sea eficiente, la longitud de las mismas en terrenos semiplano será del orden de 400 a 500 m ; y en montañoso, de 200 a 250 m ; medida a partir del parte aguas o cresta hasta su desalajo ya sea en terreno natural o en una obra de alivio. Es de suma importancia señalar que las cunetas no deben interrumpirse en la transición de desmonte a terraplén, de cuyo pie las aguas deberán alejarse proyectando cauces bien definidos ; es así como se proyectan cunetas de coronación en desmonte y cunetas de coronación en terraplén.

Material es.

El recubrimiento de cunetas se ejecutará en el lugar, de las dimensiones y características fijadas por el proyecto y/o ordenadas por la S.C.T. salvo indicación en contrario, se observará lo siguiente :

- En general, el recubrimiento se hará un zampeado de mampostería, de concreto hidráulico o de suelo-cemento.
- Previamente a la colocación del recubrimiento, la superficie de la cuneta deberá estar compactada al porcentaje fijado en el proyecto, en un espesor mínimo de 10 cm, debiéndose afinar y construir con una pendiente longitudinal no menor de 0.3 %.
- Si la superficie terminada de la cuneta presenta grietas, éstas deberán llenarse con mortero del mismo tipo que el usado para el recubrimiento.
- El espesor mínimo del recubrimiento en zampeados de mampostería deberá ser de 20 cm en el caso de concreto hidráulico y suelo-cemento, el espesor no será menor de 8 cm, dejando juntas de construcción a no más de 6 m, que deberán sellarse con un material asfáltico. Los recubrimientos de tipo suelo-cemento se utilizarán preferentemente en cunetas con pendiente suave.

Conservación :

La conservación de las cunetas consiste en mantenerlas para aprovechar toda su capacidad, mediante el desyerbe y desazolve, además de esta limpieza se cuidará que conserven su forma y dimensiones para la cual hay necesidad de volver a formarlas, cuando han perdido la sección. Con frecuencia se suelen zampear para su fácil conservación y mayor economía. El zampeado consiste en una capa de piedra junteada con mortero de cemento. Cuando hay duda acerca de que si debe o no zampearse una cuneta, es preferible no hacerlo enseguida sino, esperar a que el tiempo demuestre si la sección y la pendiente de la misma son o no adecuados.

Cuando la pendiente es menor del 7% y el tirante de agua de 10 a 15 cm no es necesario zampearlas. Cuando el tirante es mayor de 15 cm es necesario zampear para pendientes de más del 3% si el suelo es arena o arcilla, y para pendientes de más del 5 % si el suelo es grava firme.

Una cuneta deberá protegerse en pendientes fuertes cuando su longitud sea más de 60 metros a partir de una cresta o de una alcantarilla de alivio debido a que mientras más larga sea la cuneta más agua llevará, erosionará más, y resultará antieconómica la conservación.

II.2. CONTRACUNETAS.

Definición : Son canales que se construyen en las laderas del lado aguas arriba de los cortes de una obra vial. Las contracunetas están definidas por su capacidad hidráulica, relacionada con la frecuencia e intensidad de precipitación pluvial en la zona.

Objetivo o finalidad.

El objetivo de las contracunetas es interceptar el agua de lluvia que escurre hacia el camino y desviarla a fin de que no provoque insuficiencia en las cunetas, provocando deslaves en los taludes de los cortes, etc.

Localización

Para localizar una contracuneta es básico tomar en cuenta la estratificación de las capas geológicas, pues si en la excavación llega a un manto poroso por donde se filtre el agua, ello ocasionaría deslaves y derrumbes.

El uso adecuado de una contracuneta es en terrenos montañosos y de lomerío, debiendo seguir aproximadamente la dirección de las curvas de nivel para que el escurrimiento que realice sea perpendicular.

Es decir, su localización está relacionada con su funcionamiento pues, se colocarán siempre en laderas, del lado de aguas arriba y a cierta distancia de la orilla del corte. Como son normales a la línea máxima de pendiente del terreno, prácticamente quedan paralelas al eje del camino. Consecuentemente, cuando el eje del camino siga la línea de máxima pendiente del terreno, no deben de construirse contracunetas, pues en ese caso su funcionamiento no es nulo, sino perjudicial.

En cuanto al origen de la contracuneta, éste debe localizarse en la parte más alta de la cresta y a una distancia conveniente de la orilla del corte. Su desfogue debe ser siempre libre y lo suficientemente alejado del terraplén para no ocasionar perjuicios en él.

En las contracunetas localizadas en cortes usualmente se presentan los casos siguientes :

- a) En cortes no protegidos por una topografía apropiada (hechos en laderas y pendiente sostenida hacia la vía terrestre en extensiones grandes; que ofrecen una área de captación de consideración).
- b) En cortes formados por materiales erosionables y capaces de proporcionar corrientes importantes de gasto sólido (suelos limosos, limo-arenosos, arcillosos, depósitos de talud, formados por mezclas de suelos gruesos y material de empaque variado, pero más fino); en éstos casos la contracuneta deberá ser revestida.

Diseño.

Las contracunetas suelen diseñarse por proyecto tipo, formando un canal de sección trapecial con 60 u 80 cm de plantilla y taludes conforme a la naturaleza del terreno, su profundidad esta comprendida entre 40 y 60 cm.

Capacidad.

La capacidad hidráulica esta relacionada con la frecuencia e intensidad de precipitación pluvial de la zona . El área hidráulica es determinada en función de la superficie a drenar y del coeficiente de escurrimiento.

Generalmente las contracunetas son de forma trapecial con base de 0.50 a 0.90 m, altura promedio de 1.0 m y taludes de 1 :1. Para impedir que el agua de infiltración ocasione falla del talud del corte se recomienda un $d \geq 3h$. (Figura No.II.2.1.).

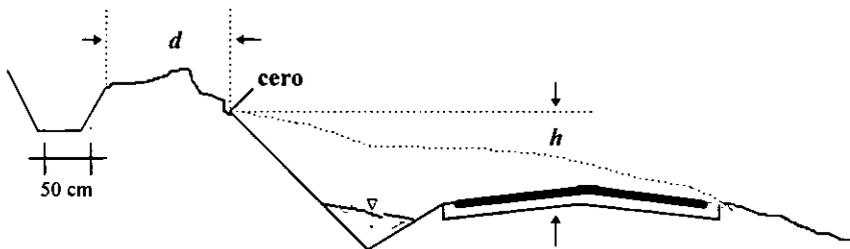


FIGURA No. II.2.1. Contracuneta tipo.

Materiales.

El recubrimiento de contracunetas se ejecutará en el lugar, de las dimensiones y características fijadas por el proyecto y/o ordenadas por la S.C.T. salvo indicación en contrario, se observará lo que corresponde de lo indicado en cunetas.

Construcción.

Cuando se construyen excavando un canal, se excavan a mano o con equipo ligero (zanjadoras, tractores livianos, conformadoras, etc.); el material producto de la excavación se colocará aguas abajo de ella (por lo menos a 1 m) ó mejor debe retirarse. Estas cunetas no deben ser muy profundas y a veces se hacen con sección de zanja y bordillo para minimizar la excavación.

Es recomendable construir contracunetas impermeabilizadas con suficiente pendiente para garantizar un rápido drenaje del agua que captan; por lo regular las contracunetas emplean como material de recubrimiento el concreto, convencional o de tipo especial; la mampostería, el suelo-cemento; el suelo-asfalto, etc.

En contracunetas no revestidas el talud será más tendido para evitar la erosión ; sin embargo, también se diseñan proponiendo una sección transversal adecuada al caudal que deba desalojar, por lo que se requiere calcular su capacidad.

Es importante resaltar que los remates de las contracunetas a ambos lados de los cortes deben ir también provistos de lavaderos para neutralizar la erosión que pudiera provocar el exceso de pendiente. Por otro lado, la unión entre las estructuras como cuneta, contracuneta y el correspondiente lavadero suele ser una zona crítica, ya que en ellas existe riesgo de el agua se introduzca bajo el último, erosionando y disminuyendo su sustentación, con riesgo de falla ; para evitar este peligro se recomienda ampliar la zona de unión sin quiebres y que el lavadero tenga un dentellón de entrada para protegerlo del efecto de filtración (la profundidad mínima recomendable es de 50 cm).

II.3. BORDILLOS.

Definición : Los bordillos son pequeños parapetos que se construyen en los bordos de las coronas de los terraplenes para impedir que el agua se desborde por los taludes erosionándolos.

Objetivo o finalidad.

Tienen como objeto encauzar el agua donde exista lámina extensa y sin cauce definido y evitar la construcción de un gran número de alcantarillas. Los bordillos tienen una utilidad que suelen justificar ampliamente su costo y deben también recomendarse en caminos aún no pavimentados, como estructuras de drenaje provisional.

Localización.

Los bordillos son estructuras que se colocan en el lado exterior del acotamiento en las secciones en tangente, en el borde opuesto al corte en las secciones en balcón o en la parte interior de las secciones de terraplén en curva.

Según las normas de la S.C.T. se especifica que a cada 50 m de longitud como máximo deberá dejarse un espacio libre para la descarga de los escurrimientos a los lavaderos que se coloquen en los taludes.

Diseño.

Capacidad :

El gasto que debe de esperarse para ser canalizado por un bordillo puede ser canalizado por un bordillo puede calcularse en función del área drenada (entre lavaderos), de la precipitación máxima por hora y de la duración de ésta.

Para el cálculo de la capacidad hidráulica de los bordillos se puede utilizar la fórmula siguiente :

$$Q = 0,00383 (a + H)^{3/2}$$

Donde :

Q : Caudal, en l/s.

a : Depresión en la entrada,
si existe, en cm.

H : profundidad de la lámina
de agua, en cm.

Sección transversal :

La práctica mexicana utiliza generalmente bordillos de sección trapecial, de concreto asfáltico o hidráulico (Figura II.3.1).

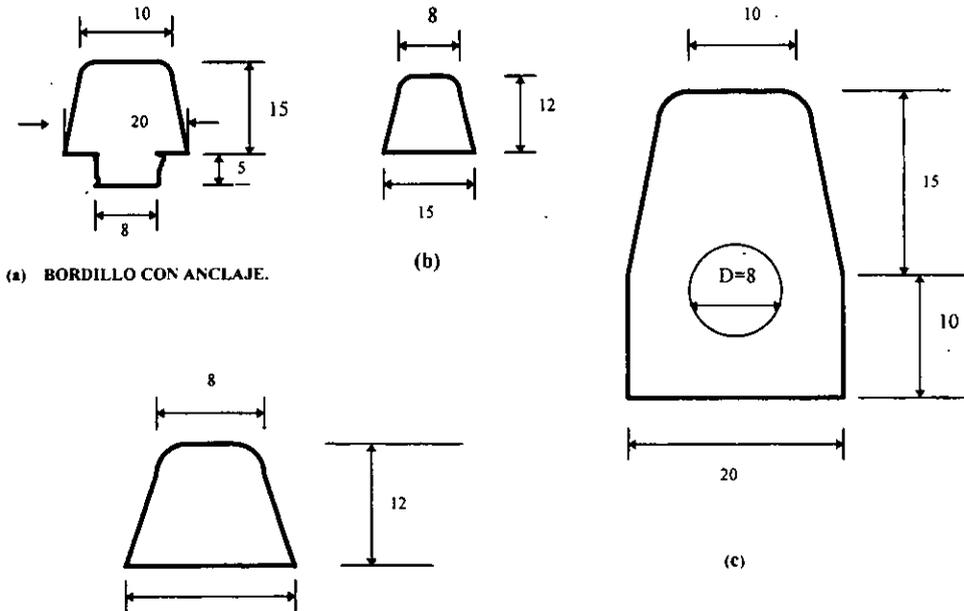


FIGURA II.3.1. TIPOS DE BORDILLOS COMUNES EN LA PRACTICA MEXICANA

a y b. Bordillos de concreto asfáltico, elaborado con material pétreo de tamaño máximo de ¼" y cemento asfáltico No. 6 en proporción aproximada de 100 kg/m³ de material pétreo.
 c y d. Bordillos de concreto hidráulico, con $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

(Cotas en cm).

El anclaje que muestra el bordillo tipo **a** lo fija muy adecuadamente al material del acotamiento, protegiendo el alineamiento; el anclaje no se construye continuo, sino intermitente, por ejemplo en pequeños tramos de 8 ó 10 cm cada 6m. El bordillo tipo **b** con más frecuencia puede verse en las carreteras mexicanas.

La altura del bordillo debe ser suficiente para que no sea rebasado por el agua almacenada, pero no debe rebasar ciertos límites, arriba de los cuales crea una sensación psicológica de confinamiento que es inconveniente para el vehículo que ha de estacionarse en el acotamiento ó eventualmente circular por él; los bordillos demasiado altos también pueden impedir la apertura de puertas de los vehículos estacionados. No debe pasarse de 25 cm en la altura de los bordillos, pero funcionarán muy bien en la gran mayoría de los casos estructuras con 12 ó 15 cm.

Pendiente.

Al aumentar la pendiente longitudinal de la carretera aumenta la velocidad de escurrimiento del agua confinada por los bordillos, y por consiguiente, disminuyen el requerimiento de área hidráulica, el tirante y el ancho de la lámina de agua. Los efectos anteriores también se favorecen si el coeficiente de rugosidad de los acotamientos es bajo, por lo que es conveniente tener un buen acabado superficial en esas zonas. Conviene que exista algo de pendiente longitudinal en las carreteras; sin embargo, el tirante o el ancho de la lámina que escurre confinada por el bordillo son funciones muy poco sensibles a la pendiente longitudinal por lo que bastará disponer de un valor pequeño de éste concepto en la vía terrestre.

Construcción.

Es usual unir el bordillo con los lavaderos por medio de dos curvas, confinando la zona deprimida del acotamiento. La curva correspondiente al lado agua arriba del bordillo respecto al lavadero suele hacerse más amplia que la de aguas abajo, para facilitar el paso del agua.

Es de suma importancia destacar que los bordillos son particularmente útiles en los terraplenes construidos con materiales arenosos o areno-limosos. Se construyen generalmente de suelo-asfalto (en proporciones que producen prácticamente una mezcla asfáltica), de suelo-cemento y aun concreto hidráulico; aunque se podría utilizar la piedra donde ésta exista y se desee el empleo masivo de mano de obra. En la construcción de bordillos de concreto asfáltico o hidráulico ha de emplearse cimbra metálica o de madera, a no ser que se disponga de máquinas especiales, que permitan la construcción en forma mucho más expedita de lo que permite el empleo de cimbra, que da lugar a operaciones lentas y caras. Las máquinas especiales tienen un molde de la estructura que es alimentado del material correspondiente por un tornillo sin fin; en estos casos es esencial vigilar la velocidad de avance de la máquina, que define la consistencia estructural y el buen acabado de la obra; especialmente, los bordillos de concreto hidráulico requieren juntas de expansión, que suelen disponerse a cada 10 m, en éste mismo material deberá cuidarse especialmente el curado. En el uso de concreto asfáltico es también muy importante un adecuado control de la temperatura; valores elevados de ésta conducen a obras sin la debida liga, que se desintegran, en tanto que temperaturas bajas producen estructuras poco resistentes, por manejarse un producto de excesiva viscosidad. Ciento treinta grados centígrados es un valor recomendable para la temperatura en condiciones normales. Además se debe tener cuidado especial al proporcionar el material pétreo para fabricar el

concreto asfáltico para los bordillos, proporcionando para ello los límites entre los que debe mantenerse la curva de distribución granulométrica, (Tabla II.3.1).

Tabla II.3.1

Malla	% que pasa en peso
¾"	- - 100
½"	100 - 85
3/8"	100 - 75
No. 4	80 - 60
No. 8	60 - 45
No. 50	30 - 18
No. 100	15 - 5

Cuando los bordillos sean de concreto hidráulico, se fijarán al terreno por empotramiento por medio de anclajes. Cuando éstos sean de concreto asfáltico deberá aplicarse previamente un riego de liga para mejorar su adherencia a la superficie de desplante; cuando sean provisionales, para proteger terracerías que no se vayan a pavimentar de inmediato serán preferentemente de suelo-cemento.

Conservación.

La conservación de los bordillos es costosa. En ocasiones, llega a ser innecesaria, cuando los taludes se vegetan suficientemente con el tiempo; en tales casos los bordillos deberán eliminarse. Sin embargo, en los bordillos que ya están construidos la liga entre los bordillos y los lavaderos o bajadas que finalmente eliminan al agua de la corona de la vía debe ser motivo de atención, para el mantenimiento eficiente del sistema; a éste respecto convendrá deprimir ligeramente la superficie del acotamiento cerca de la entrada de los lavaderos.

II.4. CANALES DE ENCAUZAMIENTO.

Definición : Son comprendidos como canales auxiliares. Los cuales son obras de protección que se realizan para encauzar una corriente e impedir que el agua llegue y dañe al camino. Sus dimensiones, pendiente y longitud están de acuerdo al gasto por desalojar. Los canales de encauzamiento son aquellos que se construyen a distancias relativamente grandes de la vía terrestre y no están específicamente ligados a un corte en particular, sino que difieren un tramo más o menos largo de la vía independientemente de cual sea la naturaleza de su sección.

Objetivo o finalidad .

El objetivo de estos canales es el encauzamiento de las aguas superficiales que escurrirían hacia la corona de la vía terrestre, causando en ella erosiones y depósitos inconvenientes e interceptar el agua antes que llegue al camino y lo conduzca a sitios elegidos con anticipación para construir una obra y efectuar el cruzamiento.

Localización.

Se localizan en terrenos sensiblemente planos, donde el escurrimiento es de tipo torrencial y no existen cauces definidos. Su función es análoga a la de las cunetas, solamente que éstas casi siempre se localizan a los lados en los cortes para recoger el agua que escurre sobre la superficie, así como en los caminos a pelo de tierra y aquéllos deben colocarse lo suficientemente lejos del camino para que no haya saturación de agua. Se utilizan tanto en el caso de líneas a pelo de tierra, como en el caso de terraplenes.

Su ubicación es usual en :

- a). Escurrimientos por laderas naturales con pendientes hacia la vía, estos canales funcionan de manera análoga a una contracuneta.
- b). En conexión con alcantarilla, para llevar a su entrada las aguas que han de cruzarlas ó para controlar la descarga de las que ya lo han hecho.

Diseño.

Sus dimensiones, pendiente y longitud deberán calcularse de acuerdo con el área por drenar o sea el gasto, según los procedimientos habituales en hidráulica.

La pendiente del canal debe proyectarse tomando en cuenta, entre otros factores, el que la descarga se efectuó en el sitio preestablecido y evitar la construcción de canales de salida de gran longitud.

Construcción.

Los canales de encauzamiento se construyen por excavación manual ó con equipo ligero del tipo de máquinas zanjadoras, conformadoras o tractores más o menos livianos. El material producto de excavación siempre se colocará aguas abajo del canal.

II.5. DIVERSOS.

a) LAVADEROS.

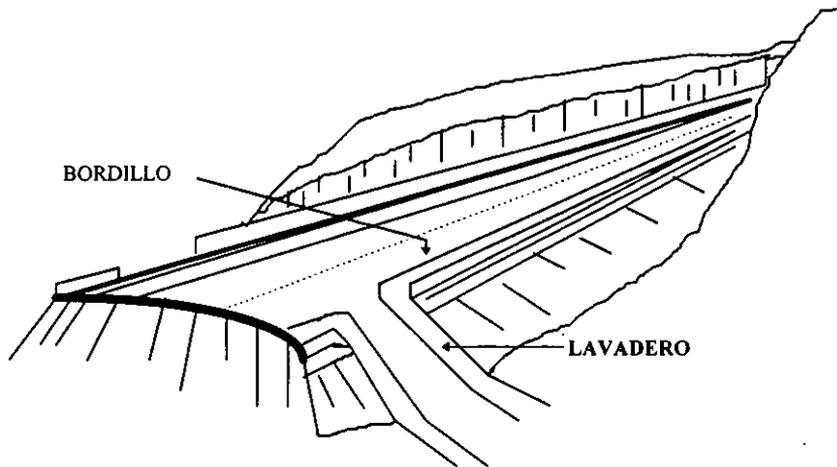
Definición : Los lavaderos son canales que se conectan con los bordillos, éstos se construyen sobre los taludes para dar salida a una corriente, sin que la erosionen. En general son estructuras de muy fuerte pendiente y en esta circunstancia radica la mayoría de los problemas que lo aquejan.

Objetivo o finalidad.

Los lavaderos son estructuras que tienen la misión de conducir el agua de lluvia que escurre por los acotamientos hasta lugares alejados de los terraplenes, en donde ya no sea inofensiva.

Localización.

En caminos se encuentran en los terraplenes, sobre los lados de cortes en balcón (generalmente a la entrada y a la salida) o en los lados interiores de curvas, cuando corresponden a secciones también en terraplén. En tramos en tangentes suelen disponerse cada 60 o 100 m, pero esta separación puede ser variable, dependiendo de la pendiente longitudinal de la vía terrestre y del régimen de precipitación pluvial de la zona. En la Figura II.5-a.1. se muestra la planta típica de un lavadero construido de mampostería, en corte según su eje longitudinal y una perspectiva de la posición de su disposición en una carretera.



PERSPECTIVA
FIGURA II.5.a.1. LAVADEROS.

En terraplenes muy altos puede convenir colocar los lavaderos transversal y longitudinalmente, colocando algunas secciones en la dirección longitudinal sobre la superficie del talud, para captar y eliminar las aguas que caen directamente sobre éste, formando así una verdadera retícula canalizadora. Los lavaderos se colocan también como elementos eliminadores del agua captada por cunetas y contracunetas.

Diseño.

Capacidad.

La capacidad del umbral de entrada del lavadero dependerá de la separación entre ellos, del gasto total que escurre por el bordillo y del tirante en una sección inmediatamente antes del umbral. La longitud del umbral de entrada se calcula con la fórmula siguiente :

$$L_u = Q / 0.386 (a + y)^{3/2}$$

Donde :

- L_u : Longitud del umbral de entrada al lavadero, en m.
- Q : Gasto que entra al lavadero y ha de descender por él, en $m^3/seg.$
- a : Desnivel entre la sección más deprimida del umbral de entrada al bordillo, en m.
- y : Tirante de escurrimiento sobre el acotamiento, en una sección próxima al umbral de entrada, en m.

Dicha fórmula toma en cuenta el cambio brusco que ha de sufrir el agua en esa dirección. Por lo difícil que es de lograr que todo el gasto que baja confinado por el bordillo sea captado por el lavadero, dando el brusco viraje que el agua ha de hacer, únicamente el 80 y 90 % del agua es captada. Haciendo referencia nuevamente a la fórmula anterior, es común que las entradas de todos los lavaderos sean iguales, con capacidades de descarga muy similares, manejándose las diferentes necesidades de captación más bien con base en la separación entre los lavaderos. Si L es la longitud del umbral de entrada del lavadero elegida como estándar y L_u es la longitud necesaria para captar todo el gasto que llegue, la Figura II.5-a.2. proporciona la porción de gasto total que es capaz de captar la entrada de longitud L ; en la figura se denomina Q al gasto total que llega y Q_c al gasto captado, y con la Figura II.5-a.3., complementaria de la anterior, puede calcularse la longitud necesaria en la entrada del lavadero (L_u) para captar todo el gasto Q que llega a ella.

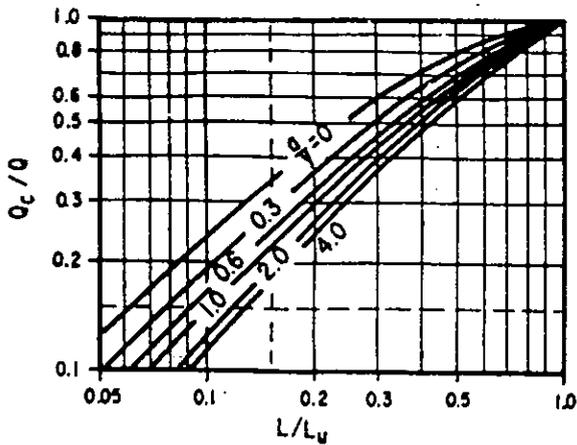
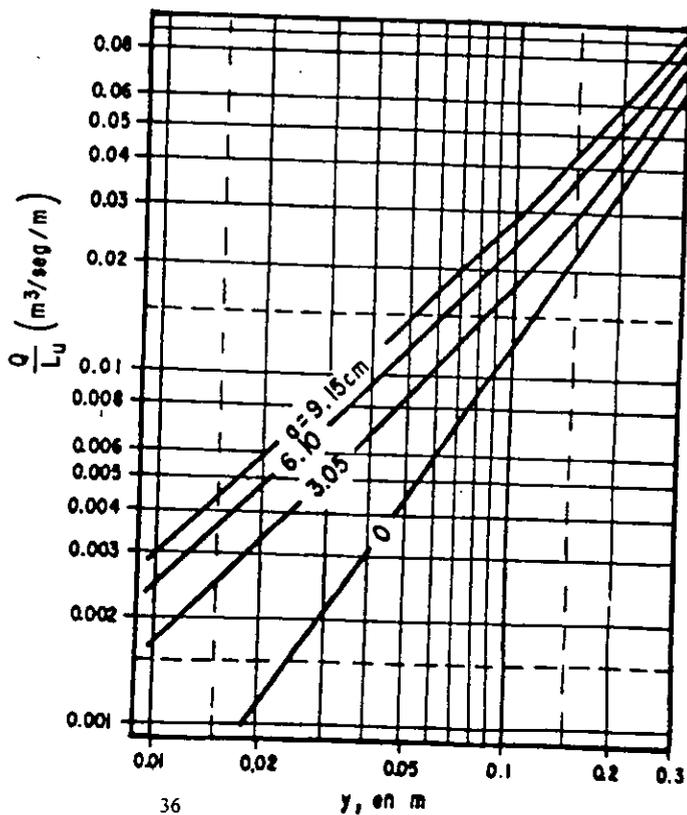


FIGURA II.5-a.2.
Porción del gasto total que es capaz
de captar una entrada de lavadero
de longitud L .

FIGURA II.5-a.3.
Longitud de entrada a
un lavadero para
captar todo el gasto de
llegada.



Velocidad.

Las fuertes velocidades con que el agua baja por el lavadero propician la construcción de una caja disipadora de energía al pie del mismo, para evitar las erosiones del propio lavadero al pie del terraplén, sin embargo, la solución resultaría muy costosa; la alternativa sería la prolongación del lavadero en un abanico de amortiguamiento y en la longitud suficiente. Aunque existe otra solución de menor costo aún, ésta consiste en dar gran rugosidad a la plantilla del lavadero provocando el flujo de bajada fuertemente turbulento, con arrastre de aire en la vena líquida, lo que reduce la energía de la bajada en forma suficiente; y como ejemplo se tiene la mampostería muy rugosa o el escalonamiento en la plantilla. Cuando las erosiones resulten demasiado peligrosas, se debe ejercer una vigilancia especial, debiendo construir obras de disipación y encauzamiento donde se vean necesarias. En la Fig. II.5-a.4. se proporcionan las velocidades permisibles para el pie del lavadero de plantilla rugosa.

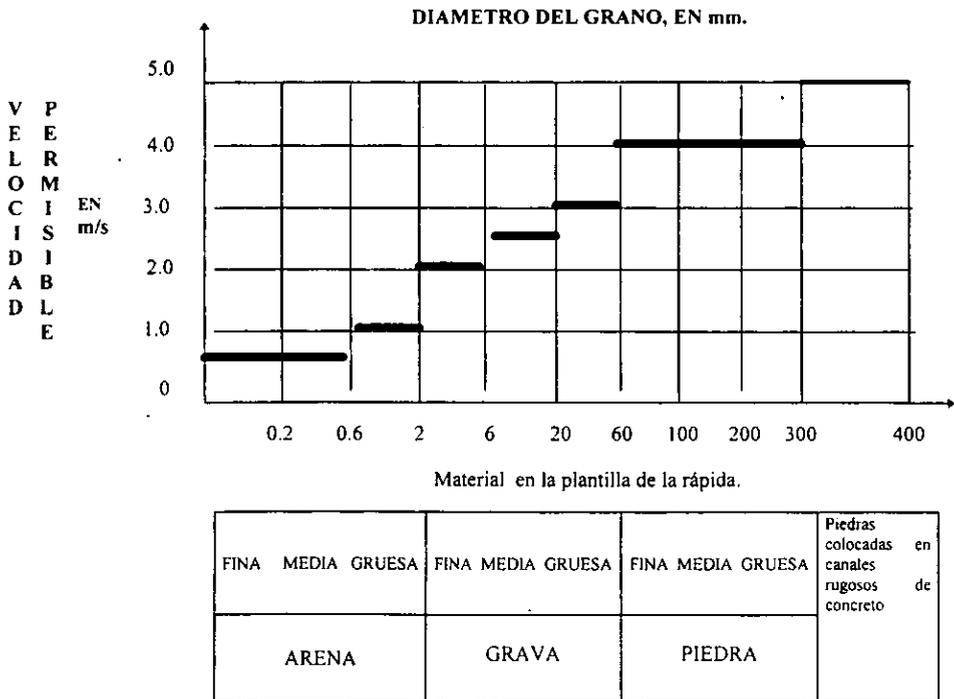


FIGURA II.5-a.4. VELOCIDADES PERMISIBLES AL PIE DE LAVADEROS DE PLANTILLA RUGOSA.

La velocidad máxima que el agua alcanza en los lavaderos de plantilla rugosa se produce a muy corta distancia del umbral de entrada, por lo que es necesario vigilar la erosión al pie de la estructura, centrándose en los materiales que existen en el lugar de descarga, ejerciéndose en forma prácticamente independiente de la longitud del lavadero.

Materiales.

Los lavaderos se construirán en el lugar, de las dimensiones y características fijadas en el proyecto y/o ordenadas por la S.C.T. salvo indicación en contrario, se observará lo siguiente :

- a) Podrán ser de mampostería, concreto hidráulico o metálicos.
- b) En los terraplenes estarán localizados en los taludes, en las partes bajas de las curvas verticales y en la parte interna de las curvas horizontales, correspondiendo a las descargas de los escurrimientos que conducen las guarniciones, los bordillos y las cunetas.
- c) En los cortes deberán ubicarse en los lugares donde se interrumpió un escurridero natural, descargándolo a una caja amortiguadora al pie del lavadero.
- d) En los casos en que se requiera, deberán llevar dentellones o pijas para garantizar su anclaje a los taludes y evitar su deslizamiento. La salida de los lavaderos se protegerá como lo ordena el proyecto y/o la S.C.T.

Construcción.

Un punto importante en la construcción de los lavaderos es darles suficiente estabilidad dentro del cuerpo del terraplén por lo que suelen hundirse en éste.

Los lavaderos se construyen de mampostería con junteo de lechada de cemento en proporción 1 : 4, también se construyen de concreto, y de media sección de tubo de lámina galvanizada corrugada con juntas atornilladas, en éste caso, el tubo debe salir de una plantilla de mampostería o de concreto y se recomienda que en las zonas intermedias de su desarrollo, el tubo se amarre con silletas de mampostería.

En el caso en que los lavaderos son colocados como eliminadores del agua captada por cunetas y contracunetas se presenta una zona crítica en la unión entre ambas estructuras, pues existe entonces el peligro de que el agua se introduzca bajo el lavadero, erosionando y disminuyendo su sustentación con peligro de falla. Para evitar este peligro es recomendable que esta zona de unión sea amplia y sin quiebres y que el lavadero tenga un dentellón de entrada, para protegerlo del efecto filtración ; dicho dentellón puede tener una profundidad mínima de 50 cm.

Conservación.

El costo de conservación de los lavaderos es alto y la vigilancia que sobre ellos ha de ejercerse, deberá ser intensa, pues es frecuente que sufran distorsiones por todos los movimientos que son comunes en los taludes de los terraplenes, aun en buenas condiciones de estabilidad.

b) BORDOS.

Definición : Son bordos de tierra u ocasionalmente de mampostería.

Objetivo o finalidad.

Se construyen para encauzar las aguas, sean en el terreno próximo a la vía terrestre, para que el agua llegue a gargantas, cauces naturales, etc., es decir, en la entrada de las alcantarillas o puentes, con el fin de que el agua cruce apropiadamente las estructuras.

Características generales.

Se describirán brevemente los bordos de encauzamiento sobre el terreno natural, bordos interceptores y bordos de tierra.

El bordo de encauzamiento sobre el terreno natural, tiene la necesidad topográfica, generalmente con thalwegs; para dirigir sus aguas hacia cualquier clase de cruce natural por el que pueden ser eliminados sin riesgo. Generalmente se construyen con material producto de excavación, dicha excavación normalmente se desarrolla en forma más o menos paralela al propio bordo procurando no construir un tajo profundo.

Los bordos que encauzan las aguas hacia las alcantarillas y obras de drenaje, sufren el embate de aguas rápidas, por lo que requieren protecciones en los taludes con enrocamiento, la construcción con mampostería de buena calidad y aún el uso de muros de concreto (deflectores).

En ocasiones los propios taludes del terraplén funcionarán como bordos encauzadores de escurrimiento hacia obras de drenaje, en estos casos se planearán las protecciones correspondientes, con vegetación, enrocamiento, mamposterías o muros de concreto, según las velocidades esperadas del agua encauzada.

Los bordos interceptores se construyen aguas arriba de la vía terrestre, con el objetivo de conducir el agua colectada por un thalweg hacia una cañada, que probablemente cruzará la vía terrestre con una obra. Para la construcción de éstos bordos, se recomienda lo siguiente :

- a) Realizar la excavación aguas arriba del bordo.
- b) Dar la pendiente necesaria al canal formado, para que el agua llegue a caer en él sea conducida también hacia el cauce natural ; sin embargo, si el cauce es profundo y formal, hará innecesario al bordo, resolviendo el problema con un canal interceptor.
- c) Construir el bordo cuando el producto de excavación no sea profundo ó cuando la zona de préstamo no esté inmediatamente próxima y alineada con el bordo.

Los bordos de tierra suelen construirse con taludes 2 : 1 ó 3 : 1, en alturas que rara vez rebasan 2 m y con ancho de corona del orden de 50 cm. En cuanto a sus etapas de construcción, previamente debe despalmarse el terreno exclusivamente bajo él, respetando la vegetación vecina y guardando el material de despalmado aguas arriba para después colocarlo, todo o en parte, sobre el talud del bordo, para fomentar su vegetación.

c) BOMBEO TRANSVERSAL.

Definición : El bombeo de la superficie del camino, es la pendiente transversal que se le da a la corona del camino, en las tangentes, hacia un lado y otro del camino.

Objetivo o finalidad.

El bombeo evita que el agua de lluvia se estanque sobre el camino, arrojándola hacia los lados ; evita que escurra longitudinalmente en los tramos en pendiente, erosionándolos ; y por último, el desviar el agua afuera de la corona, evita que en los caminos revestidos penetre hasta las terracerías y produzca su reblandecimiento que se traduzca en deformaciones de la superficie de rodamiento.

Características generales.

Es importante resaltar que en las curvas no se de bombeo a la corona, pues el agua es desalojada por medio de la sobre elevación hacia el interior de la curva.

Un bombeo suave, propicia un escurrimiento lento del agua de lluvia, esto pudiera no tener importancia cuando la superficie no estuviera asfaltada, porque fácilmente se infiltrará dañándolos. Por otra parte, un bombeo excesivo es incomodo para los usuarios y en los caminos de dos carriles provocará la tendencia a que los vehículos circulen por el centro. (Figura II.5-c).

Un bombeo muy suave, se pierde fácilmente en los caminos revestidos y por lo tanto desaparece el efecto buscado. Debe equilibrarse la necesidad y la comodidad, según las características del camino. En la Tabla II.5-c.1 se presentan los límites recomendables, según la superficie de rodamiento.

TABLA II.5-c.1

Clase de superficie	Pendiente transversal recomendable		Tipo de camino	Bombeo o pendiente transversal
	Mínima	Máxima		
Tierra	2 %	8 %	Especial	2 %
Grava o macadam	1 %	6 %	Primero y segundo orden	2 - 3 %
Pavimentos asfálticos Concreto	½ %	3 %	Tercer orden	3 %

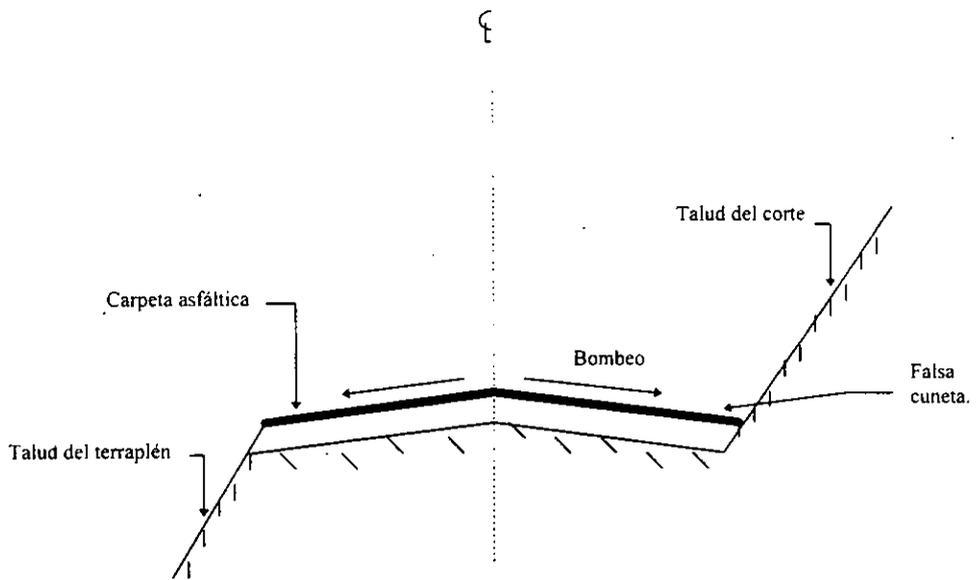


FIGURA II.5-c. BOMBEO (corte longitudinal).

d) BERMAS.

Definición : Se denominan bermas a masas generalmente del mismo material del propio talud o de uno similar que se adosan al mismo, para darle estabilidad.

Características generales.

No se puede dar una regla que permita fijar a priori las dimensiones más convenientes para una berma en un caso dado.

La sección idónea se calcula por aproximaciones sucesivas, fijando previamente un factor de seguridad para el talud ; las bases para iniciar los tanteos son : Dar a la berma la mitad de la altura del terraplén que se desea estabilizar y un ancho de corona del orden de dicho terraplén.

La construcción de bermas equivale mecánicamente a un abatimiento de talud. Un talud con bermas también es diferente del original y tendrá otro círculo crítico, que se deberá determinar analizando la nueva sección. La berma tiende a hacer que la superficie de falla se desarrolle en mayor longitud y más profunda. Además, el peso del material que se coloque podrá aumentar la resistencia al esfuerzo cortante del terreno de cimentación en su parte friccionante. En suelos cohesivos, el efecto más interesante de la berma es descomponer el talud en dos, cada uno de menor altura, repercutiendo así en la estabilidad general. Una solución similar a las bermas son los escalonamientos.

e) ESCALONAMIENTOS.

Definición : Los cuales quedan definidos por el ancho de los escalones, la distancia vertical entre ellos y por el ángulo de los taludes intermedios.

Características generales.

La función de los escalonamientos es proteger el corte contra la erosión del agua superficial, pues reducen la velocidad ladera abajo y el escurrimiento ; además de detener pequeños derrumbes y caídos que puedan presentarse en los diversos taludes (por lo que repercute en su costo además de su ancho).

Escalonamientos típicos :

- 1) En suelos puramente cohesivos. Se busca transformar el talud en una combinación de varios otros de altura menor, donde los escalones deberán tener huella suficientemente ancha como para que puedan funcionar prácticamente como taludes independientes.
- 2) En suelos con resistencia cohesiva y friccionante. El escalonamiento se hace sobre todo para provocar un abatimiento del talud; recoger caídos y recolectar aguas con funciones secundarias.

Consideraciones en el diseño de escalonamientos :

- a) El escalón deberá tener una ligera inclinación hacia el corté.
- b) En terrenos muy erosionables conviene invertir su inclinación, haciéndola hacia una ladera, y construyendo una cuneta impermeable en esa parte interna, para rápida eliminación del agua. Si la posibilidad de infiltración de lluvia fuera grande, se llegaría a la precaución de impermeabilizar toda la huella de los escalones.



CAPITULO III
DRENAJE TRANSVERSAL

CAPITULO III. DRENAJE TRANSVERSAL.

En las obras de drenaje transversal, o bien obras de cruce quedan comprendidos los puentes y las alcantarillas. El objeto de tales obras, es dar paso rápido al agua que, por no poder desviarse en otra forma, tienen que cruzar de un lado a otro el camino.

No hay distinción precisa ni matemática entre alcantarilla y puente, llamando alcantarilla a las estructuras de claro menor de 6.00 m y aquellas que aunque mayores de claro tienen colchón (en el caso de alcantarillas de bóveda) ; y reciben el nombre de puente a las estructuras de claro mayor de 6.00 m sin colchón ; sin embargo, en cuanto al estudio de campo, tienen grandes puntos comunes unas u otras, pero no en cuanto a su proyecto detallado como son los estudios de campo y el cálculo del gasto y determinación de longitud de estructura con relativa amplitud.

III.1. ALCANTARILLAS.

Definición : Una alcantarilla, es de hecho, un puente pequeño con un claro no mayor de 6m. Se construye debajo de un terraplén para no dar paso al agua. Hay alcantarillas simples y múltiples y es frecuente el empleo de arcos.

Objetivo.

Dar paso a corrientes provenientes de hondonadas, arroyos, cañadas, zanjas de riego, drenaje superficial, etc.

Función.

Conducir y desalojarlo más rápidamente posible el agua de las hondonadas y partes bajas del terreno (thalwegs) que atraviesan el camino.

Modificación del régimen hidráulico.

En las alcantarillas existe un estrechamiento del cauce, que aunado al aumento del caudal por la concentración de volúmenes, al ser recolectada el agua por cunetas y contracunetas, hace que se aumente su velocidad, tal fenómeno puede provocar erosiones, tanto a la entrada como a la salida de las obras. Consecuentemente, para mejorar la función de las alcantarillas de cualquier tipo, se proponen estructuras de transición a la entrada y a la salida del conducto, formada por aleros (muros de contención de tierra y guías para conducir el agua) para transformar gradualmente su régimen, el que tenía en el terreno natural al del interior y otra vez al del terreno natural. Excepto en los tubos, sólo se coloca un muro plano de cabeza, los aleros son divergentes con ángulo de abertura de aproximadamente 30° respecto al eje longitudinal de la alcantarilla. En la parte más alejada

de los aleros , empieza propiamente la alcantarilla y donde inicia la variación del régimen hidráulico natural, salvo casos en que el terreno sea no erosionable. deberá hacerse un zampeado de protección en el suelo dentro de la obra y entre los aleros de entrada y salida, con la carga superior a la altura del terreno natural y se construirá un dentellón. en cada extremo, de profundidad mayor a la que pueda socavar el agua. Otro punto importante consiste en alojar la alcantarilla en el cuerpo de la terracería. Para cualquier tipo de alcantarilla, el terraplén que se coloque sobre ella debe ser construido en capas de 15 a 20 cm de espesor. compactadas, atacándose ambos lados simultáneamente hasta un espesor mínimo de 0.60 m en tuberías y 1.00 m en bóvedas a partir de la parte superior de la clave.

Clasificación

Las alcantarillas se clasifican por su forma en alcantarillas de tubo, de cajón, de bóveda y de losa sobre estribos. Por la forma en que trabajan pueden ser rígidas o flexibles. Por el material con que se construyen serán de lámina, concreto, mampostería, etc.

Estudio de campo para el proyecto de alcantarillas.

I.- Levantamiento topográfico en la zona de cruce. dibujando a escala 1 : 1000 ó 1 : 2000 para rectificar el eje trazado en campo.

II.- Determinar el gasto de la corriente, con la finalidad de obtener el gasto para así obtener el área hidráulica necesaria. El área hidráulica apropiada, de una alcantarilla requiere permitir el paso del caudal máximo de manera que no cause transtornos ni al camino ni a la estructura.

Existen tres métodos para el cálculo del gasto :

- 1). Aforo directo.
- 2). Procedimientos empíricos.
- 3). Cálculo racional.

1). Método de aforo directo.

Aforo : Es la medición directa del gasto de una corriente en una sección y en condiciones de régimen tranquilo, como en el caso de canales.

Métodos de aforo :

- a). Volumétrico por vertedores y orificios. Este no es adecuado para corrientes naturales.
- b). Por medio del conducto de Parshall. Es el adecuado en canales de riego.
- c). Método químico. Para cauces de aguas permanentes y régimen tranquilo.
- d). Método de sección y velocidad. Este método es uno de los más usados y consiste básicamente en :
 - d.1). Determinar la sección. Por medio de sondeos ejecutados en barco y canastilla con sondealeza y si la corriente impide hacer éste trabajo, con un estadal.

d.2). Medir la velocidad, en el caso de cauces con aguas permanentes o accidentales, por medio de flotadores o molinetes.

- Método del flotador. Consiste en poner en el agua cuerpos que puedan flotar, y checar su velocidad media con un elemento de flotación y un bastón sumergido, para checar la hora en que pase frente al flotador con un cronometro para tomar la lectura en el momento en que el cuerpo pase frente al flotador.
- Método del molinete. El molinete es un aparato que registra la velocidad por medio de revoluciones que da una hélice en un tiempo determinado. Existen molinetes mecánicos, eléctricos y acústicos.

d.3). Construir la gráfica de velocidades del río de la sección estudiada con las velocidades aforadas directamente en varios puntos a varias profundidades.

d.4). Con la gráfica obtenida en el paso número 3, calcular las velocidades medias en cada tramo de la sección y por lo tanto los gastos parciales y el total.

2). Procedimientos empíricos.

Estos consisten en determinar el gasto por comparación o bien usando fórmulas deducidas de la experiencia. Determinar el gasto por comparación resulta muy arriesgado y usualmente se debe comparar con el obtenido mediante fórmulas empíricas.

Las principales fórmulas para determinar el área hidráulica, son :

a). La fórmula de Meyer.

b). La fórmula de Peck.

c). La fórmula de Talbot. En México se ha adoptado el uso de ésta fórmula, ya que mediante ella se han encontrado resultados obtenidos aproximadamente más parecidos a resultados obtenidos mediante la aplicación de fórmulas. La fórmula de Talbot se cita como sigue :

$$a = 0.183 c A^{3/4}$$

Donde :

- a : Area hidráulica de la alcantarilla, en m^2 .
- C : Coeficiente de escurrimiento, función de la naturaleza del área drenada.
- A : Area drenada, en Ha.

3). Método racional.

Consta de dos métodos :

a). Método de la precipitación. Está basado en la siguiente fórmula :

$$Q = FCAh (S/A)^{1/4}$$

Donde :

- Q : Gasto de la alcantarilla, en m/s.
- h : Precipitación correspondiente al aguacero más intenso durante 10 minutos, en cm/hr.
- F : Constante.
- c : Coeficiente de escurrimiento, depende de la naturaleza del terreno, en km/hr.
- A : Hectáreas tributarias.
- S : Pendiente del terreno, en m/km.

b). Método de sección y pendiente.

Características generales : Consiste en la determinación del gasto por medio de secciones hidráulicas definidas de la pendiente del río o arroyo.

- Es usado generalmente en arroyos o thalwegs definidos.
- Las secciones deben ser hidráulicas (normales a la dirección de los filamentos del agua en la época de máximas extraordinarias).

■ *Obtención del gasto :*

i). Tomar varias secciones, una de ellas en el cruce y como mínimo una aguas arriba y otra aguas abajo de él. La distancia de las dos secciones auxiliares al eje, deben ser mínimo 200 m. Las secciones se deben elegir en un tramo recto del río o bien donde las márgenes del río estén bien definidas y la velocidad sea prácticamente constante (que no exista régimen turbulento).

ii). Medición de las secciones, se realiza apoyándose en al poligonal que se hizo el levantamiento topográfico de la zona de cruce, trazando las secciones hidráulicas con la dirección determinada del plano de configuración y se levantarán con el nivel fijo con todo detalle, partiendo del monumento de nivel elegido para el estudio del cauce.

iii). Contando con la sección y pendiente, puede calcularse la velocidad por medio de la fórmula de Manning.

$$V = 1/n r^{2/3} S^{1/2}$$

Donde :

- V : Velocidad, en m/s.
- n : Coeficiente que depende del material y estado del cauce del río o arroyo. (Ver tabla II.1.1.).
- r : Radio hidráulico.
- S : Pendiente.

Por tanto, se obtiene el gasto :

$$Q = a \cdot v$$

Donde :

Q : Gasto, en m^3/s .
 a : Area de la sección, en m^2 .

Consideraciones iniciales para el proyecto de alcantarillas.

1.- *Localización del cruce*, éste debe corresponder al alineamiento general condicionando un buen cruce, existen dos casos :

- a) Con cruce perfectamente definido, localización casi obligada.
- b) Cruce de la corriente aun no definido divagante, en éste caso el cruce será condicionado.

2.- *Condiciones de un buen cruce* :

- a) Que el cruce sea permanente, o sea que el río en ésta zona no sea divagante.
- b) Que el cruce se haga en una zona recta del río o en el vértice de la curva, cuando esto sea indispensable.
- c) Que no haya transtornos locales como islas, pozas, etc.
- d) Que los taludes de los márgenes sean lo más uniformes posibles, asemejándose lo más a un canal artificial.
- e) Anchura menor posible.
- f) Tirante del agua grande, en relación con el ancho del cauce.
- g) Cruce normal en lo posible.
- h) Buenas condiciones de cimentación.

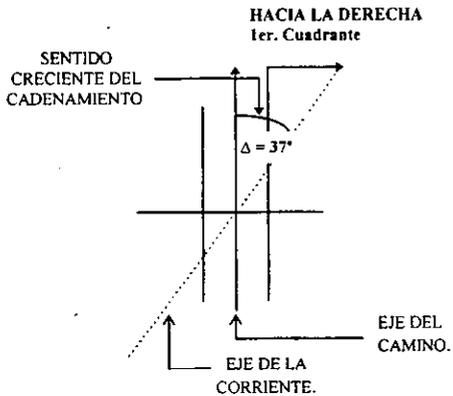
De acuerdo a su cruce, las alcantarillas se clasifican en :

- 1). Normales en tangentes.
- 2). Radiales en curva.
- 3). Oblicuas esviadas.

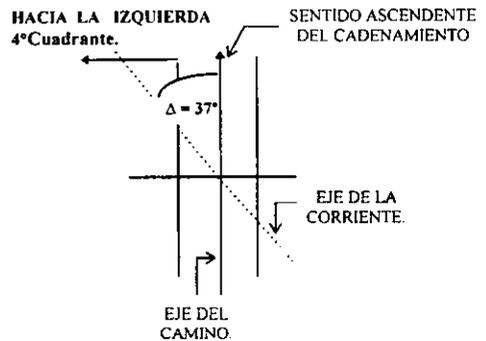
NOTA : Actualmente se trata de eliminar la convención de esviajamiento por oblicuidad.

Esviajamiento. Es el ángulo formado por el eje de la alcantarilla con la normal del eje del camino, o bien, es el complemento al menor ángulo de deflexión que hace el eje del camino, tomando en cuenta el sentido del cadenamamiento, con el eje de la obra y su sentido será contrario al de la deflexión.

Deflexión. Es la definición de la posición de la alcantarilla por medio del ángulo que forman los ejes tanto de la obra como del camino (Ver Figura III.1.1).



GRÁFICA QUE MUESTRA LA CONVENCION PARA INDICAR LA POSICION RELATIVA DEL EJE DEL CAMINO Y DEL EJE DE LA OBRA
DEFLEXIÓN A LA DERECHA



GRÁFICA QUE MUESTRA LA CONVENCION PARA INDICAR LA POSICION RELATIVA DEL EJE DE LA CORRIENTE Y DEL CAMINO
REFLEXIÓN A LA IZQUIERDA.

FIGURA III.1.1

3.- *Socavación*. Se debe considerar la divagación en el sentido horizontal y vertical. La socavación es función de la velocidad y de la naturaleza del cauce. Experimentalmente se ha determinado una fórmula para calcular velocidad crítica, es decir, la velocidad para la cual no hay depósitos ni socavaciones; dicha fórmula es la siguiente :

$$v = md^{0.64}$$

Donde :

- v : Velocidad del agua, en m.
- m : Coeficiente que depende de la naturaleza del terreno.
- D : Tirante, en m.

Valores de "m"
(tomados del manual de Wadell).

Tipo de material.	M
Detritus, arenas, limos.	0.82
Gravas.	0.90
Arena gruesa.	0.99
Cantos rodados.	1.07

Características generales de las alcantarillas.

■ Localización.

Las alcantarillas se colocan hasta donde sea posible siguiendo en alineamiento y pendiente del cauce natural (para transformar menos el régimen hidráulico). En el caso de cauce oblicuo es mejor dejar la alcantarilla oblicua y no tratar de ponerla normal, obligando al cauce a cambiar su curso. En terreno plano donde en ocasiones los arroyos son meándricos conviene rectificar o encauzar el agua en una alcantarilla que no siga el curso original de la corriente, pero siempre localizando los puntos de entrada y salida en los puntos del cauce antiguo y al mismo nivel. Cuando el agua corre en algún tramo del camino paralelamente a él, se le debe dar paso en la primera oportunidad permitiendo que corra paralela, si ello es inevitable, del lado aguas abajo.

El *primer* principio de la localización de una alcantarilla consiste en que la corriente entre y salga en la misma línea recta. Cualquier cambio brusco de dirección de uno u otro extremo retarda la corriente y obliga a emplear un conducto de mayor sección. La entrada y salida en línea recta de una alcantarilla se pueden obtener de 3 métodos distintos: cambiando la dirección del cauce, alineándola oblicuamente con respecto al eje de la vía, o combinando ambos métodos.

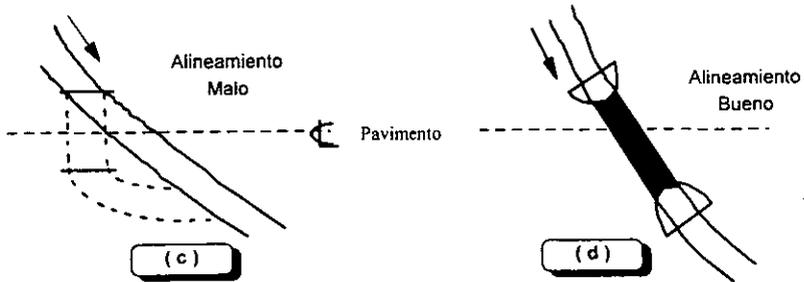
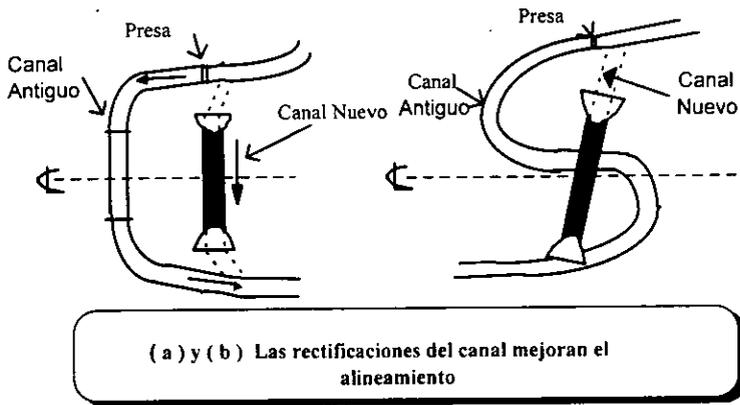
El *segundo* principio de localización de una alcantarilla consiste en evitar que la corriente altere su curso cerca de los extremos del conducto, pues así podría volverlo inadecuado causando deslaves y formando remansos, que darían gastos considerables de conservación.

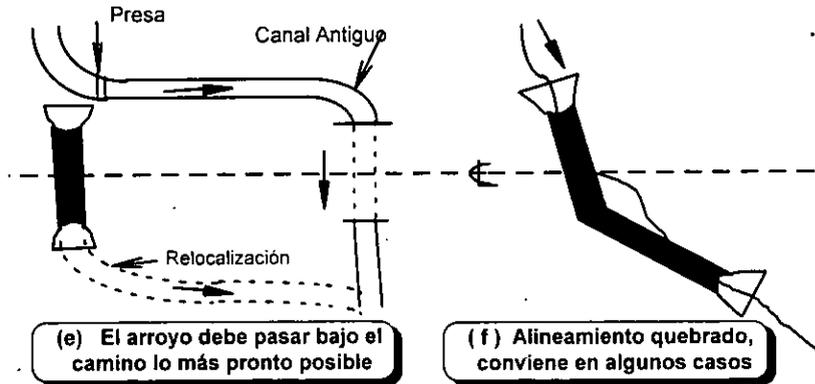
■ Colocación y longitud.

Colocación de una alcantarilla se entiende como alineamiento y la pendiente del conducto con respecto al camino y a la corriente del agua. la ubicación apropiada para una alcantarilla es importante porque afecta la eficiencia del conducto, su conservación, y la posible erosión y deslave del camino; aunque cada instalación constituya un problema distinto. Es necesario considerar el efecto causado a las propiedades adyacentes, debido a posibles embalses aguas arriba, y a la velocidad adecuada de la corriente aguas abajo para evitar deslaves o sedimentos. Una corriente abierta no es siempre estable; su cauce puede variar, presentándose recto en unos tramos y volviéndose sinuoso en otros. En algunos lugares puede producir socavaciones, o depositar sedimentos en otros.

El alineamiento de la alcantarilla puede ser influenciado por la selección de la pendiente. En la Figura III.1.2 se muestran algunos métodos correctos de alineamiento de alcantarillas.

FIGURA III.1.2
ALINEAMIENTO DE ALCANTARILLAS





■ Pendiente.

La pendiente ideal es aquella que no ocasiona a la alcantarilla sedimento ni velocidad excesiva, y que evita la erosión y socavación. Es aquella que exige menor longitud y facilita el reemplazo del conducto si es necesario. En la práctica, normalmente se hace coincidir la pendiente del fondo de la alcantarilla con la del fondo de la corriente; sin embargo, cuando sea conveniente se permite seguir los principios citados en los puntos siguientes:

1.- En zonas recientemente niveladas y declive relativamente suave puede haber sedimentación; la alcantarilla puede colocarse unos cuantos centímetros más alta que el lecho de la corriente, pero conservando la misma pendiente. Figura III.1.3.

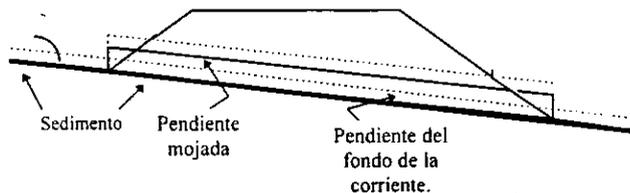


FIGURA III.1.3
Previéndose contra la sedimentación.

2.- Cuando la altura sea limitada y la alcantarilla se coloca más baja que el lecho de la corriente, se produce sedimentación y se reduce el área hidráulica; debe usarse una estructura ancha y de poca altura como un tubo abovedado; en algunos casos puede elevarse la cota del camino.

3.- En terraplenes altos, generalmente ocurre mayor asentamiento en el centro que en los taludes; por lo que la alcantarilla debe colocarse la mitad aguas arriba casi a nivel dando el resto de la caída necesaria a la mitad aguas abajo. No siempre es necesario colocar el conducto al mismo nivel, que el fondo de la corriente, si se admite un remanso, la alcantarilla se coloca a veces en terreno firme y en un nivel más alto reduciendo su longitud.

4.- En terrenos con pendientes fuertes (laderas), no siempre se requiere dar pendientes abruptas a las alcantarillas. Puede dársele la pendiente crítica, con una salida con vertederos o murete que evite la socavación (acortando el conducto y rebajando la cubierta).

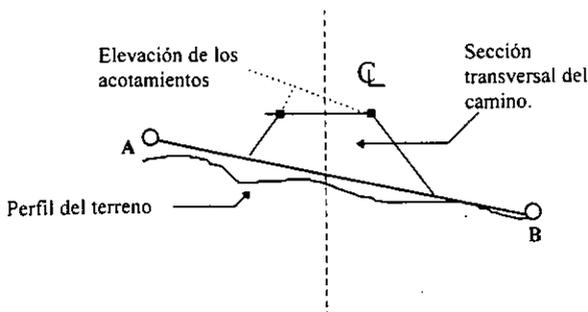
■ longitud.

La longitud necesaria para una alcantarilla depende de la anchura del camino, altura del terraplén y los taludes, pendiente y oblicuidad; del tipo de sus extremos según sean secciones terminales, muros de cabecera, extremos biselados, desagüe en el pozo colector o vertedero.

Una alcantarilla debe ser lo suficientemente larga para que sus extremos no queden obstruidos por sedimentos o por expansión del terraplén. Si así fuere, se disminuiría la eficiencia (aumentando los gastos de conservación y considerando que una alcantarilla no debe tener sus extremos innecesariamente expuestos).

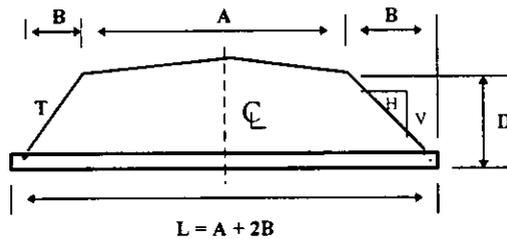
Para obtener la longitud existe un método de cálculo el cual hace uso del diagrama de sección transversal del terraplén y el perfil del lecho de la corriente y a continuación se cita :

- 1.- Levantar cuidadosamente el perfil del terreno, según el eje de la obra y dibujarlo sobre papel milimétrico.
- 2.- Sobre el perfil, se acomoda la línea que marca la plantilla de la alcantarilla (determinando así la pendiente).
- 3.- Dibujar la sección del camino con espesor y taludes correspondientes a la estación, quedando de la manera siguiente :

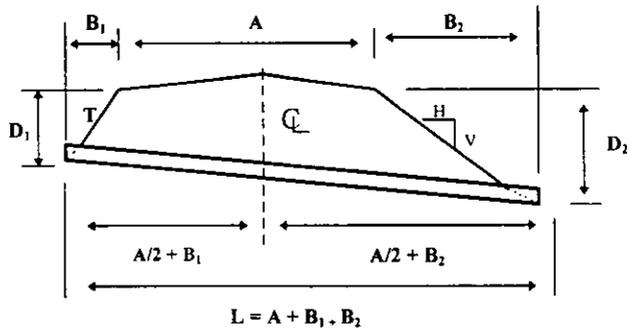


- 4.- Con el dibujo anterior, se calcula la longitud de la alcantarilla, cuando esté a ángulo recto con el eje del camino, se pueden aplicar los métodos siguientes :

- a) Cuando la longitud no es perpendicular a la línea del centro del camino, se multiplica esa longitud (L) por la secante del ángulo de esviaje.
- b) Cuando no se cuenta con los datos para formar el perfil del terreno, la longitud se obtiene añadiendo al ancho de la corona dos veces el producto del talud por la altura del terraplén (hasta el piso de la alcantarilla) en el centro del camino. Este método se deberá emplear cuando la pendiente sea mayor o igual a 5 %, especialmente en terraplenes altos.



(a) Pendiente suave.



(b) Pendiente fuerte.

FIGURA III.1.4
Cálculo de longitud de alcantarillas

Cálculo de la longitud del tubo con las características siguientes de la vía :

Ejemplo (1).

- Corona de ancho total. $A=12\text{ m}$
- Talud. $T = 3 : 1$
- Altura en el eje del camino desde el fondo de la alcantarilla. $D = 2.5\text{ m}$
 $B = 0.5 D$

■ Pendiente suave.

Solución :

$$L = 12 + (2 * 1.5 * 2.5) = 19.5\text{ m}$$

Por lo tanto la alcantarilla tiene 19.5 m de largo en el fondo.

En el caso de que la alcantarilla tuviera un declive del 5 % ó mayor, particularmente en terraplenes altos, se debe calcular la longitud de la pendiente, pues el eje no divide exactamente el tubo en dos porciones iguales. Sin embargo, si los taludes varían un poco, no es necesario calcular el largo con demasiada exactitud. En la práctica suelen biselarse los extremos de las alcantarillas de gran diámetro, ya sea que el bisel sea total o parcial, por lo regular el fabricante es quien suministra los biseles recomendables.

Nota : Cuando la pendiente de la alcantarilla es de 5 % o mayor y no permite variar la relación de los taludes, se aconseja hacer un diseño para el corte del bisel en cada extremo.

Ejemplo (2).

- Corona de ancho total. $A= 10\text{m}$
- Talud. $T = 1.5 : 1$
- Alturas en el eje del camino desde el fondo de la alcantarilla. $D_1 = 3\text{m}$
 $D_2 = 4\text{m}$

$$B_1 = 1.5 D_1$$

$$B_2 = 1.5 D_2$$

■ Pendiente fuerte.

Solución :

$$L = 10 + (1.5 * 3) + (1.5 * 4) = 20.5\text{ m}$$

■ Funcionamiento hidráulico.

Al proyectar las obras de drenaje, se acostumbra proporcionar su área hidráulica de manera que nunca trabajen como conducto lleno, aunque ello sólo supone que el nivel del agua se eleva a la entrada de la alcantarilla, lo que traería como consecuencia inundaciones, de los terraplenes adyacentes. Por tanto, se realiza un análisis que depende del tipo de funcionamiento hidráulico de la alcantarilla, clasificando a las alcantarillas de acuerdo a la forma en como trabajan, en alcantarillas con carga y alcantarillas sin carga, donde :

- 1) *Alcantarillas con carga.* Son las alcantarillas con salida obstruida. Estas son comunes en terrenos planos o con poca pendiente donde la salida queda ahogada o semiahogada por el agua allí estancada. En estas condiciones la alcantarilla comienza a funcionar cuando el agua ha rebasado el nivel de la obstrucción, haciéndolo como tubo forzado. En éste tipo de alcantarillas, la capacidad se rige por la altura de la carga de agua.
- 2) *Alcantarillas sin carga.* Son las alcantarillas con salida libre, llamándose así la salida en que el agua escurre por el tubo y sale de él sin ser retardada por agua que se estanque en su extremo inferior.

Los factores que regulan la descarga de una alcantarilla son : las pendientes de la estructura, del lecho de la corriente aguas arriba, y aguas abajo ; la altura del embalse (a la entrada), el tipo de boca de entrada, la rugosidad del interior de la alcantarilla y la altura del remanso. La capacidad de éstas alcantarillas depende del escurrimiento crítico que a su vez depende de la pendiente y tirante crítico (el tirante crítico es aquel que produce la velocidad crítica); sin embargo, su capacidad no aumenta al darle mayor pendiente, que la crítica, sino que se rige por la cantidad de agua que puede entrar al conducto.

TIPO DE CONDUCTO	TIRANTE CRITICO
Rectangular	0.6663 H
Circular	0.690 D

Recomendaciones geotécnicas para la colocación de alcantarillas.

1. Deben colocarse en lo posible en el fondo del cauce natural y sin transiciones bruscas en alineamiento vertical u horizontal. En el caso de que no siguiera el alineamiento en el cauce natural, deberá tenerse especial cuidado en que su entrada y salida resulte apropiada al agua, sin quiebres bruscos o salientes capaces de fomentar turbulencias o erosiones.
2. Cuando no sigan la línea de fondo del cauce natural, deberán colocarse en una trinchera de suelo firme.

3. El gradiente hidráulico dentro de la alcantarilla deberá ser tal que la velocidad del agua en esta sea igual o mayor que la que tenía en el mismo trecho del cauce natural.
4. Deben evitarse contracciones en la vena líquida.
5. Se debe dar especial cuidado en cuanto a la cimentación, en el caso de que se detecten como alcantarillas especiales por alguna razón. Como en el caso de los terraplenes colocados sobre terrenos muy blandos y compresibles, en los cuales, sus asentamientos resultan muy perjudiciales para las obras de drenaje que hayan bajo ellos; estos asentamientos destruyen las obras rígidas convencionales o las deforman más allá de lo tolerable, cuando son flexibles.

Consideraciones geotécnicas para el diseño y construcción de alcantarillas.

Las alcantarillas se construyen de materiales rígidos o flexibles; quedando definidas bajo esta condición su funcionamiento en relación con el suelo que las cubre y las rodea.

1) **Alcantarillas rígidas.** Estas alcantarillas se caracterizan porque son muy pequeñas las deformaciones que pueden sufrir bajo el peso del terraplén y a los lados de ellas. Según su importancia hidráulica las alcantarillas rígidas están constituidas por :

- tubos de concreto.
- estructuras de bóveda de mampostería sobre muros de mampostería o de concreto.
- losas sobre estribos de mampostería o de concreto.

El estudio de este tipo de alcantarillas debe comenzar analizando las cargas a las que estará sujeta. Para fines de proyecto, se consideran las cargas muertas y las vivas.

■ Cargas muertas.

Estas son causadas por la tierra que abriga al tubo rígido.

Para calcular las cargas muertas, las alcantarillas se clasifican de acuerdo a sus condiciones de instalación en:

- a) En zanja.
- b) En terraplén.
- c) En zanja con terraplén.
- d) En trinchera imperfecta.

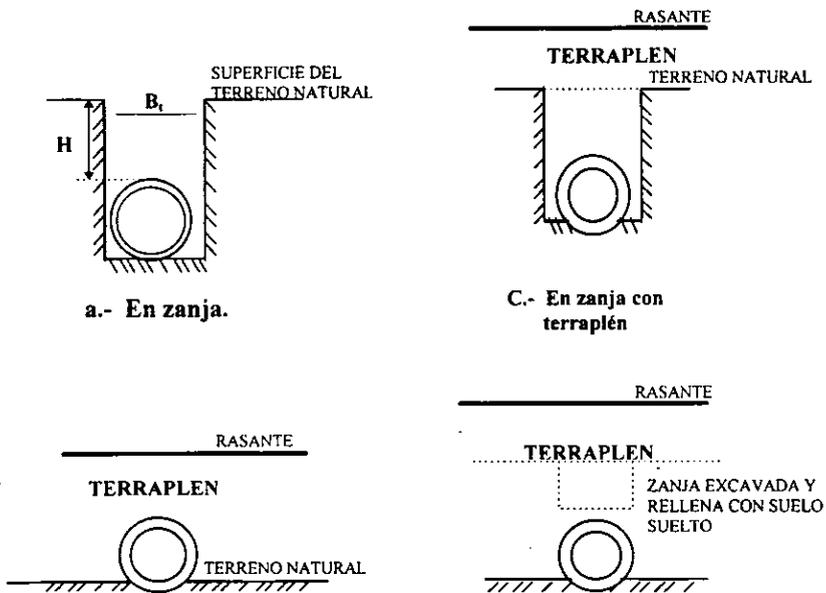


Figura III.1.5

Las condiciones de instalación influyen en la magnitud y dirección de las fuerzas cortantes. La instalación de las alcantarillas antes citadas es como sigue :

- Los tubos sin terraplén se instalan en zanjas estrechas bajo el nivel del terreno natural ; sobre ellos sólo coloca el relleno de la zanja posterior a la excavación.
- b,c). Los tubos con terraplén pueden o no quedar alojados en una zanja ; sin embargo, en el caso de colocación en zanja es favorable, porque la carga vertical se reduce cuanto más suelto sea el material de relleno que se coloca sobre un tubo. Se recomienda que el relleno suelto ocupe una laja de 30 ó 40 cm de espesor sobre el tubo para lograr un arqueo benéfico.
- d). El sistema de trinchera imperfecta, es muy usual y favorece la reducción de carga actuante sobre un tubo instalado en el terraplén, el proceso de instalación de este sistema es como sigue :

- i) Se coloca el tubo sobre el terreno natural.
- ii) Se coloca el terraplén perfectamente bien compactado a los lados del tubo y hasta una distancia de dos diámetros y altura de 40 cm de la clave del mismo.
- iii) Se excava una zanja a lo largo del tubo con ancho igual al diámetro del mismo y a una profundidad ligeramente menor que la parte superior del tubo (del orden de 10 cm mayor arriba de la clave).
- iv) Se rellena la zanja con material suelto compresible.
- v) Se realiza la construcción del terraplén, compactándolo convencionalmente. Cuanto más compresible sea el material de relleno colocado cerca de la clave del tubo. más se reducirá la carga muerta actuante sobre el tubo.

Calculo de la magnitud de carga muerta.

Marston ha desarrollado una teoría que permite valuar la carga muerta que actúa sobre el tubo de concreto en sus diferentes condiciones de instalación.

Análisis según la teoría de Marston.

1) Caso de tubos en zanja.

La ecuación (1) permite calcular la carga muerta sobre una unidad de longitud de tubo, pudiendo utilizar cualquier sistema homogéneo de unidades. En este caso, cuando el tubo es muy rígido, como lo es el de concreto, la carga calculada será tomada por él ; ya que, su rigidez será mucho mayor que la del relleno colocado en la zanja.

$$W_m = C_d \gamma_m B_t^2 \dots\dots (1)$$

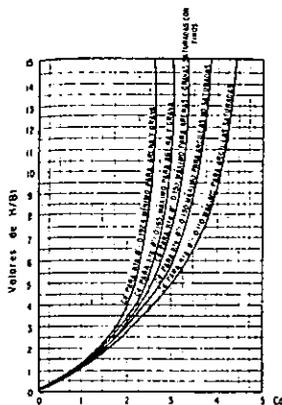
Donde :

- W_m : Carga muerta actuante sobre el plano horizontal tangente al tubo rígido en su clave.
- C_d : Coeficiente de carga, es función del producto $k \tan \phi'$ y la relación H/B_t . (La gráfica III.1 proporciona los valores de C_d para diferentes tipos de suelo).
- γ_m : Peso específico del suelo en el estado en que se encuentre.
- B_t : Ancho de la trinchera al nivel de la clave del tubo.

NOTA : El significado de las literales empleadas en C_d es el siguiente :

- K : Coeficiente de presión de tierras.
- ϕ' : Angulo de fricción entre el material de relleno y la pared de la zanja ($\phi \geq \phi'$: siendo ϕ el ángulo de fricción interna del material de relleno).
- H : Profundidad de la trinchera hasta el plano horizontal tangente al tubo de la clave.

Gráfica III.1
Valores del coeficiente C_d



2) Caso de tubos en terraplén.

El siguiente análisis deberá realizarse cuando los taludes de la trinchera son muy tendidos.

Haciendo referencia a la figura III.5-(b), pueden imaginarse dos planos tangentes al tubo y llevados hasta la superficie del terraplén; las fuerzas cortantes que desarrollen en esos planos como consecuencia del movimiento relativo del prisma interior respecto a las masas del suelo vecinas juegan un importante papel en la carga que actúe a fin de cuentas sobre el tubo. Si el prisma interior tiende a bajar respecto a las masas vecinas se producirá arqueo favorable y la carga sobre el tubo será menor que el peso del citado prisma interior; por el contrario, si las masas vecinas tienden a bajar con respecto al prisma, la carga sobre el tubo será mayor que la correspondiente al peso de la columna de suelo sobre él. En este caso deberá considerarse la relación de asentamiento r_a , definida como la relación entre el

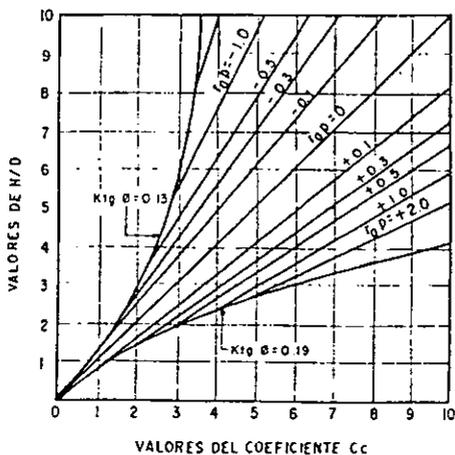
movimiento relativo en el plano crítico y el acortamiento del terraplén a los lados del tubo. Se considera una relación de asentamiento positiva cuando las masa vecinas se mueven más que el prisma interior ; por tanto, la carga sobre el tubo excede al peso del prisma sobre el tubo ; inversamente, la relación de asentamientos negativa es signo de arqueo favorable. Por otra parte, cuando existe igual asentamiento se mueve lo mismo sobre la clave del tubo y a los lados del mismo ; es decir, sobre el plano de igual asentamiento no hay esfuerzos cortantes en los planos imaginarios tangenciales a los lados del tubo antes mencionado.

Por tanto, según Marston en su teoría de carga la fórmula aplicable para tubos rígidos alojados en terraplén es la siguiente :

$$W_m = C_c \gamma_m D^2 \dots\dots\dots (2)$$

Donde las literales tienen el mismo significado que en la ecuación (1), a excepción de C_c , que es un coeficiente de carga en función de la relación H/D y del producto $r_a p$. Los valores de C_c , se obtienen en la Gráfica III.2. Cabe señalar que en esta gráfica si la carga sobre el tubo es menor que el peso de la tierra suprayacente, el plano crítico se hunde más en la clave del tubo que a los lados de él, caso en que C_c depende de $k \tan \phi$ donde C_c crece al decrecer el producto $k \tan \phi$. En la misma gráfica se señala para r_a negativa los siguientes valores $k \tan \phi = 0.13$ valor correspondiente a un terraplén de arcilla y $k \tan \phi = 0.19$, como valor correspondiente a suelos granulares sin finos.

Gráfica III.2
Valores del coeficiente C_c



En la práctica, para aplicar las ideas y gráficas expuestas, se parte de un valor de r_a propuesto en base al comportamiento de alcantarillas construidas, por la experiencia se recomiendan los valores de r_a que siguen :

Valores de r_a para proyecto.

Condiciones prevaecientes	r_a
Tubo rígido sobre roca o suelo no cedente.	+0.10
Tubo rígido sobre suelo compresible.	0 a +0.5
Tubo rígido sobre suelo común.	+0.5 a +0.8

3) Caso de alcantarillas en zanja, con terraplén suprayacente.

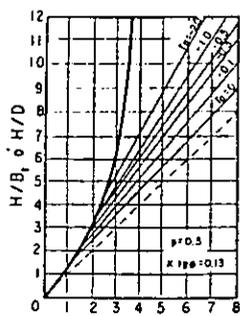
En este caso la carga muerta por metro de tubo puede estimarse con la siguiente expresión :

$$W_m = C_n \gamma_m B_f^2 \dots\dots\dots (3)$$

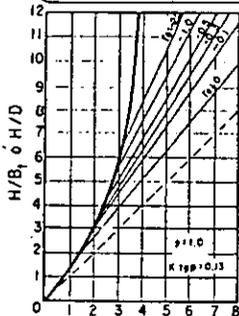
Donde :

- B_f : Ancho de la zanja.
- C_n : Coeficiente de carga, que se puede obtener de la Gráfica III.3.

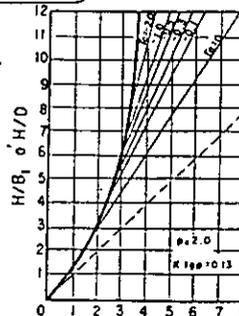
Gráfica III.3
Valores del coeficiente de carga C_n



COEFICIENTE DE CARGA, C_n
(a)



COEFICIENTE DE CARGA, C_n
(b)



COEFICIENTE DE CARGA, C_n
(c)

El significado de las distintas curvas, es similar al de alcantarillas bajo terraplén. Donde se usa para calculo el valor de $k \tan \phi = 0.13$. De la experiencia se estiman como adecuados los valores de la relación de asentamiento a usar en el proyecto entre -0.3 y 0.5.

4) Caso de alcantarillas colocadas en trinchera imperfecta.

En este caso la fórmula aplicable es esencialmente la (3), substituyendo únicamente B_i por D , que es el ancho de la trinchera excavada, quedando :

$$W_m = C_n \gamma_m D^2 \dots\dots\dots (4)$$

Donde el significado de las literales es el mismo que en las ecuaciones anteriores.

■ *Cargas vivas.*

Las cargas vivas son las que provienen del tráfico carretero, que circula sobre ellas, los efectos de esta carga dependen mucho del espesor del colchón de tierra que haya sobre el tubo. Las cargas que se aplican a las alcantarillas son, debidas a vehículos en movimiento. Para calcular la carga viva se debe tomar en cuenta un factor de impacto con masas vecinas que tratan de bajar con respecto al prisma. Holl tras el desarrollo de su teoría propone la siguiente expresión para el calculo de cargas vivas sobre tubos rígidos :

$$W_v = 1/L W_0 F_i P$$

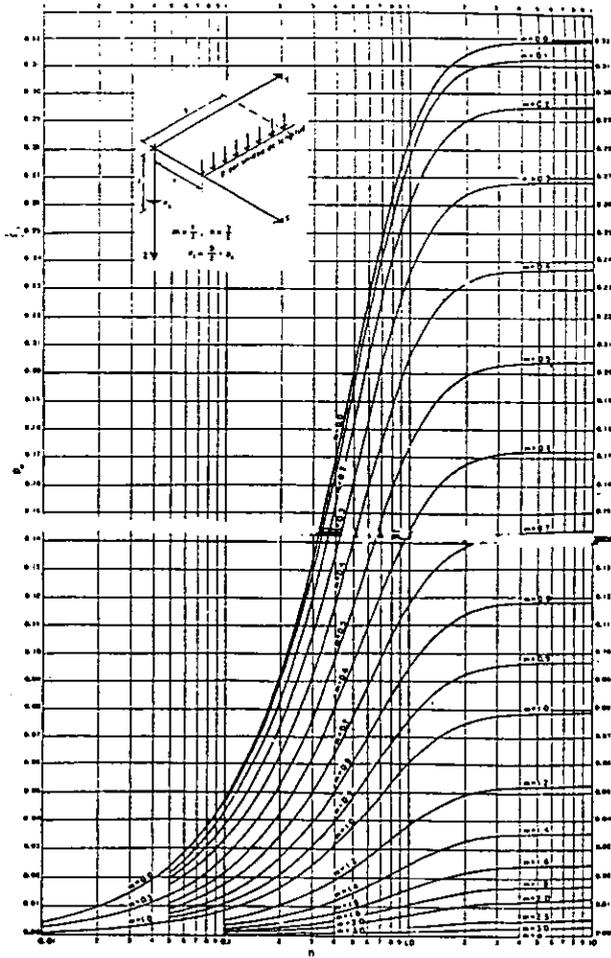
Donde :

- W_v : Carga viva promedio actuando sobre el tubo por unidad de longitud del mismo.
- L : Longitud de una sección longitudinal del tubo, considerando L igual a 1 metro de (longitud efectiva).
- W_0 : Factor de influencia de la carga superficial.
- F_i : Factor de impacto, comprendido entre 1.5 y 2.
- P : Carga de rueda, considerada como una carga concentrada.

Nota : El factor de influencia W_0 depende de la longitud L , del diámetro D (o ancho en el caso de una alcantarilla de losa o de cajón) de la estructura, de la profundidad a que se encuentre la clave del tubo bajo la superficie del terraplén, H , y de la posición de la rueda respecto al área en planta, del tubo proyectado respecto a un plano horizontal tangente por la clave. El factor de influencia se puede calcular con la Gráfica III.4 (Gráfica de Fadum), correspondiente a carga uniformemente repartida en una área rectangular ; para el uso de dicha gráfica se requieren los parámetros siguientes :

$$m = L/H \quad \text{y} \quad n = D/H$$

Gráfica III.4
Gráfico de Fadum



ANEXO II - c. GRÁFICO DE FADUM PARA INFLUENCIA DE CARGA LINEAL.

2) **Alcantarillas flexibles.** Las alcantarillas flexibles, generalmente son metálicas de lámina corrugada, se usan mucho en secciones tubulares, actualmente se usan secciones ovoidal y elíptica las cuales son apropiadas para el manejo de gastos mayores que los que desalojan los tubos o aún para formar túneles cortos y pasos a desnivel. Pueden o no tener recubrimiento adicional, son colocadas en el terreno, bajo el terraplén en una o más líneas (batería). El proyecto de alcantarillas flexibles toma en cuenta las cargas muertas y vivas, donde :

■ *Cargas muertas.*

Son debidas al peso propio (total o parcial), de la tierra colocadas sobre la estructura (colchón).

■ *Cargas vivas.*

Son debidas al peso del equipo que transita sobre la estructura, antes o después de que haya sido debidamente protegida por su colchón de tierra. También se consideran cargas vivas los impactos producidos por cargas móviles y en ciertos casos las vibraciones transmitidas por las mismas. El efecto de la carga viva disminuye al aumentar la velocidad del tránsito.

Además de los efectos verticales, producto de las cargas verticales de las cargas consideradas, existen también presiones laterales y longitudinales a lo largo del eje de la estructura. Una pequeña cedencia inerte a una estructura metálica flexible alivia considerablemente los estados de esfuerzos actuantes en la propia estructura en comparación a una idealmente rígida, esto se debe a que las estructuras flexibles presentan el fenómeno de arqueado. Tal efecto hace que la presión vertical de tierra actuante en la bóveda de la alcantarilla sea menor que la correspondiente al espesor del colchón sobre ella ; desde el punto de vista estructural, la bóveda de una alcantarilla no puede ceder más de un 5 % de la máxima dimensión vertical ; ya que, este es el límite que cubre ampliamente las deformaciones necesarias para el desarrollo del efecto de arqueado.

Para resistir correctamente las cargas, la alcantarilla deberá de estar apoyada en un suelo homogéneo en toda su longitud ; si el terreno natural no lo es, deberá hacerse una sustitución de los materiales débiles o compresibles por material compactado.

La resistencia y funcionamiento de una estructura flexible para drenaje depende en gran parte del material y normas de colocación del material de relleno lateral y de colchón adyacentes a ella. Por tanto, para resistir correctamente las cargas, la alcantarilla deberá de estar apoyada en un suelo homogéneo en toda su longitud ; si el terreno natural no lo es, deberá hacerse una sustitución de los materiales débiles o compresibles por material compactado.

Principales problemas causados en alcantarillas flexibles y su posible solución.

Para evitar distorsiones en la estructura metálica, el relleno lateral deberá colocarse en capas y alternativamente. Fundamentalmente debe cuidarse que en la colocación del relleno sea correcta la compactación de las capas que se vayan colocando; ya que, la compactación incorrecta es fuente de gran número de fallas en obras flexibles de drenaje. El relleno debe ser inerte al agua (no susceptible a expansiones, agrietamientos, etc., fácilmente compactable y no susceptible tampoco a la tubificación).

Ventajas de la compactación :

- Aumenta la estabilidad del suelo.
- Aumenta la resistencia al esfuerzo cortante.
- Disminuye empujes de tierra que el relleno ejerce lateralmente contra la estructura.

Por tanto :

- Una compactación adecuada de colchón hace aumentar gradualmente los efectos benéficos del arqueado, reduciendo mucho los efectos verticales en la estructura.
- Una mala compactación origina que el material de relleno produzca empujes de tierra superiores a los considerados en proyecto, que toma en cuenta colchón y terraplén bien compactados. Una solución radical a tal problema es retirar el relleno suelto por otro bien compactado. Si el terreno que servirá de base a la alcantarilla es compresible, y se hunde longitudinalmente, el mayor hundimiento bajo el centro del terraplén respecto al de sus hombros, hace que se abran las juntas entre las placas metálicas ensambladas que constituyen a las alcantarillas. La solución a este problema consiste en impedir la filtración de agua por las juntas abiertas, colocando un anillo expansor de acero corrugado, este anillo debe expandirse desde dentro y actúa como un sellador.

Otra fuente de problemas surge al dejar agujeros sin sellar, los cuales se realizan regularmente para facilitar las maniobras de transportación e izado de las piezas que constituyen la alcantarilla ocasionando problemas de tubificación. En los agujeros se produce succión del material de relleno por la corriente de agua, lo cual inicia un proceso de erosión progresiva que conduce a la falla de la obra por falta de soporte.

Un terraplén tubificado se caracteriza por la presencia de : irregularidades, oquedades, afloramiento de agua o manchas de humedad y otros signos de escurrimiento interno, especialmente en el talud aguas abajo del terraplén. Una alcantarilla es susceptible a tubificación cuando se encuentra sobre arenas finas y limos no plásticos con $I_p < 10$ (I_p : índice de plasticidad).

El problema de tubificación se resuelve de dos maneras :

- i) *Proceso de tubificación no avanzado.* La solución consiste en la instalación de un filtro en el talud aguas abajo y en torno a la alcantarilla.
- ii) *Proceso de tubificación avanzado.* En este caso, además de instalar un filtro, debe reponer el material tubificado, e incluso construir galerías a través del terraplén para lograr una reposición completa.

Otros problemas poco menos usuales son los originados en terraplenes muy arcillosos, en los cuales la sequía muy prolongada provoca agrietamientos, por los cuales puede entrar el agua. Estos problemas son resueltos sellando todas las grietas, tuneando el material de manera que siga la grieta y colocando nuevo material bien compactado.

Ventajas en el uso de alcantarillas flexibles :

- Los productos son fabricados con normas estrictas.
- Alta resistencia en comparación al peso.
- Funcionan en suelos aún de muy baja capacidad de carga.
- Facilidad de manejo e instalación.
- Variedad de secciones, tamaños y calibres de lámina.

De manera resumida, el proyecto de una alcantarilla considera los factores siguientes :

1. Ubicación de la obra y proyecto de plantilla. Se proyecta la plantilla de la obra efectuando rectificaciones al cauce, rellenos mínimos posibles y no provocando erosión principalmente a la salida de la obra.
 - a) En las etapas de elección de ruta y anteproyecto, en el estudio definitivos se ubican los ejes de las alcantarillas en la planta del camino.
 - b) Sobre la línea del camino, se requiere conocer el cadenamamiento y cota del terreno y subrasante en el lugar en que se efectuará el cruce, así como el ángulo de esviajamiento de la obra.
 - c) Trazar y nivelar el fondo del cauce, con las modificaciones necesarias : se realiza el levantamiento topográfico de una zona aledaña al cruce, y se dibuja a escala 1 : 5000 con curvas de nivel a cada 0.50 m.
 2. Diseño hidráulico. Consiste en calcular el área necesaria para dar paso al volumen de agua que se concentra a la entrada ; para ello se requiere un estudio previo que abarca :
 - a) Precipitación pluvial.
 - b) Area.
 - c) Pendiente.
 - d) Formación geológica de la cuenca.
 3. Elección del tipo de obra. En éste caso intervienen la adecuada funcionalidad hidráulica y estructural , el aspecto económico. Los factores que condicionan el tipo de obra son :
 - a) Altura del terraplén. Cuando la subrasante ya está definida se toma en cuenta que :
 - El colchón mínimo requerido de terraplén en los hombros en tubos y bóvedas es de 0.60 m y 1.00 m, respectivamente).
 - Losas y parte superior de los cajones pueden quedar a la altura de la rasante del camino.
- De ser necesario, se puede modificar la rasante para dar cabida al tipo de alcantarilla para que sea más adecuado al propuesto inicialmente.

b) Forma de la sección en el cruce.

- Para forma amplia y no bien definida conviene elegir losa de poca altura, de claro amplio o en uno o varios tubos.
- En secciones estrechas y profundas son óptimas las bóvedas, losas y tubos, dependiendo de la altura del terraplén sobre ellas.

4) Cálculo dimensional y estructural. Consiste en encontrar sus dimensiones físicas de acuerdo a la sección o secciones transversales.

a) La localización y posición respecto al eje toma en cuenta :

- Nivel de la rasante (R_c) y la de desplante en el centro de línea (D).
- Semicorona izquierda y derecha, C_1 y C_2 respectivamente.
- Espesor mínimo de colchón.
- Sección transversal de la obra (ϕ , si es tubo).
- Esviaje de la obra (e).
- Pendiente longitudinal de la rasante (p).
- Pendiente de la obra (s).
- Pendiente transversal del camino, ya sea de bombeo o de sobreelevación (W_1, W_2, S).
- Taludes de corte o terraplén (T).
- Espesor de pavimento (d).
- Coronamiento del muro (Q).

5) Funcionamiento del drenaje. Se lleva a cabo después del proyecto de drenaje y consiste en realizar un resumen que incluye :

- Relación tabulada de todas las obras de drenaje (incluyendo puentes), que se encuentren en el tramo.
- Resumen de la solución de cada obra (incluye observaciones e indicación de cauces, canalizaciones necesarias, etc.).
- Se anexa para cada obra :
 - Croquis de la planta con el eje de la obra referenciando el eje del camino.
 - Registro y dibujo del eje de la obra.
 - Memoria de cálculo para cada obra.
 - Planos constructivos y cantidades de obra.

Elección del tipo de obra.

Se debe elegir el tipo de obra adecuada para drenar el área hidráulica dentro de las condiciones máximas de seguridad ; para ello es necesario considerar que las diferentes obras; tubos, losas y bóvedas, no deben trabajar a presión, por tanto, siempre deberá dejarse un área libre. Una buena elección del tipo de obra toma en cuenta :

- 1.- Area hidráulica necesaria.
- 2.- Pendiente de la obra.

Pendiente limite, en %	Obra recomendable
$S < 12$	Losa, tubo, bóveda ó cajón.
$12 < S < 20$	Batería de tubos o bóveda.
$20 < S < 45$	Tubos.

- * Únicamente en casos especiales se aumentará la pendiente, restringiendo a:
 - a) Bóvedas, con pendiente no mayor del 25. % y cimentación construida en forma escalonada.
 - b) En tubos con $S > 30$ %, construir muros de anclaje, para evitar deslizamientos.

3.- Altura mínima o máxima de terraplenes o rellenos.

Es aquella altura que permite alojar el tipo de obra elegido, que garantice un colchón mínimo sobre la parte más desfavorable (hombro) de la superestructura o clave.

En terreno de lomerío suave o plano, el terraplén mínimo será de acuerdo al tipo de obra elegido, sin problema alguno.

En terreno montañoso y escarpado, la altura del terraplén necesaria se tomará en cuenta según condiciones especiales en que se encuentre la obra , en muchas condiciones esto obliga a cambiar el tipo de obra o bien a enterrar la entrada y construir cajas captadoras de escurrimientos.

4.- Materiales de construcción.

Cada tipo de obra requiere de la facilidad y manejo de materiales específicos. Cuando la obra se localiza en terrenos montañosos se dificultan las maniobras de transporte de tubos de concreto o lámina, hasta su lugar de construcción ; en éste caso es más conveniente una alcantarilla de bóveda, construida por material pétreo, usual en dichos sitios. Cuando el transporte o secases de cemento y varilla para la construcción de una losa, sea incosteable, conviene cambiar el tipo de obra por tubería o bóvedas. En caso de que no existiera material pétreo adecuado para obras de bóveda o cimientos y estribos de las losas, se puede cambiar por tubos , generalmente abovedados.

5.- Capacidad de carga del terreno.

Proporciona seguridad en gran parte de los proyectos para su estabilidad y evita que las obras como losas, bóvedas o cajones fallen en su cimentación.

Datos de proyecto para estructuras menores.

1.- *Relación de obras en el tramo en estudio.* Por comodidad en su revisión acostumbra hacerse a cada 5 km, y para facilitar la concentración de datos se recurre al formato elaborado que sirve como machote.

Datos :

■ *Generales.*

- a) Denominación de la carretera.
- b) Tramo de la misma.
- c) Subtramo en estudio.
- d) Origen del kilometraje.
- e) Kilometraje inicial y final del subtramo.
- f) Número progresivo dentro del tramo, iniciando con el (1) en todos los tramos y continuando progresivamente.
- g) Estación o kilometraje de la intersección del eje de la obra con el eje de la carretera (\square).
- h) Informe de campo de cada obra, elaborado en campo.
- i) Registro del nivel del eje de la obra , así como el croquis correspondiente a la situación del eje de la misma con el escurridero (Forma 1).
- j) Sección en el eje de la misma.

■ *Hidráulicos.*

- k) Area por drenar (A).
- l) Coeficiente de escurrimiento (c).
- m) Area hidráulica necesaria (a).
- n) Fatiga o capacidad de carga del terreno.
- o) Tipo de obra.
- p) Elevación del desplante (D).
- q) Pendiente de la obra (S).
- r) Elevación de la rasante mínima (R_m).
- s) Esviaje (e) izquierdo o derecho, normal o radial.
- t) Sentido del escurrimiento, izquierdo o derecho.

Ver la tabla "Relación de obras de drenaje".

2.- Justificación al funcionamiento del drenaje. Se aconseja en una relación de obras de cada tramo de 5 km y la explicación de cada caso (el porque de su ubicación, y la necesidad de su proyecto), en si todos los datos convenientes para el buen proyecto de la obra, así como la necesidad de construirlas o no.

Consideraciones en la elaboración del funcionamiento de drenaje :

- a) Datos generales de la carretera (Referencia, fecha y lugar ; incisos a. b. c. d y e ; del punto anterior).
- b) En cuanto a los proyectos, se proporcionará una relación de las estaciones donde se ubican las obras de drenaje para un determinado tramo.
- c) Notas. Consiste en anotar las observaciones hechas en el tramo para cada obra propuesta ; como son : planta topográfica, perfil, secciones de construcción respectivas.

Recomendaciones :

- Entre más datos de campo se aporten en el funcionamiento de drenaje, nos formará un criterio más amplio para diseñar las obras.
- Ubicar invariablemente del lado aguas abajo, los prestamos laterales para la formación de terracerías, pues en el caso contrario, el fondo de dichos prestamos deberá quedar más arriba de la entrada de las obras, para garantizar su buen funcionamiento y poder drenar estos préstamos evitando encharcamientos del agua.

III.1.1. TUBOS.

Son alcantarillas construidas con tubos prefabricados, con sección suficiente para dar paso al agua y de longitud determinada por los taludes del terraplén ; cuando el área hidráulica proporcionada por el tubo no es la requerida para la cantidad de agua y no es económico elevar la rasante del camino para poder alojar un tubo de diámetro mayor, se colocarán dos o más líneas de tubos. Estas alcantarillas son las más rápidas de construir, pues inmediatamente después de tendido se puede construir el terraplén. Los tubos pueden ser de concreto o metálicos.

Los tubos generalmente no se calculan, ya que son fabricados por casa especialistas : limitando el calculo al uso de tablas.

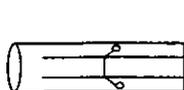
Recomendaciones en instalación:

- Colocación del terraplén por capas compactadas.
- Evitar que en la plantilla haya cama rígida, diferente resistencia del terreno, huecos, etc.
- Espesor mínimo de colchón 0.60 m.
- Colchón mínimo abajo de la subrasante 0.30 m.
- Para evitar azolve : *Diámetro mínimo 0.75 m.*
Pendiente mínima 0.5 % ; recomendable 2%.
- Colocar muros de cabeza a la entrada y salida de la obra para anclarla e impedir la tierra del terraplén caiga en los tubos ; conviene prolongar 1.0 m la longitud del tubo fuera de la traza del terraplén con el terreno (En terreno suave zampear la salida).
- Articulaciones convenientes.
- Colocación siguiendo las especificaciones de los fabricantes.

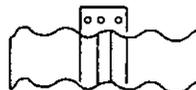
Tipos de tubos y uniones.



Unión de macho y campana. Tubos de concreto de diámetro :75, 90, 105 y 120



Unión de espiga



Tubo metálico corrugado 9, 10, 12, 14, 16, 18" Ø

Corrección en la longitud de tubos.

La longitud de una alcantarilla de tubo se calcula según el proceso descrito en el punto "cálculo de la longitud de la obra"; sin embargo, tal longitud debe corregirse como sigue :

1.- Corrección para evitar que salga el tubo del cabezote, por efecto de la pendiente. Emplea la fórmula :

$$L' = L \cdot \alpha + \beta; \quad \text{con } \alpha = (s^2 + 1)^{1/2} \quad \text{y} \quad \beta = (\varnothing + e)$$

Donde :

- α : Secante del ángulo cuya tangente es la pendiente de la obra.
- β : Producto pendiente por (diámetro más espesor).
- L' : Longitud corregida.

2.- Corrección para obtener un número cerrado de tubos.

- Tubos de concreto. Generalmente fabricados en una longitud de 1.25 m, por lo que (L) deberá ser múltiplo de 1.25 m.
- Tubos de lámina. Generalmente son fabricados en tramos de 0.61 m.

Correcciones :

a) Por desplante (C_d). Consiste en subir o bajar la elevación del desplante (D), con objeto de aumentar o disminuir la longitud L' y ajustar un número cerrado de tramos.

Si $L_T > L'$ Corrección (+)

Si $L_T < L'$ Corrección (-)

$$\text{Pendiente } (S \geq 4.0 \%) \quad \dots\dots\dots C_d = (L_T - L') / (T_1^{-1} \pm S) + (T_2^{-1} \pm S)^{-1}$$

$$\text{Pendiente } (S < 4.0 \%) \quad \dots\dots\dots C_d = (L_T - L') / (T_1 + T_2)$$

Entonces :

$$h'_1 = h_1 \pm C_d ; \quad h'_2 = h_2 \pm C_d$$

Con los valores de h'_1 y h'_2 se calculará nuevamente la longitud, para obtener un número exacto de tramos de tubo (L'').

b) Por talud (C_t). Consiste en corregir el talud aguas abajo, aumentándolo o disminuyéndolo. (Aplicable únicamente a la salida de cada obra). El valor de C_t será sustituido por T_n para obtener la longitud corregida de la obra.

$$C_t = d_1 + d_2 \pm (L_T - L') / d_1 + d_2 \cdot T_n \geq 1.45$$

c) Por pendiente (S'). Es aplicable en alcantarillas con caja de entrada. Fórmula empleada :

$$S' = [L' \cdot S \pm (L_T - L') \cdot T^{-1} \pm S] / L_T$$

Condición	Signo del segundo término.
$L_T > L'$	+
$L_T < L'$	-

Donde :

- S' : Nueva longitud resultante.
- L_T : Longitud por número de tramos.
- S : Pendiente propuesta por cálculo inicial.

Cálculo de volumen de excavación

- 1.- Trazar una línea compensadora en el perfil del terreno, acotado. Para obtener la altura promedio de excavación de la plantilla del cauce (h_T).
- 2.- Acotar las alturas promedio de excavación correspondiente a los muros de cabeza h_{m1} y h_{m2} respectivamente, contados a partir del desplante del cimiento del muro al terreno natural ; $h_m = (h_{m1} + h_{m2}) / 2$.
- 3.- Considerar una sección trapecial, con talud 0.5 :1 ; dejar 0.25 m de cada lado de la base.

Fórmulas usadas :

a) Plantilla.

Base promedio (b_T).

$$b_T = \varnothing + 0.5 + 0.5 h_T \quad \dots\dots\dots (1 \text{ Tubo})$$

$$b_T = \varnothing + 0.5 + d + 0.5 h_T \quad \dots\dots\dots (2 \text{ Tubos})$$

Longitud de excavación (L_e).

$$L_e = L - 2 * (b + e + 0.25)$$

■ Volumen de excavación en el tubo (V_i).

$$V_i = L_e * b_i * h_T$$

b) Muro de cabeza.

Base promedio (B_m).

$$B_m = B + 0.5 + 0.5 h_m$$

Longitud de excavación (L_m)

$$L_m = 2 * (L + 0.5)$$

- Volumen de excavación en los muros (V_m).
- Volumen total de excavación en la obra V_T .

$$V_T = V_T + V_m$$

Considerando :

- \varnothing : Diámetro del tubo.
- d : Distancia entre tubos c.a.c.
- v : Volado del cimiento del tubo.

CARRETERA : _____ TRAMO : _____ SUBTRAMO : _____ DE km. _____ A km. _____ ORIGEN : _____	ESTACION _____ ALCANTARILLA DE: _____ DE _____ m. * _____ m.
--	--

CALCULO DE LONGITUD DE OBRA

DATOS DE TERRACERIAS EN EL CRUCE		
SECCION NORMAL		
Subrasante Elev _____ m.	Esesor de revestimiento _____ m.	Esesor de la carpeta _____ m.
Rasante de cálculo _____ m.	Rasante del camino _____ m.	Pend. Long. del camino _____ %
SEMICORONAS { Y_1 (Izq.) _____ m. Y_2 (Der.) _____ m		{ W_1 (Izq.) _____ %. W_2 (Der.) _____ %

SECCION DE LAS TERRACERIAS SEGUN EL EJE DE LA OBRA		
$X_1 =$ $C_1 =$ $R_1 =$ $H_1 =$ $\text{Cos } e - k =$ $T_1 =$	$\text{Tang } e =$ _____ $\text{Cos } e =$ _____ $\text{Sen } e =$ _____ $\text{Tang } k =$ _____ $k =$ _____	$X_2 =$ $C_2 =$ $R_2 =$ $H_2 =$ $\text{Cos } e - k =$ $T_2 =$

LONGITUD DE OBRA			
PLANTILLA DEL CAUCE { Pendiente S = _____ % Elevación C = _____ m.		W_1 Esesor de la superestructura = _____ % Altura de la directriz : b = _____ m	
$1/T_1 =$	M =	M =	$1/T_2 =$
$1/T_1 - S =$	$M_1 =$	$M_2 =$	$1/T_2 - S =$
$F_1 =$	$F'_1 =$	$F'_2 =$	$F_2 =$
$h_1 =$	$Q' =$	$Q'S =$	$h_2 =$
$d_1 =$			$d_2 =$
$L_1 =$	L =	$L_2 =$	
$\alpha =$	$L' =$	$\beta =$	
_____ Tramos de 1.25 m. $L_T =$ _____ m Dif. = _____ Corrección = _____ m.			

AJUSTE A UN NUM. CERRADO DE TUBOS		
$h'_1 =$	$\Sigma R =$	$h'_2 =$
$d'_1 =$	$T_1 + T_2 =$	$d'_2 =$
$L'_1 =$	$L' =$	$L'_2 =$
$L'_{T1} =$	$L_T =$	$L'_{T2} =$
_____ Elev. = _____ Centro Elev = _____ m Elev = _____ m		

DATOS COMPLEMENTARIOS		
Colchón en el C _____ m.	Clasificación del terreno = (_____)	Altura promedio = _____ m
NOTAS : _____		

III.1.2. BÓVEDAS.

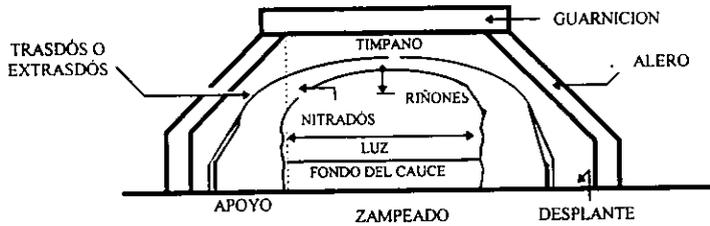
Una buena bóveda es una estructura que cierra superiormente un espacio. Y está compuesta por elementos estructurales de menor tamaño que el espacio que cubren, por lo que gravitan sobre el vacío y para sostenerse han de transmitir su peso y cargas que soportan de uno a otro hasta los apoyos. Las bóvedas sólo soportan esfuerzos de compresión, por lo que adoptan formas apropiadas que evitan fatigas de extensión y que transmitan las compresiones uniformemente a apoyos continuos o concentrados sobre apoyos aislados.

Hay muchas variantes para este tipo de obra, pero en esencia están constituidas por tres partes principales : el piso, dos paredes verticales, que son las caras interiores de los estribos y sobre estas un arco circular de medio punto o rebajado, que es el que recibe directamente la carga; éste se puede construir de mampostería, de concreto simple o reforzado, o bien metálico .

Una bóveda como obra de drenaje en carreteras, requiere de un diseño diferente a cualquier bóveda para otro tipo de obra y su diseño geométrico se realiza bajo especificaciones propuestas por el organismo responsable de la construcción de tales obras, que dependerá del lugar en que se encuentren ; por tanto, se debe seguir el criterio que rige tal diseño, para ello existen tablas de "Proyectos Tipo de Obras de Drenaje para Carreteras, S.O.P".

Recomendaciones :

- Se aconsejan alcantarillas de bóveda, cuando la piedra sea abundante y no se puedan colocar los tubos ; o si la pendiente transversal es fuerte y el colchón muy grande.
 - Cuando los claros son muy grandes, se recomiendan bóvedas con articulaciones (las bóvedas articuladas se clasifican en simples, gemelas o múltiples).
 - La desventaja de la alcantarilla de bóveda es su lenta ejecución ; sin embargo tienen la ventaja de su gran estabilidad, sobre todo cuando los estribos están bien cimentados.
-
- El colchón mínimo en bóvedas es de 1.00 m.



ALCANTARILLA DE BÓVEDA

Para seleccionar un proyecto tipo, se deben conocer los valores siguientes :

- Altura de la carga viva más el colchón, que se obtiene con :

$$d = h_{cv} + c$$

- Fatiga del terreno (f), proporcionada por los estudios de mecánica de suelos.

En seguida, se elige una obra adecuada a las condiciones bajo las que tenga que desplantar, de la manera siguiente : Conociendo los valores anteriores ingresar a tablas, para encontrar las dimensiones de la bóveda (En la práctica, generalmente las tablas son tabuladas por la Secretaria de Obras Publicas ; y contienen dimensiones de distintos proyectos tipo, entre los cuales se elegir el proyecto apropiado para cada condición en que se encuentre ubicada la obra) ; sin embargo, siempre se deben calcular las dimensiones siguientes : E , k , z , T' y φ .

Empleando las fórmulas siguientes :

$$E = (R + B_1) - (F + A)$$

$$T' = H + R + e - D$$

$$\varphi = \text{sen}^{-1} (A/R_e)$$

$$z = F \cdot \text{Tan}$$

$$B_n = B_i + x$$

Nomenclatura :

d : Espesor del colchón sobre la clave, más la carga viva, convertida a m.

c : Espesor real del colchón sobre la clave, convertida a m.

h_{cv} : Carga viva producida por un camión (H15-S12 ó H20-S16), convertida a espesor de colchón, considerando un peso volumétrico de 1600 kg/m^3 .

R : Radio del intradós, en m.

R_e : Radio del extradós, en m.

e : Espesor de la clave, en cm.

B_T : Ancho total del cimiento, en cm.

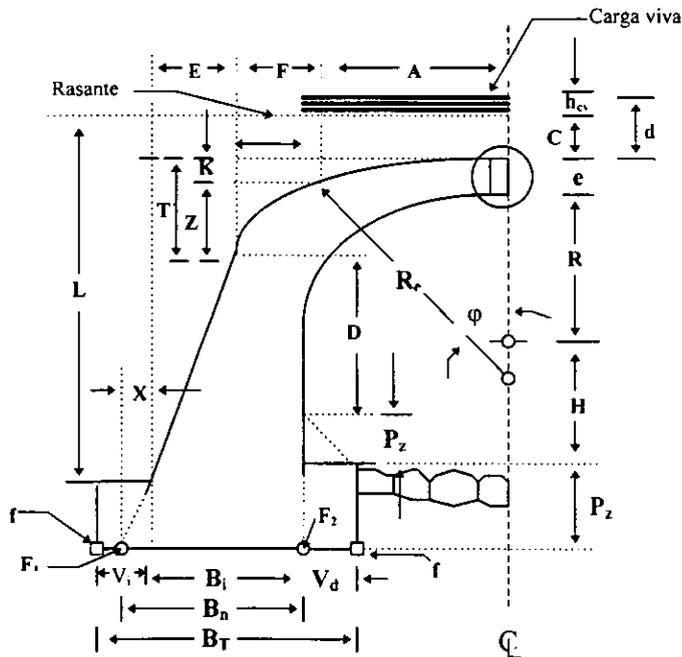
V_i, V_d : Escalones del cimiento, en cm.

P'_z : Peralte del cimiento, en cm.

f : Esfuerzo unitario de compresión en el desplante del cimiento, en kg/cm^2 .

F_1, F_2 : Esfuerzos unitarios en el desplante, cuando se eliminan los escalones. en kg/cm^2 .

V_m : Volumen de la mampostería, en m^3/ml .



III.1.3. LOSAS SOBRE ESTRIBOS.

Son estructuras formadas por dos muros de mampostería o de concreto sobre los que se apoya una losa de concreto reforzado, que proporcionará una amplia área hidráulica. Estas alcantarillas son usadas cuando, por la magnitud y forma del thalweg, no es posible usar una batería de tubos o cuando no hay tubos de diámetro necesario o si resultan muy costosos o difíciles de instalar o transportar; además son recomendables. cuando en el lugar se cuenta con material como arena, grava y piedra.

Proceso de cálculo.

1.- Secuela de cálculo para losas.

a) Determinación de carga sobre la losa.

Se considerará la carga muerta y la viva, donde la carga muerta consiste en el peso propio más el peso del colchón y la carga viva consiste en el peso de los camiones o cargas uniformemente repartidas.

La carga viva según especificaciones aceptadas en México, edición 1944, actualmente en vigor ASSHO (*American Association Of State Highway Officials*); reconoce las cargas vivas bajo las designaciones *H* y *HS*, donde :

- *H*. Es considerada para camiones de dos ejes, después de la *H* se coloca un número 10, 15 ó 20 ; que indica el peso bruto, en toneladas del sistema inglés; por último y separado por un guión, se adiciona siempre 44.

- *HS*. Es considerada para tracto-camión de dos ejes; después de *HS*, se coloca el peso bruto, en toneladas del sistema inglés del tracto-camión.

Tanto para *H*, como para *HS* se considera que el 80 % del peso bruto del camión propio del camión o tracto-camión cae en los ejes posteriores.

b) Investigación de las condiciones de trabajo de la losa. Se considerarán como losas libremente apoyadas, no considerando los semi-empotramientos ocasionados por la terracería arriba de los estribos.

c) Elección de la resistencia del concreto, fatiga y cálculo de las constantes.

d) Cálculo de esfuerzos.

e) Proporcionamiento de la sección y determinación del acero de refuerzo.

f) Proyecto.

g) Dibujo constructivo.

h) Cómputos métricos.

Secuela de cálculo en "Proyectos Tipo, para alcantarillas de losa".

El diseño geométrico de alcantarillas de losa generalmente se realiza utilizando "Proyectos Tipo"; por tanto, es conveniente conocer la secuela de cálculo de un proyecto tipo para una alcantarilla de losa.

Para iniciar el cálculo se requiere previamente determinar las características de la losa, para poder adaptarla a un proyecto tipo, tales como :

- Los valores que son función del $f'c$ del concreto
- e : Espesor de la losa.
- $l/2$: $1/2$ claro más el ancho del apoyo en sección normal.
- Vol. : Volumen de concreto, en m^3 por m de longitud en el sentido transversal de la carretera.

Número, separación, diámetro y tipo de varilla : longitudes en los distintos tramos y número de parrillas que debe llevar la losa.

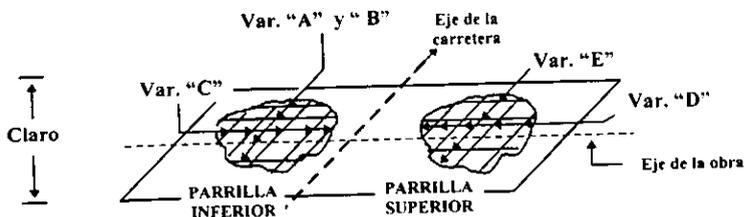
El paso a seguir, es el cálculo de la longitud de la obra : y para ello. se utiliza la forma-5 : sin embargo. es necesario modificar datos. como el espesor de la estructura (e) y altura de la directriz (b) ; y además deberá comprender datos de terracerías. en el cruce y según el eje de la carretera.

Diseño de losas, con "Proyectos tipo"

Armado en losas esviajadas.

* El diámetro de varillas no se calcula ; ya que. es especificado en el proyecto tipo.

1). Losas con armado principal esviajado y paralelo al eje de la carretera. En estas losas. se considera claro esviajado , medido según el eje de la carretera.



Armado Principal :

PARRILLA	VS. PARALELAS AL EJE DE LA CARRETERA.	VS. PARALELAS AL EJE DE LA OBRA.
Inferior	A y B	C
Superior	E	D

La separación de las varillas será la indicada en el proyecto constructivo y medida a partir de su eje. Tal separación se calcula con la fórmula siguiente :

$$S_v = E_p / \cos e$$

Donde :

- S_v : Separación de la varilla
 E_p : Espaciamiento (dependerá del proyecto)
 e : Esviaje.

Proceso de cálculo en losas esviadas.

En este tipo de losas queda un área triangular sin armar (Figura -a-); sin embargo, debido a que dicha área ejerce influencia sobre la guarnición; ya que, sirve de apoyo a la losa haciéndola trabajar como trabe; se debe calcular como trabe.

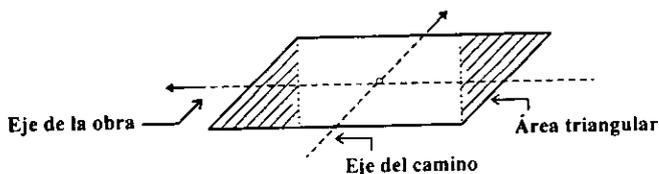


FIGURA -a-

a) Cálculo de las condiciones de trabajo.

■ Nomenclatura.

- h : Altura entre hombro y directriz.
 b : Altura de la directriz.
 d : Distancia del hombro intersección del talud del Cabezote.
 Q : Ancho de guarnición.
 w : Sobrecarga de la carpeta.
 L : Claro normal más los dos apoyos de la losa.
 c : Claro normal más un apoyo de la losa.
 L' : Claro normal de la obra.
 S : Separación entre varillas.
 L_a : Apoyo de la losa sobre el estribo.

El cálculo comienza por obtener el colchón mínimo, por tanto se debe contar con los datos siguientes : h, b, d, w, L, c y L' .

- Colchón mínimo (C_m).

$$C_m = b + h + Y ; Y = \pm 0.3 W$$

Considerando :

- Carga uniformemente repartida ; si $C_m < 0.60 m$.
- Carga concentrada (C_p), si $C_m > 0.60 m$.

En seguida se obtiene :

- limite de influencia de la carga viva (D_{cv}).

$$D_{cv} = Q/2 + d \cdot \cos e + 0.30 + x'/2$$

$$x' = f \cdot C_m$$

$$f = 1.75 m$$

- Limite de influencia de la carga muerta (L_{cm}).

$$L_{cm} = B + \text{Tan } \alpha - Q/2$$

$$B = L \cdot \text{Tan } e$$

$$\alpha = (90^\circ 00' - e) / 2$$

b) Cálculo del armado en la guarnición y área triangular.

- Calculo de varillas A y B.

$$\text{No. de Esp.} = (L'' - B) / S$$

$$\text{Longitud ocupada} = (\text{No. de Esp.}) \cdot S$$

$$\varphi = \text{No. de Var. (A y B)} = \text{No. de Esp.} + 1$$

$$\text{No. de Var. A} = 2\varphi / 3$$

$$\text{No. de Var. B} = \varphi / 3$$

- Cálculo de varillas A_1 y D_1 ; para un extremo.

$$\text{No. de Var. } A_1 = (R'/S) + 1$$

$$\text{Long. Máx. Var. } A_1 = (R / \text{Tan } e) + (2\beta - 2\delta)$$

$$\text{Long. Min. Var. } A_1 = (r / \text{Tan } e) + (2\beta - 2\delta)$$

$$\text{Long. Var. } D_1 = (L / \cos e) + (2\beta - 2\delta)$$

$$\varepsilon = \text{Longitud ocupada } A_1 = (R'/S) \cdot S$$

$$R' = [B - (Q' + a) - X_1]$$

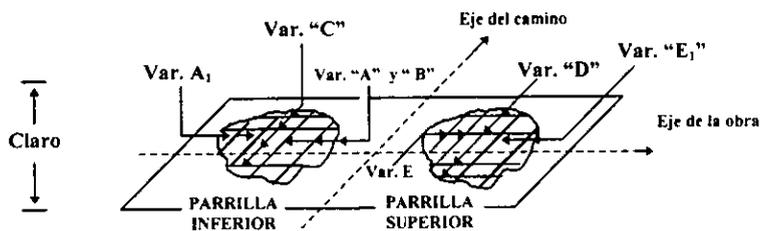
$$a = L_a \cdot \text{Tan } e$$

$$r' = R' - \varepsilon$$

$$r = Q' + a + r'$$

$$R = B - X_1$$

2). Armado principal normal al eje de la obra. En estas losas, se considera claro normal, el medido según el eje de la carretera.



Armado Principal :

PARRILLA	VS. PARALELAS AL EJE DE LA CARRETERA.	VS. PARALELAS AL EJE DE LA OBRA.
Inferior	A y B	C
Superior	E	D

La separación de las varillas será la indicada en el proyecto constructivo y medida a partir de su eje.

ESTRIBOS.

Los estribos son requeridos para apoyar la losa, pueden ser de mampostería o mixtos (mampostería con concreto ciclópeo). Al igual que las losas, existen proyectos tipo para estribos ; por tanto, se requieren datos para dimensionarlo, como :

- Coronamiento.
- Altura del colchón que va a soportar la losa.
- Fatiga del terreno (para cimiento)
- Altura libre de la obra (h).

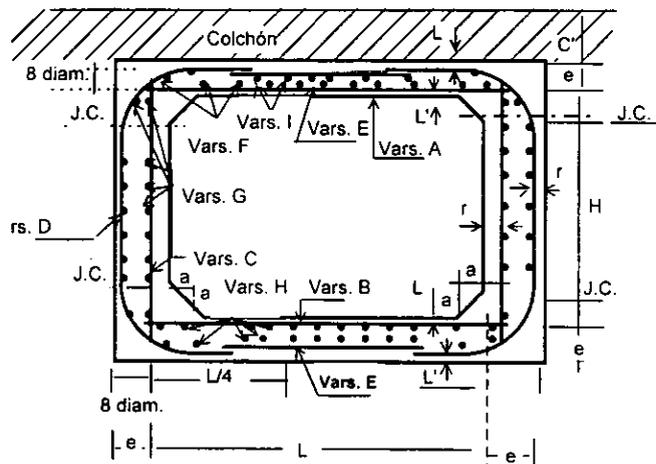
Recomendaciones de diseño :

- Sus dimensiones deben satisfacer.
- Condiciones de equilibrio, se debe realizar un análisis por volteo y por deslizamiento; tratando que sean admisibles las fatigas en mampostería y terreno de desplante.
- Se debe considerar la reacción de la carga viva y muerta de la losa; el peso de tierra sobre zapatas ; el empuje de tierra y el peso propio.
- Es conveniente drenar el estribo según sus condiciones.

III.1.4. CAJON.

Los cajones son estructuras de sección rectangular con paredes, techos y piso de concreto reforzado ; tanto las losa como muros son esbeltos y de poco peso, de aquí su gran estabilidad en terrenos blandos. El conjunto tiene una amplia superficie de sustentación. Trabajan en conjunto como un marco rígido que absorbe el peso y empuje del terraplén, la carga viva y la reacción del terreno. El calculo de alcantarillas de cajón involucra las cargas que actúan sobre la obra, agrupándolas de la siguiente manera :

- a) Cargas verticales.
- b) Peso propio, con dimensiones originales supuestas.
- c) Empuje del agua que se encuentra adentro de los cajones.
- d) Empuje lateral de tierras.
- e) Empuje triangular de tierras.
- f) Empuje hidrostático, cuando trabajen como tubos forzados.



Nomenclatura para proyecto de alcantarilla de cajón.

NOMENCLATURA :

- L : Espacio libre horizontal, en m.
- H : Espacio libre vertical, en m .

- C' : Espesor del relleno sobre la alcantarilla, en m.
 e : Espesor de losa y muros, en m
 f : esfuerzo unitario en el desplante producido por las cargas, en kg/cm^2 .
 $Vol.$: Volumen del concreto del cajón, en m^3/m .
 \emptyset : Diámetro de la varilla de refuerzo, en kg/cm^3 .
 P : Cantidad de acero de refuerzo, en kg/m^3 .
 f_c : Esfuerzo unitario de ruptura del concreto a compresión a los 28 días de edad, en kg/cm^2 .
 $8\emptyset$: radio de curvatura del refuerzo.
 a : Lado de la cartela.
 $J.C.$: Junta de colado.
 r : Recubrimiento, medido desde el eje del refuerzo principal.

III.2. VADO.

Por convención, las obras de drenaje con claro mayor de 6.00 m se clasifican como drenaje mayor, genéricamente denominados "puentes".

En caminos de bajo costo, generalmente adoptando normas de proyecto geométrico se tiene la opción de utilizar un puente-vado.

Un vado se define, como una obra de cruce que permite el paso del agua por arriba del camino ; es decir, que el tránsito puede circular al mismo tiempo que corre el agua sobre el camino. Los vados son de construcción sencilla y económica, en comparación con la de un puente y la de sus terracerías de acceso.

Un vado tiene forma de curva vertical en columpio y para comodidad del tránsito los accesos se hacen muy tendidos, con pendiente muy suave ; ya que, si el vado presenta una depresión muy brusca, será incómodo y peligroso.

La función del vado es proteger el camino contra la erosión del agua y proporcionar una superficie de rodamiento suficientemente sólida.

Un vado generalmente es empleado en :

- 1.- Zonas áridas con escurrimientos esporádicos.
- 2.- Zonas en las que el cauce permanece seco en el estiaje, donde hay corriente de agua de poca importancia durante la temporada de lluvias, aunque se presenten eventualmente crecientes que motiven un tirante sobre el vado, de una altura que obligue al tránsito a esperar.

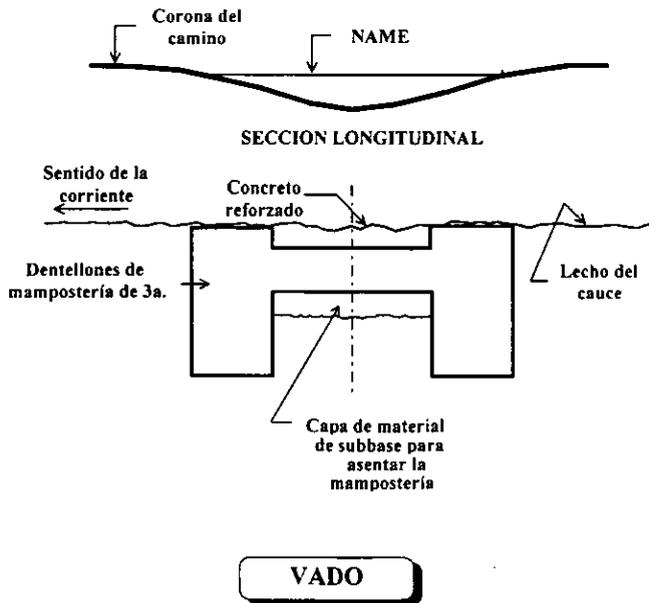
No obstante, un vado es aconsejable en caminos alimentadores ; ya que, son de poco volumen de tránsito y el trastorno ocasionado por esta interrupción no es grave.

Condiciones de un vado bien hecho :

- Evitar la erosión aguas arriba y aguas abajo.
- La superficie de rodamiento no se debe erosionar al pasar el agua.
- Facilitar el escurrimiento para evitar regímenes turbulentos.
- Tener señales que indiquen cuando no se debe pasar, cuando el tirante de agua sea demasiado alto y peligroso..

Recomendaciones de diseño :

- Cuando la rasante del vado se proyecte arriba del lecho del cauce, se protegerán los taludes y sus extremos, con mampostería aguas arriba y aguas abajo.
- Si la rasante coincide con el fondo del cauce, los dentellones se construirán inmediatos a la corona, aguas arriba y aguas abajo
- Se dará protección a la superficie de rodamiento con mampostería recubierta con una capa de concreto rico en cemento, para proporcionar una superficie lisa. Cuando la piedra es escasa, se hace lo anterior con concreto, empleando en los dentellones concreto ciclópeo.
- Colocar los postes a lo largo del vado o tramos de tubo, para dar una idea al conductor del espesor de la lámina de agua que está pasando por el vado.
- Cuando el escurrimiento es permanente, conviene colocar una o varias líneas de tubos, lo cual permite el paso de cierta cantidad de agua en tiempo de lluvias, conservando seco el vado, hasta que el volumen de agua sea tal que rebase el vado.



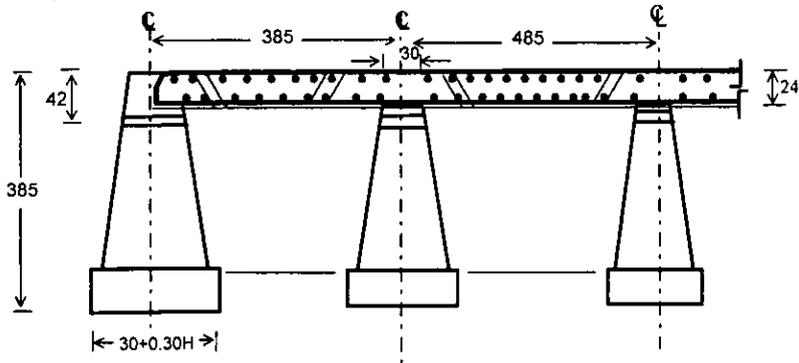
III.3. PUENTE-VADO.

Cuando los escurrimientos son importantes, y las interrupciones debidas a tirantes de agua fueron mayores de 30 cm ; frecuentes y de larga duración, el vado a nivel del cauce podría no satisfacer las condiciones de transito permanente. En este caso debería seleccionarse el tipo de vado elevado sobre el cauce que permite alojar tubos o una losa.

El Puente-vado, es una estructura intermedia entre el vado y el puente ; es una estructura con forma de puente, que se utiliza para dar paso al gasto de las aguas máximas ordinarias y que durante el periodo de aguas máximas extraordinarias permite que el agua sobrepase por encima de ella.

Un puente-vado está formado por muros extremos y apoyos intermedios de mampostería y superestructura de concreto reforzado, como el agua rebasará el puente-vado, se requiere que la superestructura ofrezca menor resistencia, por lo que no podrán construirse de concreto con nervaduras ; esto obliga a claros pequeños entre apoyos y a proyectar losas continuas.

Es recomendable construir puentes-vado de 3.00 m de ancho aún para caminos alimentadores de dos carriles, y sin parapetos, para no ofrecer resistencia al agua, pero con guarniciones interrumpidas de 25 cm de altura que delimiten el puente mientras la lámina de agua no sea de mayor espesor.

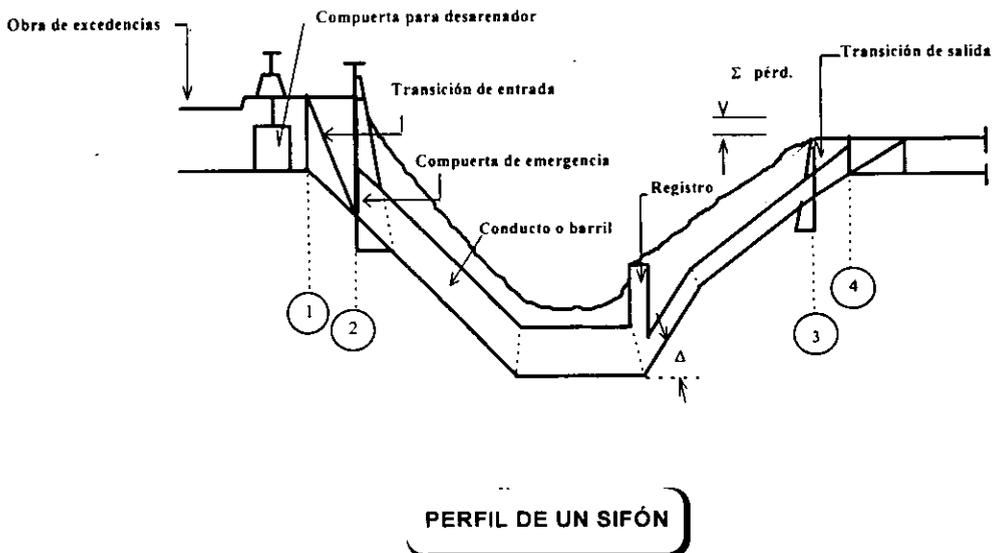


Cotas en cm.

PUENTE VADO

III.4. SIFÓN INVERTIDO.

Definición : Un sifón es un conducto cerrado que trabaja a presión y es proyectado de acuerdo al gasto y carga a que va a estar sujeto temporal o definitivamente. Pueden construirse de concreto, asbesto-cemento o acero y pueden ser de sección rectangular, circular, en herradura u ovoide.



Partes de un sifón.

1.- Desarenador.

Esta localizada antes de la transición de entrada. Consiste en una o varias compuertas deslizantes colocadas en una de las paredes laterales, que descargan a un canal con una pendiente superior a la del propio canal, sirviendo para desalojar el agua del sifón cuando por reparación sean cerradas las compuertas de agujas de emergencia; la dimensión de tales compuertas deberá adecuarse tanto al gasto por desalojar como a la obra de excedencias.

2.- Desagüe de excedencias.

Consiste en un vertedor lateral construido en una de las paredes del canal; cuya función es evitar que el nivel del agua suba más de lo tolerable en el canal de llegada,

tirando el gasto que no pueda pasar por el sifón. La cresta del vertedor estará al nivel de la superficie libre del agua para el gasto normal.

3.- Compuerta de emergencia y Rejilla de entrada.

La compuerta de emergencia se localiza al final de la transición de entrada. Consiste en una o varias compuertas deslizantes o agujas de madera. Su función es cerrar la entrada del conducto para poder hacer limpieza o reparaciones al mismo.

La rejilla de entrada deberá impedir o disminuir la entrada al conducto de basura y objetos extraños que impidan del funcionamiento.

4.- Transición de entrada y salida.

Debido a la diferencia de sección del canal y del conducto o barril es necesaria la construcción de una transición de entrada y salida para pasar gradualmente de la primera a la segunda.

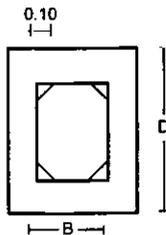
5.- Barril.

Este conducto forma la parte más importante y necesaria de los sifones. Se puede construir de materiales de asbesto, presentando ventajas sobre los de concreto ; tales como. rapidez en su instalación, menores pérdidas por fricción, mayor adaptación al terreno natural, pues las juntas usadas para unir los tramos de tubería permiten pequeñas deflexiones. Para un funcionamiento correcto el barril deberá llevar una velocidad entre 2 y 3.5 m/s, que evita azolvamiento y abarata la obra.

Conductos circulares. Por especificación de la SARH (*Departamento de canales de gran irrigación*), el diámetro mínimo aceptado en secciones circulares es de 3" (0.762 m) para tubos precolados y de 1.25 m para tubos colados en el sitio.

Conductos cuadrados. En cuanto a sección, es más eficiente que cualquiera rectangular ; ya que, es la que tiene más área en relación al perímetro mojado.

Conductos rectangulares. Se debe cumplir con las especificaciones de la SARH ; la sección mínima aceptada es $B = 0.8 \text{ m}$, con carteles de dimensión mínima de $0.10 \times 0.10 \text{ m}$, para evitar azolvamiento en esos puntos.



D : Altura interior del conducto.

B : Ancho de la parrilla del conducto.

*Siempre debe cumplir la relación $D/B = 1.25$

Normas generales de proyecto. Cuando se va a cruzar un canal a través de un camino federal, el diseño del sifón debe cumplir con las recomendaciones de la Dirección General de Construcción (antes S.A.O.P.); por tanto, en sifones en cruce con carreteras, se cumplirá :

- a). El espesor de tierra que debe dejarse del punto más bajo del terreno natural, dentro del derecho de vía del camino, a la parte superior de la estructura debe ser por lo menos 1.5 m.
- b). La longitud del conducto en proyección horizontal, mínima, será la longitud del derecho de vía, más 1.0 m a cada lado de los muros de cabeza, debiendo quedar las transiciones fuera del derecho de vía.

Diseño hidráulico del sifón.

Trazado el sifón y contando con planta y perfil del terreno en el sitio de la obra, se diseña la forma y dimensiones de la sección del conducto más económico y conveniente ; considerando lo siguiente :

- 1.- Desarrollo mínimo posible.
- 2.- Excavaciones mínimas.
- 3.- Colchón o relleno sobre el conducto, según especificaciones generales de proyecto.

El diseño de la sección esta gobernado por tres factores, la economía, pérdidas de carga y azolve. Las dimensiones de la sección del ducto dependen del gasto que pueda pasar y la velocidad que se le pueda dar (la velocidad conveniente en el barril que evita depósitos y azolve esta entre 2.50 y e.50 m/s) Cuando por las condiciones del problema no sea posible dar el desnivel, se podrán reducir las pérdidas, reduciendo prudentemente la velocidad sin que sea menor de 2.50 m/s, en la inteligencia de que con esto aumenta el peligro de azolvamiento del sifón, por tanteos, se deben mejorar las facilidades para limpiar el interior del barril.

El desnivel entre los gradientes de energía de entrada y salida de la estructura será igual a la suma de todas las pérdidas de carga que se presentan en el sifón. Las principales pérdidas de carga en el sifón son por :

- 1.- Transición de entrada y salida.
- 2.- Rejilla.
- 3.- Entrada al conducto
- 4.- Fricción en el conducto o barril.
- 5.- Codos o cambios de dirección.
- 6.- Pérdidas por válvula.
- 7.- Pérdidas por ampliación.

Cuando el desnivel entre el canal de entrada y de salida sea insuficiente para vencer las pérdidas. Si la diferencia es pequeña, para encontrar el nivel del agua a la entrada del sifón y determinar el remanso que se producirá en el canal de entrada al sifón. Si se desea que pase todo el gasto conservando el diseño propuesto, se aplicará el teorema de Bernoulli, pero en sentido inverso (de adelante hacia atrás).

Cuando el desnivel forzoso entre el canal de entrada y de salida es muy grande, y sea inconveniente reducir la sección del ducto, es necesario perder carga haciendo caídas en el canal de llegada y aplicando el teorema de Bernoulli en sentido inverso, para que mediante tanteos de longitud del barril, se encuentre el nivel del agua antes de la transición de entrada. Puede proyectarse un tanque de reposo en este lugar para entregar tranquilas las aguas del sifón.

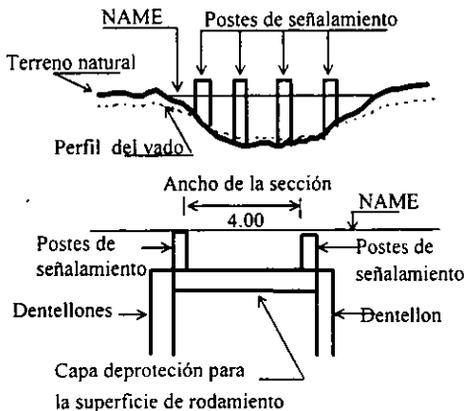
Recomendaciones de diseño :

Cuando el desnivel entre plantillas de los canales superior e inferior no tenga una caída mayor a 4.0 m, es recomendable utilizar una rápida. A diferencia de la caída vertical, los muros no estarán sometidos a empuje de tierras por la condición de inclinación correspondiente al talud 1.5 :1 (talud de reposo del material), por lo tanto, sólo será necesario un revestimiento del canal de la caída, suficiente para resistir las velocidades de tipo erosivo que traiga el agua en suspensión.

Generalmente, cuando la velocidad no exceda 3 m/s, se utiliza como material de revestimiento mampostería de 3a: con un espesor mínimo de 30 cm; juntas con mortero de cemento en relación 1.5, aplanando toda la superficie expuesta con mortero de cemento en relación 1.3, de 3 cm de espesor mínimo. Y cuando la velocidad de caída, no sea mayor de 6 m/s, se podrá utilizar concreto simple, de $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$, con espesores de 10 a 15 cm. Si las velocidades no exceden 9 m/s, se podrá utilizar concreto reforzado con una resistencia de 100 kg/cm^2 y varillas con $f_s = 2400 \text{ kg/cm}^2$. De acuerdo con las condiciones específicas y al diseño estructural correspondiente para cada caso particular.

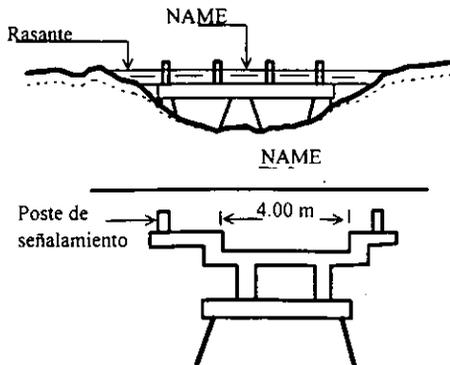
Cuando el canal es de tierra, con la finalidad de eliminar el fenómeno de la sobrepresión, se colocarán dentellones al criterio del residente de obra, en las transiciones de entrada y salida de la caída inclinada, se colocarán los filtros y lloraderos necesarios dependiendo de las condiciones necesarias y características específicas de cada obra.

LAS PRINCIPALES SOLUCIONES PARA OBRAS DE DRENAJE MAYOR Y SUS CARACTERISTICAS SE RESUMEN A CONTINUACION.



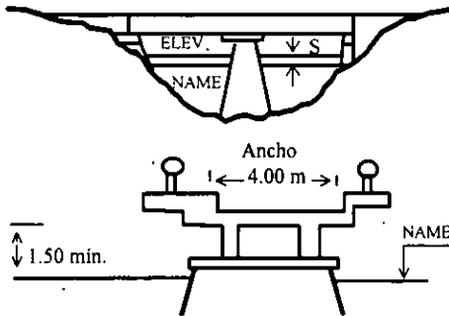
VADO.

- Tirante bajo.
- Bajos volúmenes de tránsito.
- Condiciones de vado natural que se optimizan.
- Señalamiento con postes.
- El de más bajo costo.
- Puede sufrir interrupciones en el tránsito.



PUENTE -VADO.

- El MANE puede en un momento, rebasar la estructura y esta deberá diseñarse para trabajar ahogada.
- Se debe poner postes de señalamiento.
- Es más económico que el puente.
- Las interrupciones en el tránsito son menores.



PUENTE.

- Servicio permanente.
- Para caminos de T.D.P.A. alto y que tienen que dar un servicio a un número mayor de habitantes.
- Debe tomarse en consideración el presupuesto, por tratarse de la obra de más alto costo.



CAPITULO IV
DRENAJE SUBTERRÁNEO

CAPITULO IV. DRENAJE SUBTERRANEO.

IV.1. CONDICIONES GENERALES.

Una parte del agua que cae sobre la corteza terrestre se evapora, otra escurre sobre ella y el resto se infiltra en las capas interiores; pero no toda el agua subterránea procede de la precipitación, sino que también hay agua atrapada como residuo de antiguos lagos u océanos y también puede proceder de la condensación de vapores arrojados por actividad volcánica. El agua subterránea se encuentra en las partículas de suelo o cavidades, fracturas y fallas de las rocas; y ocasionalmente formando lagos o corrientes subterráneas.

El agua fluye entre los vacíos del suelo o rocas muy intemperizadas, ocasionalmente causando erosiones, al construir un camino en corte; si no se controla el flujo del agua, se pueden presentar serios problemas.

El flujo puede aflorar a través :

- a) De los taludes. Se pueden presentar fallas conchoidales o tipo creep.
- b) En la cama del camino. Puede haber inestabilidad en la superficie de rodamiento, tanto los de revestimiento provisional como los de tipo definitivo, como lo son los pavimentados.

El agua en el interior de los suelos, también puede causar que se pierda la cementación o cohesión aparente y aumentar el peso de la masa provocando su flujo. Algunas veces, puede provocar la elevación de presiones neutrales reduciendo así la resistencia al esfuerzo cortante además del aumento de peso de la masa provoca la falla de los taludes.

La causa por la que el agua fluye a través de los taludes de corte o de la cama del camino, es que el agua se encuentra a una presión mayor a la atmosférica; por tanto, para captarla es necesario introducir en la cama del suelo zonas de menor presión; o sea la atmosférica, haciendo para ello perforaciones o excavaciones conectadas a la atmósfera, para que esta zona de menor presión cree un gradiente hidráulico hacia ella, de lo cual resultará un flujo de agua que podrá controlarse más fácilmente que estando disperso; secando consecutivamente la masa por consiguiente aumentando la resistencia al esfuerzo cortante y disminuyendo las presiones hidrostáticas.

El término "Drenaje Subterráneo" se refiere al control de las aguas freáticas que se encuentran donde se localizan las carreteras. El drenaje subterráneo es una parte necesaria del sistema total del drenaje para muchas carreteras en áreas rurales, y funciona conjuntamente con las instalaciones del drenaje superficial para evitar los daños causados por el agua en sus diferentes formas.

El drenaje subterráneo desde muchos aspectos, es muy semejante al drenaje superficial, ya que las capas impermeables forman canales bien definidos o vasos de almacenamiento de agua subterránea tal como sucede en la superficie del terreno; en sí el drenaje subterráneo consiste en proporcionar ductos de drenaje adecuados para controlar el escurrimiento de esa agua rápidamente.

Generalmente el agua subterránea se presenta en corrientes que fluyen por gravedad, siguiendo planos inclinados o bien estancada en planos prácticamente horizontales. Las partículas de los suelos estarán humedecidas por efecto del agua que se adhiere a ellas por efecto de tensión superficial, agua que les puede llegar directamente por la corriente subterránea o por efecto de la atracción capilar, que se presenta en un manto húmedo o saturado, a otro más seco. La humedad que así llega resulta puede ser excesiva y provocar en este caso la inestabilidad de las terracerías o bien por capilaridad llegar hasta la capa de revestimiento, provocando su destrucción; por lo que es necesario evitar estos daños.

El agua que se presenta en mantos ya sean inclinados y que por tanto fluye, o bien horizontales y que se encuentra estática, puede eliminarse por medio de obras de drenaje; pero no cuando la humedad es producto de la capilaridad; pues en este caso se debe abatir el nivel del manto, con obras de drenaje apropiadas, para evitar que el agua capilar llegue al camino.

Es importante destacar que para poder resolver de manera apropiada los problemas del subdrenaje, se requiere conocer la naturaleza de los suelos, sus propiedades y su comportamiento. De manera general, es preciso aclarar, que el estudio de los suelos consiste en investigar el perfil del suelo para tener idea acerca de la existencia y elevación del agua subterránea. El nivel al que se encuentra, es conocido por medio de sondeos.

Debido a que las condiciones del agua subterránea varían con la época; los resultados obtenidos no pueden aplicarse a cualquier época; sin embargo, proporcionará una idea del comportamiento del escurridor y su poder erosivo.

Los casos en que se debe estudiar y proyectar el subdrenaje, son los siguientes :

- a) Estabilización de la sub-base.
- b) Estabilización de la base.
- c) Estabilización de taludes.
- d) Derrumbes en terraplenes

Pueden aprovecharse las condiciones naturales del suelo, para eliminar el agua subterránea y abatir su nivel, sin emplear obras auxiliares: principalmente en los casos de estabilización de la sub-base y de la base, algunas de las formas se citan a continuación :

Métodos más usados para estabilizar la sub-base:

- Colocar una capa permeable sobre el terreno, con objeto de que el agua capilar no suba al terraplén, sino que escurra lateralmente se recomienda colocar una capa porosa de 15 a 60 cm de espesor, según sea el caso.
- Impermeabilización de la sub-base, mediante mezclas de materiales, generalmente de asfalto.
- Si los sistemas antes mencionados no son eficientes, se debe mejorar el material, seleccionándolo adecuadamente de bancos.

- Realizar una compactación adecuada de terraplén o cama del camino, con intervención del laboratorio.
- Realizar un proyecto adecuado de cunetas, descartando cunetas rectangulares, que son nocivas al camino.

Métodos mas usados en la estabilización de la base :

- Se debe cuidar que la altura de la rasante sea la suficiente para que el agua capilar no llegue a perjudicarla.
- Que halla drenes de grava o de piedra, generalmente de forma triangular.
Para los fines de diseño del subdrenaje se requiere saber la clasificación del suelo; pues el comportamiento es distinto si el suelo es arcilloso, arenoso, mezcla de los dos, si está constituido por grava o canto rodado, si es limo, marga o finalmente pantanoso.

Principales características en los distintos tipos de suelos :

- Suelos arcillosos.

Son malos, de difícil drenaje ; porque conservan agua y al mojarse se hacen plásticos e inestables.

* Para estabilizarlos, es recomendable mezclarlos con arena.

- Suelos arenosos.

Inestables, por su falta de cohesión.

* Solo son usados en terraplenes cuando se les protege y aísla de la corriente del agua

- Suelos de grava y canto rodado.

Son drenados fácilmente.

* Son estabilizados al mezclarse con arcilla, arena, etc. ; al construir terraplenes.

- Suelos de arcilla.

Son llamados margas, cuando contienen carbonato de calcio.

* Su comportamiento es muy parecido al de suelos arcillosos.

- Suelos pantanosos. En éste tipo de suelos no se aplican las mismas reglas generales del subdrenaje.

Para entender mejor el comportamiento de un suelo también es importante conocer las principales características y propiedades de los suelos que influyen en el proyecto de subdrenaje ; entre las más importantes, destacan las siguientes :

- a) *Textura.* Influye, debido a que la cantidad de agua corriente y estancada depende del tamaño de las partículas.
- b) *Permeabilidad.*
- c) *Capilaridad.* Es la propiedad de los suelos de absorber agua por contacto con una fuente adyacente en este líquido y de transmitirla en todas direcciones sin importar la intensidad y dirección de la fuerza de la gravedad. La fuerza que ocasiona la capilaridad es la tensión superficial o atracción molecular de láminas delgadas de agua y se

denomina tensión superficial. La capilaridad es la propiedad de los suelos de mayor influencia en el diseño de obras de drenaje.

- d) *Escurrimiento*. Movimiento del agua por gravedad dentro del terreno.
- e) *Expansión y contracción*. Cambio de volumen de acuerdo a la cantidad de humedad, el cual ocasiona el asentamiento o levantamiento de la base.
- f) *Plasticidad*. Depende de la mayor o menor cantidad de agua contenida en el subsuelo

El drenaje subterráneo de una carretera, consiste por lo regular de un tubo circular colocado en una zanja a una profundidad adecuada, la cual se rellena con material poroso o granular. Está constituido por los dispositivos necesarios para eliminar el agua subterránea o bien para abatir el nivel hasta donde no sea perjudicial al camino, en cuanto a la estabilidad de sub-base; base y taludes.

Por tanto, las funciones del drenaje subterráneo también llamado subdrenaje puede ser una o varias de las siguientes :

- a) Interceptar y desviar corrientes subterráneas antes de que lleguen al lecho de la carretera.
- b) Hacer descender el nivel freático.
- c) Sanear las capas del pavimento

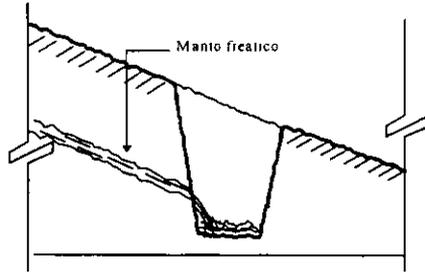
En si, el objetivo del drenaje subterráneo es dar al camino protección del daño que le pueda causar el agua que se encuentra en el terreno abajo de él para proteger al camino del agua subterránea, se recurre a cierto tipo de obras para eliminarla o cuanto menos abatir su nivel, a fin de disminuir su peligrosidad; y su instalación deberá cumplir con cierto número de objetivos, de los cuales la mayoría están incluidos en los siguientes :

- 1) Control de la filtración en cortes o sobre laderas. Generalmente, estas instalaciones se conocen como "drenes interceptores".
- 2) Abatimiento del nivel de aguas freáticas, como en las áreas pantanosas.
- 3) Drenaje poco profundo de la base y la subrasante.

IV.2. DEFINICIÓN, OBJETIVO Y CLASIFICACIÓN DE DRENES.

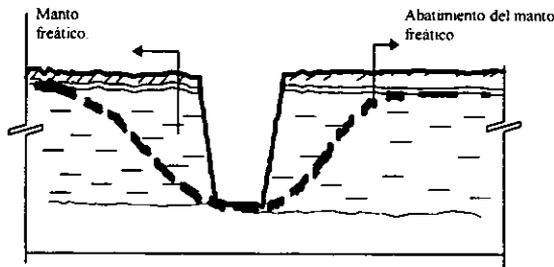
DREN: Obra por medio de la cual se puede interceptar y abatir el manto de agua subterránea; comúnmente son conocidos como drenes subterráneos o subdrenes. Los subdrenes son obras baratas y fáciles de construir, pues la experiencia ha comprobado su eficiencia.

Generalizando, se puede decir que un dren es una zanja que intercepta el manto subterráneo de agua y provoca su escurrimiento por ella si cuenta con pendiente longitudinal adecuada. Cuando la zanja es suficientemente profunda, se logra abatir el nivel del agua.



Un manto freático horizontal puede abatirse mediante zanjas que tengan pendiente longitudinal para desalojar el agua. Con el tiempo la línea de abatimiento puede llegar a ser horizontal, dependiendo sobre todo de la cercanía de las zanjas.

Cuando el manto es horizontal y el agua es estática; la zanja provoca escurrimiento de agua hacia ella abatiendo el nivel: caso en el que el abatimiento se realiza según un plano curvo.



Con una zanja se puede interceptar el escurrimiento de un manto freático inclinado e impedir que siga corriendo hacia abajo.

Objeto y clasificación de un dren.

Los drenes de intercepción son proyectados para cortar las corrientes subterráneas e impedir que alcancen las inmediaciones de la carretera. Por su posición se clasifican en longitudinales y transversales.

Principales tipos de obras de subdrenaje y sus características.

- Drenes longitudinales.
- Drenes ciegos.
- Trincheras estabilizadoras.
- Drenes transversales de penetración.

■ *Drenes Longitudinales.*

El objetivo de un dren longitudinal es bajar el nivel freático de la cama del camino y en menor escala disminuir la zona saturada del talud del corte.

Condiciones generales :

Un dren longitudinal consiste en una zanja, al pie de los taludes del corte con profundidad mínima de 1.5 m. y llegando ocasionalmente hasta los 4.0 m. en el fondo sobre una plantilla de concreto pobre, se coloca un tubo de concreto perforado en su parte inferior y relleno de material filtrante; considerando a un material filtrante adecuado a la grava-arena, con tamaño máximo de grava de 2 pulg. y 5% máximo en finos.

El fondo del tubo debe quedar, 15 cm por lo menos, por debajo del plano superior de la capa impermeable, o relativamente impermeable, que sirve de lecho a la corriente subterránea; en el caso de que dicha capa sea roca, se debe tener precaución para evitar que parte de la filtración cruce el dren por debajo de la tubería. El fondo de la zanja tendrá una pendiente necesaria para que el agua captada sea conducida hacia una obra de drenaje transversal.

El caudal a desaguar puede determinarse aforando la corriente subterránea. Para ello, se agotará el agua que afluya en la zanja en la que se ha de situar el dren en una longitud y tiempo determinados. En el caso de interceptar filtraciones laterales procedentes de uno de los lados de la carretera, se dispondrá un sólo dren longitudinal del lado de la filtración; por otro lado, si el agua procede de ambos lados, como lo es el fondo de un valle o trinchera, deberán disponerse dos drenes de intercepción, uno a cada lado de la carretera.

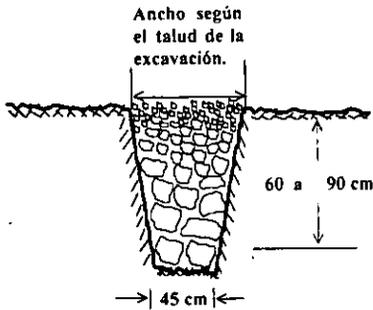
■ *Drenes ciegos.*

El dren ciego o dren francés, consiste en una zanja llena de material pétreo grueso; la zanja tendrá un ancho necesario para poderla excavar y después rellenarla con material adecuado; el ancho de la zanja no podrá ser menor a 40 cm. Y con una profundidad suficiente para abatir la lámina de agua hasta el nivel deseado, así como la pendiente uniforme necesaria, para vaciar a una salida adecuada.

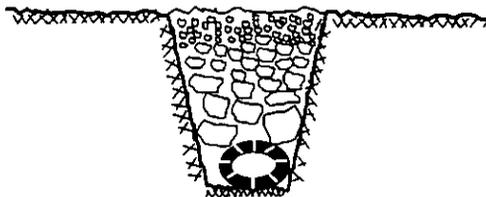
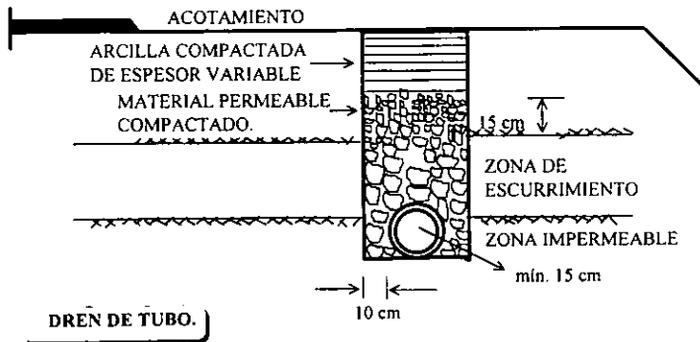
En un subdren ciego la excavación es rellena con un material pétreo ; y en el caso de un subdren francés se construye con piedras grandes formando un canal de sección cuadrada o rectangular y colocando encima material graduado de relleno.

Los subdrenes deben construirse el forma cuidadosa, pues mal construidos sólo agravan la situación ya que recogen y retienen el agua donde precisamente debe ser eliminada.

Un dren ciego será efectivo cuando la piedra o grava usada para rellenar las cepas, es de preferencia de tamaño grande, tal que el porcentaje de vacíos sea elevado.

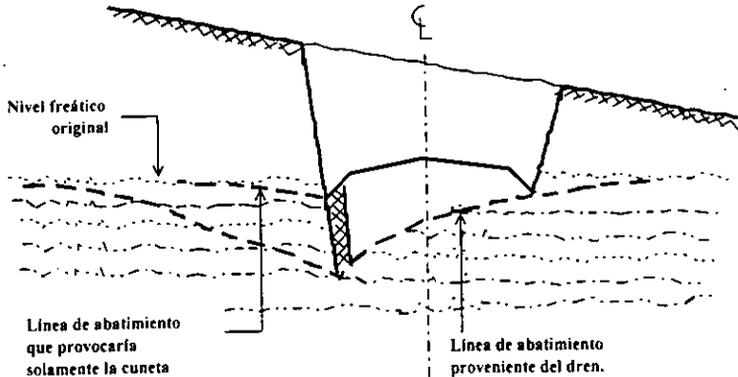
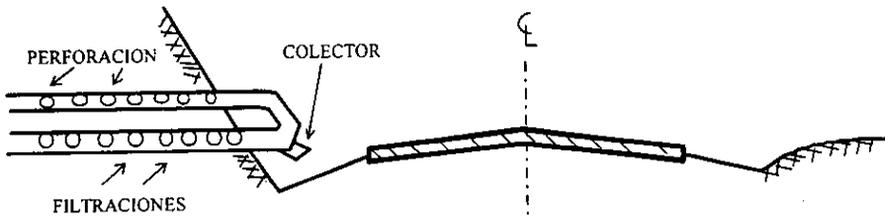


El dren ciego o francés, requiere en el fondo piedras grandes que dejen suficiente espacio para que fluya el agua. El tamaño de las piedras va disminuyendo hacia arriba, terminando en una capa de material fino, impermeable, para impedir el azolve de la zanja por filtración de materiales en la superficie.



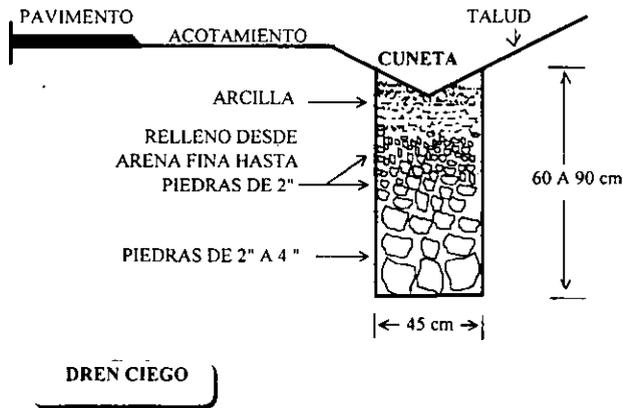
En drenes de tubo con perforaciones, se aconseja rellenar la zanja con material pétreo de tamaño uniforme para facilitar el escurrimiento del agua hacia el tubo y en la parte superior colocar una capa de material impermeable.

Los drenes ciegos son empleados cuando no se requiere mucha profundidad y el agua por captar es poca. Este tipo de drenes, pueden ser empleados transversalmente al camino o paralelos a él, según la función que desempeñen. Los drenes transversales se colocan a intervalos necesarios para colocar el flujo del agua por ascensión capilar o infiltración y desalojando los escurrimientos donde no sea perjudicial al camino. En tanto, los drenes ciegos paralelos al camino, es común que se coloquen uno en cada lado del camino, principalmente en terrenos planos, precisamente bajo las cunetas.



Abatimiento del manto freático por medio de un dren ciego, su ausencia podría dañar directamente el camino por

Cuando se coloca un dren ciego a lo largo de cuneta, es indispensable que la capa superior del relleno sea material fino, para evitar su taponamiento debido al material que arrastra el agua de la cuneta; si se considera que no será suficiente con ello o que puede haber erosión, se aconseja zampear la cuneta.



Colocar un dren al centro del camino suele ser más efectivo, con profundidad suficiente para hacer que el nivel freático baje lo necesario en ambas orillas del camino, y cubrir después la cepa con material de revestimiento.

■ *Trincheras de estabilización.*

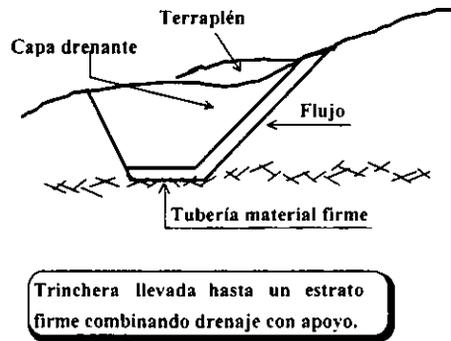
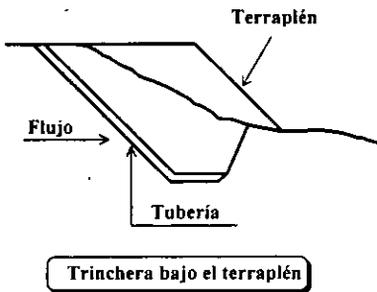
Una trinchera estabilizadora tiene lugar en laderas, cuando existe un flujo de agua. Una trinchera estabilizadora está formada por grandes espesores de materiales cuya estabilidad se ve amenazada por el flujo del agua y sobre dicha ladera deberá construirse un terraplén, la remoción de los materiales malos y la sustitución por otros mejores resulta difícil y, desde luego, antieconómica. En tal caso, es recomendable captar el flujo y eliminar el agua en una zona bajo el terraplén de profundidad y ancho suficiente que garantice la estabilidad del terraplén.

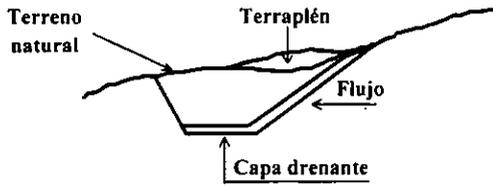
Características generales :

Las trincheras son excavaciones dotadas por un talud aguas arriba de una capa de material filtrante, con espesor de 0.5 a 1.0 m. y un sistema de remoción y eliminación del agua en su fondo a base de tubería perforada para captación y otra colocada transversalmente para desfogar.

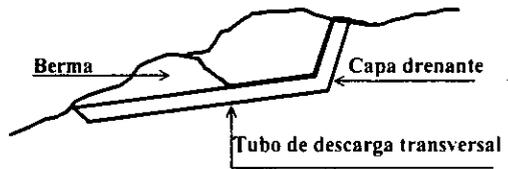
La trinchera deberá rellenarse con material debidamente compactado, relleno por lo general de material producto de la misma excavación.

La profundidad a la que se construye una trinchera, es por lo regular de 3 a 15 metros, y ocasionalmente más profundas.





Trinchera integrada al terraplén.



Trinchera con berma lateral, mostrando un tubo de descarga transversal.

■ Drenes transversales de penetración.

También son conocidos como drenes horizontales, los cuales son tuberías perforadas en toda su periferia que penetran en el terreno natural en dirección transversal al camino para captar las aguas internas y abatir las presiones neutrales.

Función :

Disminuir el contenido de agua en algunos cortes con estabilidad deficiente, logrando aumentarla a grado tal, que han determinado taludes poco tendidos.

- a) Consisten en introducir en forma normal al corte y mediante técnica especial, una serie de tubos de acero con perforaciones en un extremo, llevándolos hasta el lugar mismo en que se encuentra la vena líquida.
- b) El conjunto de drenes horizontales se conecta a un colector que sacará el agua fuera del corte.

Un dren transversal debe instalarse cuando en una carretera en pe pendiente, los drenes longitudinales son insuficientes para interceptar toda el agua de filtración.

Características generales :

Los drenes horizontales se constituyen efectuando previamente una perforación de 1.5 a 2 veces el diámetro del tubo perforado ; con maquinaria apropiada y posteriormente, en la perforación se coloca el tubo perforado interceptando la superficie potencial de falla detectada, rebasando cuanto menos 5 metros.

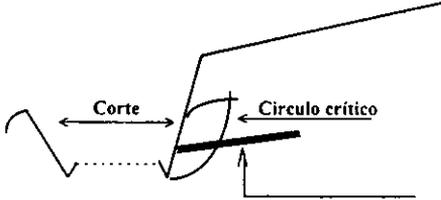
Es recomendable el uso de tubos de acero debido a su resistencia, cubiertos de asfalto para protección contra la corrosión y galvanización.

La longitud de los drenes longitudinales es variable, rebasando ocasionalmente los 100 m ; su inclinación con la horizontal varía de 3 a 20 %. Por otro lado, en cuanto a la descarga de los tubos no debe ser directa a los taludes; por lo cual, los drenes se conectan a un colector exterior que es otro tubo de aproximadamente 20 cm de diámetro, para eliminar las aguas donde no sean inofensivas. La parte del tubo más próxima a la superficie de terreno más natural o del talud, se dejará sin perforar de 2 a 3 m, para impedir la invasión de vegetación a través de las perforaciones, que obstruyan la salida del tubo.

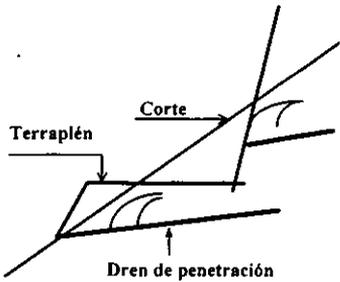
Para lograr un buen funcionamiento, se requiere un número elevado de drenes y en terrenos o masa de roca agrietada sin fácil intercomunicación interna, su zona de influencia podrá ser relativamente pequeña, requiriendo espaciamientos cortos entre ellos, comúnmente 5 m uno del otro y en dos hileras separadas a distancia similar regularmente a cada 10 m.

La actividad de los drenes horizontales no dependen del gasto que logren extraer, pues un dren pudiera no sacar nada de agua y cumplir perfectamente sus funciones de estabilidad del terreno al abatir la presión neutral interna dentro de la zona de influencia. El gasto depende de la permeabilidad de las formaciones atravesadas bien hasta que capten venas acuíferas, manantiales, etc.

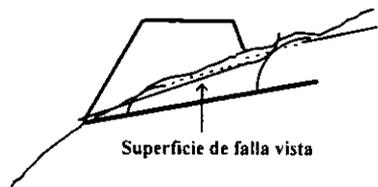
**Croquis de la disposición de drenes
transversales de penetración.**



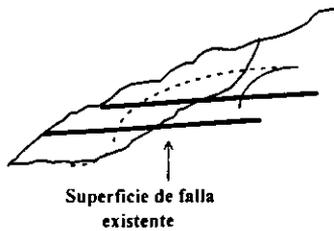
A. CORTE



B. CORTE EN BALCON.

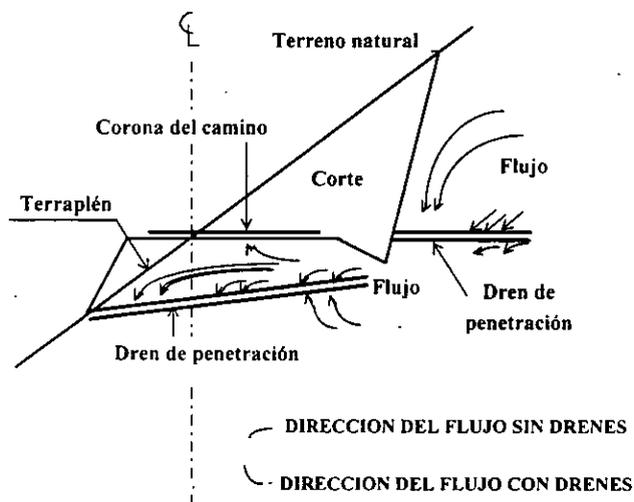


**C. TERRAPLÉN SOBRE
UNA LADERA.**



**D. CORRECCION DE
FALLA EXISTENTE.**

.....	N.A.F. ORIGINAL.
————	N.A.F. ABATIDO POR EL DREN.



ESQUEMA DE LA INFLUENCIA DE DRENES TRANSVERSALES DE PENETRACION EN UN CORTE DE BALCON.

Un dren transversal debe instalarse cuando en una carretera en pendiente, los drenes longitudinales son insuficientes para interceptar toda el agua de filtración. El proyecto de drenaje transversal, consiste en instalar drenes interceptores transversales normales al eje del camino o drenaje en espina de pez.

Condiciones de instalación :

- 1) *Drenes interceptores transversales.* La distancia media entre ellos, será de 20 a 25m.
- 2) *Drenaje en espina de pez.* Independientemente de la pendiente longitudinal de la carretera, éste tipo de drenaje es recomendable al pasar de trinchera a terraplén, como protección contra las aguas infiltradas procedentes de la trinchera. Y para su instalación se recomienda lo siguiente :
 - a) Que el eje de las espinas forme con el eje de la carretera un ángulo de 60° .
 - b) Las espinas se constituyan por una zanja situada bajo el nivel del plano superior de la explanada.
 - c) Las paredes serán inclinadas, con un talud de $\frac{1}{2}$, para repartir, al máximo, el posible asiento diferencial.
 - d) Rellenar las zanjas con material filtro.

- e) Las espigas llevarán una de hormigón pobre o arcilla unida a la cuna del dren longitudinal.
- f) Situar las espigas consecutivas a distancias variables, que dependerán de la naturaleza del suelo que compone la explanada. Tales distancias están comprendidas entre 6 m ; para suelos muy arcillosos, y 28 m para suelos arenosos.

En síntesis, las características del subdrenaje son las siguientes :

TIPO DE SUBDRENAJE	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
<i>Remoción y sustitución del terreno</i>	Reemplazar el terreno natural por material estable incluyendo una capa drenante abajo del terraplén.	Es conveniente, cuando resulta más económico que el drenaje artificial y los métodos de estabilización.
<i>Mezclas con el suelo.</i>	Mezclar el suelo para dar cohesión, estabilidad, aumentar o reducir el tamaño de los huecos, bajar la temperatura de congelación.	Más que un método de subdrenaje se recomienda para estabilizar el suelo.
<i>Zanjas.</i>	Son cepas de 90 a 120 cm de profundidad y 60 cm de ancho, paralelas al camino, conservan el N.A.F. bajo la superficie del camino.	Son más eficientes que las zanjas y drenes ciegos. No son recomendables bajo el centro del camino; ya que, la conservación resulta más costosa.
<i>Drenes ciegos.</i>	Son cepas rellenas de material permeable, colocados paralelos o transversales al camino a intervalos regulares, para evitar la ascensión capilar y bajas en el N.A.F.; su profundidad dependerá del nivel que quiera bajar el agua, deben tener pendiente y salidas adecuadas.	Se recomienda graduar el material de relleno. Cuando son paralelos al camino, se colocan bajo las cunetas o una bajo el eje del camino.
<i>Zanjas con drenes de tubo.</i>	Cepas provistas de un tubo perforado en su fondo, rodeado por un material filtrante graduado. El tubo puede ser de barro, de concreto o lámina corrugada perforado.	Son más eficientes que zanjas y drenes ciegos. No son recomendables bajo el centro del camino; ya que, la conservación resulta más costosa.
<i>Trincheras estabilizadoras.</i>	Cepas permeables, colocadas bajo el terraplén, cuando la remoción y sustitución de otros materiales resulta muy difícil.	Es muy importante, cuidar que los taludes y la compactación sea la correcta, para evitar derrumbes.
<i>Drenes transversales de penetración.</i>	Son tuberías perforadas en toda su periferia que penetran en el terreno natural en dirección transversal al camino, drenan agua y abaten presiones neutrales.	La perforación para alojar el tubo, deberá ser de una y media a dos veces mayor que éste. La descarga deberá hacerse a un colector y no directamente a los taludes. La tubería deberá dejarse dos o tres metros sin perforar a la salida. La tubería no siempre deberá drenar agua, para tener seguridad de que están disminuyendo las presiones neutrales.



CAPITULO V
PUENTES

CAPITULO V. PUENTES.

V.1. DEFINICIÓN, OBJETIVO Y CLASIFICACIÓN.

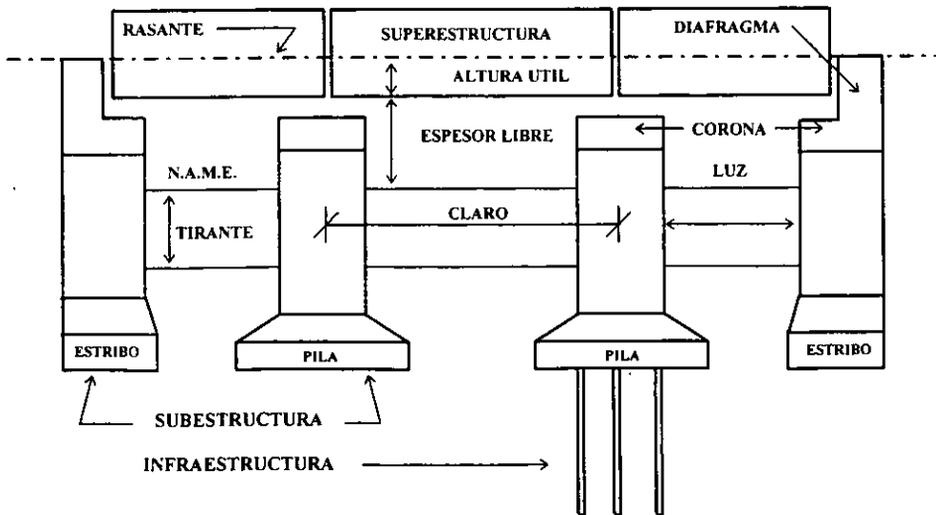
A las obras de drenaje con claro mayor a los 6.00 m , se clasifican como drenaje mayor, y genéricamente se les denomina como "puentes". En los caminos de bajo costo, a parte de la solución de puentes, que generalmente se adoptan en vías con mejores normas de proyecto geométrico, se tiene la opción de utilizar puentes vado y vados. Los puentes son estructuras que se construyen cuando el régimen del escurrimiento no permite proyectar un vado o un puente vado. La selección del tipo de obra esta en función del volumen de tránsito diario promedio anual, de las posibilidades de aumento futuro del tránsito y de los recursos financieros disponibles para su construcción.

Definición.

Un puente se define como la estructura que se construye en una vía de comunicación, para salvar el curso de agua, una depresión del terreno u otra vía de comunicación. Esta obra debe cumplir con las condiciones de seguridad, funcionamiento, durabilidad y belleza posible. Se entiende por curso de agua : un arroyo, torrente, río, estero, pantano, brazo de mar, bahía, etc. Y la depresión del terreno puede ser una barranca, en cuyo fondo es factible la existencia o inexistencia de una corriente.

El *objeto* de cruzar una vía de comunicación con un puente es el de evitar accidentes y facilitar el tránsito a una velocidad aceptable y constante.

La estructura de un puente esta formada por la Infraestructura, Subestructura y Superestructura.



- **Infraestructura:** La infraestructura de un puente transmite las cargas al suelo de cimentación. Esta constituida por zapatas de cimentación, pilotes, cilindros de cimentación, placas, etc. Se considera cimentación :
 - a) Superficial. Esta se apoya directamente sobre un manto resistente o relativamente a poca profundidad y se efectúa por medio de zapatas aisladas o corridas de mampostería, concreto simple o reforzado.
 - b) Profunda. Son realizadas a profundidades superiores a los ocho metros, ya sea porque la capa resistente en el subsuelo se encuentra a mayor profundidad o bien, para desarrollar la fricción lateral necesaria para estabilizar el elemento de cimentación.

Los elementos típicos de la infraestructura son:

- Pilotes. Elementos longitudinales generalmente esbeltos de concreto reforzado, metálico o de madera, que traban por fricción lateral o apoyada directamente en un estrato firme.
- Cilindros. Son elementos de concreto reforzado, generalmente de 4 a 5 metros de diámetro exterior. Constituyen una solución adecuada, aunque tienen la desventaja de su elevado costo de hincado.
- Pilas de cimentación. Son semejantes a los pilotes, se hacen de concreto simple y casi siempre de sección circular por la facilidad de su construcción con diámetro mínimo de 0.60 m y longitud desde 8.0 m hasta 30.0 m aproximadamente.

- **Subestructura :**

La subestructura transmite las cargas a los apoyos de la infraestructura. Y está constituida por los elementos donde se apoya directamente la superestructura (sirviendo de refuerzo a la superestructura) y a su vez se apoyan sobre los elementos de la infraestructura. La subestructura está conformada por estribos, pilas y caballetes.

- Estribos extremos con aleros. Pueden ser en "U" o inclinados o sin aleros cuando se ubican en corte, también llamados estribos enterrados, generalmente son de mampostería aunque pueden construirse de concreto ciclópeo o concreto reforzado.
- Pilas. Elementos intermedios de soporte, en las que se apoyan los extremos de dos tramos de superestructura, pueden ser de mampostería de concreto ciclópeo o reforzado.

- **Superestructura :** Parte de la estructura de un puente destinada a transmitir las cargas muertas y vivas a los apoyos. La superestructura se construye sobre apoyos como son la losa, los parapetos, etc.

Superestructura puede ser :

- Isostática. En el caso de travesaños libremente apoyados, travesaños con voladizos y arcos de tres articulaciones.

- Hiperestática. Caso de traves continúas, arcos empotrados, arcos de dos articulaciones y marcos rígidos, etc.

El diseño de una superestructura (Isostática, en particular de traves libremente apoyadas) considera que un puente deberá soportar las cargas siguientes :

- 1) Cargas muertas.
- 2) Cargas vivas.
- 3) Efectos dinámicos o de impacto sobre la carga viva.
- 4) Fuerzas laterales.
- 5) Otras fuerzas, por ejemplo longitudinales, centrífugas y fuerzas térmicas.

La superestructura o sistema de piso para puentes en caminos rurales más empleada, es :

- Superficie de madera sobre vigas de madera.
- Superficie de madera sobre viguetas de acero.
- Bóvedas de mampostería.
- Superficie a base de tuberías de acero.
- Losa plana maciza de concreto reforzado.
- Losa plana aligerada.
- Losa sobre una nervadura
- Losa sobre dos o más nervaduras.
- Losa plana sobre viguetas de acero.
- Losa plana sobre estructura de acero especial.
- Tridilosa.

Los factores que influyen en la determinación del tipo de un puente, conforme a las condiciones del lugar y las necesidades del cruce son las siguientes:

- a) Tipo de vehículos que van a pasar a través del puente, y la intensidad del tránsito.
- b) Aspectos topohidráulicos y geológicos del subsuelo.
- c) Condiciones climatológicas (para seleccionar los materiales convenientes para su construcción).
- d) Localización y transporte de materiales.

Clasificación general de los puentes.

La clasificación convencional de los puentes, se realiza atendiendo a su tamaño, altura, forma de efectuar el cruce, alineamiento, materiales predominantes en su construcción, uso, duración y operación. La clasificación general de puentes, se resume en el siguiente cuadro.

Es importante aclarar que la clasificación general de puentes que a continuación se cita, únicamente será útil para tener una idea general en cuanto a la existencia de los diferentes tipos de puentes que existen, sin profundizar en cada tipo; ya que el objetivo de este capítulo es el análisis de puentes como estructuras de drenaje en carreteras.

CLASIFICACION GENERAL DE PUENTES.

Por su tamaño.	<p>Alcantarillas. Puentes propiamente dicho. Viaductos : Madera. Mampostería. Concreto armado. Fierro estructural.</p>
Por su altura.	<p>Altos. Medianos. Bajos.</p>
Por la forma de efectuar el cruce.	<p>Normal. Esviados.</p>
Por su alineamiento.	<p>En tangente. En curva. Con pendiente.</p>
Según el material empleado.	<p>De madera. De mampostería : Piedra. Tabique. Concreto simple. Concreto ciclópeo. De concreto armado. De acero.</p>
Por su uso.	<p>Puentes para caminos. Puentes para ferrocarriles. Puentes mixtos (para caminos y ferrocarriles). Puentes canales : de riego. para embarcaciones. Puentes para peatones.</p>
Por su duración	<p>Puentes provisionales : De madera. Metálicos. Puentes definitivos.</p>
Por su condición de operación.	<p>Puentes fijos : Provisionales. Definitivos. Puentes Móviles : Giratorios.. Levadizos. Puentes basculantes. Sumergibles. Deslizantes. Desmontables : Caballetes metálicos. Trabes (Celosía o sistema Brailer). Pontones (madera o hule).</p>

V.2. ESTUDIOS PREVIOS A LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES.

Estudios de campo.

Objeto : Servir de base para el proyecto de un puente.

- Factores que intervienen en la elección de un buen cruce.
 - Cauce estable.
 - Cauce estrecho.
 - Tramo recto del cauce.
 - Fácil acceso.
 - Proximidad de materiales de construcción.
 - Subsuelo del cauce propicio para una buena cimentación.
 - Ausencia de islotes aguas arriba del cauce.
 - Ausencia de confluencias aguas arriba del cruce.
- Informes previos.
 - Nombre del río.
 - Sitio del cauce.
 - Anchura del río.
 - Tirante máximo aproximado.
 - Existencia de aguas permanentes.
 - Epoca de crecientes.
 - Geología del cauce.

Datos adicionales, por ejemplo : puentes próximos aguas arriba y aguas abajo, tipo de construcción o funcionamiento.

- *Informes definitivos.*
 - 1) *Datos generales.*
 - 2) *Datos toponidráulicos.*
 - 3) *Datos de cimentación.*
 - 4) *Datos de construcción.*
 - 5) *Datos de tránsito.*

1) Datos generales.

- a) Nombre del río.
- b) Nombre del cauce.
- c) Camino.
- d) Tramo.
- e) Estación.
- f) Dependencia encargada de la construcción.

2) Datos toponidráulicos. (Incluye datos topográficos e hidráulicos).

2.1) datos topográficos.

- a) Si el cruce es normal o el ángulo de esviajamiento que presenta (a la derecha o a la izquierda).
- b) Origen del kilometraje y de la zona del cauce.
- c) Elevación y descripción del banco de nivel (B.N.) más próximo
- d) Plano del cruce en planta, con curvas de nivel, eje del camino, construcciones, etc.. a escala 1 :200.

Estos datos deben acompañarse de copias de la hojas de localización en los tramos de terraplenes adyacentes. Indicar la altura de la rasante propuesta para el puente y elaborar un croquis de las monjeneras de referencia que fijan la posición del eje del puente.

2.2) Datos hidráulicos.

- a) Secciones en el cruce, aguas arriba y aguas abajo.
- b) Perfil del cauce del río.
- c) Nivel de aguas máximas extraordinarias (N.A.M.E.).
- d) Nivel de aguas mínimas ordinarias (N.A.M.O.).
- e) Nivel de aguas mínimas(N.A.Mín.).
- f) Nivel de aguas freáticas para excavaciones.
- g) Pendiente media de la superficie de agua o del fondo 500 m aguas arriba y 600 m aguas abajo.
- h) Coeficiente de rugosidad.
- i) Velocidad media (en el cruce principal y en los laterales).
- j) Gasto máximo de la corriente.
- k) Frecuencia de duración de las crecientes máximas.
- l) Epoca del año en que se efectúan.
- m) Caracteres generales y dimensionales aproximadas de los materiales de arrastre.
- n) Si la sección del cauce es estable o tiene tendencias a divagar.
- o) Si el cauce socava o azolva.
- p) Aunque realmente sucede en épocas ocasionales se recomienda hacer una canalización en seco, y después se deja pasar el agua.
- q) Si el remanso puede afectar algunas propiedades.
- r) Claro mínimo y espacio libre mínimo para el paso de cuerpos flotantes.
- s) Si hay puentes cercanos al cauce, reportar sus dimensiones para tenerlas en cuenta ; también se deben reportar las condiciones en que se encuentran.

3) Datos de cimentación.

Es la parte fundamental del estudio de los puentes; ya que, la mayoría de los problemas de cimentación se originan por efectos de la socavación o por cargas que rebasan la capacidad del terreno y que afectan la estabilidad de la obra. Por tanto, es importante definir los estudios de la cimentación, de acuerdo a las condiciones particulares de cada obra.

- a) Características generales de los materiales que forman el cauce y las riberas.

- b) Determinar el corte geológico que señale con claridad los materiales que forman el subsuelo, anotando también el nivel de las aguas freáticas e informar la cantidad de agua que se puede presentar al realizar las excavaciones. Las muestras se deben remitir al laboratorio con los distintos materiales que forman el subsuelo, indicando el método que se empleó para hacer los sondeos.
- c) Esfuerzos de seguridad que se proponen para diferentes lechos de cimentación y el procedimiento para determinar esos esfuerzos.
- d) Indicar las excavaciones en que será necesario el uso de ataguías, ademes, etc.
- e) Cuando existen otros puentes aguas arriba o aguas abajo, se deberá anotar el tipo de cimentación que los sustentan y las condiciones en que se encuentran.

Tipos de sondeos.

Los sondeos se deberían efectuar en el sitio donde se hincarán las pilas y cerca de los tajamares.

- Estudios simplificados. Datos obtenidos por observaciones directas.
 - Exploraciones de carácter preliminar. Consiste en la exploración del subsuelo, y los casos más comunes son :
 - Pozos a cielo abierto con muestreo alterado o inalterado.
 - Perforaciones con posteadora y barrenos helicoidales.
 - Método de penetración estándar.
 - Método de penetración cónica.
 - Exploraciones de carácter definitivo. Se estiman cuando los procedimientos de carácter preliminar son insuficientes y cuando lo requiera la importancia de la obra, la magnitud de la corriente o las características mecánicas de los materiales del lugar. Y es conveniente utilizar una máquina de exploración, a fin de obtener muestras a mayor profundidad que permitan la evaluación de la socavación y la comparación de diversas alternativas de cimentación. Los elementos sísmicos y eléctricos son utilizados en profundidades muy grandes.
- Las exploraciones de carácter definitivo se realizan por medio de :
- Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado.
 - Métodos con tubo de pared delgada.
 - Métodos rotatorios para roca.

Para puentes, los elementos anteriormente mencionados son suficientes, ya que la profundidad no es muy grande y las muestras no tienen que ser inalteradas.

Socavación.

En el diseño de los puentes, es importante la determinación de las profundidades de desplante de los elementos de apoyo, ya que una falla de juicio puede llevar a la destrucción total de la estructura o a profundidades excesivas que compliquen los procedimientos constructivos o encarezcan el costo de la obra. Por lo cual es indispensable tener muy en

cuanta la socavación. En sí, es difícil precisar el concepto de socavación, aún cuando puede decirse que es una forma especial de erosión, donde las partículas que se mueven constituyen la base o el apoyo sobre el que gravitan otros materiales, que pueden ser naturales o resultado de la acción del hombre.

Con la construcción de un puente, se reduce el área hidráulica del cauce, lo que provoca un aumento en la velocidad de la corriente y, en consecuencia una mayor capacidad de arrastre de los sólidos. En esas condiciones, el perfil de socavación desciende, incrementándose el costo de la obra debido a que las cotas de desplante de la cimentación se profundizan.

* En la sobreelevación que produce el estrechamiento, se recomienda no rebasar los 40 cm, permitidos por las normas en vigor.

De los estudios realizados para conocer la profundidad de socavación, el que mayor resultado ha dado es el criterio empírico de Kenedy, el que utiliza la fórmula siguiente aplicable a una sección del cauce :

$$V_c = md^{0.64}$$

Donde :

- V_c : Velocidad crítica de erosión (m/s).
- d : Tirante de agua (m).
- m : Factor que depende del tipo de material en fondo del cauce.

Se puede considerar $m=0.437$ para arenas finas, $m=0.658$ cuando existan cantos rodados ; para gravas $m=0.452$.

En cuanto al cálculo de la velocidad crítica, Maza y García , presentan la fórmula aplicable cuando $\gamma_s = 2650 \text{ kg/m}^3$.

$$V_c = 6.05 d^{0.15} D^{0.35}$$

Donde D es el diámetro representativo del material del fondo , que para suelos de 0.5 a 100 mm de diámetro, se puede tomar como $D 90$.

Generalidades respecto al perfil de socavación.

Con base en los datos obtenidos en los sondeos que se realizan para elaborar el corte geológico del cruce, se obtienen los datos que permiten delinear el perfil de socavación ; sin embargo, es necesario tener cuidado en la interpretación de los datos obtenidos, pues con frecuencia los datos se desvirtúan ante la presencia de grava y boleos, comunes en el subsuelo de los cauces.

Una observación básica en la fijación de los niveles de socavación, consiste en el análisis de los materiales que forman las capas, ya que un cambio en el grado de la permeabilidad de éstos, puede definir el perfil de la socavación. Esto sucede, por ejemplo, si las capas superiores son permeables, con alto contenido de arcillas que actúan como cementante, o también cuando las capas están formadas con rocas sanas.

4) *Datos de construcción.*

- a) Caminos de acceso a la obra.
- b) Localización de bancos de arena y grava, cuando exista ésta posibilidad.
- c) Disponibilidad de agua.
- d) Fuente de abastecimiento de materiales y su costo. Así por ejemplo, materiales de la región, con sus precios correspondientes. Entre ellos : cemento, cal, revestimientos, arena, grava, piedra, agua potable, madera, fierro de refuerzo y fierro estructural.
- e) Mano de obra y sueldos de la región.
- f) Clima de la región.
- g) Precios unitarios por concepto de obra en la región.

5) *Datos de tránsito.*

- a) Ancho de calzada del camino.
- b) Ancho de calzada del puente.
- c) La velocidad considerada será en función al tipo de camino.
- d) Número de guarniciones y ancho de éstas, si se prevé tránsito de peatones en el puente.
- e) Requerimiento de banquetas.
- f) Parapetos.
- g) Acompañar los planos con datos como :
 - i) Nombre del río.
Nombre de camino.
Tramo.
Estación.
Origen.
 - ii) Lista de materiales para :
Subestructura.
Superestructura.
Accesos, etc.
 - iii) Recomendaciones para la construcción del puente.
Referencias a bancos de nivel auxiliares.
Especificaciones.
 - iv) Nombres de las personas que intervienen en la elección, elaboración, cálculo, revisión y dibujo del proyecto del puente.

Los estudios que se deben de ejecutar, se requieren completos, sin dejar de considerar cada caso con una solución particular y en ocasiones se podrá suprimir alguno o parte de estos estudios. Tales estudios, pueden resumirse en el cuadro que a continuación se cita :

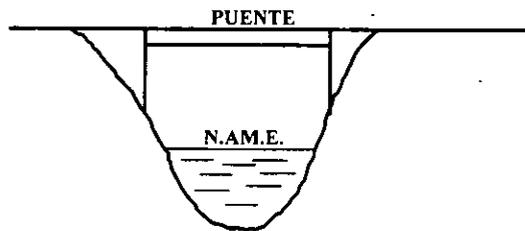
	INFORME GENERAL	INFORME PRELIMINAR. CROQUIS DEL CRUCE. INFORME PARA PROYECTO. CROQUIS DE LA REGION.
	DATOS DE LOCALIZACION	CALCULO DE COORDENADAS DE LA PRELIMINAR. DE LA POLIGONAL AUXILIAR Y DE LA DEFINITIVA. PERFIL PRELIMINAR DE LA POLIGONAL AUXILIAR Y DE CONSTRUCCION ESTIMATIVO. PLANTAS : DE LA ZONA DEL CRUCE. SECCIONES DE CONSTRUCCION Y PROYECTO DE LAS SECCIONES. CALCULO DE LA RASANTE Y CURVA MASA. REFERENCIAS DEL TRAZO DEFINITIVO.
	DATOS HIDRÁULICAS	PENDIENTES Y SECCIONES HIDRAULICAS. AREAS HIDRAULICAS. CALCULOS HIDRÁULICOS.
ESTUDIOS DE CAMPO DE PUENTES	DATOS DE CIMENTACION	INFORME DIARIO DE SONDEOS. REGISTRO DE SONDEOS. CORTE GEOLOGICO. ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS.
	FOTOGRAFIAS	DEL CRUCE BAJO DIFERENTES ANGULOS.
	REGISTROS	TRAZO DE LAS POLIGONALES AUXILIARES. NIVELACION DE LAS POLIGONALES AUXILIARES. SECCIONES DE TOPOGRAFIA DE LAS POLIGONALES AUXILIARES. TRAZO DEFINITIVO. CALCULO DE CURVAS HORIZONTALES. NIVELACION DEL TRAZO DEFINITIVO. SECCIONES DE CONSTRUCCION. NIVELACION DEL FONDO DE LA CORRIENTE DE LA SUPERFICIE. NIVELACION DE LAS SECCIONES HIDRAULICAS.

En cuanto a los datos comerciales necesarios para un buen estudio del puente y que deben ser enviados en el informe de localización del mismo son :

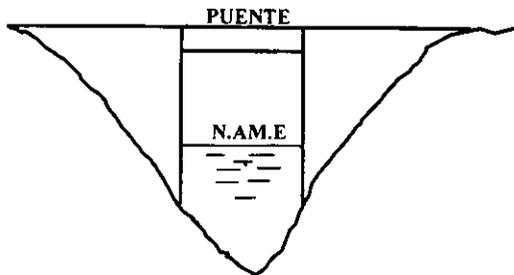
- a) Jornales medios en la región para diferentes categorías.
- b) Precios unitarios de los diferentes materiales en el lugar de la obra.
- c) Cubicación de los diferentes bancos de materiales.
- d) Vía más próxima de comunicación.
- e) Clima predominante en la región.
- f) Enfermedades de la región.

Con todos los datos de campo bien recopilados se pasa al anteproyecto del puente. Es conveniente elaborar varios anteproyectos usando diversos tipos de puente para escoger el más económico y más adecuado.

Los anteproyectos deben elaborarse con cuidado, ya que es muy común encontrarse terrenos así :



Ocasionalmente se desplantan enormes estribos desde el fondo y se coloca una pequeña superestructura, de la manera siguiente :

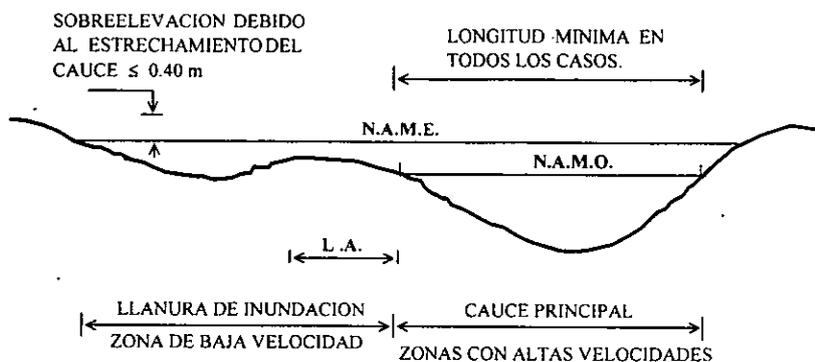


Cauce bien definido.

Cuando el cauce está bien definido con llanura de inundación sin importancia hidráulica, con la hipótesis de que la cimentación está a salvo de la socavación, puede fijar la longitud del puente bajo dos condiciones diferentes, como se indican a continuación :

1. Cubriendo sólo el cauce principal, que será la longitud mínima en todos los casos.
2. Proporcionándole una distancia adicional (L.A) a fin de que el gasto de la zona de inundación tenga un vaso comunicante. Esta longitud adicional se puede dar a través de la longitud total del puente, o bien mediante una obra auxiliar de losas, cajones o tubos.

Ver la siguiente figura :



L.A. Es la longitud adicional, en función de la fracción del gasto total que escurra en la llanura que escurra el la llanura de inundación y de la seguridad de la subestructura ante la socavación.

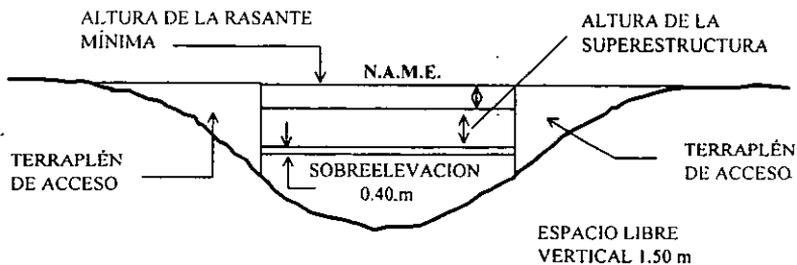
Criterio para fijar la rasante mínima.

Procedimiento :

- 1) Determinación de la altura del N.A.M.E.
- 2) Cálculo de la sobreelevación debida al estrechamiento del cauce : Las normas de construcción en vigor admiten 40 cm como máximo.
- 3) Fijar el espacio libre vertical, con las consideraciones siguientes :
 - a) Garantizar el paso de los cuerpos flotantes. Normas de la S.C.T. consideran 1.50 m como mínimo.
 - b) Tomar en cuenta el grado de incertidumbre que puede haber en el nivel de aguas máximas extraordinarias.
- 4) Definir el tipo de proyecto a utilizar, para conocer el espesor de la superestructura.

Condiciones para calcular la altura de la rasante mínima. A continuación se muestra un ejemplo con datos meramente ilustrativos.

Altura del N.A.M.E.	1000.00 m.
Sobreelevación	0.30 m.
Espacio libre vertical	1.50 m.
Espesor de la superestructura	1.70 m.
 COTA DE LA RASANTE	 $\Sigma = 1003.50 \text{ m.}$



Si las condiciones topográficas definen la rasante económica, es necesario proyectar varias alternativas de solución, con los respectivos análisis de costos de terraplén y estructura.

PROYECTO DE PUENTES.

El proyecto de un puente debe garantizar :

- 1) Un correcto funcionamiento hidráulico.
- 2) Permitir el paso de los cuerpos flotantes.
- 3) Definir la capacidad de carga del terreno, de acuerdo al tipo de obra por construir.
- 4) Economía de la solución.

Existe una relación importante entre la forma del cauce y el tipo de obra que se diseñe, que incide en la economía del puente. Por esta razón, una vez que se cumple con el adecuado funcionamiento hidráulico y el paso de los cuerpos flotantes, debe estudiarse el número de tramos de que constará el puente, cuando no sea factible cubrir todo el cauce con un solo claro.

Número de tramos :

- a) En cruces de forma regular y poco profundos, los tramos pueden ser iguales.
- b) En cruce muy profundo, se trata de cubrirlo mediante un solo claro.

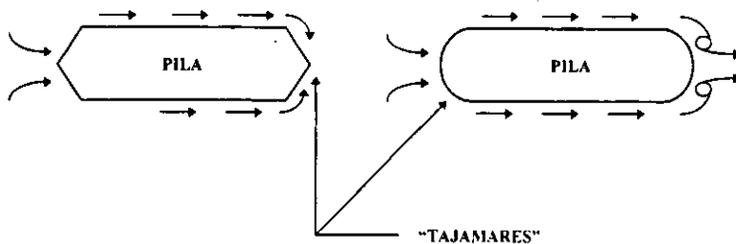
ESTUDIO DE PILAS Y ESTRIBOS DE PUENTES.

La pila de un puente es la parte de la subestructura que recibe la acción de dos tramos de la superestructura, cuya función es transmitir las cargas al terreno y repartirlas en tal forma que no excedan al esfuerzo admisible del terreno.

Para lograr lo anterior, de manera económica, es necesario que las pilas tengan un costo (incluyendo su cimentación) aproximadamente igual a un tramo de la superestructura en cuanto al sistema de piso se refiere.

Recomendaciones :

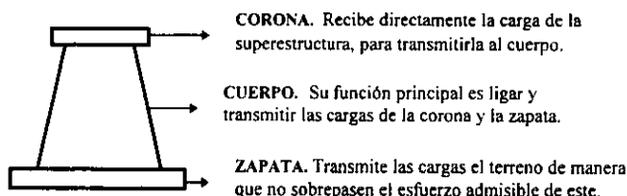
Una pila deberá causar la menor perturbación posible al paso del agua, por lo que su forma generalmente empleada es rectangular con triángulos o segmentos de círculo en los extremos aguas arriba y aguas abajo, éstos extremos frontales a la dirección de la corriente reciben el nombre de "tajamares". Generalmente las pilas se hacen simétricas, para lograr la que la cimentación se haga con las cargas verticales de la pila.



La acción erosiva del agua puede provocar socavación en la cimentación de las pilas del puente. El método más adecuado, para conocer en forma aproximada la profundidad de socavación es el "método alemán", que consiste en lo siguiente : Realizar excavaciones en diferentes puntos del lecho del río, el material extraído se pinta con una sustancia insoluble en el agua, este material, se coloca nuevamente en el interior de la excavación en el mismo orden que se encontraba al inicio y con la misma compactación, en tales condiciones se dejan sujetas a las avenidas del río. Al venir la avenida se iniciará la socavación, una vez que haya pasado dicha avenida se repiten las excavaciones en los mismos puntos, para

obtener por observación directa la profundidad de socavación, la cual será cuando vuelvan a aparecer las piedras pintadas que no fueron removidas por la creciente.

Principales partes de una pila :



Fuerzas actuantes sobre una pila.

Fuerzas que deberán ser soportadas por cualquier plano horizontal de una pila.

a) Fuerzas verticales.

Carga muerta de la superestructura.

Peso propio de la pila arriba del plano considerado.

Carga por impacto = C por carga móvil $\leq 30\%$ de Carga móvil.

(A.A.S.T.H.O.) Donde $C = a5/(L + 38)$;

L : Longitud del claro entre pilas, en m.

b) Fuerzas laterales.

- Presión debida al viento sobre la superestructura.
- Presión debida al viento sobre la pila, tomando para ello una intensidad de 100 kg/m^2 sobre el área expuesta (considerando los niveles de aguas máximas y mínimas).
- Presión del hielo (si lo hay).
- Presión del agua "E".

$$E = (C_1 \cdot A \cdot V^2 \cdot \gamma_w) / g$$

Donde :

E : Empuje dinámico del agua aplicado a $1/3$ de la altura de dicha agua.

C_1 : Coeficiente de la forma de la pila.

A : Área expuesta proyectada en un plano normal a la dirección de la corriente.

V : Velocidad del agua en aguas máximas.

γ_w : Peso volumétrico del agua.

G : Aceleración de la gravedad.

c) Fuerzas longitudinales.

- Frenaje. A.A.S.T.H.O. considera el 5% de la carga móvil aplicada a una distancia de 1.20 m sobre la rasante del camino.
- Presión de viento. Generalmente se considera una intensidad de 100 kg/m^2 (en muchos casos no se considera).

Estabilidad en pilas.

Para que una pila sea estable se debe proyectar contra volteamiento, deslizamiento y aplastamiento.

La fuerza de deslizamiento unitario se obtiene dividiendo la fuerza horizontal resultante por encima de la sección sobre el área de la misma.

En cuanto a los esfuerzos máximos y mínimos de compresión serán determinados por la fórmula de la "escuadría", con la fórmula siguiente :

$$T = (P/A) \pm (M_1 \cdot C_1 / I_1) \pm (M_2 \cdot C_2 / I_2)$$

Donde :

T : Esfuerzo de la fibra considerada.

P : Carga vertical total.

A : Área de la sección considerada.

M_1 y M_2 : Momentos debidos a las excentricidades de las cargas con respecto a ambos ejes.

C_1 y C_2 : Distancia normal a los ejes de la orilla de la sección considerada.

I_1 e I_2 : Momentos de inercia de la sección con respecto a ambos ejes.

ESTRIBOS DE PUENTES.

Formas y dimensiones :

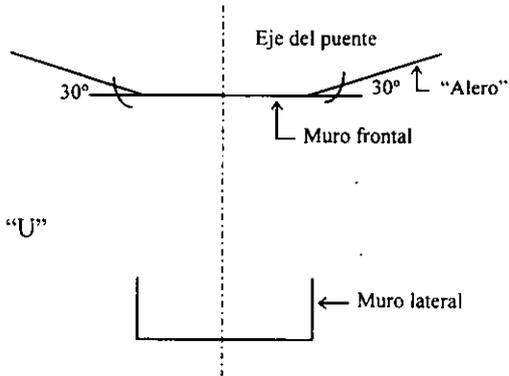
Los estribos son estructuras en los extremos de un puente usados con el propósito de transmitir cargas de la superestructura a la cimentación, y dar además un soporte lateral al terraplén. El estribo sirve como pila y como muro de contención.

Formas más comunes de estribos :

a) Estribo con "aleros".

Las paredes están a cualquier ángulo, los más usados son a 30° y 45° .

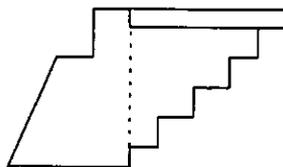
VISTA EN PLANTA



b) Estribo en forma de "U"

c) Estribo en forma de "T" (aplicación limitada a puentes de 1 solo carril).

ELEVACION :





ANEXO I

ANEXO I.

FOTOGRAFÍAS DE DISTINTAS OBRAS DE DRENAJE, CONSTRUIDAS POR :

**SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.
CENTRO S.C.T. "MICHOACAN".
RESIDENCIA GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES.
RESIDENCIA DE CONSTRUCCIÓN "URUAPAN".**

LOCALIZADAS A LO LARGO DE :

**CARRETERA : "MORELIA - LAZARO CARDENAS"
TRAMO : URUAPAN - NUEVA ITALIA.
SUBTRAMO : KM. 1 + 000 - KM. 21 + 000**

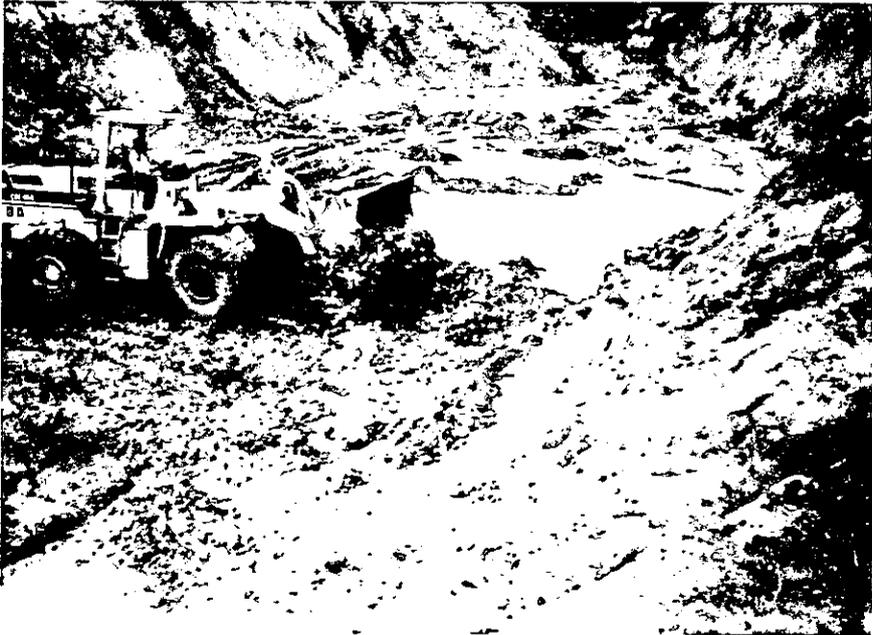
El objetivo perseguido al mostrar estas fotografías es el de proporcionar una idea general respecto a la construcción de algunas estructuras de drenaje para concebir de cierta manera la importancia real de las estructuras que son proyectadas a lo largo de una carretera, debido a las condiciones de escurrimiento del terreno.

Para ello, primer lugar se muestran las condiciones del drenaje natural para apreciar la necesidad de la construcción de estructuras de drenaje. Y finalmente se muestran algunas obras de drenaje durante su construcción.

CONDICIONES DE HUMEDAD DEL SUELO.



SE OBSERVA COMO HA AFLORADO EL
AGUA.



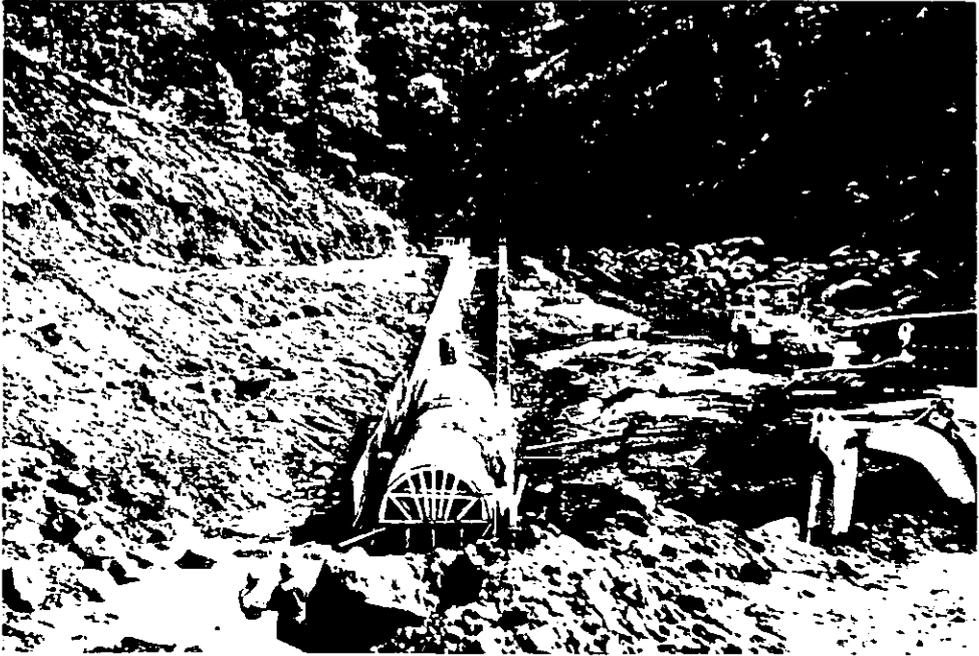
DRENAJE LONGITUDINAL

CONTRACUNETAS

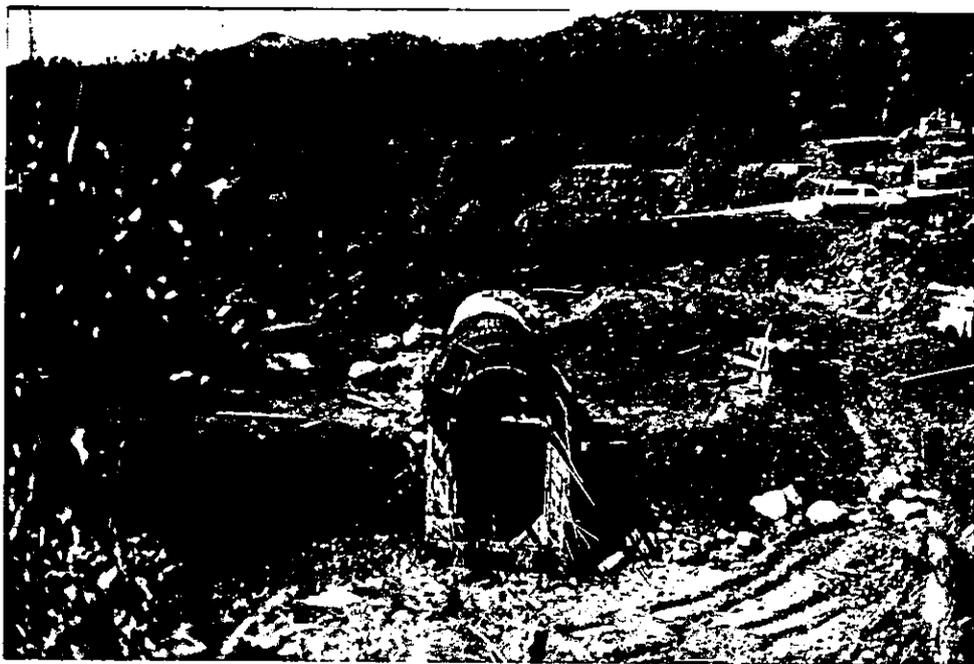


DRENAJE TRANSVERSAL

ALCANTARILLAS DE BÓVEDA.



ALCANTARILLAS DE BÓVEDA. SE OBSERVA EN LA ENTRADA DE LA BÓVEDA COMO ESTA AFLORANDO EL AGUA.

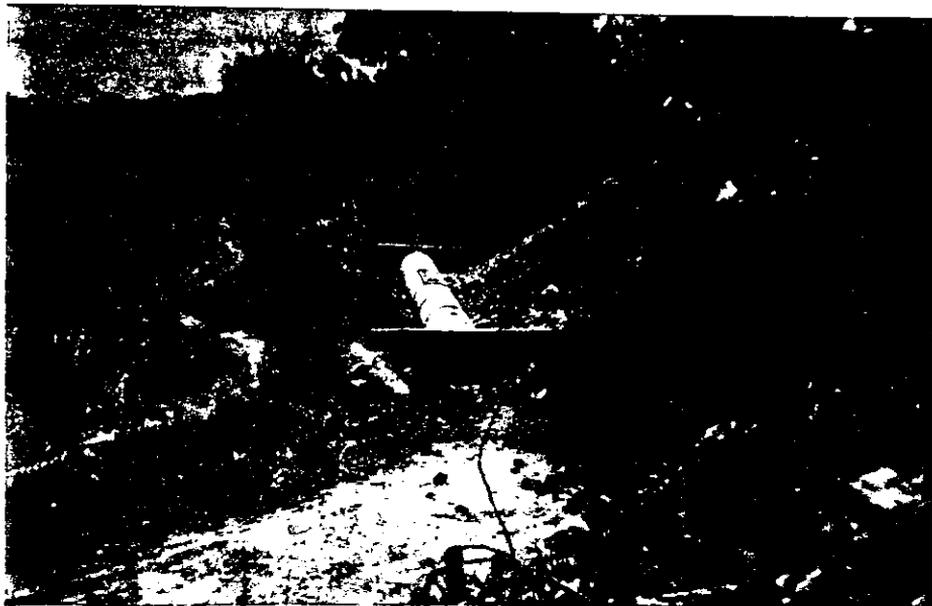


ALCANTARILLA DE TUBO.

En este lugar se aprecia terreno plano; por lo que es importante destacar que una de las principales características para la elección de una alcantarilla de tubo, es la disponibilidad para transportarlos.



• ALCANTARILLA DE TUBO CON CABEZOTE EN AMBOS LADOS.



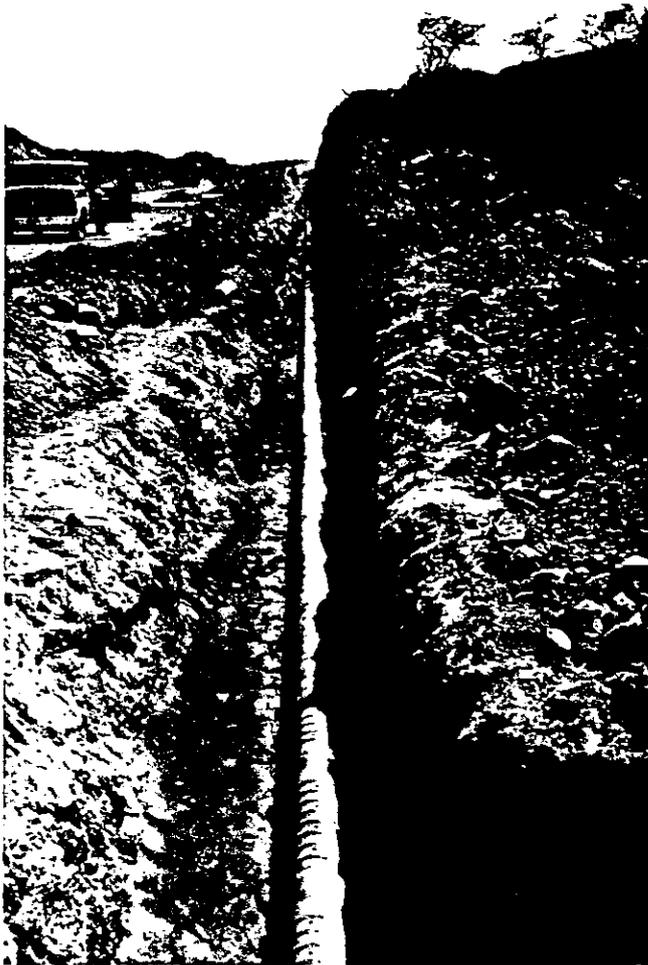
• ALCANTARILLA DE TUBO TRIPLE. DONDE SE PUEDE APRECIAR EL CABEZOTE Y EL LUGAR DONDE DESEMBOCAN.



DREN SUBTERRÁNEO.

*Se aprecian algunas etapas del proceso constructivo de un dren longitudinal de zanja :

• DREN LONGITUDINAL DE ZANJA.



• SE APRECIA EL NIVEL DEL AGUA UNA VEZ COLOCADO EL DREN.





ANEXO II

ANEXO II

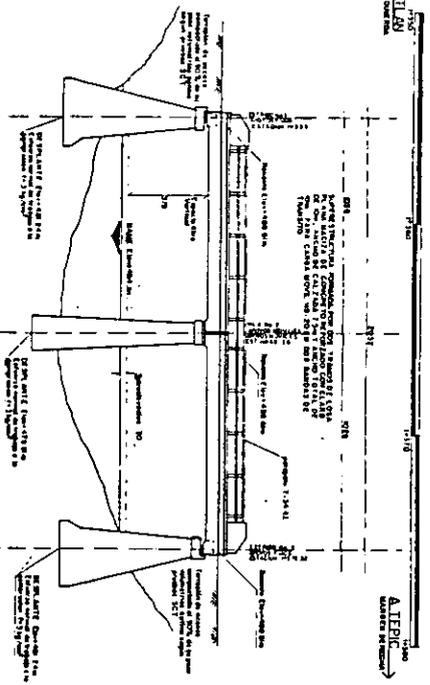
PLANOS

El objetivo de este anexo es complementar el Capítulo V mostrando para ello los planos del proyecto de un puente, donde se detallan cada una de sus partes. No obstante; se aclara, que el diseño total de puentes sale del contexto del tema, por el enfoque que se ha dado al mismo; razón principal por la que se optó no profundizar en su análisis y en su diseño.



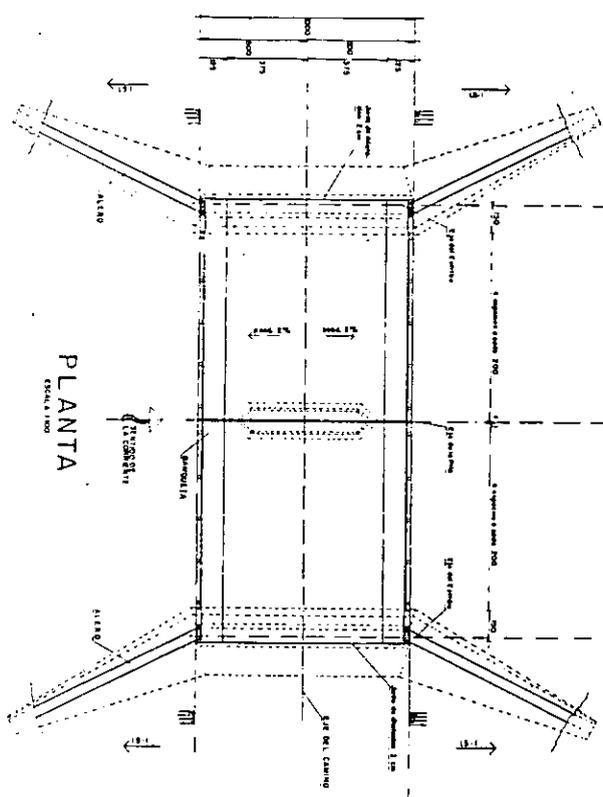
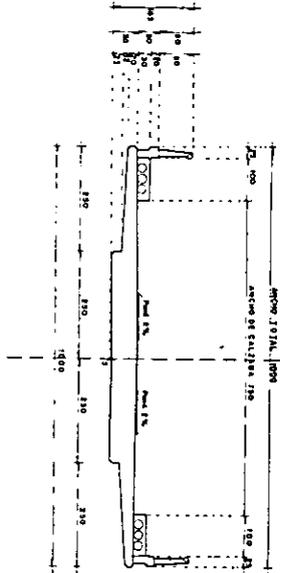
← MAZATEL
CALLE DE ACCESO

→ ALTEPEC
CALLE DE ACCESO



CORTE ELEVACION POR EL EJE DEL CAMINO
ESCALA 1:50

CORTE TRANSVERSAL
ESCALA 1:50



PLANTA
ESCALA 1:50

DATOS HIDRAULICOS

MATERIAL DE LA CONCRETE	300 kg/m ³
CONCRETO DEL PAVIMENTO	170 kg/m ³
AREA DE SECCION DEL CANAL EN SECCION	12.80 m ²
VOLUMEN DEL CANAL EN SECCION	12.80 m ³
VELOCIDAD DEL FLUJO	1.80 m/s
PERDIDA DE CARGA	0.50 m

NOTAS

- COMENTARIOS**
Ver los planos de detalles de este proyecto.
- ELEVACIONES**
En el momento de ser construido, el nivel del terreno en el sitio de la obra debe ser el que se indica en los planos.
- ESPECIFICACIONES**
Ver especificaciones de los materiales en el proyecto.
- APLICACIONES**
Este es un estudio preliminar y no debe utilizarse para la construcción de la obra.

MATERIALES

PARAPETO T-34 41

CONCRETO (C-1500 kg/m ³)	15.00 m ³
CONCRETO (C-1200 kg/m ³)	17.25 m ³
CONCRETO (C-1100 kg/m ³)	4.2 m ³
CONCRETO (C-1000 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-900 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-800 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-700 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-600 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-500 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-400 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-300 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-200 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-100 kg/m ³)	18.00 m ³

SUPERESTRUCTURA

LOSA T-36 K1

CONCRETO (C-1500 kg/m ³)	15.00 m ³
CONCRETO (C-1200 kg/m ³)	17.25 m ³
CONCRETO (C-1100 kg/m ³)	4.2 m ³
CONCRETO (C-1000 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-900 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-800 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-700 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-600 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-500 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-400 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-300 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-200 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-100 kg/m ³)	18.00 m ³

APROYOS

CONCRETO (C-1500 kg/m ³)	15.00 m ³
CONCRETO (C-1200 kg/m ³)	17.25 m ³
CONCRETO (C-1100 kg/m ³)	4.2 m ³
CONCRETO (C-1000 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-900 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-800 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-700 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-600 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-500 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-400 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-300 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-200 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-100 kg/m ³)	18.00 m ³

PLA 2

CONCRETO (C-1500 kg/m ³)	15.00 m ³
CONCRETO (C-1200 kg/m ³)	17.25 m ³
CONCRETO (C-1100 kg/m ³)	4.2 m ³
CONCRETO (C-1000 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-900 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-800 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-700 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-600 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-500 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-400 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-300 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-200 kg/m ³)	18.00 m ³
CONCRETO (C-100 kg/m ³)	18.00 m ³



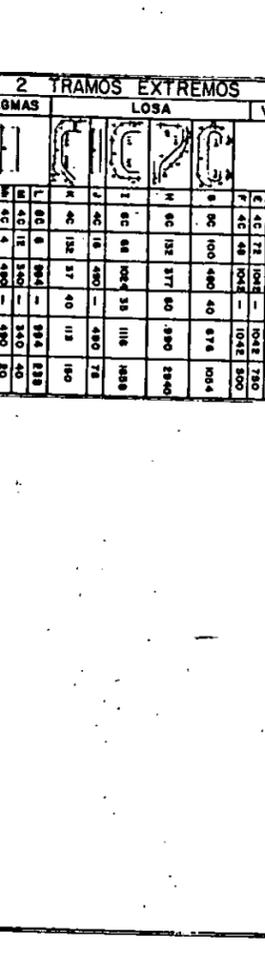
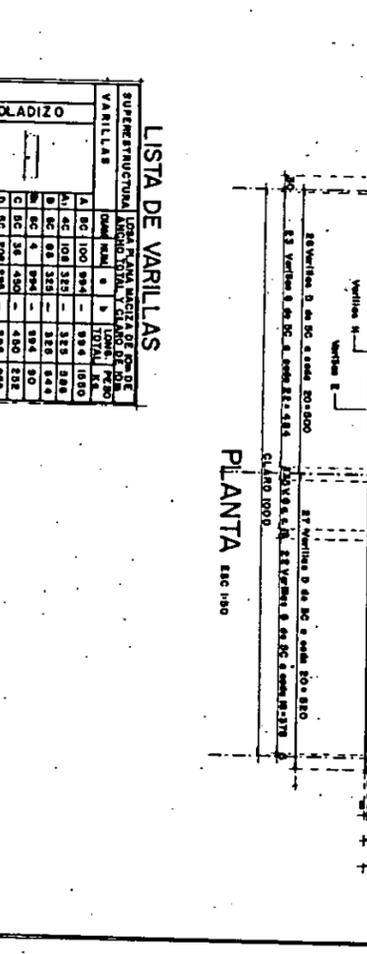
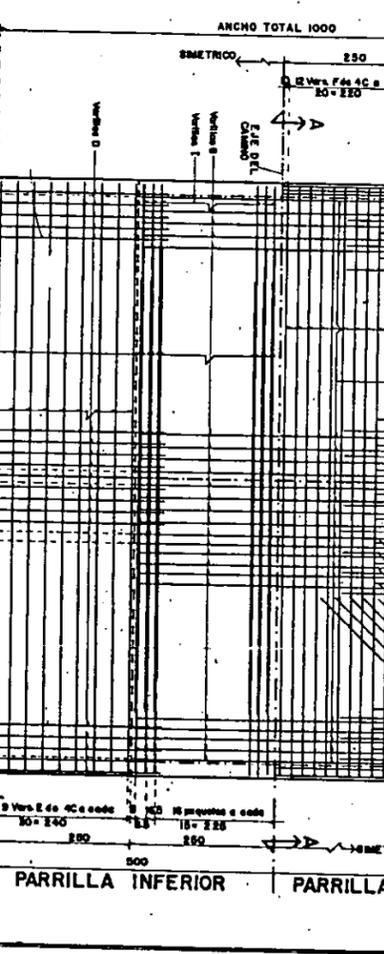
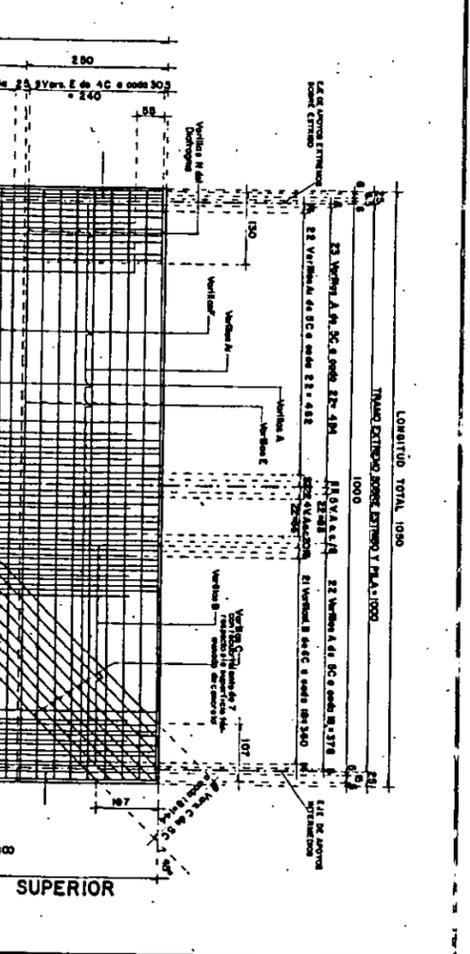
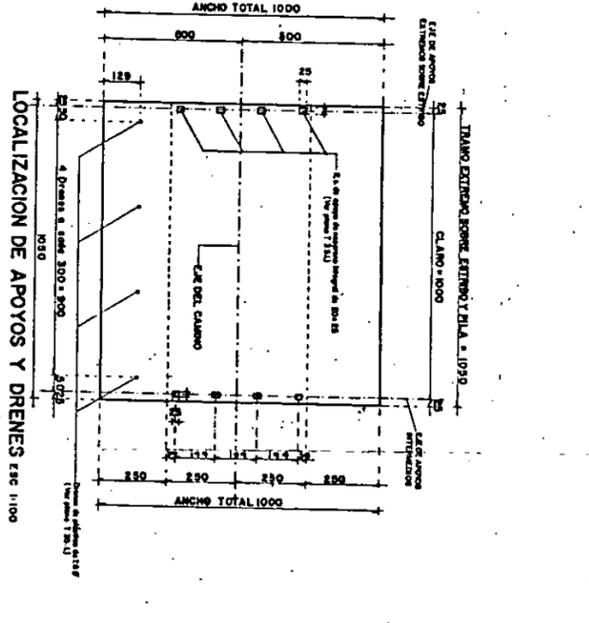
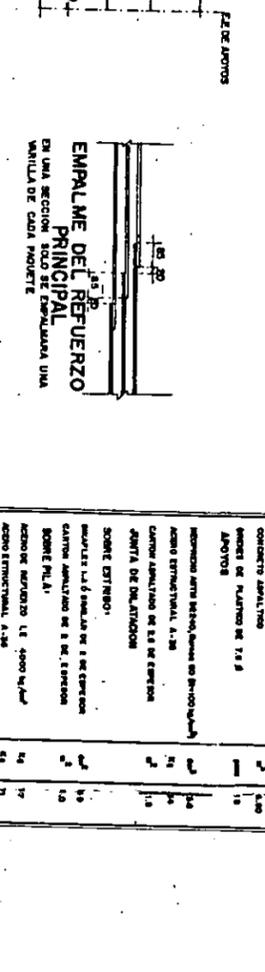
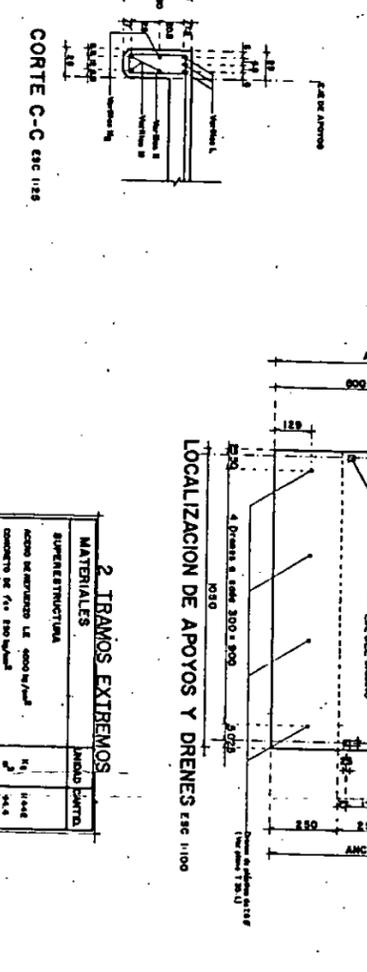
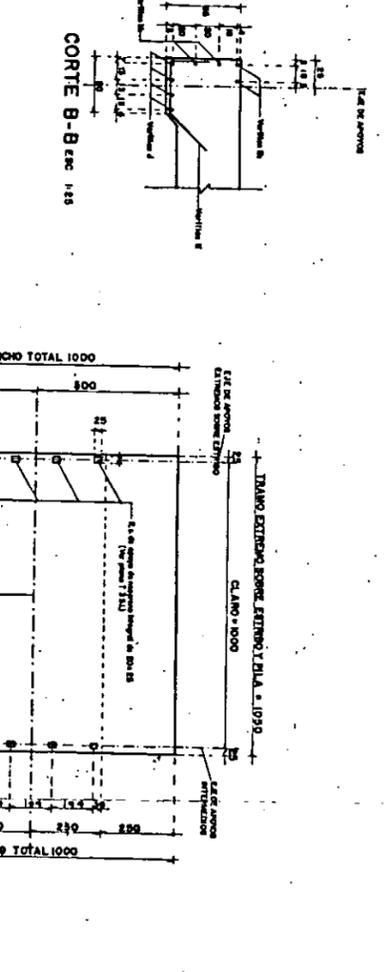
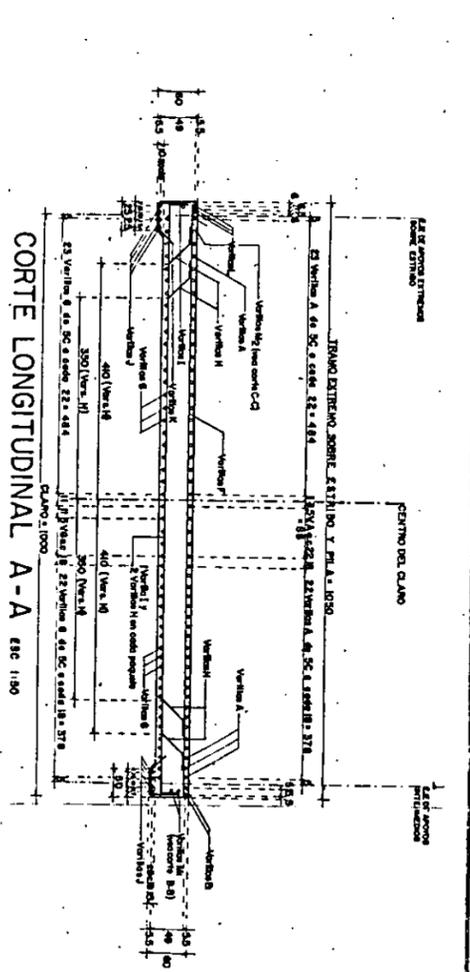
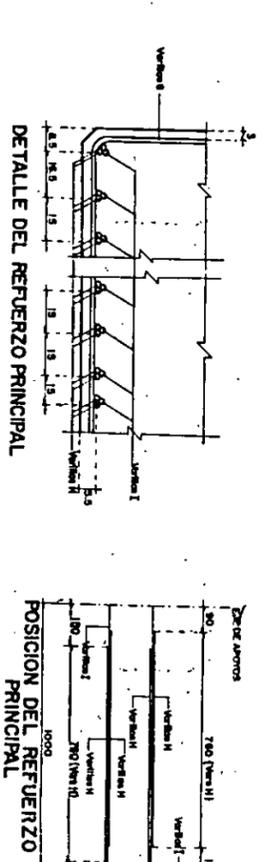
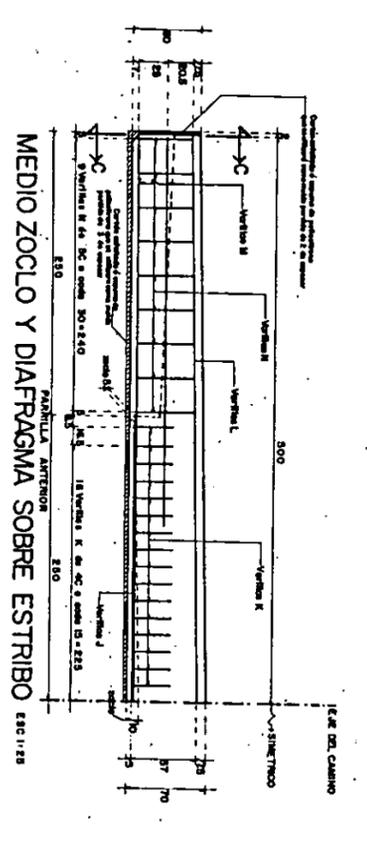
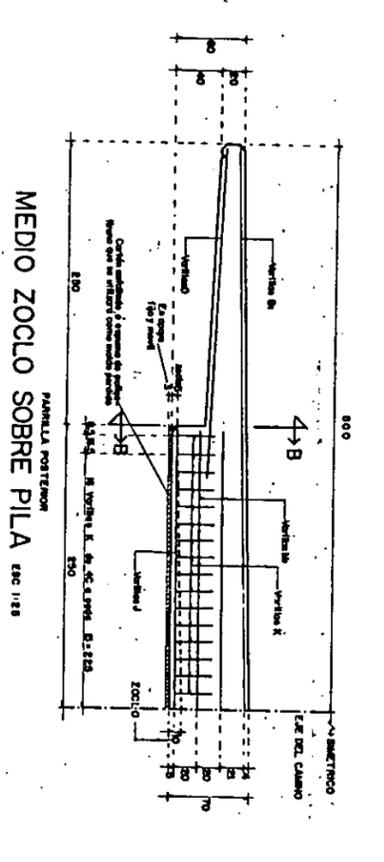
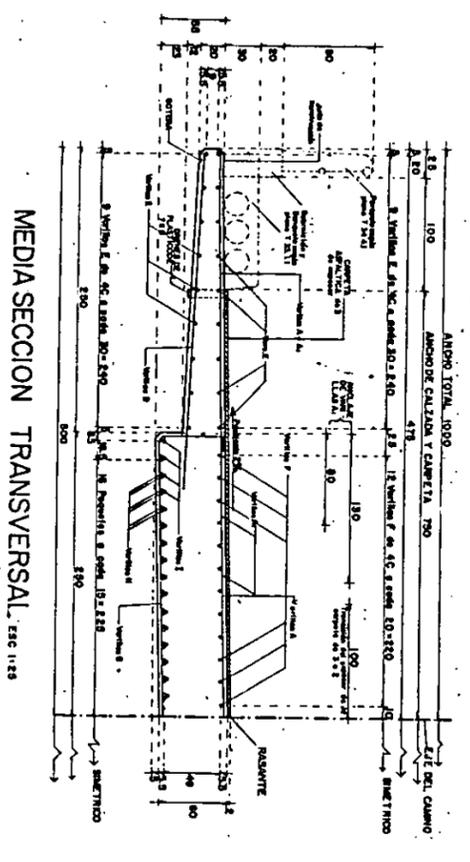
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CARRERA ALUMNOS

TESIS: ANÁLISIS Y DISEÑO DE DISEÑO EN CARRETERAS

PROYECTO: PUENTE VILLA UNIÓN
PLANO GENERAL

ESPIÑOZA LOPEZ ISRAEL

ALTEPEC
PLANO No. 1



2 TRAMOS EXTREMOS

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD
ARMAZONADO	kg	11442
CONCRETO DE F' = 200 kg/cm ²	m ³	440
CONCRETO DE F' = 100 kg/cm ²	m ³	440
APUNTES	m ²	11442

LISTA DE VARILLAS

VARILLAS	LONGITUD	CANTIDAD	TOTAL
A	100	994	994
B	100	320	320
C	100	320	320
D	100	320	320
E	100	320	320
F	100	320	320
G	100	320	320
H	100	320	320
I	100	320	320
J	100	320	320
K	100	320	320
L	100	320	320
M	100	320	320
N	100	320	320
O	100	320	320
P	100	320	320
Q	100	320	320
R	100	320	320
S	100	320	320
T	100	320	320
U	100	320	320
V	100	320	320
W	100	320	320
X	100	320	320
Y	100	320	320
Z	100	320	320
AA	100	320	320
AB	100	320	320
AC	100	320	320
AD	100	320	320
AE	100	320	320
AF	100	320	320
AG	100	320	320
AH	100	320	320
AI	100	320	320
AJ	100	320	320
AK	100	320	320
AL	100	320	320
AM	100	320	320
AN	100	320	320
AO	100	320	320
AP	100	320	320
AQ	100	320	320
AR	100	320	320
AS	100	320	320
AT	100	320	320
AU	100	320	320
AV	100	320	320
AW	100	320	320
AX	100	320	320
AY	100	320	320
AZ	100	320	320
BA	100	320	320
BB	100	320	320
BC	100	320	320
BD	100	320	320
BE	100	320	320
BF	100	320	320
BG	100	320	320
BH	100	320	320
BI	100	320	320
BJ	100	320	320
BK	100	320	320
BL	100	320	320
BM	100	320	320
BN	100	320	320
BO	100	320	320
BP	100	320	320
BQ	100	320	320
BR	100	320	320
BS	100	320	320
BT	100	320	320
BU	100	320	320
BV	100	320	320
BW	100	320	320
BX	100	320	320
BY	100	320	320
BZ	100	320	320
CA	100	320	320
CB	100	320	320
CC	100	320	320
CD	100	320	320
CE	100	320	320
CF	100	320	320
CG	100	320	320
CH	100	320	320
CI	100	320	320
CJ	100	320	320
CK	100	320	320
CL	100	320	320
CM	100	320	320
CN	100	320	320
CO	100	320	320
CP	100	320	320
CQ	100	320	320
CR	100	320	320
CS	100	320	320
CT	100	320	320
CU	100	320	320
CV	100	320	320
CW	100	320	320
CX	100	320	320
CY	100	320	320
CZ	100	320	320
DA	100	320	320
DB	100	320	320
DC	100	320	320
DD	100	320	320
DE	100	320	320
DF	100	320	320
DG	100	320	320
DH	100	320	320
DI	100	320	320
DJ	100	320	320
DK	100	320	320
DL	100	320	320
DM	100	320	320
DN	100	320	320
DO	100	320	320
DP	100	320	320
DQ	100	320	320
DR	100	320	320
DS	100	320	320
DT	100	320	320
DU	100	320	320
DV	100	320	320
DW	100	320	320
DX	100	320	320
DY	100	320	320
DZ	100	320	320
EA	100	320	320
EB	100	320	320
EC	100	320	320
ED	100	320	320
EE	100	320	320
EF	100	320	320
EG	100	320	320
EH	100	320	320
EI	100	320	320
EJ	100	320	320
EK	100	320	320
EL	100	320	320
EM	100	320	320
EN	100	320	320
EO	100	320	320
EP	100	320	320
EQ	100	320	320
ER	100	320	320
ES	100	320	320
ET	100	320	320
EU	100	320	320
EV	100	320	320
EW	100	320	320
EX	100	320	320
EY	100	320	320
EZ	100	320	320
FA	100	320	320
FB	100	320	320
FC	100	320	320
FD	100	320	320
FE	100	320	320
FF	100	320	320
FG	100	320	320
FH	100	320	320
FI	100	320	320
FJ	100	320	320
FK	100	320	320
FL	100	320	320
FM	100	320	320
FN	100	320	320
FO	100	320	320
FP	100	320	320
FQ	100	320	320
FR	100	320	320
FS	100	320	320
FT	100	320	320
FU	100	320	320
FV	100	320	320
FW	100	320	320
FX	100	320	320
FY	100	320	320
FZ	100	320	320
GA	100	320	320
GB	100	320	320
GC	100	320	320
GD	100	320	320
GE	100	320	320
GF	100	320	320
GG	100	320	320
GH	100	320	320
GI	100	320	320
GJ	100	320	320
GK	100	320	320
GL	100	320	320
GM	100	320	320
GN	100	320	320
GO	100	320	320
GP	100	320	320
GQ	100	320	320
GR	100	320	320
GS	100	320	320
GT	100	320	320
GU	100	320	320
GV	100	320	320
GW	100	320	320
GX	100	320	320
GY	100	320	320
GZ	100	320	320
HA	100	320	320
HB	100	320	320
HC	100	320	320
HD	100	320	320
HE	100	320	320
HF	100	320	320
HG	100	320	320
HH	100	320	320
HI	100	320	320
HJ	100	320	320
HK	100	320	320
HL	100	320	320
HM	100	320	320
HN	100	320	320
HO	100	320	320
HP	100	320	320
HQ	100	320	320
HR	100	320	320
HS	100	320	320
HT	100	320	320
HU	100	320	320
HV	100	320	320
HW	100	320	320
HX	100	320	320
HY	100	320	320
HZ	100	320	320
IA	100	320	320
IB	100	320	320
IC	100	320	320
ID	100	320	320
IE	100	320	320
IF	100	320	320
IG	100	320	320
IH	100	320	320
II	100	320	320
IJ	100	320	320
IK	100	320	320
IL	100	320	320
IM	100	320	320
IN	100	320	320
IO	100	320	320
IP	100	320	320
IQ	100	320	320
IR	100	320	320
IS	100	320	320
IT	100	320	320
IU	100	320	320
IV	100	320	320
IW	100	320	320
IX	100	320	320
IY	100	320	320
IZ	100	320	320
JA	100	320	320
JB	100	320	320
JC	1		



GLOSARIO

GLOSARIO.

1. Alcantarillado : Conjunto de alcantarillas.
2. Badén : Cuneta que además de ser pavimentada, forma parte de la calzada misma, es de poca pendiente, profundidad y con frecuentes salidas para el agua.
3. Capa anticapilar : Capa que se coloca sobre la explanada para impedir la ascensión capilar.
4. Capa anticontaminante. Capa que se coloca sobre la explanada , cuando por naturaleza, es de temer la contaminación del firme.
5. Capa antihielo: Capa que se coloca sobre la explanada para preservar el firme contra los efectos del hielo.
6. Caudal: Cantidad de agua que pasa por unidad de tiempo por una sección normal de una corriente líquida.
7. Coeficiente de escurrimiento: Es la parte de lluvia precipitada que no se evapora ni se filtra por el terreno, sino que corre por la superficie.
8. Cuenca: Territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo lugar.
9. Cuneta : Zona abierta en el terreno con el fin de recibir y canalizar aguas de lluvia.
10. Depresión: Área hundida situada entre tierras más elevadas. Puede haberse formado por el hundimiento de un bloque o por el levantamiento de secciones montañosas marginales.
11. Dren: Cada una de las zanjas o tuberías con que se efectúa el avenamiento de una obra o terreno.
12. Drenaje: Avenar una obra o terreno.
13. Dren Subterráneo : Zanja abierta en el terreno que se coloca un tubo con junta abiertas, perforaciones o de material poroso y se rodea de un material filtro.
 - Dren de grava : El constituido por una zanja rellena de grava.
 - Dren ciego : Dren de grava que no vierte directamente al exterior.
 - Dren francés. El formado por una zanja que se rellena en su mitad inferior se piedras o cascotes.
14. Dren vertical de arena : Perforación vertical a través de un terreno que se llena de un material permeable para facilitar la evacuación del agua.
15. Desfogue : Resolverse una cargazón de agua, viento o ambos.
16. Expedita : Franco, libre, desembarazado de toda traba.
17. Hondonada : Espacio de terreno hondo.
18. Material filtro : Árido natural o artificial, que debe cumplir con determinadas condiciones de calidad y granulometría y que se emplea en el relleno de zanjas de drenaje.

19. Macadám o macadam : Pavimento formado por una capa más o menos espesa de piedra triturada aglutinada por un cementante. Las rocas generalmente son calizas y dolomitas, para darle mayor cementación.
20. Obra de desagüe : Se denomina así a la obra que permite el paso de una corriente de agua por debajo de un camino.
21. Periodo de retorno de una avenida : Intervalo de N años en que se espera se presente una sola vez la avenida o precipitación que se considera.
22. Remanso : Suspensión de la corriente del agua.
23. Thalweg : Cañada o parte baja del terreno.



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

El contenido de esta tesis ha cumplido con el objetivo principal durante su desarrollo; ya que, presenta, describe y detalla las distintas maneras en que el agua afecta a una carretera. Además de exponer los diversos motivos por los que es indispensable se drene correctamente. Aunado a lo anterior se desarrolló el proceso de análisis y diseño de drenaje en carreteras, por lo que se revisaron las diferentes estructuras de drenaje empleadas para drenar una carretera; concibiendo este apartado, como la parte medular de la tesis.

El análisis y diseño de Infraestructura, es tarea fundamental de un Ingeniero Civil; y en este caso en el área de Vías Terrestres, en lo que toca a carreteras. El Ingeniero Civil, debe estar preparado para dar soluciones en cuanto al trazo de carreteras, donde consecuentemente tendrá que proyectar las estructuras de drenaje que el trazo y las condiciones de escurrimiento del lugar exijan para cumplir con el propósito de todo ingeniero civil (crear infraestructura óptima y funcional para satisfacer las necesidades de la población, obteniendo beneficios y cuidando que los recursos económicos rindan).

Al concluir la tesis y reflexionando sobre su contenido, la considero completa por la información aportada y por el enfoque dado al estudio del "*drenaje en carreteras*"; ya que por la importancia del tema es indispensable resaltar que el estudiante de ingeniería civil que se incline por el estudio de las Vías Terrestres y especialmente carreteras, tenga presente que en su futura vida profesional, los conocimientos útiles para solucionar adecuadamente los problemas de drenaje de una carretera son indispensables en el proyecto de la misma, para aplicar tanto sus conocimientos, como su criterio al solucionar el problema en cuestión; ya que, varias obras trabajarán de manera semejante, pero nunca bajo las mismas condiciones.

Considero que el tema es importante por las razones expuestas; además de que no está incluido en los programas de las materias correspondientes a la área de Vías Terrestres. Por tanto, pudiera ser una herramienta complementaria para la formación de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la ENEP ARAGÓN, UNAM.



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFIA.

1. ING. CÁNDIDO MONDRAGÓN R.
ING. HUGO RICARDÉZ V.
MANUAL PRACTICO PARA
CÁLCULO
GEOMETRICO DEL DRENAJE EN
CARRETERAS.
S.C.T.
2. INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS,
DRENAJE.
DIRECCIÓN GENERAL DE
CARRETERAS Y CAMINOS
VECINALES. SECRETARIA DE
INFRAESTRUCTURA; S.C.T.
3. PROYECTO TIPO
DE ALCANTARILLAS Y PUENTES.
DIRECCIÓN GENERAL
DE CARRETERAS Y CAMINOS
VECINALES.
S.C.T. MOP PUBLICACIONES.
4. SALVADRÓN MOSQUEIRA R.
MANUAL DE DRENAJE DE
CAMINOS. MÉXICO. D.F.
5. FERNANDO OLIVERA BUSTAMANTE.
ED. C.E.C.S.A.
ESTRUCTURACIÓN DE VÍAS
TERRESTRES.
6. WRIGHT.
INGENIERÍA DE CARRETERAS.
7. ING. CRESPO VILLALAS. VÍAS DE
COMUNICACIÓN. ED. LIMUSA.
8. RENÉ ETCHARRÉN GUTIERREZ.
MANUAL DE CAMINOS VECINALES.
9. ESCARIO JOSÉ LUIS. CAMINOS. TOMO I
PUBLICACIÓN DE LA ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE INGENIEROS DE
CAMINOS. CANALES Y PUERTOS.
MADRID 1960.
10. ESCARIO JOSÉ LUIS.
CAMINOS, ESTUDIO Y CONSTRUCCIÓN
DE LA EXPLANADA. TOMO I.
11. BRAMBILLA MICHEL JORGE.
ESTRUCTURAS EN ZONAS DE RIEGO.
DIRECCIÓN GENERAL DE
OBRAS HIDRÁULICAS E INGENIERÍA
AGRÍCOLA PARA EL DESARROLLO
RURAL. MÉXICO D.F.
AGOSTO DE 1983 2A. ED.
12. RICO RODRÍGUEZ. ED. LIMUSA.
MECÁNICA DE SUELOS Y VÍAS
TERRESTRES. TOMO II.
ED. LIMUSA.
13. PROYECTO Y DISEÑO DE PUENTES.
INGENIEROS PROYECTISTAS Y
RESIDENTES DE PUENTES. S.C.T.
14. JUAREZ BADILLO Y RICO.
MECÁNICA DE SUELOS. TOMO II.
ED. LIMUSA. S.A. MÉXICO D.F. 1973.