

# **UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.**

Incorporación No. 8727-15

a la Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela de Ingeniería Civil

## **REVISIÓN DE DRENAJE DEL TRAMO CARRETERO DENOMINADA LA CURVA “ DEL DIABLO”, CARRETERA URUAPAN – CARAPAN DEL KILÓMETRO 65+000 AL 66+000.**

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

presenta

**Jorge Valencia Aburto**

Asesor:

**Ing. Sandra Natalia Parra Macías**

Uruapan, Michoacán, 2008.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

## **AGRADECIMIENTOS**

La gente es la suma de sus experiencias, ya que se va forjando a través del tiempo. Por lo mismo para llegar a este punto se tuvo que pasar por muchas situaciones que a veces hicieron sufrir y otras reír, pero el resultado al final fue bueno. Siempre con la ayuda de los profesores y amigos (siempre con excepciones), pero principalmente por mi familia (mis padres) que me brindó un apoyo incondicional de todo tipo, por eso les agradezco y dedico esta tesis que es el escalón para culminar una carrera y el comienzo de una nueva vida.

# ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>INTRODUCCIÓN.</b>	
Antecedentes . . . . .	1
Planteamiento del problema . . . . .	2
Objetivos . . . . .	3
Pregunta de investigación . . . . .	3
Justificación . . . . .	4
Delimitación . . . . .	5
<b>CAPÍTULO 1. VÍAS TERRESTRES.</b>	
1.1. Antecedentes . . . . .	6
1.2. Inventario de caminos. . . . .	8
1.3. Etapas de una carretera . . . . .	9
1.4. Elementos de la ingeniería de tránsito usados para el proyecto . . . . .	12
1.5. Velocidad . . . . .	16
1.6. Volumen de tránsito . . . . .	18
1.7. Densidad de tránsito . . . . .	21

1.8. Derecho de vía . . . . .	21
1.9. Capacidad y nivel de servicio . . . . .	22
1.10. Distancia de visibilidad . . . . .	24
1.11. Mecánica de suelos . . . . .	25

**CAPÍTULO 2. DRENAJE.**

2.1. Antecedentes . . . . .	32
2.2. Objetivo . . . . .	32
2.3. Hidrología . . . . .	33
2.3.1. Ciclo del agua . . . . .	33
2.4. Cuenca hidrológica . . . . .	35
2.5. Características fisiográficas de una cuenca hidrológica . . . . .	36
2.5.1. Área . . . . .	36
2.5.2. Pendiente de la cuenca . . . . .	36
2.5.2.1. Criterio de Alvord . . . . .	36
2.5.2.2. Criterio de Horton . . . . .	38
2.5.2.3. Criterio de Nash . . . . .	39
2.5.3. Cauce principal . . . . .	40

2.5.3.1. Número de orden . . . . .	40
2.5.3.2. Densidad de drenaje . . . . .	41
2.5.3.3. Pendiente del cauce . . . . .	42
2.5.4. Elevación de una cuenca . . . . .	43
2.6. Relación entre precipitación y escurrimiento . . . . .	44
2.6.1. Precipitación . . . . .	45
2.6.1.1. Medición de la precipitación . . . . .	45
2.6.2. Escurrimiento . . . . .	48
2.6.2.1. Factores que afectan el escurrimiento . . . . .	49
2.6.2.2. Hidrograma. . . . .	50
2.6.2.3. Aforo de corrientes . . . . .	52
2.6.3. Infiltración y agua subterránea . . . . .	52
2.7. Avenidas de diseño . . . . .	54
2.7.1. Métodos para obtener avenidas de diseño . . . . .	54
2.7.1.1. Métodos empíricos . . . . .	54
2.7.1.2. Métodos probabilísticos o estadísticos . . . . .	54
2.7.2. Tránsito de avenidas . . . . .	56
2.8. Obras de drenaje en los caminos . . . . .	56

2.8.1. Drenaje superficial . . . . .	57
2.8.1.1. Cunetas . . . . .	57
2.8.1.2. Contracunetas . . . . .	62
2.8.1.3. Bombeo . . . . .	62
2.8.1.4. Lavadero . . . . .	63
2.8.1.5. Alcantarillas . . . . .	63
2.8.1.5.1. Áreas hidráulicas para alcantarillas . . . . .	64
2.8.1.5.1.1. Procedimiento por comparación . . . . .	65
2.8.1.5.1.2. Procedimiento empírico . . . . .	65
2.8.1.5.1.3. Procedimiento de sección y pendiente . . . . .	66
2.8.1.5.1.4. Procedimiento de la precipitación pluvial . . . . .	67
2.8.1.5.1.5. Método racional . . . . .	68
2.8.1.5.2. Pendiente de una alcantarilla . . . . .	70
2.8.1.5.3. Tipos de alcantarillas . . . . .	70
2.8.1.5.4. Longitud de las alcantarillas . . . . .	71
2.8.1.5.5. Muros de cabeza . . . . .	72
2.8.1.5.6. Muros transversales, cajones de entrada,	

desarenadores y pozos de visita . . . . .	72
2.8.1.6. Vados . . . . .	73
2.8.1.7. Puentes vados . . . . .	73
2.8.1.8. Puentes . . . . .	74
2.8.1.8.1. Pilas de puentes . . . . .	76
2.8.1.8.2. Estribos de puentes . . . . .	77
2.8.2. Drenajes subterráneos . . . . .	78
2.8.2.1. Zanjas . . . . .	79
2.8.2.2. Drenes ciegos . . . . .	79
2.8.2.3. Drenes de tubo . . . . .	80

### **CAPÍTULO 3. MARCO DE REFERENCIA.**

3.1. Generalidades . . . . .	82
3.1.1. Objetivo y alcance del proyecto . . . . .	82
3.2. Entorno geográfico . . . . .	82
3.3. Resumen ejecutivo . . . . .	85
3.4. Estudio de tránsito . . . . .	87
3.5. Informe fotográfico . . . . .	88

3.6. Alternativas de solución . . . . .	91
-----------------------------------------	----

## **CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA.**

4.1. Método empleado . . . . .	93
--------------------------------	----

4.2. Enfoque de la investigación . . . . .	93
--------------------------------------------	----

4.2.1. Alcance de la investigación . . . . .	94
----------------------------------------------	----

4.3. Diseño de la investigación . . . . .	94
-------------------------------------------	----

4.4. Instrumentos de recopilación de datos . . . . .	94
------------------------------------------------------	----

4.5. Descripción del proceso de investigación . . . . .	95
---------------------------------------------------------	----

## **CAPÍTULO 5. REVISIÓN DEL PROYECTO.**

5.1. Generalidades . . . . .	97
------------------------------	----

5.2. Cunetas y contracunetas . . . . .	97
----------------------------------------	----

5.3. Bombeo . . . . .	99
-----------------------	----

5.4. Lavaderos . . . . .	100
--------------------------	-----

5.5. Alcantarillas . . . . .	103
------------------------------	-----

5.6. Análisis comparativo . . . . .	111
-------------------------------------	-----

<b>CONCLUSIÓN . . . . .</b>	<b>114</b>
-----------------------------	------------

<b>BIBLIOGRAFÍA . . . . .</b>	<b>116</b>
-------------------------------	------------

## RESUMEN

Para la presente tesis titulada Revisión de drenaje del tramo carretero denominada la Curva “Del diablo”, carretera Uruapan - Carapan del kilómetro 65+000 al 66+000, sobre el cual se hizo la revisión del drenaje, se tuvo que abordar en el Capítulo 1 lo referente a las vías terrestres, desde sus antecedentes hasta sus características principales que la conforman. Para el Capítulo 2 se entro en materia de estudio de este trabajo como es el drenaje, en el cual se trató de las características y aspectos de sus elementos que lo conforman, como pueden ser las cunetas, contracunetas, bombeo, alcantarillas, lavaderos, puentes.

Para poder realizar la revisión se tuvo que conocer las características geográficas, topográficas, así como de condiciones generales del tramo carretero, las cuales se presentan en el Capítulo 3.

El Capítulo 4 trata sobre la metodología empleada en este trabajo en el cual se observa que fue el método matemático cuantitativo y apoyado en el método analítico, contando con una investigación no experimental; obteniendo resultados reales vistos en el Capítulo 5, los cuales cumplen con las normas de la SCT, con esto se observa que todo se hizo de una manera adecuada.

Además este trabajo traerá beneficios a la población en general como pueden ser los usuarios, y también a la escuela de Ingeniería Civil, que podrá servir para futuras consultas que puedan ayudar a resolver dudas sobre el tema del drenaje, ya que menciona lo relacionado con éste y su importancia para el mantenimiento de los caminos, ya que el agua es el principal agente que causa el deterioro de los mismos, y por esa razón se deben considerar todos los elementos para evitarlo.

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes.**

A través del tiempo diferentes civilizaciones fueron alcanzando un nivel de desarrollo más alto, muchos pueblos antiguos tomaron conciencia de la importancia de mejorar los caminos.

Desde antigüedad hasta la actualidad se han ido evolucionando los sistemas de transporte, entre ellos las carreteras, y por lo mismo, se ha visto la necesidad de buscar formas para mantenerlas en buen estado, que en si es el sistema de drenaje.

Que la función es extraer y evitar el contacto del agua con la carretera. Como lo menciona Sotelo (1973), el tener un mal drenaje puede conducir al deterioro prematuro de la carretera y ocasionar problemas de seguridad entre los usuarios.

Estudios anteriores se han realizado sobre el tema de drenaje como la propuesta de reconstrucción del camino de San Luis, Tehuiloyocan, tesis de la Universidad de las Américas, Puebla, abril 2005. U otro como el análisis y diseño de drenaje en carreteras tesis de Isela Espinoza López de la Escuela Nacional de estudios profesionales de Aragón de México 1998.

Todos estos estudios mencionan aspectos importantes sobre el estudio de drenaje para carreteras.

Otros estudios solo se enfocan a diseño de drenaje pluvial pero están más enfocados a estudios dentro de la ciudad, que en este caso son diferentes tipos de diseño.

## **Planteamiento del problema.**

Las carreteras, como ya se ha mencionado, se deben mantener en perfecto estado para su uso y seguridad. Por lo mismo, hay que prever todas las causas posibles para evitar daños que se le puedan ocasionar.

El agua es el principal enemigo de las carreteras y se debe tener un diseño de drenaje adecuado que tendría que ser conveniente y económico para proteger la inversión de la carretera y además a las personas que van hacer uso de ella.

De acuerdo, con Sotelo (1973), para mantener lejos del agua del camino se requieren de una serie de zanjas y alcantarillas, las cuales deben diseñarse según las condiciones que se presenten como pueden ser el escurrimiento, manteniendo el agua lejos de la estructura.

Entonces se tiene que hacer un trabajo conjunto para así tener todos los factores y llegar al propósito que es ¿Cómo evito el daño en carreteras por consecuencia del agua? ¿Cuál es el diseño conveniente para obtenerlo?

## **Objetivos.**

Se presentan a continuación los objetivos que se quieren cumplir con dicha investigación:

**Objetivo general.** Revisar el sistema de drenaje en el tramo carretero “ La curva del diablo”, de la carretera Carapan – Playa Azul del kilómetro 65+000 al 66+000.

## **Objetivos específicos.**

- 1.-Definir qué es una vía terrestre.
- 2.-Definir qué es un drenaje.
- 3.-Definir el diseño de drenaje.
- 4.-Definir las consideraciones para el cálculo del drenaje.

## **Pregunta de investigación.**

Con la presente investigación se muestran algunas cuestiones que pueden surgir. Como pueden ser:

¿Qué es una vía terrestre?

¿Qué es un sistema de drenaje?

¿Cuáles son los pasos para el diseño de un drenaje?

¿Cuál es la importancia de un sistema de drenaje?

Estas cuestiones se resolverán en el transcurso del estudio en cuestión.

### **Justificación.**

El presente estudio se basa en el drenaje de carreteras. Por ser de gran importancia en muchos ámbitos. Primero por crear seguridad a los usuarios que transitan por la vía; y segundo por la durabilidad que se le puede dar a la carretera.

Para el caso en concreto se tomo un tramo de la carretera Uruapan – Carapan, que es una importante vía de comunicación económica y social, que conecta la parte de Occidente ( Guadalajara, Zamora y otras importantes ciudades, meseta Purhépecha), con Uruapan, y la región de tierra caliente, Lázaro Cárdenas y otras localidades. Por lo consecuente se ocupa que la carretera este en perfectas condiciones para a su vez evitar accidentes y tratar de mantener siempre abierta este importante camino.

Por lo anterior, los beneficiarios con esta investigación serían la población en general, y no solo los usuarios, ya que, indirectamente muchas personas les sirve este medio, siendo por ejemplo: que obtengan mercancía de otro lugar para así tener fuentes de empleo.

Haciendo un listado de los beneficiarios de esta investigación sería: la población en general (estudiantes, comerciantes, transportistas, uso privado, uso comercial, etc..), todas las escuelas y alumnos en general, ya que contarían con proyectos de referencia para futuras investigaciones, para profesores, para autoridades, para el autor que a parte que con este estudio obtuvo el permiso para

ejercer, también aprendió todo lo necesario para este tipo de problemas y así aplicarlos para el bien de todos.

### **Delimitación.**

Aunque el estudio del diseño de drenaje en general es el mismo, para cualquier zona es único, ya que las condiciones son diferentes como pueden ser: la zona geográfica, la topografía, entre otros factores.

Si se pusieran analizar cada uno sería una investigación extensa.

Por lo mismo, sólo se llevará el estudio del tramo carretero denominado “ la curva del diablo” , de la carretera Uruapan-Carapan, analizando así sus condiciones especiales para diseño, teniendo así una guía para futuras investigaciones de diferentes lugares.

# CAPÍTULO 1

## VÍAS TERRESTRES

Este capítulo tratará sobre varios aspectos generales de las vías terrestres, desde sus antecedentes hasta conceptos que ayudarán a conocerlas mejor para su estudio.

### 1.1. Antecedentes.

Desde la aparición del hombre hace aproximadamente 100 000 años, y por la necesidad de sobrevivir, ha ido evolucionando tanto en su forma de vida como en su entorno que lo rodea, pasando de ser nómada a agricultor. Por lo mismo según Bustamante (2006) por necesidad de ir cambiando y mejorando, los primeros caminos fueron de tipo peatonal, que ayudo a que el hombre se transportara de un lado a otro en busca de alimento. Ya con la agricultura se fueron realizando asentamientos importantes, dando lugar al surgimiento de grandes civilizaciones, tal como lo menciona Mier (1987).

Con la aparición de la rueda, los caminos tuvieron que evolucionar de pequeñas veredas hasta caminos más grandes las cuales pudieran alojar los medios de transportes como fueron las carretas tiradas por animales como lo menciona Bustamante (2006). Además se tuvo que tener el cuidado de tener los caminos en perfectas condiciones, ya sea revestido con piedras machacadas hasta empedrados, con la finalidad que las ruedas no se incrustaran sobre el lodazal e hiciera más fácil el tránsito. Todos estos caminos tuvieron fines religiosos, comerciales y de conquista, los cuales ayudaron para el florecimiento de importantes civilizaciones, como fueron los egipcios, los asirios, y los romanos, que como lo dijo Mier (1987) comenzó la

construcción de caminos en forma científica, gracias a sus ingenieros militares sus caminos acortaron grandes distancias y vencieron obstáculos distintos, que fue un factor importante para el poderío de los romanos.

En México, antes de la conquista, se contaba con un gran número de caminos, veredas y senderos, ya que no se conocían el uso de la rueda ni de los animales de carga. Como lo dijo Mier (1987), las civilizaciones que destacaron en el aspecto constructivo para actividades comerciales, cuestiones de guerra y religiosas, fueron los aztecas y los mayas.

Con la colonización, se tuvo que hacer un mejoramiento de todos los caminos para así poderse mover y transportar los productos, principalmente hacia los puertos, que era la entrada principal a México. Desde entonces se ha tenido que ir mejorando y buscando las formas de conservación de los caminos. Que va desde la Dirección General de Colonización e Industria, creada en tiempo de la independencia, hasta hoy con la llamada Secretaria de Comunicaciones y transportes, creada en 1982 que atiende los asuntos que se relacionan con los caminos y los medios de transporte.

En México, se trato de construir una red de caminos lo más extenso posible, que constituyo un factor básico de desarrollo.

Se ve un esquema de como fueron evolucionando los caminos, al constante crecimiento y progreso de la humanidad, como de sus costumbres. Además la tecnología ayudo a esta evolución, ya que los transportes pasaron de ser tirados por animales a máquinas que alcanzan grandes velocidades. Por lo mismo, los caminos deben estar adecuados para este tipo de cambio, ya que deben tener un diseño que sea más eficiente para su uso y su vida útil, y así evitar problemas futuros que dañen la infraestructura de un país.

## **1.2. Inventario de caminos.**

Es importante que los caminos estén en perfectas condiciones, y por lo mismo, hay que estar en constante monitoreo de ellos, lo cual ocupa saber la localización y las condiciones de los caminos. Para esto se ocupa el inventario de caminos, cuyo fin principal es obtener la capacidad de los mismos.

Los datos para obtener un inventario son: “planta del camino, perfil, itinerario, configuración del terreno por el que se cruza, características de la superficie de rodamiento, sección transversal, alineamiento horizontal, alineamiento vertical, visibilidad, señalamiento, obras de drenaje, cruces, entronques con otras vías de comunicación, características de los poblados por los que pasa el camino, uso de la tierra a los lados del camino y demás datos que se consideren importantes”.

(Mier,1987;5)

Para hacer un inventario hay varios métodos, desde recorrer los caminos con un vehículo y tomando los datos a simple vista, que es un método sencillo y económico hasta hacerlo con levantamiento topográfico, aunque es exacto, es más tardado y costoso.

El primer método solo ocupa un vehículo con un sistema odométrico, un odógrafo-giroscopo y una grabadora magnética. Los cuales ayudarán a medir el kilometraje en cada punto e ira marcando automáticamente el trazo mecánicamente. Además se obtiene el perfil del camino con ayuda de un altímetro . Todos estos datos darán el trazo del camino, así como también se deben anotar los datos externos de las condiciones y las distancias de visibilidad por medio de los tripulantes y experiencia de los mismos.

Como ya se mencionó, el inventario dará resultados de capacidad el cual esta influido en las características geométricas y características de tránsito que se trasladan por las vías, los cuales se aplicarán para saber en que condiciones trabaja el camino para así hacer las mejoras necesarias para evitar problemas como pueden ser congestionamientos o un uso defectuoso que provoquen accidentes.

La prioridad del inventario es crear programas de construcción, conservación y reconstrucción como lo hace notar Mier (1987).

### **1.3. Etapas de una carretera.**

Desde que comenzó la etapa constructiva en México, según Mier (1987), se ha tenido que ir buscando la forma de proveer los caminos necesarios y con las exigencias que estos implican para su uso. Por lo mismo, como lo dice Bustamante (2006) las obras de ingeniería para las carreteras deben cumplir con factores técnicos, administrativos y económicos que cumplan con los objetivos definidos.

Para el estudio de una carretera se deben seguir varias etapas, como son: la planeación, el proyecto, la construcción y el uso.

En la planeación se deben realizar estudios que van desde los estudios económicos, políticos y como afectará en su entorno, hasta los estudios geográficos y físicos. Crespo (2005) Así que para poder empezar a ver datos técnicos para la carretera se deben ver los primeros factores ya que se dirá si es viable para la comunidad ya sea económica y socialmente. Una clasificación de caminos según su utilidad, de acuerdo con Bustamante (2006), sería: los de integridad nacional ( que unen el todo el territorio de un país), los de tipo social ( que tratan de unir a comunidades marginadas para que tengan desarrollo), los que propicien el desarrollo (principalmente se da en zonas agrícolas, ganaderas, comerciales, industriales y

turísticas) y los caminos entre zonas desarrolladas (que principalmente son para disminuir costos para los usuarios en cuanto al uso y operación). A parte de cada uno se deben hacer análisis económicos, el más utilizado en México como lo menciona Bustamante (2006), es el método de la relación beneficio-costos, aunque para cuestiones de mantenimiento ya sea de drenajes o superficie de rodamiento un método que se aconseja es el del costo anual ( que compara el costo anual de varias obras y con el costo menor decide las prioridades).

“Una vez realizando los estudios socioeconómicos que justifican la construcción de nuevos caminos y las mejora de los existentes, es necesario programar los estudios de vialidad, que permitan establecer la conveniencia y las prioridades para elaborar los nuevos proyectos y las obras correspondientes”. (SCT,1974;33)

Los estudios geográficos-físicos, involucran una serie de trabajos e investigaciones sobre el medio físico ( geología, climatología, orografía, demografía, comunicación, uso del suelo, topografía, entre otros), que darán resultados para la localización y el tipo de la carretera y con los datos de tránsito que sería la información básica para dicho estudio. Estos datos ayudarán para poder seleccionar la ruta (franja de terreno para unir dos puntos los cuales serían las poblaciones o puntos estratégicos, que según Crespo (2005) hay dos puntos obligados que son los topográficos y los políticos sociales) más adecuada. Aquí se comenzaría la etapa del proyecto, el cual con ayuda ya sea de cartas geográficas, geológicas, reconocimientos aéreos (tres reconocimientos y son llamadas fotos aéreas, las cuales traen una escala 1:50 000 al primer vuelo, después se subirán a delimitar con fotos a 1:25 000. En las cuales se ven características físicas, de rasgos y objetos,

topográficas y geomorfológicas , de vegetación). Con lo obtenido se podrá saber que tipo de estructuras se necesitarán como pueden ser los cortes, los terraplenes, las obras necesarias de drenaje, etc....

Además es necesario tener datos sobre el tipo de suelo para así saber como se comportará dicho suelo o saber que tipo de material es el más adecuado para soportar el camino.

Con la elección de la ruta se verían las ventajas que esta pueda tener, tomando en cuenta el costo de construcción, operación y conservación según SCT (1974). La construcción es la aplicación del proyecto ( en la cual como ya se menciona se ven todo lo relacionado a los factores que puede tener la carretera desde lo económico hasta lo técnico que va desde el trazo, pendientes, el tipo de material y en donde se va a obtener este, drenaje que va a tener, esto previsto anteriormente), en el cual se tendrá que ir llevando la obra según los plazos de entrega y llevando el control de calidad de los materiales usados y métodos constructivos que cumplan con las especificaciones.

Al terminar la obra se llega al uso de la misma, en la cual al momento de ser operada, irá teniendo desgaste y por lo mismo, entra la conservación, el estudio que va llevando del tránsito o el usuario, como se va comportando a través del tiempo dicho camino, y en un tiempo determinado tal vez se haría una reconstrucción para aumentar su vida útil.

Como se vio anteriormente, se habló en general la etapa de una carretera desde su estudio preliminar hasta la reconstrucción de la misma. Aunque para cuestiones de proyecto geométrico hay más factores que se deben tomar en cuenta

para su realización, de los cuales se explicarán en general más adelante para su comprensión.

#### **1.4. Elementos de la ingeniería de tránsito usados para el proyecto**

“La ingeniería de tránsito es la rama de la ingeniería que se dedica al estudio del movimiento de personas y vehículos den las calles y los caminos, con el propósito de hacerlo eficaz, libre, rápido y seguro”. (Mier,1987;21)

El problema principal del tránsito como lo dice Mier(1987), se encuentra en la disparidad de vehículos modernos y los caminos, los cuales solo se han hecho reparaciones, ya que esos caminos fueron diseñados solo para vehículos más antiguos, y por lo tanto, algunos no cumplen con las especificaciones para el tránsito de ellos. Un ejemplo sería el trazo de ciudades en forma de cuadrícula, ya que los vehículos se mueven en curvas para poder girar, y esto ocasiona congestionamiento y accidentes. Los factores que pueden implicar en este problema son: la variedad de diferentes tipos de transporte en un mismo camino, como ya se menciona un trazo urbano no apto para vehículos, calles angostos, pendientes muy grandes, pocas banquetas, falta de educación vial, mala planificación de tránsito, mal diseño en intersecciones, sin prever estacionamientos, entre otras más.

Soluciones se pueden dar a este problema como pueden ser: construcción de calles que se ajusten a los requerimientos, remodelación de calles, más estacionamientos, más accesos secundarios, aunque estos ocasionarian un derrame económico considerable.

Otras soluciones que podrían quedar y a menor costo sería principalmente sería la educación vial (con reglamentos que se respeten, tiempos controlados de estacionamiento, cambio de sentidos de calles, señales y semáforos). Cualquiera

que fuera la solución a aplicar, esta debe de tomar en cuenta que hay tres elementos que constituyen al tránsito que debe respetar para que funcione, y son: el usuario, el vehículo y el camino.

En el caso del usuario el cual representa a la población en general se divide en dos: el peatón y el conductor.

El primero se refiere a la persona que transita por su propio pie, a su vez, es el más expuesto a sufrir las consecuencias de los accidentes. Pudiendo ser por falta de precaución y a veces por falta de percepción del funcionamiento y velocidad de los vehículos.

El conductor es el que controla el vehículo, responsable directo del buen manejo del mismo.

Aunque hay condiciones del medio ambiente), que afectan el comportamiento del usuario como son: “la tierra ( su uso y actividades), el ambiente (estado del tiempo y visibilidad), obras viales (carreteras, ferrocarriles, puentes y terminales), la corriente del tránsito y sus características, las cuales son manifiestas al usuario.

Aunque también su mismo comportamiento orgánico juega un papel principal, siendo por su motivación, inteligencia, aprendizaje y estado emocional”. (SCT,1974;63).

Algunos de los problemas que se pueden presentar los menciona Mier (1987) pudiendo ser la visibilidad, los tiempos de reacción físicas y psicológicas (percepción del estímulo, análisis de las soluciones, elección y ejecución de una orden por el cerebro), el no conocer el camino (por lo mismo se debe mantener una señalización uniforme para no perder costumbre) pueden ser factores decisivos para provocar accidentes.

Otro elemento de tránsito es el vehículo. Que es el transporte que circulara por la carretera, operado por el conductor.

Las características geométricas son determinadas por las dimensiones y el radio de giro. Como lo dice Mier (1987), hay gran cantidad y variedad de tipos de vehículos, por lo tanto, se toman las características promedio que se han hecho y previendo condiciones y cambios futuros para que los caminos sigan sirviendo para su tránsito nace la idea del vehículo de proyecto. Y la forma correcta de nombrarlos depende de la separación que hay entre los ejes extremos, todo en centímetros.

Los vehículos pueden clasificarse en tres: vehículos ligeros (de carga o de pasajeros, 2 ejes, 4 ruedas como son los automóviles, camionetas, transportes ligeros de pasajeros o carga), vehículos pesados (destinados a transporte de carga o pasajeros, con dos o más ejes y seis o más ruedas pudiendo ser los camiones y autobuses) y los vehículos especiales (los cuales solo transitan o pasan el camino pudiendo ser remolques para maquinaria pesada, agrícola, bicicletas, motocicletas, etc.,)

El radio de giro definida por: “ es el radio de la circunferencia trazada por la trayectoria de la rueda delantera externa del vehículo al efectuarse un giro”. (Mier,1987;31). Sirviendo para calcular ampliaciones en curvas horizontales en los caminos y ayuda para el diseño de la orilla interna de la calzada en intersecciones. En vehículos la rotación máxima de las ruedas es  $50^{\circ}$  según datos de SCT (1974).

Las características de operación de los vehículos toman en cuenta su peso estando cargados y la potencia del motor. Ya que se ha encontrado que la relación peso (kgs) / potencia (HP) de camiones, se relaciona con la velocidad y el tiempo recorrido, como también que los vehículos con esa misma relación poseen las

mismas características de operación similares. Dando así una relación peso/potencia de proyecto. Estas características ayudan en el proyecto del alineamiento vertical y análisis de capacidad del camino.

“Cuando la fuerza atractiva que genera el motor de un vehículo es mayor que las fuerzas resistentes que se oponen al movimiento se produce aceleración; cuando ocurre el caso contrario existe desaceleración y si son iguales, el vehículo se mueve a velocidad constante, denominada velocidad de régimen”: (Mier,1987;33).

Siempre los conductores dependiendo de la situación tienen que acelerar o desacelerar, para lograrlo esta en función de la fuerza tractiva neta, que resulta de quitar la fuerza del motor a todas las resistencias internas ( resistencia al rodamiento que resulta de la fricción de la llanta y el camino con un valor para concreto o asfalto de 0.008 a 0.010, revestido de 0.020 a 0.025 y tierra de 0.080 a 0.160; la resistencia por fricción que surge por causa del frenado producida entre llanta y pavimento, y esta en función del peso y el coeficiente de fricción longitudinal que va de valores para una velocidad de 30 KPH a 100 KPH de 0.65 a 0.55 para pavimento seco y mismas velocidades de 0.400 a 0.295 para pavimento mojado; resistencia por pendiente la cual se refiere cuando una tangente es ascendente hay resistencia al movimiento del vehículo, estando en función del peso y la pendiente longitudinal; y la resistencia producida por el aire, la cual es proporcional al area del vehículo que se presenta al viento y al cuadrado de la velocidad), todas estas consideraciones permiten proyectar los elementos del camino en donde intervenga la aceleración.

Otra cosa importante es la estabilidad de curvas, ya que un vehículo es estable cuando mantiene su trayectoria, la inestabilidad viene por carga con mal distribución, neumáticos sin aire, suspensión en mal estado, o fuerza centrífuga.

Manifestándose ya sea por deslizamiento o por volcadura, por lo mismo se debe prever para evitar estos problemas de acuerdo con SCT(1974).

Por último, el camino que se definió anteriormente como una faja de terreno hecha para el tránsito de vehículos, la cual tiene varias clasificaciones que da SCT(1974). Las cuales son: por transitabilidad (considera camino pavimentado el cual es transitable todo el tiempo, así como el camino revestido; y el camino de terracería (que solo es transitable en época de secas); según SCT lo clasifica en montañoso, lomerío y plano; la clasificación de capacidad que considera autopistas (de cuatro o más carriles), caminos (de dos carriles) y brechas; por clasificación administrativa que se divide en caminos federales (proyectados, hechos y mantenimiento por la federación), en caminos de cooperación bipartita (hechos y conservados por juntas locales de caminos, con recursos iguales de los estados y la federación), caminos de cooperación tripartita (el cual es construido por juntas locales, con recursos de la federación, de los estados y de particulares, conservados por estos últimos), y caminos de cuota (cuyos recursos por parte de Caminos y Puentes Federales y Obras Conexas); y por la longitud de caminos.

### **1.5. Velocidad**

La velocidad, según SCT(1974), es un factor importante y elemento básico en el proyecto, ya que con la rapidez y la seguridad con la que se transitaran se juzgará la utilidad y la calidad de funcionamiento del camino. La velocidad escogida para el proyecto no siempre es la máxima, esto por cuestiones de seguridad en los caminos de acuerdo con Mier (1987).

Se consideran varios tipos de velocidades, las cuales son: velocidad de proyecto, velocidad de operación, velocidad de punto, velocidad efectiva global.

La velocidad de proyecto es la máxima velocidad en la que circulan los vehículos con seguridad y con esta se consideran las características del proyecto del camino. Esta velocidad es influida por varios factores como puede ser la topografía del terreno y tipo del camino, volúmenes de tránsito y uso de la tierra. Ya que al tener un terreno con poca pendiente y plano, se podría poner una velocidad mayor que en una parte montañosa, aunque también con el volumen de tránsito se pueda llegar a determinar esta velocidad la cual al ser definida las características geométricas del camino llegaran a ser condicionadas a ella para que el proyecto este en forma equilibrada, según lo explica Mier (1987).

La velocidad de operación es en sí la real a la que pasan los vehículos sobre el camino y la cual dará la eficiencia de la misma dada a los usuarios, sin rebasar la velocidad de proyecto.

De acuerdo con Mier (1987) esta definida como la velocidad mantenida mientras el vehículo se encuentra moviéndose, aunque esta se ve afectada cuando el volumen de tránsito llega a ser igual o mayor al de capacidad del camino por cuestiones de que no se circula con las velocidades supuestas en el proyecto, sino con menores.

Para obtener la velocidad de operación se puede utilizar la velocidad de un punto.

La velocidad de punto se refiere a la llevada por un vehículo cuando circula o pasa por un punto dado en un camino. En esta “influye el usuario, el vehículo, camino, volumen de tránsito, la velocidad permitida y las condiciones prevalecientes”. (SCT,1974;101).

Como lo refiere Mier (1987), en tramos pequeños donde las características de operación no varían la velocidad de punto puede ser representativa a la de operación.

Para tramos largos en donde la velocidad será diferente, se tomaran sitios en donde serán representativos para cada velocidad y así dará la velocidad de operación para todo lo largo del tramo.

La velocidad efectiva global trata sobre el promedio de la velocidad que se mantuvo sobre el camino. La cual se obtiene con la división con la distancia total hecha con el tiempo que se empleo para hacerlo. Considerando los retrasos y factores prevalecientes (condiciones que pueden ser como el clima, si es de día o noche, congestionamientos). Esta se puede utilizar para medios comparativos entre rutas, para medir los efectos en ellas.

### **1.6. Volumen de tránsito**

Anteriormente se ha comentado algo sobre el volumen de tránsito, es importante ya que para la selección de un camino, para la selección de las intersecciones, para los accesos y también los servicios que se puedan ocupar depende de la demanda o volumen de tránsito la cual utilizará el camino en un tiempo dado, ver como va variando, como va creciendo y como se va componiendo. Ya que al tener un mal estudio de este volumen puede crear problemas, ya sea de congestionamientos según SCT(1974):

Entonces el volumen de tránsito es la cantidad de vehículos que van en una dirección o en diferentes direcciones en un carril o carriles especificados pasando por un punto dado en un tiempo determinado. Los periodos que más se usan son la hora y el día.

El Volumen Promedio Diario Anual (VPDA), como lo menciona Mier (1987), es el número de vehículos que estarán pasando por un punto dado, en un año dividido en 365 días, aunque tiene la desventaja que no es apropiado para el proyecto de un camino, ya que no indica la variación que va ocurriendo en los meses del año, en las semanas ni en las horas del día.

El Volumen Máximo Horario Anual (VMHA), considera el volumen horario más alto que pasa para un determinado año. Aunque este volumen se acerca mucho a condiciones de operación del camino, dará obras sobradas.

Entonces el volumen horario usado para el proyecto como lo dice Mier (1987), puede ser determinado por una gráfica la cual mostrará la variación que ha tenido el volumen horario en el transcurso del año.

Para las intersecciones se deben contar con los datos de los volúmenes los cuales ocurran durante la hora proyecto.

Para poder obtener todos estos volúmenes se pueden sacar estadísticamente o tomados por conteos de tránsito.

Estos conteos pueden ser en forma manual (también llamados muestreos) o en forma mecánica.

La primera es más sencilla y económica. Y una muestra representativa se podría realizar en un tiempo de 5 a 10 días, tal como lo dice Mier (1987), en la que sería bueno que se hicieran las 24 horas. Este método es bueno ya que además del conteo clasifica los vehículos, como pueden ser en ligeros y pesados. Estos datos se pasan a gráficas tanto en magnitud y dirección.

En forma mecánica los vehículos se cuentan con instrumentos y dispositivos, aunque tienen el inconveniente que no clasifican los vehículos, como pueden ser los

contadores neumáticos que se coloca al transversalmente al camino y que al momento de pasar el vehículo y pasar por el dispositivo este lo marcara.

Otros contadores serían los electro magnéticos, que van dentro del pavimento, los de presión – contacto y otros más complicados pero costosos que se pueden utilizar para datos más precisos.

Los estudios de origen y destino es el método más completo para el conteo de vehículos. Igual que lo menciona Mier (1987), ya que se pueden conocer datos de volúmenes de tránsito, los tipos de vehículos, se pueden clasificar por direcciones, de donde vienen y hacia donde van, lo que transportan, pasajeros, marcas de los vehículos, incluso problemas del recorrido. Es importante este estudio ya que se podría sacar la demanda de la ruta, ver si es necesario tener rutas secundarias ya sea para transportes de carga o turistas, y así poder justificar mejoras o construcción de nuevas vías.

Para poder lograr estos estudios se pueden realizar desde entrevistas directas al vehículo (usado más en zonas rurales donde el tránsito es menor) siendo el método más exacto, con cuestionarios para el conductor con preguntas estratégicas, con visitas personalizadas a los domicilios (pudiéndose utilizar en zonas urbanas), con observación de placas en ciertos puntos.

Para prever el tránsito se debe considerar a plazo futuro de 15 a 20 años, pero se deben considerar factores como son el tránsito actual que sería el volumen de vehículos que transitaría un camino nuevo o mejorado si fuera abierto.

Otro factor es el aumento del tránsito, que a su vez considera el incremento del tránsito normal (que se refiere al aumento general de usuarios y vehículos), el

tránsito generado ( que considera los viajes de transportes que no se harían si el camino no se hubiera construido) y el tránsito resultante del mejoramiento.

El factor de previsión del tránsito relaciona al actual o el futuro en forma por ciento decimal, sumando todos los crecimientos del tránsito, para así poder considerar volúmenes futuros.

### **1.7. Densidad de tránsito.**

“La densidad es el número de vehículos que se encuentran en un tramo de un camino en un momento determinado”. (Mier,1987;55)

Este concepto puede confundirse con el volumen de tránsito ya que en un momento dado que se encuentre congestionado el camino el volumen puede llegar a ser de cero, mientras que la densidad es alta.

Entonces para Mier(1987) se puede decir que el volumen de tránsito = velocidad x densidad.

Si la velocidad fuera constante, entonces el volumen y la densidad serían lineales. Pero al aumentar el tránsito, disminuirá la velocidad con la que se puede viajar y por lo tanto, el volumen disminuye, mientras que por juntarse demasiados vehículos en un tramo la densidad aumenta.

### **1.8. Derecho de vía.**

El derecho de vía es una franja de terreno, con ancho suficiente, que servirá para la vía de comunicación y es una integración de la misma.

Dicho por Mier (1987), el ancho depende de las condiciones de seguridad, de la utilidad especial y la eficiencia del servicio para satisfacer la vía.

En el caso de México, este ancho esta establecido un derecho de vía con una amplitud mínima de cuarenta metros (veinte metros para cada lado del eje del

camino), aunque se puede reducir o aumentar en casos especiales como puede ser al momento de pasar por la calle de una población, cuando sea una autopista o una brecha de un carril de circulación.

Para adquirir este derecho de vía es necesario tomar en cuenta todos los aspectos legales tomando en cuenta los reglamentos y consideraciones que se deben hacer, como pueden ser: de acuerdo al tipo de camino, al origen de fondos con los que se construirá.

Para fines federales la Ley de Vías Generales de Comunicación dice en su artículo 1º.: Son vías generales de comunicación: Los caminos que entronquen con alguna vía de país extranjero, cuando comuniquen dos o más Entidades Federativas y cuando en su mayor parte sean construidas por la Federación.

2º. Todos los servicios auxiliares, obras y construcciones, como también terrenos y aguas que se requieran para la vía será considerada vía general.

El afectado debe resolver todos los trámites para caso de pago de afectaciones hechas de su terreno por donde pasará el camino.

Además el pago de adquisición del derecho de la vía debe considerarse con el presupuesto de construcción del camino.

### **1.9. Capacidad y nivel de servicio.**

“La capacidad es una medida de la eficiencia de una calle o un camino”.  
(Mier,1987; 59).

Para poder determinarla, además de considerar las características del tránsito, se debe considerar la operación, los volúmenes y la variedad de condiciones físicas. Aunque también como lo dice SCT (1974), se pueden considerar la calidad del nivel de servicio dado y duraciones de periodos de tiempo considerados. Estos tiempos

deben ser perfectamente definidos. La capacidad es el máximo tránsito sostenido para el tiempo especificado.

El nivel de servicio es una medida cualitativa del efecto de la velocidad, tiempos recorridos, interrupciones, seguridad, comodidades y libertad de manejo, costos.

Un camino puede tener muchos niveles de servicio dependiendo de los volúmenes del tránsito y de la composición del mismo.

El volumen de servicio es un volumen de tránsito que corresponde a cierto nivel de servicio. El volumen de servicio máximo es igual a la capacidad.

Los diferentes caminos presentan características geométricas diferentes, ocasionadas por el tipo de terreno que crucen, y estas pueden afectar la capacidad. En caminos con terreno plano, la velocidad de vehículos pesados es similar a ligeros; en lomeríos los vehículos pesados reducen la velocidad debajo de los ligeros; en caminos de montaña, las velocidades de vehículos pesados son muy bajas en distancias grandes y con mayor frecuencia.

Entonces los objetivos de la capacidad según Mier (1987), para el caso de obras nuevas de que las características geométricas del nuevo camino ayuden para que el volumen de servicio sea igual al volumen horario de proyecto, dando así un nivel de servicio aceptable, el cual también puede variar por limitaciones económicas, así como el grado de seguridad que se requiera.

Para el caso de las condiciones de un camino existente puede determinar su volumen de tránsito como su volumen de servicio, determinando sus características, para así determinar el nivel de servicio con que se opera y determinar una fecha de posible saturación de la vía.

## **1.10. Distancia de visibilidad**

Se le llama distancia de visibilidad a una longitud delante del conductor que alcanza a ver continuamente, presentándose condiciones atmosféricas y de tránsito favorables.

Se consideran dos tipos de distancia: la distancia de visibilidad de parada y la distancia de visibilidad de rebase.

La distancia de visibilidad de parada es la distancia de visibilidad mínima que necesita el conductor del vehículo a una velocidad de proyecto, pueda observar a un objeto en su trayectoria y pueda detenerse antes de llegar a dicho objeto. Es la mínima distancia de visibilidad que hay en cualquier punto del camino.

Algunas distancias de visibilidad calculadas para velocidades de 30 Km/h es de 27.16 m., así como distancia de frenado es de 7.72 m. Y para velocidades de 110 Km/h es de 176.83 m., así como distancia de frenado es de 112.95 m. ( estas distancias son consideradas con factores de reacción y de coeficientes de fricción de acuerdo a vehículos ligeros y según SCT (1974)).

La distancia de visibilidad de rebase como lo refiere Mier(1987) a que en cierto tramo un vehículo tenga la distancia necesaria para que pueda adelantarse a otro que va en el mismo sentido, sin tener el peligro de chocar con otro que venga en el otro sentido.

Esta distancia se aplica a caminos de dos carriles. En caminos de cuatro o más carriles, no hay problema de esta distancia, ya que todos los vehículos van hacia el mismo sentido.

Es difícil establecer los criterios para tener tramos de rebase como es longitud y la frecuencia de estos. Algunas variables que pueden intervenir son: volumen de tránsito, configuración topográfica, velocidad de proyecto, costo, nivel de servicio.

Un camino para SCT (1974), debe presentar en toda su longitud una distancia de visibilidad igual a la de parada. Además que todo lo geométrico debe proyectarse con suficientes espacios de rebase, para que así se cumplan todos los requisitos de visibilidad.

Una aplicación directa sería determinando la longitud de curvas verticales o la de obstáculos en curvas horizontales, ya que cuando se circule con velocidad de proyecto, se tenga la distancia de visibilidad de parada o de rebase adecuadas para dicha velocidad.

### **1.11. Mecánica de suelos**

El suelo es el material que lo componen partículas minerales, las cuales están compuestas por la desintegración de rocas y por vacíos (pudiendo contener agua o no). Por efecto del tiempo hay factores geológicos que alteran a las rocas como lo menciona Aries (1984) y son dos: la desintegración mecánica y la descomposición química.

La desintegración mecánica ocurren procesos como son:, los cambios de temperatura, los efectos de organismos, los esfuerzos tectónicos, los efectos del agua y el viento, los sismos, derrumbes.

La descomposición química es cuando ocurre por medio del agua y sustancias naturales.

Se consideran dos tipos de suelo: los residuales y los transportados. Según Aries (1984) en los primeros son aquellos que siguen o permanecen en donde fueron formados.

Los transportados se refieren a aquellos que han sido removidos y llevados a otro sitio por factores como el agua (suelos aluviales, suelos lacustres), por el viento (suelos eólicos), por efecto de la gravedad (depósitos de Pie de Monte).

La mecánica de suelos es la rama de la ingeniería civil que estudia la aplicación de las leyes de la Mecánica e Hidráulica a problemas de ingeniería que trata con sedimentos y acumulaciones. La cual nos ayuda a saber más sobre las propiedades del suelo así como de su comportamiento.

“En la estructuración de la sección transversal de una vía terrestre se utilizan materiales pétreos, térreos, asfálticos e industriales, los cuales se aprovechan cuando cumplen requisitos marcados en las normas de calidad” (Bustamante,2006;95).

Entonces para poder construir una vía hay que saber que tipo de material existe en la región, para así saber de donde va obtener dichos materiales. Además de conocer las propiedades de los mismos que podrán afectar el funcionamiento de la carretera.

Para Aries (1984), las propiedades principales que tienen los suelos en la que afectan las obras en un grado mayor o menor son tres: compresibilidad, resistencia al corte y la permeabilidad.

La compresibilidad se refiere a la deformación del material al tener o aplicarle una carga o al momento de disminuir su volumen.

La resistencia al corte se refiere al esfuerzo cortante máximo que soporte el material, el cual se sabrá si el suelo fallaría por fractura en el suelo (esfuerzo límite), o por flujo plástico.

Para poder conocer todo sobre el suelo y hay que hacer pruebas de clasificación para los materiales. También dentro de la mecánica de suelos según Aries (1984) se tuvo que hacer una clasificación del suelo dependiendo de sus características y propiedades mecánicas. Así se logro uno de los más importantes que es el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), hecho por A. Casagrande, en donde se diferencian los gruesos de los finos por medio de la malla 200 (0.074 mm).

También a cada uno representándolo por medio de letras. Como grava (G) y arenas y suelos arenosos (S).

A parte se clasificaron cada una por medio de características de limpieza, graduación y el porcentaje de finos que presenta cada uno. Estos son: Material limpio de finos y bien graduado (W), material limpio de finos y mal graduado (P), material con finos no plástico (M) y material con finos plásticos (C). Al juntarse estas con las gravas y arenas daran diferentes grupos como son: GW y SW, GP y SP, GM y SM, GC y SC, con sus características que se mencionaron anteriormente.

En el caso de los finos se consideran: los limos inorgánicos (M), las arcillas inorgánicas (C) y los limos y arcillas orgánicas (O). A su vez de acuerdo a su límite líquido se subdividen en: L que se refiere a suelos con compresibilidad media a baja, a suelos con alta compresibilidad (H). Dando así una clasificación como CL y CH, ML y MH, OL y OH, juntando las características dichas anteriormente. Los tipos que

contienen gran cantidad de elementos orgánicos (Pt) que corresponden a turbas y suelos en pantano, como un grupo independiente.

Las principales pruebas de acuerdo con Bustamante (2006) son: granulometría, plasticidad, resistencia, expansión, valor cementante, adherencia con el asfalto, dureza y forma de la partícula.

La granulometría estudia a las formas y la distribución de los diferentes tamaños de las partículas que constituyen el suelo.

El análisis se aplica en suelos gruesos, en los que tienen un tamaño que va desde 0.074 mm. Y 76.2 mm.. Los suelos gruesos se pueden llamar según su tamaño que va de la arena fina de 0.074 (t. No. 200) a 0.42 (t. No. 40) mm. (azúcar de polvo), arena mediana de 0.42 (t. No. 40) a 2 (t. No. 10) mm. (sal de mesa), arena gruesa de 2 (t. No. 10) a 4.76 (t. No. 10) mm. (sal mineral), grava fina de 4.76 (t. No. 10) a 19 (3/4 pulg.) mm (chícharo), grava gruesa de 19 (3/4 pulg.) a 76 (3 pulg.) mm. (limón), canto rodado de 76 (3 pulg.) mm. a 304 (12 pulg.) mm. (toronja), boleto de 305 (12 pulg.) mm a mayores (mayor que una pelota de básquetbol). Un suelo bien graduado, o sea que tuviera gran variedad de tamaños tiene su comportamiento mecánico e hidráulico mejor.

Para realizar todas estas mediciones, se puede hacer por medio de análisis directo que consiste en medir las partículas que tengan más de 76 mm. Con aparatos manuales de precisión (los llamados vernier).

La medición por medio de mallas (siete u ocho mallas) consiste en una serie de mallas ordenadas en forma descendente. En las cuales se coloca el suelo en forma seca. Se procede a agitarse durante un período de tiempo 5 a 10 minutos. Luego se pesa lo que se haya quedado en cada malla, para sacar un porcentaje

retenido en cada malla. Graficando dichos resultados en la llamada curva de distribución granulométrica.

En el caso de los suelos finos se presentan problemas para que las partículas lleguen o pasen, ya que su tamaño va menor a 0.074 mm. Para esto se hace lavando el material para que pase la malla fina 200, después se deja que las partículas se sedimenten y se extrae el agua. Por medio del horno se termina de secar la muestra.

El método con hidrómetro que sirve para determinar la granulometría de los suelos finos, aunque para estos no reviste tanto como para los gruesos ya que el comportamiento depende de las formas y su composición mineralógica.

La plasticidad es la propiedad capaz de soportar deformaciones y no se presentan variaciones de volumen sin que haya desmoronamiento ni agrietamiento. Existen pruebas que se les aplican a los materiales que pasan la malla no. 40, para ver los cambios que tienen en presencia del agua. Estas pruebas son el límite de Atterberg: límite líquido (que corresponden a la humedad, o agua que contienen con respecto al peso de los sólidos, se obtienen con el método de Casagrande), el límite plástico (corresponde cuando el suelo empieza a perder todas sus propiedades plásticas para pasar a un estado semisólido, se obtienen con la hechura de rollitos de 3 mm. Que al fracturarse se determina su límite plástico), el límite de contracción (cuando el suelo pierde agua, su volumen tiende a disminuir por la fuerza de tensión capilar, entonces este límite es el contenido de agua a partir del cual el volumen del suelo permanece constante aunque la humedad disminuya como lo refiere Aries (1984).

Por lo tanto, en estado líquido se pareciera a un líquido viscoso, en plástico una masilla la cual se deformaría pero no se agrietaría, en estado semisólido se

deformaría en forma permanente y llegaría a agrietarse, y por último en estado sólido que fallaría al momento de deformarse.

La resistencia se puede medir mediante pruebas llamadas triaxiales y las realizadas en consolidómetros. La más utilizada es la prueba Porter elaborada en 1925. Con la Porter estándar esta se obtienen datos como peso volumétrico seco máximo, humedad óptima, expansión y valor relativo de soporte.

El peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima consiste en aplicar presión estática a un material (4kg) en un molde metálico, la cual al momento de ver que la base se humedezca al terminar la presión se obtendrá el peso volumétrico es el máximo y la humedad es la óptima.

La expansión se refiere a que al estar en contacto con el agua el material aumentará su volumen según como sea de plástico, (la prueba toma en cuenta un extensómetro para medir la expansión que se ha tenido).

El valor relativo es la relación de resistencias en porcentaje del material en estudio y un material estándar.

El valor cementante se utiliza ya que da una sustentación adecuada a carpetas asfálticas ya que es lo que mantienen unidas las partículas.

La adherencia con el asfalto es importante ya que se deben tener materiales que sean afines al asfalto y por lo tanto materiales que no sean afines al líquido. Hay tres pruebas que se hacen como son la de desprendimiento por fricción (mediante agitaciones al material se ve cuanto material se queda unido), la pérdida de estabilidad por inmersión en agua (se colocan dos especímenes en charolas, uno se sumerge en agua. Se llevan a la ruptura con una compresión sin confinar y mediante un cálculo con respecto a los dos se determina si esta apto) y la prueba inglesa

(consiste en presionar el material con el asfalto en unas charolas con una película de agua, donde se observara el cubrimiento que se tuvo).

La dureza se mide por medio de varias pruebas como la de desgaste , en donde se coloca el material en un cilindro con bolas de acero, el cual girará y en la que se verán cuanto material en forma fina quedo.

La forma de la partícula sirve para conocer un porcentaje de formas como es de aguja o laja ya que tienden a no durar mucho por ser frágiles al soportar cargas y no les sirven a los materiales.

Estas pruebas determinarán características importantes para que el camino soporte mucho tiempo y no tenga problemas futuros.

## CAPÍTULO 2

### DRENAJE

El presente capítulo abordará un tema importante como es el drenaje en caminos, en el cual se verán aspectos importantes para un buen diseño del mismo.

#### **2.1. Antecedentes.**

“La experiencia en el análisis y estudios de muchos caminos en mal estado ha enseñado que el drenaje inadecuado más que ninguna otra causa, ha sido el responsable del daño que han sufrido.” (Crespo,2005;140-141).

Como lo dice Crespo (2005) y como se ha observado en el transcurso del tiempo el agua es un agente con acciones erosivas que en cantidades excesivas que dañan los caminos, por lo mismo se han tenido que ir haciendo formas para evitar que esta entre en contacto con el camino el cual puede resultar con problemas.

#### **2.2. Objetivo.**

Como ya se mencionó anteriormente, lo primordial es reducir o en un punto mejor evitar que el agua llegue al camino; en segundo lugar es dar salida lo más rápido posible al agua que pueda llegar al camino. Ya que como lo afirma Crespo (2005) el agua empieza a dar lugar a la formación de baches, además que en las cunetas en el caso que el agua se estanque puede llevar a reblandecer las terracerías originando pérdidas de estabilidad que ocasionen asentamientos. También hay que cuidar los cortes según el tipo de material que exista para evitar derrumbes o deslizamientos al momento de que estos se saturen de agua, como

también cuidar las aguas subterráneas que pueden hacer que se reblandezca el camino ocasionando muchos peligros.

Para todo esto se debe prever desde la localización para hacer que el camino este sobre suelos estables, permanente y naturalmente drenados ( “un buen sistema de drenaje cuando el camino sigue el cause de una corriente de agua o valle, las terracerías deben quedar a una altura conveniente sobre el nivel máximo de aguas, además de evitar el paso en lugares sumamente húmedos donde pueda haber manantiales ambos aspectos son para evitar el problema de la estabilidad de las terracerías evitando que estas se humedezcan”). (Crespo, 2005; 141).

Pero de cualquier manera y según el trazo el camino atravesará suelos y condiciones variables, las cuales obligarán a tener que aplicarse obras de drenaje diversas para evitar y mantener el camino en buenas condiciones.

### **2.3. Hidrología.**

La hidrología es la ciencia que trata sobre el agua, su ocurrencia, circulación, distribución sobre y debajo de la superficie terrestre. Por lo mismo, para un buen drenaje hay que conocer un poco más sobre la hidrología para determinar algunas variables importantes que ayudarán al diseño.

#### **2.3.1. Ciclo del agua.**

Por el efecto de la condensación, el vapor de agua se convierte en pequeñas gotas de agua, dándose así la precipitación (lluvia, nieve o granizo). Esta agua que cae al suelo tiene un triple destino: el primero es en evaporarse si la temperatura es

lo bastante alta para restituirla a la atmósfera. El segundo es en infiltrarse al subsuelo si el suelo de la superficie es poroso o agrietado, originando las aguas subterráneas, en donde vuelve a aparecer ya sea en un valle o en una corriente más grande que pudiera desembocar al mar. El tercero es el de escurrimiento, formando arroyos y ríos que pudieran desembocar al mar, o dependiendo del terreno (terreno llano y suelo impermeable) puede llegar a formar lagos y estanques.

Y todo a su vez el agua que se evapora por efecto de calor y las altas temperaturas (principalmente por acción del sol), el agua del mar, de los lagos, de la superficie, etc. , se convierte nuevamente en vapor volviendo al proceso de condensación y de precipitación, comenzando nuevamente el ciclo del agua.

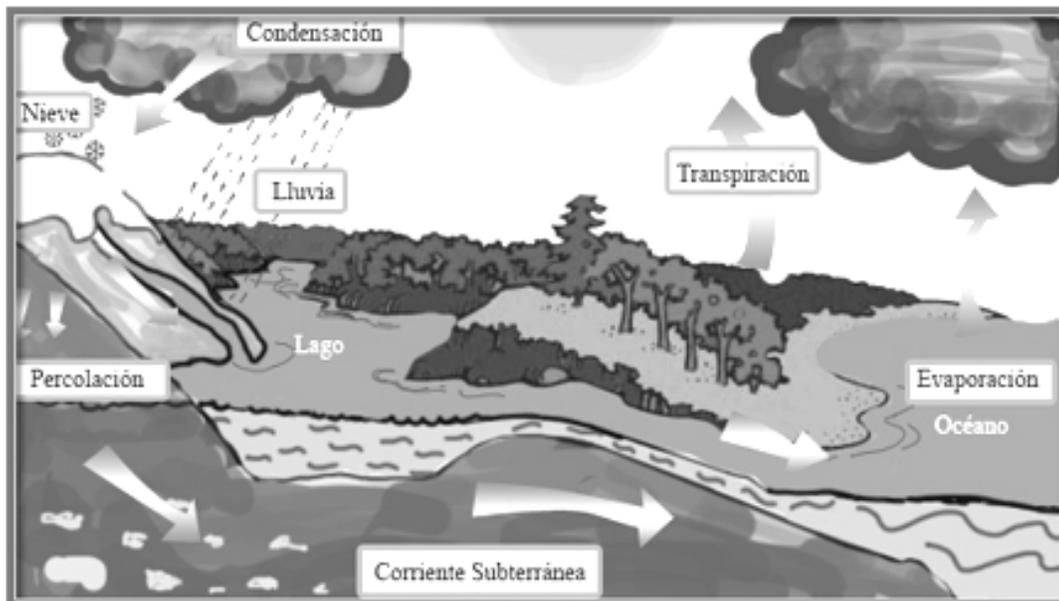


Imagen 1- Ciclo del agua. Fuente: Enciclopedia Quillet.

## **2.4. Cuenca hidrológica.**

Es una zona de la superficie terrestre en donde la precipitación cae y tiende a ser drenada por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Es el área que contribuye al escurrimiento y la que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal y sus tributarios (corrientes secundarias las cuales aportan su cauce a uno principal). La cuenca esta limitada por el parte aguas, de acuerdo con Aparicio (1989), que es una línea imaginaria que une varios puntos de mayor altitud topográfica la cual hace de frontera entre otras cuencas.

Las cuencas según Aristides (1968), las cuencas se clasifican comúnmente en tres grupos:

- Las arreicas, las cuales no tienen escurrimiento superficial permanente, ya que no tienen una corriente colectora la cual le descargue las aguas pudiendo ser por escasa lluvia y una elevada evaporación.
- Las endorreicas, que si poseen una red de drenaje que alimenta una corriente permanente, pero no descarga al mar, haciéndose un depósito interior como puede ser un lago o pantano.
- Las exorreicas, el cual es un río con un escurrimiento permanente que si descarga al mar.

## **2.5. Características fisiográficas de una cuenca hidrológica.**

Las características fisiográficas de una cuenca hidrológica de acuerdo con Aparicio (1989) son: área, pendiente de la cuenca, cauce principal, elevación de la cuenca.

### **2.5.1. Área**

Se refiere a la superficie de la cuenca. Área en proyección horizontal delimitada por el parte aguas. Comúnmente se mide en Km<sup>2</sup>. Pudiéndose clasificar en: pequeñas, las cuales abarcan una superficie menor de 250 Km<sup>2</sup>; y las grandes que son mayores a 250 Km<sup>2</sup>.

### **2.5.2. Pendiente de la cuenca.**

La pendiente de una cuenca se puede evaluar por medio de varios criterios, lo que nos ayudará a obtener datos para el sistema de drenaje, que de acuerdo con Aparicio (1989) estos son: el criterio de Alvord, criterio de Horton y el criterio de Nash.

#### **2.5.2.1. Criterio de Alvord.**

Para obtener la ecuación que proporcione la pendiente de la cuenca, se analiza primero la pendiente existente entre las curvas de nivel; analizando la faja definida por las líneas medias que pasan entre las curvas de nivel, se tiene que para cada una de ellas la pendiente de su área tributaria es:

$$S1 = \frac{D}{W1}$$

Donde:

$S_1$  = Pendiente media de la faja referente.

$D$  = Desnivel entre líneas medias.

$W_1$  = Ancho de la faja. =  $a_1/L_1$

$a_1$  = Área de la faja

$L_1$  = Longitud de la curva de nivel.

Entonces la pendiente de la cuenca será el promedio pesado de la pendiente en cada faja en relación con su área; así considerando  $n$  fajas:

$$S = \left( \frac{D L_1}{a_1} \right) \left( \frac{a_1}{A} \right) + \left( \frac{D L_2}{a_2} \right) \left( \frac{a_2}{A} \right) + \dots + \left( \frac{D L_n}{a_n} \right) \left( \frac{a_n}{A} \right)$$

Obteniendo finalmente la fórmula:

$$S_c = \frac{DL}{A_c}$$

Donde:

$D$  = Desnivel constante entre curvas de nivel.

$L$  = Longitud total de curvas de nivel dentro de la cuenca ( $L$ ).

$A_c$  = Área de la curva ( $L^2$ ).

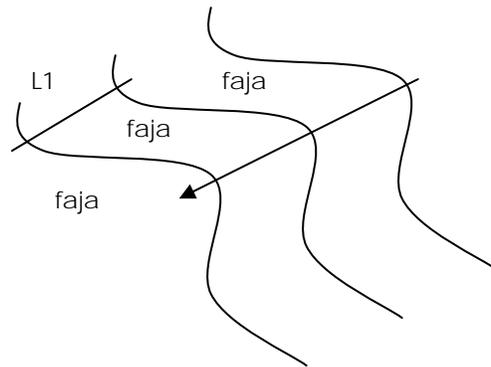


Imagen 2- Pendiente por tramos de faja

### 2.5.2.2. Criterio de Horton.

En este criterio se traza una malla de cuadrados sobre el plano del área de la cuenca en estudio, la cual conviene orientar en el sentido de la corriente principal. Si la cuenca es pequeña (menor de 250 Km<sup>2</sup>), se requiere por lo menos una retícula o cuadrícula de 4 cuadros por lado. Si fuera grande (mayor de 250 Km<sup>2</sup>) se deberá incrementar el número de cuadros por lado. La aproximación del cálculo dependerá del tamaño de la cuadrícula.

Para obtener la pendiente se debe medir la longitud de cada línea de la malla comprendida dentro de la cuenca y se sitúan las intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel.

$$S_c = \frac{1}{2} \left( \frac{N_x D}{L_x} + \frac{N_y D}{L_y} \right)$$

$$S_c = \frac{1}{2} ( S_x + S_y )$$

Donde:

$N_x$  = Numero de intersecciones en la dirección  $x$  con las curvas de nivel.

$N_y$  = Numero de intersecciones en la dirección  $y$  con las curvas de nivel.

$L_x$  = Longitud total en la dirección  $x$ .

$L_y$  = Longitud total en la dirección  $y$ .

$D$  = Desnivel constante entre curvas de nivel.

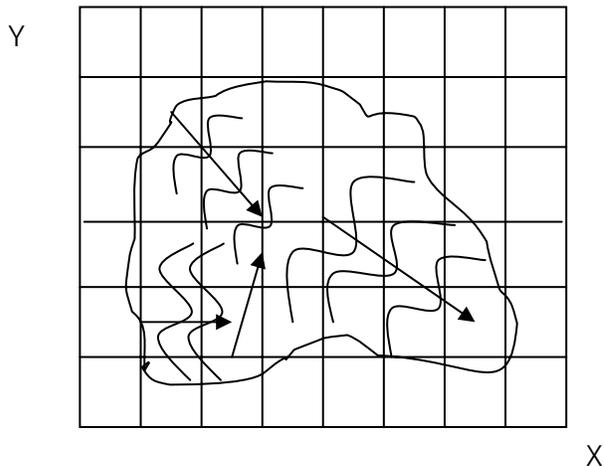


Imagen 3- Para cálculo de pendiente según Horton

### 2.5.2.3. Criterio de Nash.

Similar al criterio de Horton, se requiere trazar una malla de cuadrados sobre el plano topográfico de la cuenca de manera que en este criterio se obtengan 100 intersecciones. En cada intersección se mide la distancia mínima entre las curvas de nivel y la pendiente en ese punto. Aplicando este criterio, se construye una gráfica de distribución de frecuencias de las pendientes medidas en cada punto, mostrándose así la distribución total de la pendiente de la cuenca.

### **2.5.3. Cauce principal.**

Como lo menciona Aristides (1968), el punto donde un arroyo inicia se le conoce como fuente; los cuales sirven de tributarios para los riachuelos, que a su vez estos últimos sirven para alimentar a los ríos. Cuando un río desemboca sobre otro se le conoce como confluencia.

Los ríos corren con pendientes más o menos pronunciadas las cuales van a determinar su curso, pudiendo ser superior ( los ríos son torrentes, se escurre sobre pendientes grandes a gran velocidad); medio ( un río navegable aunque con cierta velocidad); e inferior (siendo la velocidad muy lenta).

Estas corrientes se clasifican ya sea por: la edad geológica (montaña, transición, planicie) y por escurrimiento (efímeras, intermitentes, perennes).

Los parámetros del cauce principal son: el número de orden, la densidad de drenaje y la pendiente del cauce.

#### **2.5.3.1. Número de orden.**

Se refiere a la cantidad de corrientes secundarias o tributarias que están aportando su afluente al principal hecha por el ingeniero e hidrólogo estadounidense Robert E. Horton (enciclopedia encarta, 2001). Dando así el número de orden de la corriente como en la figura se indica.

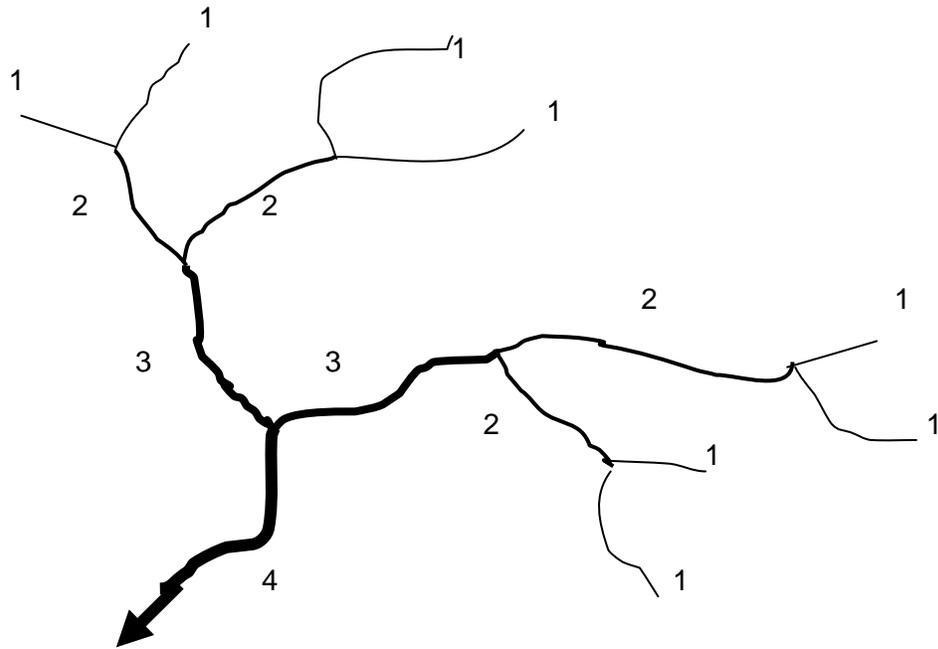


Imagen 4- Número de orden: este caso de cuarto orden

### 2.5.3.2. Densidad de drenaje.

Es la relación de la longitud total del cauce entre el área de la cuenca representado por la siguiente fórmula:

$$Dd = \frac{LT}{Ac}$$

Donde:

LT = Longitud total incluyendo tributarios.

Ac = Área de la cuenca.

### 2.5.3.3. Pendiente del cauce.

Es la relación que hay entre la elevación y distancia.

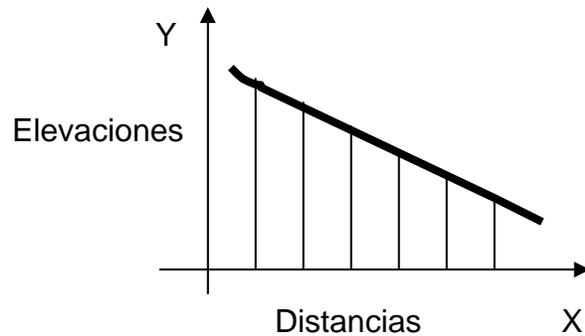


Imagen 5- Relación entre elevación y distancia

Los Métodos para calcular la pendiente del cauce son:

- $S_{\text{cauce}} = \frac{\Delta H}{D}$

Donde:

$\Delta H$  = Diferencia de elevaciones.

D = Distancia

- Compensando áreas

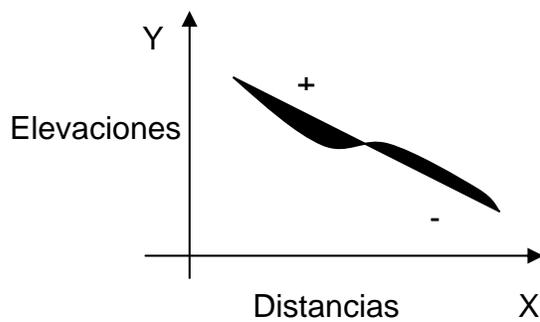


Imagen 6- Relación elevación y distancia

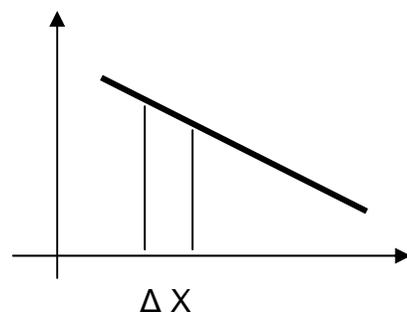


Imagen 7- Compensando areas

Si:

$\Delta x = \text{Constante}$

$$V_i = \frac{\Delta x}{\Delta L_i} = C\sqrt{S_i} R_i$$

$$V_i = \frac{\Delta x}{\Delta t_i} = K\sqrt{S_i}$$

$$\text{Tiempo total} = T = \frac{L}{K\sqrt{S_i}}$$

Como:  $\sum \Delta T = T$  ,  $\sum \Delta X = L$

$$S_{\text{cause}} = \left[ \frac{L}{\Delta x} \frac{M}{\sum_{i=1}^M \sqrt{S_i}} \right]^2$$

### 2.5.5. Elevación de una cuenca.

La variación en elevación de una cuenca, así como su elevación media puede obtenerse con el método de las intersecciones.

El mapa topográfico de la cuenca se divide en cuadrados de igual tamaño, considerando por lo menos 100 intersecciones que estén dentro de la cuenca.

Esta elevación media de la cuenca se calcula con el promedio de elevaciones de todas las intersecciones. Es conveniente calcular la gráfica de distribuciones área-elevaciones, esta gráfica se obtiene dibujando los porcentajes de área abajo o arriba de las diferentes elevaciones.

Los datos área-elevación pueden obtenerse utilizando un planímetro sobre el plano topográfico de la cuenca y valuando el área comprendida entre las curvas de nivel y el parte aguas de esta, la elevación de la cuenca puede calcularse de la curva área-elevación como la elevación correspondiente al 50% del área.

Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

Pendiente de la cuenca (criterios de evaluación %)

Elevación de la cuenca (m.s.n.m)

## 2.6. Relación entre precipitación y escurrimiento.

A continuación se ve un diagrama de la relación entre precipitación y escurrimiento.

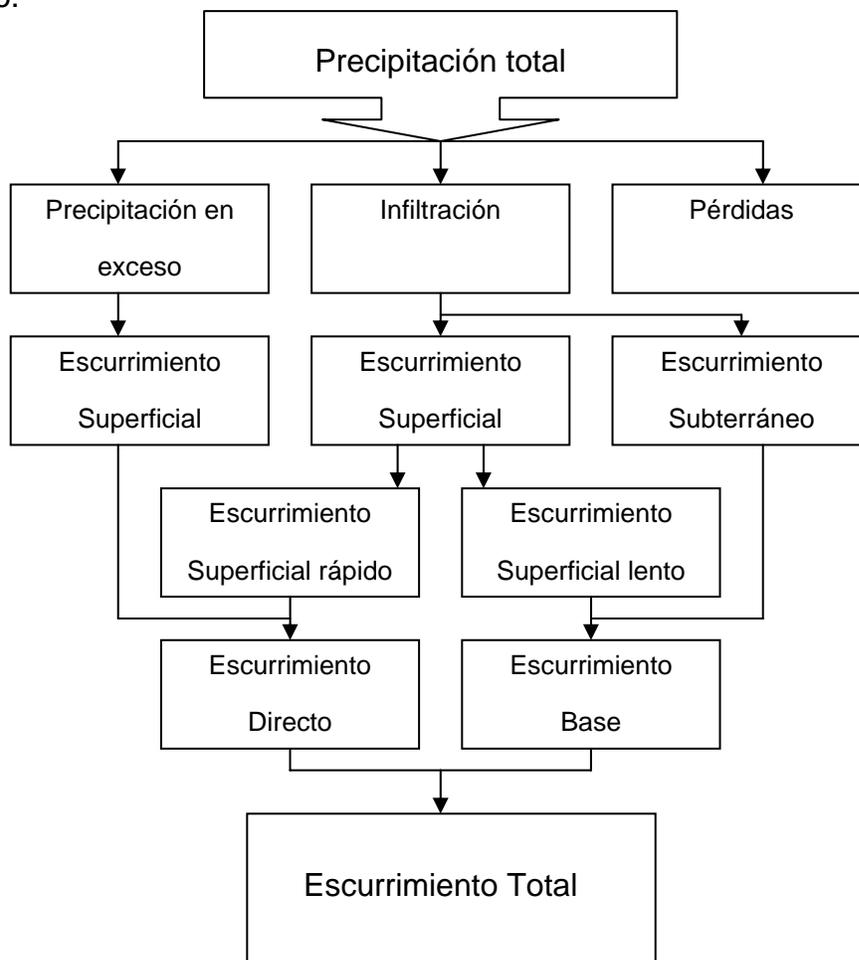


Imagen 8- Relación entre precipitación y escurrimiento

### **2.6.1. Precipitación.**

La precipitación es un fenómeno de formación de una segunda fase de la materia dentro de la primera fase. En el caso que cuando el aire contiene el vapor de agua se enfría, se genera un precipitado de agua en fase líquida dentro del vapor o fase gaseosa. A medida que se genera más agua, esta tiende a caer tomando la forma ya sea de lluvia, granizo, nieve hacia la superficie terrestre. Los tipos de precipitación son: la convectiva que ocurre en forma de chubascos, abarca desde lloviznas hasta tormentas huracanadas y es provocada por contacto del aire ascendente más caliente que el circundante; la orográfica es de baja intensidad, esta ocurre por el ascenso del aire caliente sobre las montañas y barreras orográficas; y la precipitación ciclónica, se genera en zonas tropicales cuando las masas de aire están animadas por movimientos de vórtice y traslación.

#### **2.6.1.1. Medición de la precipitación.**

Es de gran importancia hacer la medición de la precipitación, ya que ayuda a determinar los volúmenes e intensidades que pueda haber en la cuenca hidrológica. La medición se realiza en estaciones meteorológicas, climáticas, pluviométricas, y otras.

En su zona de influencia se registran de forma sistemática y continua la cantidad de lluvia y sus variaciones de intensidad con respecto al tiempo.

Se cuentan con estaciones climatológicas automatizadas, que registran los parámetros climatológicos (por ejemplo, la lluvia, velocidad del viento, temperatura y otros).

El pluviómetro registra la precipitación, su intensidad, duración y variación con precisión, permitiendo registrar datos hasta de 24 horas.

Los pluviógrafos registran generalmente en función del tiempo.

Los registros aportan datos sobre la precipitación media, la relación entre la altura de precipitación, el área y la duración de la tormenta; estos datos son básicos y de gran utilidad, ya que permite conocer las características de las lluvias en toda la cuenca.

La altura de precipitación que cae en un sitio difiere de la que esta en los alrededores, aunque sea un sitio cercano. Por eso para fines de cálculo hay que calcular la precipitación media. Ya que con los aparatos anteriores solo se toma lecturas de un sitio puntual o en la zona donde este el sitio de registro y se necesita la de toda la zona de estudio. De acuerdo con Aparicio (1989) existen tres métodos para encontrar la precipitación media ( $\overline{hp}$ ): el método aritmético, el de polígonos de Thiessen y el de curvas isoyetas.

- Aritmético: en este se consideran únicamente las alturas de precipitación registradas en cada estación usada en el análisis dentro de la cuenca, y su cálculo es con un promedio aritmético. Aunque está prácticamente en desuso.

$$\overline{hp} = \frac{\sum_{i=1}^n h_{pi}}{n}$$

$\overline{hp}$  = altura de precipitación media.

n = número de estaciones climatológicas de registro.

$h_{pi}$  = altura de precipitación registrada en la estación i.

- Polígono de Thiessen (o de área de influencia): En este método se conoce exactamente la localización de la estación climatológica y se plasma en el plano de la cuenca hidrológica, considerando tanto las estaciones dentro de la cuenca como las más cercanas a ella.

$$\bar{h}_p = \sum_{i=1}^n h_{pi} \frac{A_i}{A_c}$$

$$\bar{h}_p = h_{p1} \frac{A_1}{A_c} + h_{p2} \frac{A_2}{A_c} + \dots + h_{pn} \frac{A_n}{A_c}$$

Donde:

$h_{pi}$  =  $h_p$  en estación  $i$ .

$A_i$  = área del polígono  $i$ .

$A_c$  = área de la cuenca.

- Curvas isoyetas: Isoyeta es la curva que une puntos de igual precipitación, este método es el más exacto y se requiere tener planos de isoyetas del área en estudio

En este método se deducen datos faltantes y se utilizan las siguientes fórmulas.

$$h_{px} = \frac{1}{3} \left[ \frac{P_x}{P_A} h_{pA} + \frac{P_x}{P_B} h_{pB} + \frac{P_x}{P_C} h_{pC} \right]$$

$$\bar{h}_p = \frac{\text{Volumen de precipitación acumulado}}{\text{Área acumulada}}$$

Donde:

$h_{px}$  = altura de la precipitación faltante en la estación "x".

$h_{pA}$ ,  $h_{pB}$ ,  $h_{pC}$ , = altura de precipitación en estaciones A, B, C.

$P_x$  = precipitación normal anual en estacione "x".

$P_A$ ,  $P_B$ ,  $P_C$  = precipitación normal anual en estaciones A, B, C.

### **2.6.2. Escurrimiento.**

El escurrimiento superficial se origina de la precipitación en exceso o efectiva y se forma con el escurrimiento en corrientes sobre la superficie del terreno.

Este llega más rápido a la salida de la cuenca, por lo que constituye de manera general el escurrimiento directo.

El escurrimiento subsuperficial es la parte de la precipitación que se infiltra y escurre, paralela a la superficie del suelo.

El agua que se infiltra hasta los niveles freáticos, es el escurrimiento subterráneo y constituye el escurrimiento base; debido a que es el único flujo que alimenta a las corrientes cuando no hay precipitaciones.

Lo anterior lo ejemplifica Aparicio (1989):

Superficial: se encuentra la precipitación no infiltrada.

Sub-superficial: en esta se encuentra la precipitación esta infiltrada.

Subterráneo: aguas subterráneas (acuíferos).

Escurrimiento total = gasto base + gasto directo.

Escurrimiento base = agua subterránea.

Escurrimiento directo = hpe (precipitación).

DHS = Capacidad de campo – humedad del suelo.

DHS = Cc – Hs.

DHS = Deficiencia de humedad del suelo.

Cc = Capacidad del campo (capacidad para filtrar del suelo).

Hs = Humedad del suelo (arriba del nivel freático).

i = Intensidad de lluvia.

f = Capacidad de infiltración.

F = Infiltración total.

#### **2.6.2.1. Factores que afectan el escurrimiento.**

Los factores que afectan el escurrimiento son:

- Distribución de la precipitación. El escurrimiento difiere en cada zona de la cuenca debido a que la precipitación no ocurre con igual intensidad en toda su superficie.
- La red de drenaje. Se refiere a las ramificaciones de los cauces de captación.

- La capacidad de infiltración: Está directamente ligada con las propiedades físicas del suelo.
- La evapotranspiración e intercepción por la vegetación: Afectan el proceso de escurrimiento.
- La topografía: Son las características geomorfológicas de la cuenca (tamaño, forma, pendiente, etc.).
- La geología de la cuenca: El escurrimiento depende de la permeabilidad de las estructuras geológicas del terreno.

### 2.6.2.2. Hidrograma.

Hay la necesidad de correlacionar características del escurrimiento de un cause y su tiempo la forma de relacionarlos es en una grafica conocida como hidrograma. Que representa el comportamiento con el tiempo del gasto medio.

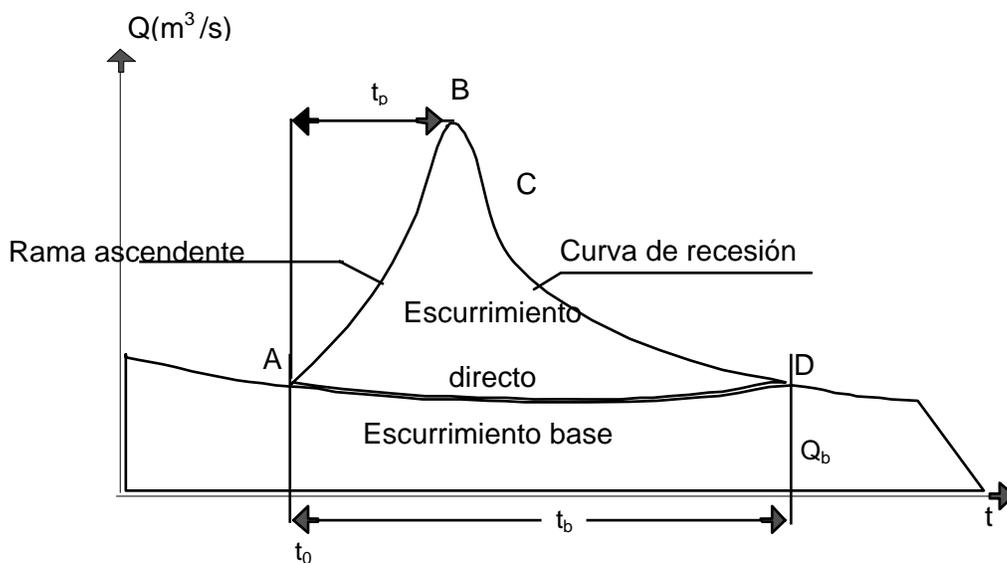


Imagen 9- Hidrograma

Donde:

A = punto de levantamiento donde se inicia el escurrimiento directo producido por la tormenta.

B = punto pico donde se presenta el gasto máximo.

C = punto de inflexión donde aproximadamente termina el escurrimiento por tierra.

D = punto donde termina el escurrimiento directo continuando el escurrimiento base.

$t_p$  = tiempo pico.

$t_b$  = tiempo base.

Los tipos de hidrograma dependen de las siguientes relaciones:

$i < f \text{ hpe} = 0$ .

$DHS > F$  no hay recarga.

Quiere decir que cuando la intensidad de lluvia es menor a la capacidad de infiltración del suelo, no existe escurrimiento directo. Y si hay deficiencia de humedad del suelo y es mayor a la infiltración total, no hay recarga en las aguas subterráneas, y el nivel de aguas freáticas no se altera.

$i < f \text{ hpe} = 0$ .

$F > DHS$  hay recarga.

Representa que la intensidad de lluvia es menor a la capacidad del suelo, y por lo tanto no hay escurrimiento. Y si la infiltración total es mayor a la deficiencia de

humedad del suelo, si hay recarga en las aguas subterráneas, originando un cambio en el nivel freático, lo que provoca una alteración en el escurrimiento base.

### **2.6.2.3. Aforo de corrientes.**

El aforo de corrientes sirve para medir el gasto en un tiempo determinado y este consiste en conocer el área de la sección transversal de la corriente, medir la velocidad media y de la multiplicación de estos se obtiene el gasto de la corriente.

### **2.6.3. Infiltración y agua subterránea.**

La infiltración es el proceso en donde el agua pasa sobre los estratos viniendo de la superficie del suelo y moviéndose hacia el manto freático. Primeramente el agua cubrirá la falta de humedad del suelo y habiendo accesos del suelo el agua pasará a formar parte del agua subterránea. Un acuífero es un estrato que permite el paso del agua por sus poros y/o grietas. Estas aguas son las subterráneas. Existen dos tipos de acuíferos: los confinados, que es donde el agua esta atrapada entre estratos impermeables; muy diferentes a los no confinados.

La infiltración puede considerarse como una secuencia como sigue: entrada a la superficie, transmisión a través del suelo, agotamiento de capacidad de almacenaje del suelo; todos ligados al estado permeable del suelo. Los factores que intervienen la capacidad de infiltración (fp) como lo menciona Aparicio (1989) son: textura del suelo, contenido de humedad inicial, contenido de humedad de saturación, cobertura o capa vegetal, uso del suelo, aire atrapado, compactación y temperatura.

La medida para la infiltración se hace directamente por infiltrómetros, que es la medición de caudales en manantiales.

$$\text{Infiltración} = \frac{Q_m \cdot t}{A}$$

Donde:

$Q_m$  = gasto.

$t$  = tiempo.

$A$  = área.

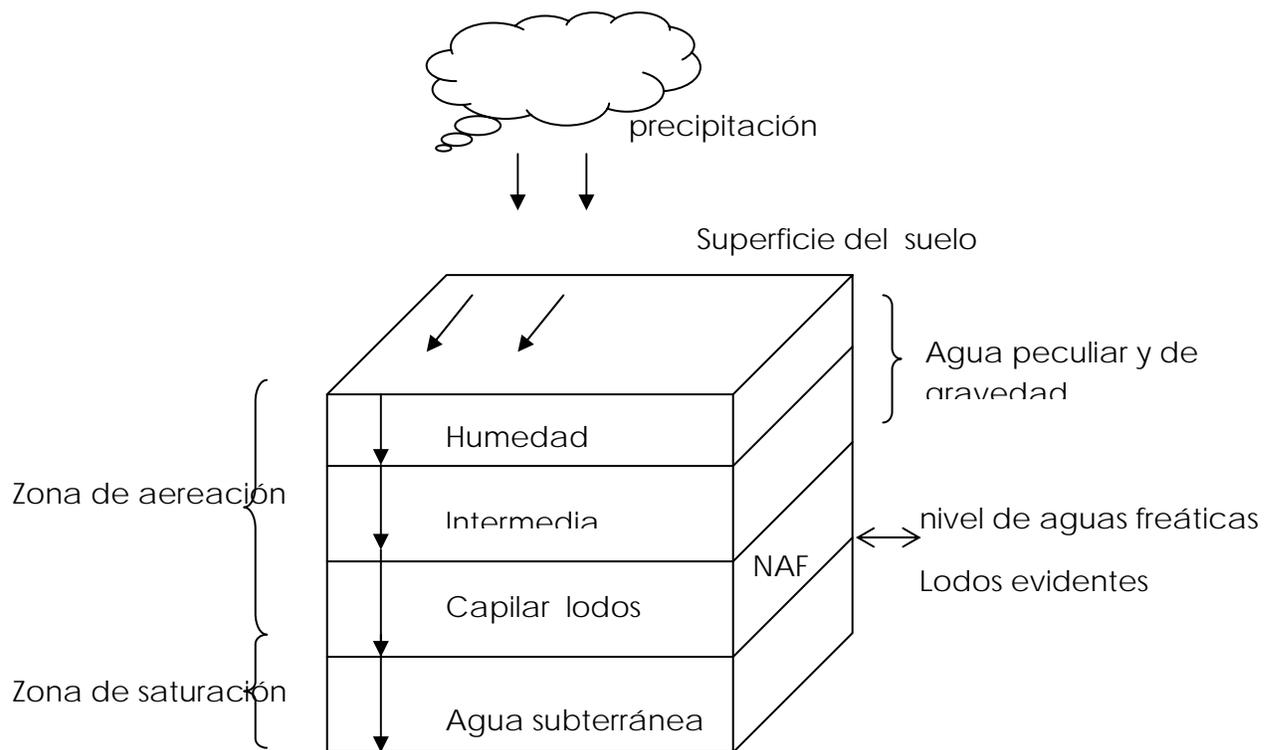


Imagen 10- Infiltración

## **2.7. Avenidas de diseño.**

Como lo menciona Aparicio (1989) para la obtener una avenida de diseño se requiere tener el conocimiento de la avenida máxima que habrá en el lugar donde se desea construir una obra de drenaje, con la finalidad de hacer un buen diseño adecuado de la obra. Aunque para seleccionar el valor de la avenida de diseño debe haber cierto riesgo, ya que el tipo de decisión también depende de factores económicos y consideraciones prácticas, que podrán hacer que esta avenida sea menor que la máxima, según sea el caso.

### **2.7.1. Métodos para obtener avenidas de diseño.**

Los métodos que existen para calcular la avenida de diseño ( $Q_d$ ) se pueden agrupar dentro de diferentes tipos: empíricos, probabilísticos o estadísticos.

#### **2.7.1.1. Métodos empíricos.**

Los métodos empíricos se basan con relación a la lluvia-escorrentamiento y a las características de la cuenca.

- $Q_d = f(A, S_c, S_{cause})$
- Creaguer

#### **2.7.1.2. Métodos probabilísticos o estadísticos.**

Los métodos probabilísticos son:

- $Q_d = f(\text{registros reales})$

- Nash
- Lebediev
- Gumbel: este método es como sigue:

$$Q_d = Q_m - \frac{\sigma_{Q_{max}}}{\sigma_n} \left[ Y_n + L_n \ln \frac{T_r}{T_r - 1} \right]$$

Nota:  $T_r$  se toma a criterio del calculista en base a los  $T_r$  asignados a los datos.

Donde:

$Q_d$  = gasto de diseño  $m^3/s$ .

$Q_m$  = gasto medio de la muestra.

$\sigma_{Q_{max}}$  = desviación estándar de los gastos máximos registrados.

$\sigma_n$ ,  $Y_n$  = parámetros =  $f$  (tamaño de la muestra).

$T_r$  = periodo de retorno.

Asignación de  $T_r$  a los datos:

( $Q_{max}$ , anualmente)

$$T_r = \frac{n + 1}{m}$$

Donde:

$n$  = años de registros.

m = número de orden del evento. (Qmax ... 1 más grande, 2 al siguiente, etc.).

$$Q_m = \overline{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}$$

$$\sigma_{Q_{\max}} = \sigma_{Q_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \overline{Q})^2}{n - 1}}$$

### 2.7.2. Tránsito de avenidas.

De acuerdo con Aparicio (1989) el tránsito de avenidas es el comportamiento de una creciente en su viaje por el río o cauce; así como la forma de propagación de la onda en el almacenamiento o embalse de la misma.

- Por embalses: métodos hidrológicos y métodos numéricos.
- Por causes: métodos hidrológicos y métodos hidráulicos.

### 2.8. Obras de drenaje en los caminos.

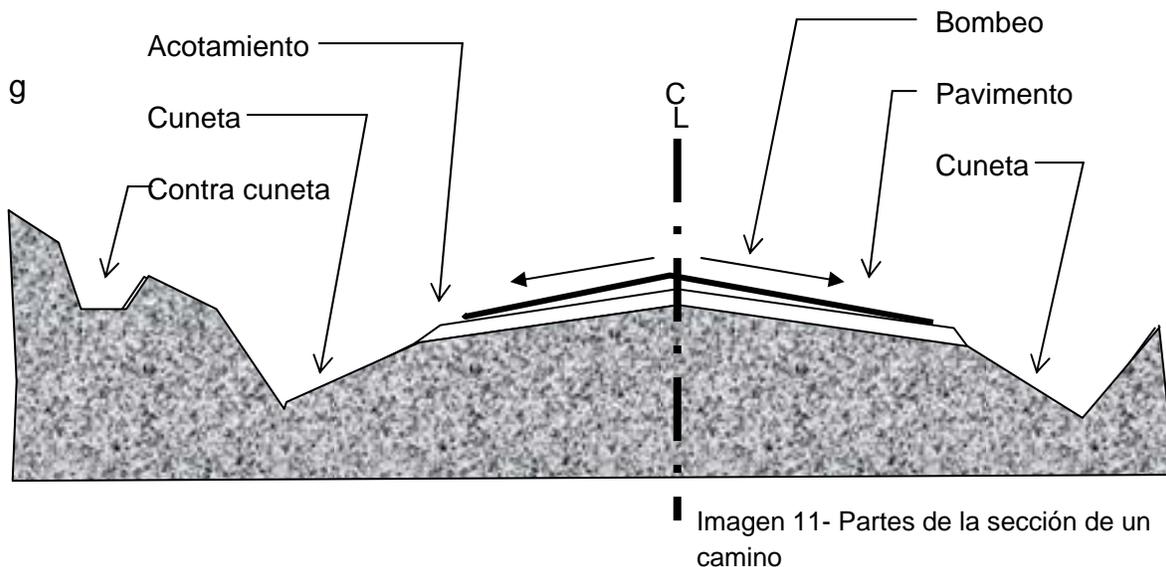
Como ya lo mencionó Crespo (2005), anteriormente las obras de drenaje en los caminos tienen el fin de que el agua este en contacto directo lo menos posible con los mismos para así evitar fallas ya sea del cuerpo del camino (inestabilidad en terraplén) y de la superficie (baches), tratando de facilitar la salida rápida y completa del agua. Además estas obras ayudarán a proteger contra las inundaciones. Todo esto hace que un camino se conserve en mejores condiciones por más tiempo, generando que el camino tenga un costo menor. En esta parte se dividirá el estudio del drenaje en dos: drenaje superficial y drenaje subterráneo.

### 2.8.1. Drenaje superficial.

El drenaje superficial tiene como primer objeto como lo dice Crespo (2005) en reducir lo más que se pueda el agua que se encuentre o que fluya al camino, usando la captación de la misma, estas obras se les llama de captación y defensa, como pueden ser las cunetas, contra cunetas, bombeo, lavaderos, etc.,

El otro objeto es el de drenar o dar salida rápidamente al agua que pueda llegar al camino en forma inevitable, estas obras son llamadas obras de cruce, como pueden ser las alcantarillas, vados, puentes-vados, puentes, etc.,

En sí la sección de un camino se muestra a continuación con algunos elementos antes mencionados:



#### 2.8.1.1. Cunetas.

Como lo menciona Crespo (2005), las cunetas son zanjas que se hacen en los extremos del camino. Estas zanjas se encargarán de recibir y de conducir el agua pluvial ya sea de la mitad del camino o de todo el camino en el caso de las curvas.

También del agua que escurra en los cortes y de pequeñas áreas adyacentes al camino, tratando de que al llegar al pie del terraplén haya una separación entre el pie y el borde de la cuneta para que el terraplén no se sature de agua y evitar problemas pudiendo ser de asentamientos.

Las cunetas tienen un área pequeña a drenar, y son proyectadas para capacidades de fuertes aguaceros de 10 a 20 minutos de duración. Siendo suficiente y seguro la captación de un 80% de la precipitación que pueda llegar a la mitad de todo el ancho total del camino. Las dimensiones de las cunetas, así como la pendiente y características de las mismas, son determinadas por medio del flujo que va a escurrir dentro de ellas. Las secciones transversales con las que se construyen las cunetas son triangulares (forma de V) o trapeciales:

La cuneta de forma de V que tiene la ventaja de tener forma de badén ( característica de formar parte misma de la calzada, siendo de poca pendiente, poca profundidad y muchas salidas de agua). La desventaja es que deben ser muy anchas en pendientes suaves y si el camino va en cortes fuertes resulta costoso para el ancho que se necesita. Una cuneta tipo tiene el talud interior 3:1 ( del lado del camino) y 1.5:1 del lado exterior, con un tirante de agua de 30 centímetros.

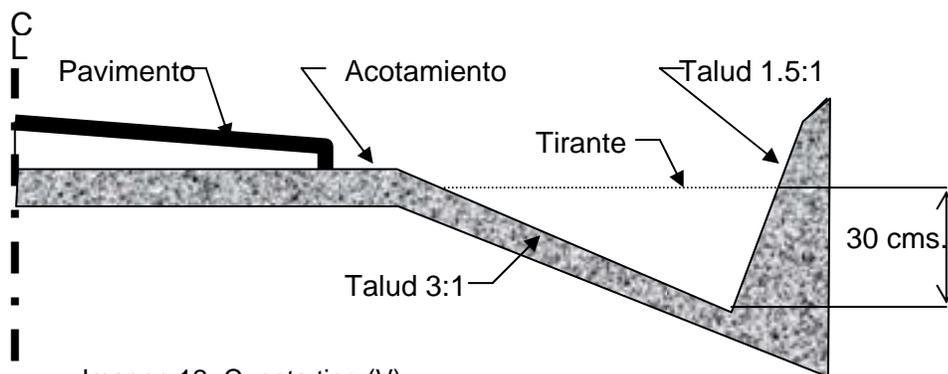


Imagen 12- Cuneta tipo (V)

La cuneta de sección trapecial tiene una mayor capacidad de transporte para una misma sección transversal, pero la desventaja es que necesitan una plantilla más ancha ya que se tienden a tener más erosión que las de forma V. El tirante suele ser de 30 a 45 centímetros, y el talud del lado del camino es de 2:1 y el lado opuesto es de 1.5:1.

En el caso de secciones transversales rectangulares se aconseja su uso ya que es difícil que conserven sus taludes verticales ya que se pueden derrumbar y asolar la cuneta.

El objeto de la construcción de estas secciones es que sean eficientes, fáciles de construir y de mantener. Además deben ser lo más pequeñas y pocas profundas como sea posible, siendo más seguras. Utilizando un mismo tipo de sección transversal tendrá también buena apariencia para el camino. Los taludes deben ser lo más inclinado que se pueda. Estas secciones pueden construirse con la hoja de motoconformadora de una manera fácil. El desnivel mínimo bajo la subrasante del camino será de 30 centímetros y el máximo de 90 centímetros para cuestiones de que no sea peligrosa.

“Su diseño se basa en principios del flujo en los canales abiertos. En un flujo uniforme, las relaciones básicas se indican mediante la conocida fórmula de Manning” (Crespo,2005;142):

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

Donde:

V = velocidad en m/s.

n = coeficiente de rugosidad.

R = medio hidráulico.

S = pendiente en metros.

Esta formula se obtiene de la de Chezy para canales en régimen uniforme:

$$V = C \sqrt{RS}$$

En la que  $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$  que fue propuesto por Manning.

Valores de coeficientes de Manning (n)

Tipo de material	valores de n
Tierra común, nivelada y alisada	0.02
Roca lisa y uniforme	0.03
Roca con salientes y sinuosos	0.04
Lechos pedregosos y bordos enyerbados	0.03
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.03

$$\text{Si: } Q = A \cdot V$$

Incluyendo el valor de V de Manning, se tiene:  $Q = A \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} S^{1/2}$

Donde:

n

Q = descarga en m<sup>3</sup>/seg.

A = área de la sección transversal.

Para que las cunetas siempre estén en buen estado se necesita que la velocidad del escurrimiento que va por ellas no pase de unos valores que según Crespo (2005) propone:

Material	Velocidad en m/seg.
Arena fina	0.45
Arena media	0.60
Arena gruesa	0.90
Grava fina	1.50
Grava media	2.00
Grava gruesa	3.50
Arcilla arenosa	0.50
Arcilla firme	1.25
Arcilla común	0.85
Tepetate	2.00
Zampeado	4.00
Concreto	7.00

Gracias a la tabla anterior se verá si la cuneta necesitará o no protección siendo por medio de un zampeado o como sea conveniente. Aunque como guía se puede utilizar lo siguiente igual como lo menciona Crespo (2005):

- Cuando el tirante del agua es de 10 a 15 cm, no es necesario zampear las cunetas con pendientes menores de 5 y 7%.
- Cuando el tirante el mayor de 15 cm es necesario zampear para pendientes mayores a 3%, si el suelo es arena o arcilla, y para pendientes mayores al 5% si es grava firme.

Una cuneta deberá protegerse cuando se presenten pendientes fuertes cuando la longitud sea mayor de 60 metros a partir de una cresta o alcantarilla de alivio ya que con más longitud llevará más agua y tenderá a erosionarse más.

### **2.8.1.2. Contracunetas.**

Lo dicho por Crespo (2005), las contracunetas son zanjas ubicadas en zonas convenientes (comúnmente a una distancia aproximada de 5 metros del talud de corte) y colocadas en forma transversal a la pendiente del terreno, las cuales impedirán que llegue más agua a las cunetas con las que fueron diseñadas, entonces estas recogen y encauzan el agua que proviene de zonas más alejadas y evitando así que el paso de agua para alejarlo del camino (terraplenes y cortes). Cuando el camino sigue la dirección de la misma pendiente del terreno, son innecesarias, porque que el agua va a correr paralelo al camino y saldrá por las alcantarillas. Son usadas comúnmente en caminos montañosos o en lomerío.

Las contracunetas se calculan igual que las cunetas, siendo de sección trapezoidal de 50 centímetros de plantilla y con taludes de 1:1 en material compacto. En casos pudiéndose tener paredes verticales. Las necesidades hidráulicas y condiciones del tamaño ajustaran los tamaños y formas de las contracunetas. Para la longitud debe ser la necesaria para que las aguas desemboquen en la hondada próxima.

### **2.8.1.3. Bombeo.**

Se le conoce bombeo de un camino a la forma de la sección transversal que tenga, teniendo el objetivo de drenar el agua que caiga sobre la superficie del camino hacia los lados del mismo. Este bombeo según Crespo (2005) depende de la clase de superficie, la facilidad de circulación de los vehículos y aspectos del camino. Se recomienda un bombeo de 2% para caminos asfaltados y de 1.5% para los caminos de concreto hidráulico.

#### **2.8.1.4. Lavadero.**

Los lavaderos o también llamados vertederos son las obras que sirven para el desfogue de una corriente de agua de acuerdo con Crespo (2005). Las cuales se componen solo de una cubierta o delantal ya sea de mampostería de concreto o piedra acomodada simplemente, por donde servirá para encausar el agua de los taludes o terraplenes (usadas también para terrenos muy erosionables) hacia lugares donde el agua no afecte el camino. En el caso de terrenos inclinados es necesario anclar con dentellones para evitar que se resbalen. Las dimensiones y formas de los vertederos o lavaderos quedan a dependerán de las necesidades hidráulicas del lugar a utilizar.

#### **2.8.1.5. Alcantarillas**

Según Crespo (2005), las alcantarillas son consideradas obras de cruce, también llamadas de drenaje transversal. El objetivo de este tipo de obras es de dar paso rápido al agua que no se pueda desviar y que tenga que cruzar el camino. Al igual que los puentes que también pueden considerarse obras de cruce tienen el mismo fin, aunque la diferencia entre estas obras, es que una alcantarilla tiene encima un colchón de tierra, y un puente no.

Una alcantarilla se compone de dos partes principales: el cañón, parte principal y el cual consiste en dar forma al canal de la alcantarilla; y los muros de cabeza, los cuales tienen la función de evitar la erosión alrededor del cañón, para servir de guía al agua y que el terraplén no vaya a invadir el canal.

Las alcantarillas generalmente se colocan en el fondo del cauce que van a desaguar. Además como lo menciona Crespo (2005), debe procurarse no forzar los cruces, sino seguir la localización en forma razonable y natural es esviajada. Cuando el esviajamiento de una corriente de agua sea igual o menor a  $5^\circ$ , preferentemente se debe hacer una estructura perpendicular al camino, rectificando levemente el cauce. Cuando el cauce este en la dirección de la alcantarilla, con poner muros de cabeza es suficiente solo para encauzar la corriente. Cuando la corriente de agua con la normal del eje del camino, forme un ángulo mayor de  $5^\circ$ , se debe alinear la alcantarilla con el fondo del arroyo, aunque se tenga que hacer una obra más larga que arrojará un costo más elevado pues ya que se tendrán que canalizar a la corriente con codos algo forzados, que serán poco resistentes a la embestida de aguaceros fuertes, produciendo deslaves en donde la velocidad es máxima y azolves donde la velocidad es mínima.

Como ya se mencionó, cuando se cuentan con cunetas a lo largo del camino, tal y como lo describe Crespo (2005), es conveniente aliviar la cuneta cada cierta distancia (que dependerá con condiciones de pendiente, tipo de suelo, protección de cunetas y el ancho de la sección transversal de la cuneta, aunque unas utilizadas son mayores a 60 metros) empleando una alcantarilla de alivio, la cual dará salida a toda el agua que pueda pasar sobre la cuneta.

#### **2.8.1.5.1. Áreas hidráulicas para alcantarillas.**

De acuerdo con Crespo (2005), para el cálculo del área hidráulica de las alcantarillas se necesita pasar el máximo caudal que pueda llegar a tener, haciendo

que no se presenten daños ni en la estructura ni en el camino. Para hacer el proyecto hidráulico hay cinco procedimientos: el de comparación, empírico, el de sección y pendiente, el de precipitación pluvial y el método racional.

#### **2.8.1.5.1.1. Procedimiento por comparación.**

El procedimiento se aplica en donde se va a construir una alcantarilla nueva, donde ya había otra. Los datos necesarios son de marcas de las aguas halladas en la alcantarilla anterior y por datos proporcionados por los vecinos sobre el nivel que más haya alcanzado el agua, para ambos tipos de datos con un lapso de al menos 10 años. Si no existiera alcantarilla se tendría que localizar alcantarillas cercanas al lugar para ver como han trabajado en el pasado durante las tormentas y tener una base para la nueva alcantarilla.

#### **2.8.1.5.1.2. Procedimiento empírico.**

Se aplicará cuando haya existido ninguna alcantarilla en el lugar, además hacen falta los datos respecto al gasto máximo del arroyo, ni de la precipitación pluvial. Entonces para este procedimiento y se emplea ciertas fórmulas en las que se necesitan los datos del área drenada y las características topográficas de la cuenca.

Se calcula el área hidráulica en función de los datos por medio de la fórmula empírica de A.N. Talbot. La fórmula es:

$$a = 0.183 C \sqrt[4]{A^3}$$

Donde:

$a$  = Área hidráulica, en metros cuadrados, que deberá tener la alcantarilla.

$A$  = Superficie a drenar.

$C$  = Coeficiente que vale:

$C = 1.00$  para terrenos montañosos y escarpados.

$C = 0.80$  para terrenos con mucho lomerío.

$C = 0.60$  para terrenos con lomerío.

$C = 0.50$  para terrenos muy ondulados.

$C = 0.40$  para terrenos poco ondulados.

$C = 0.30$  para terrenos casi planos.

$C = 0.20$  para terrenos planos.

Por ejemplo: para drenar un área de 50 hectáreas para terreno montañoso es de 3.44 m<sup>2</sup>, y para el terreno casi plano 1.03 m<sup>2</sup>.

#### **2.8.1.5.1.3. Procedimiento de sección y pendiente.**

Para este procedimiento se necesitará conocer las huellas de aguas máximas que hay en el sitio donde irá la alcantarilla que ayudará a obtener la sección y “la pendiente del cauce en el cruce y en dos secciones definidas, en las cuales los márgenes sean altos y sobrepasen el nivel de las aguas máximas. El gasto máximo

se calculará en función del área hidráulica, el perímetro mojado, la pendiente y un coeficiente de rugosidad de acuerdo con las paredes del cauce. Con estos elementos, y mediante la fórmula de Manning se obtiene la velocidad que multiplicada por el área hidráulica correspondiente nos proporciona el gasto máximo para el que debe proporcionarse la alcantarilla" (Crespo,2005;153).

Fórmula de Manning:

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

Donde:

V = velocidad en m/s.

n = coeficiente de rugosidad.

R = medio hidráulico.

S = pendiente en metros.

#### **2.8.1.5.1.4. Procedimiento de la precipitación pluvial.**

En este procedimiento se necesita dar el paso a la cantidad de agua que puede escurrir (probable) de la precipitación. Se utilizan fórmulas que ocuparán conocer la precipitación pluvial (valor máximo en muchos años), la topografía, la clase de suelo del área. Para el calculo de una alcantarilla debido a un aguacero intenso en un área tributaria determinada con la formula de Burkli-Ziegler:

$$Q = 0.022 C I A \sqrt[4]{S/A}$$

Donde:

Q = gasto de la alcantarilla en  $m^3/\text{seg}$ .

A = número de hectáreas tributarias.

J = precipitación pluvial, en centímetros por hora, correspondientes al aguacero más intenso (de 10 minutos de duración total).

S = pendiente del terreno, en metros por kilómetro.

El coeficiente C se determinará dependiendo de la clase de terreno de la cuenca o área tributaria de la alcantarilla y puede tener los siguientes valores:

C = 0.75 para calles pavimentadas y distritos comerciales.

C = 0.30 para poblaciones con parques y calles con pavimentos asfálticos.

C = 0.25 para terrenos de cultivo.

#### **2.8.1.5.1.5. Método racional.**

Con este método se supondrá que la descarga va a ser igual que la precipitación pluvial menos la retención de la cuenca. Siempre sobreestimaré es escurrimiento teniendo errores al momento de crecer el área que va a drenar, por lo mismo, este método solo es confiable en cuencas pequeñas o de menos de 400 hectáreas. Se emplea la fórmula, la cual dice que “el gasto es igual a un porcentaje de precipitación pluvial multiplicada por el área tributaria”. (Crespo, 2005;154).

La formula del método racional esta dada por:

$$Q = 27.52 C I A$$

Donde:

Q = Gasto en litros por segundo.

C = Coeficiente de esorrentía.

I = Intensidad de la precipitación, correspondiente al tiempo de concentración, en centímetros por hora.

A = Área a drenar en hectáreas.

Valores de C

Pavimentos asfálticos.....	0.75 a 0.95
Pavimentos de concreto hidráulico.....	0.70 a 0.90
Suelos impermeables.....	0.40 a 0.65
Suelos ligeramente permeables.....	0.15 a 0.40
Suelos moderadamente permeables.....	0.05 a 0.20

La fórmula se basa en hipótesis como:

- Cuando la intensidad de lluvia dura igual al tiempo de concentración es cuando el escurrimiento de cualquier intensidad de lluvia es un máximo.

- El máximo escurrimiento resultante de una intensidad que dure más que el tiempo de concentración es una fracción de esa precipitación.
- Coeficiente de esorrentía es similar en todas las lluvias de una cuenca y para diferentes frecuencias.
- La relación entre la máxima descarga y tamaño de área de drenaje es como la relación entre duración e intensidad de precipitación.

#### **2.8.1.5.2. Pendiente de una alcantarilla.**

Con la misma idea de Crespo (2005), se recomienda que la pendiente de las alcantarillas sea igual al de la corriente, ya que si la pendiente es mayor se azolvará el extremo de la alcantarilla. Y al contrario si la pendiente es menor que la del cauce el extremo superior sería el que tendría obstrucción. En algunas ocasiones y por causas del terreno (por ejemplo en tipo montañoso con fuertes pendientes) la cual generaría alcantarillas muy largas y costosas, en donde se podría disminuir la pendiente y en su salida sobre el terraplén se construiría un lavadero por donde escurriría el agua al terreno natural.

#### **2.8.1.5.3. Tipos de alcantarillas.**

Para elegir el tipo de alcantarilla según Crespo (2005) depende del suelo de cimentación, de dimensiones de la alcantarilla, así como de requisitos de topografía. Además otro punto importante es el de la economía.

De acuerdo con su forma y material, las alcantarillas se pueden clasificar en:

Alcantarillas de tubo (son de lámina corrugada, de concreto reforzado, de barro vitrificado y de fierro fundido), alcantarillas de cajón (son de concreto reforzado, sencillas o múltiples), alcantarillas de bóveda (son de mampostería o de concreto simple, sencillas o múltiples) y alcantarillas de losa (son de concreto reforzado).

Algunos ejemplos para elegir el tipo de alcantarilla según Crespo(2005) son: para el tipo de cimentación depende del suelo, ya que para suelos firmes y secos cualquiera de los anteriores es recomendable. Para el caso de suelos húmedos con los de tipo cajón ya que las cargas verticales en ellos están bien definidas, si se ponen tubos de barro o concreto se tendría que poner una cama de material más resistente que el terreno. Para lodazales el más adecuado es el de la lámina acanalada o el tipo de cajón. Para claros de 0.60 a 1.50 metros el de tipo cajón. Para claros de 1.5 a 6 metros con losas de concreto reforzado sobre estribos de concreto simple o mampostería. Con un terraplén alto, con la bóveda de mampostería o concreto. En pequeñas áreas de drenaje con un tubo sería suficiente.

Lo importante en el caso de la economía para escoger el tipo de alcantarilla es en comparar los tipos que se pueden utilizar y no solo viendo su costo inicial, si no de ver su duración y conservación.

#### **2.8.1.5.4. Longitud de las alcantarillas.**

Está dependerá del ancho de la corona del camino, de la altura del terraplén, del talud y del ángulo de esviajamiento. El cañón deberá ser lo suficientemente largo

para que no se obstruyan sus extremos con material del terraplén que se pueda deslavar.

#### **2.8.1.5.5. Muros de cabeza.**

Como ya se mencionó anteriormente y de acuerdo con Crespo (2005) los muros de cabeza se utilizan para evitar la erosión alrededor del cañón, para guiar la corriente y evitar que el terraplén pueda invadir el canal. Los muros de cabeza se construyen preferentemente de mampostería de concreto pudiendo ser también de piedra suelta. Los muros de cabeza deben ser mas arriba que la intersección con los taludes el camino. Además se debe de prolongar por lo menos 60 centímetros abajo de la plantilla para formar un dentellón que servirá de amarre y de protección contra la erosión la plantilla (el dentellón de aguas arriba debe ser más profundo que el de aguas abajo). Otra forma de evitar la erosión es la de extender la plantilla de la alcantarilla en forma de delantal. Para la longitud de los muros de cabeza dependerá de la longitud y altura de la alcantarilla y del talud del terraplén con el caso de que el pie del terraplén que se pueda llegar a derramar no invada el canal

#### **2.8.1.5.6. Muros transversales, cajones de entrada, desarenadores y pozos de visita.**

De acuerdo con Crespo (2005), cuando se tengan cunetas muy largas será necesario colocar alcantarillas de alivio, las cuales darán salida al agua a través de ellas, pudiendo ser el muro transversal (que es un simple muro de mampostería o concreto que atraviesa en las cunetas aguas debajo de la entrada de la alcantarilla y que tienen el fin de contener y guiar el agua a ella), el cajón de entrada (que es un

cajón de mampostería o de concreto el cual el agua que va por la cuneta y que luego que cae entra a la alcantarilla), el desarenador (que es un cajón de entrada que cuenta con un depósito que retiene arrastres que pueda llevar la cuneta), y el pozo de visita (que en sí es un desarenador muy grande y profundo, tapado generalmente con una reja, pudiendo servir para inspección y limpia del pozo y la misma alcantarilla).

#### **2.8.1.6. Vados.**

En algunos lugares poco lluviosos y cuando los arroyos no llevan mucha agua se construyen vados. Los cuales consisten en pavimentar el camino de concreto por donde pasará alguna corriente que no podrá perjudicar el camino. En estos vados se puede señalar el tamaño del tirante de agua para saber y decidir si se puede pasar o no. También hay que checar que la superficie de rodamiento no se erosione cuando pase el agua, también de evitar la erosión y socavación aguas arriba y aguas abajo, de facilitar el escurrimiento para que no caiga en regímenes turbulentos.

#### **2.8.1.7. Puentes vados.**

“Se le denomina puente vado o puente bajo a una estructura en forma de puente el cual dará paso al gasto de las aguas máximas ordinarias y que durante el período de aguas máximas extraordinarias permite que el agua sobrepase por encima de ella”. (Crespo,2005;185). El puente vado debe cumplir que la altura y la longitud permitan el paso del gasto en avenidas ordinarias; que la superestructura tenga dimensiones mínimas para que evite la obstrucción del paso del agua; y que la superestructura sea construida abajo del nivel de aguas máximas extraordinarias

tanto como se pueda, ya que al momento de pasar arrastres como puede ser el caso de algún tronco este pase por la estructura sin hacerle ningún daño.

### 2.8.1.8. Puentes.

El puente es una estructura que tiene la finalidad de que un camino o cualquier vía de comunicación salve un río, alguna depresión del terreno u otra vía de comunicación según sea el caso y puede ser de diferentes materiales (madera, ladrillo, concreto simple, concreto armado, fierro estructural). Estos puentes pueden ser de más de 6 metros de largo y a diferencia con las alcantarillas y como lo dice Crespo (2005) los puentes no llevan colchón de tierra sobre ellos. Las partes en la que se compone un puente son las que indica la siguiente figura:

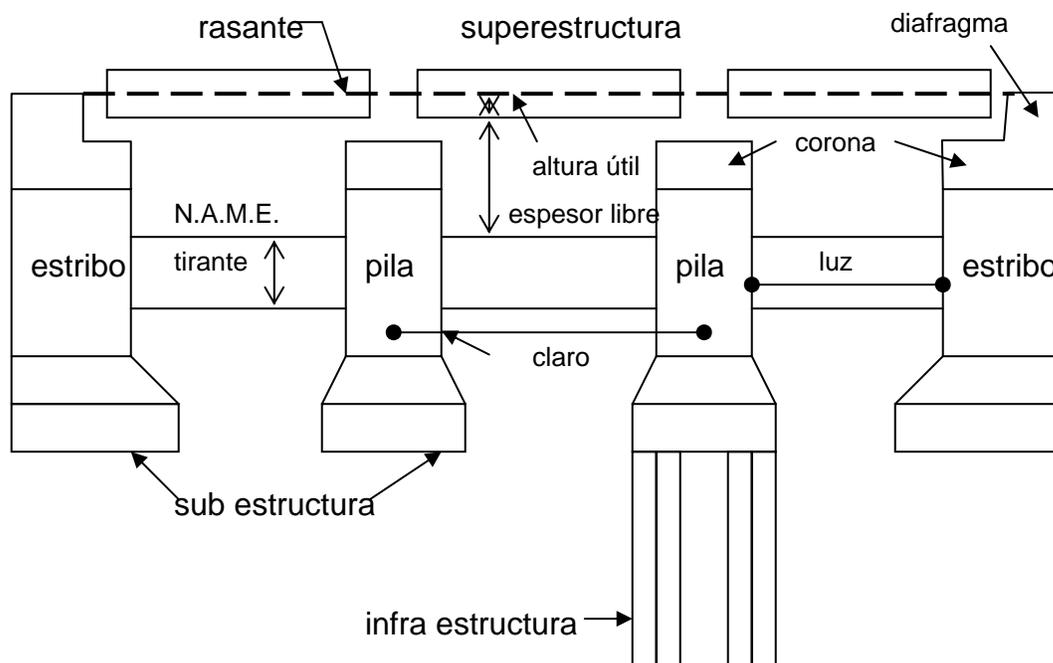


Imagen 13- Partes de un puente

De acuerdo con la figura anterior la estructura de un puente está formada por la superestructura (parte destinada a transmitir las cargas, ya sean muertas y vivas a

los apoyos. Esta puede estar formada de muchas maneras: piso de madera sobre largueros de madera, con losa de concreto armado y sobre trabes de fierro estructural, arcos de mampostería, arcos metálicos, arcos de concreto, colgantes, levadizos, etc.), la subestructura (transmite las cargas de los apoyos hacia la infraestructura. Esta puede ser de caballetes de concreto armado, pilas y estribos de mampostería, torres metálicas sobre pedestales de concreto) y la infraestructura ( que es la que lleva todas las cargas al terreno donde esta cimentación. Esta puede estar constituida de pedestales de concreto o mampostería, pilotes, cilindros de fricción, etc.) Los puentes pueden ser provisionales y definitivos, esto es por la duración que vayan a tener. También por la forma del cruce los puentes pueden ser de forma normal o diagonal. Además en caso de cruzar otra vía de comunicación los puentes pueden ser de paso superior o de paso inferior.

Los estudios de campo son importantes para la realización de un proyecto de un puente. Estos estudios van desde los topográficos (que en sí es la localización donde se necesite dicho puente: nombre del río o barranca que se vaya a salvar, camino y tramo del mismo, curvas de nivel del terreno, elevaciones y demás datos que puedan resolver el problema del paso), estudios hidráulicos ( secciones de cruce de las aguas, niveles de aguas mínimas, de las máximas ordinarias y extraordinarias, pendientes, coeficientes de rugosidad, velocidades, frecuencia y duraciones de las máximas extraordinarias, si la corriente deposita o socava, ver los problemas que se tienen que resolver), los estudios geológicos (características de los materiales del fondo y los márgenes, materiales del subsuelo, nivel de aguas freáticas, carga admisible que soporta el subsuelo) y los estudios comerciales (incluye desde los

jornales de la región, los precios unitarios de los materiales en el lugar, la cubicación de bancos de materiales, vías de comunicación cercanas, el clima y enfermedades de la región).

De acuerdo con Crespo (2005) los puentes deben ser diseñados para soportar las cargas muertas (peso propio de la estructura), las cargas vivas (que pueden ser ocasionadas por los vehículos), efectos dinámicos o de impacto sobre la carga viva (las cargas vivas se incrementarán por efectos de vibración y de impacto), las fuerzas laterales (fuerza del viento y cargas vivas móviles), fuerzas longitudinales (parte de la carga viva), banquetas para peatones, además se deben considerar otros factores adicionales (centrífugas, térmicas).

#### 2.8.1.8.1. Pilas de puentes.

Las pilas de los puentes son parte de la subestructura la cual recibirá dos tramos de superestructura, transmitiendo sus cargas al terreno y repartiéndolas sobre él, con la finalidad de que no excedan el esfuerzo admisible que tiene el suelo. Las pilas no tienen que perturbarse al momento del paso del agua, y por lo mismo, tendrán una forma rectangular con triángulos o segmentos semicirculares en los extremos aguas abajo y aguas arriba (extremos llamados tajamares) con función de hacer la pila menos fluido-dinámica. Haciendo los extremos iguales hacen que las cargas verticales de la pila se haga simétrica. Algo que se debe cuidar en las cimentaciones de las pilas es la socavación por la erosión del agua.

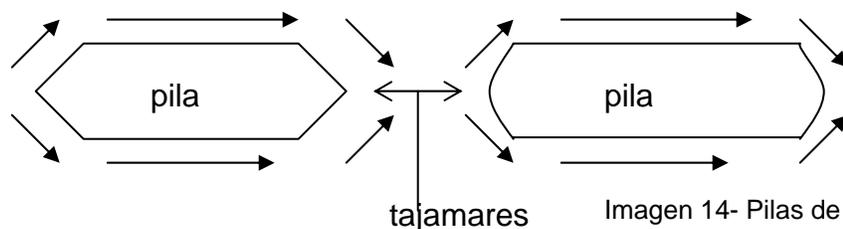


Imagen 14- Pilas de un puente

Las partes de una pila son la corona (parte que recibe la carga de la superestructura para transmitir al cuerpo), el cuerpo (que su finalidad es ligar y de transmitir la carga de la corona a la zapata) y la zapata (que después de recibir a la corona y al cuerpo transmite las cargas al terreno).

Las fuerzas que actúan sobre la pila son las fuerzas verticales (carga muerta de la superestructura, la carga móvil, el peso propio de la pila, la carga de impacto), las fuerzas laterales (fuerza del viento sobre la superestructura, la presión del viento sobre la pila, en caso la presión del hielo sí existe), las fuerzas longitudinales (frenaje, presión del viento). Además se debe considerar y proyectar contra volcamiento, deslizamiento, aplastamiento, libre de tensiones ya sea en plano horizontal y en la base, todo para que la pila se mantenga estable.

#### **2.8.1.8.2. Estribos de puentes.**

Los estribos son las estructuras que van en los extremos de un puente (consisten en una pared frontal y dos paredes en forma de ala), y los cuales transmitirán cargas de la superestructura a la cimentación y que darán soporte lateral al terraplén. El estribo sirve como pila y como muro de contención.

Las formas en que se construyen los estribos son con aleros, en los cuales las paredes están en cualquier ángulo (  $30^\circ$  y a  $45^\circ$ ); los estribos en forma de "U", y los estribos en forma de "T" (utilizados para puentes de un solo carril).

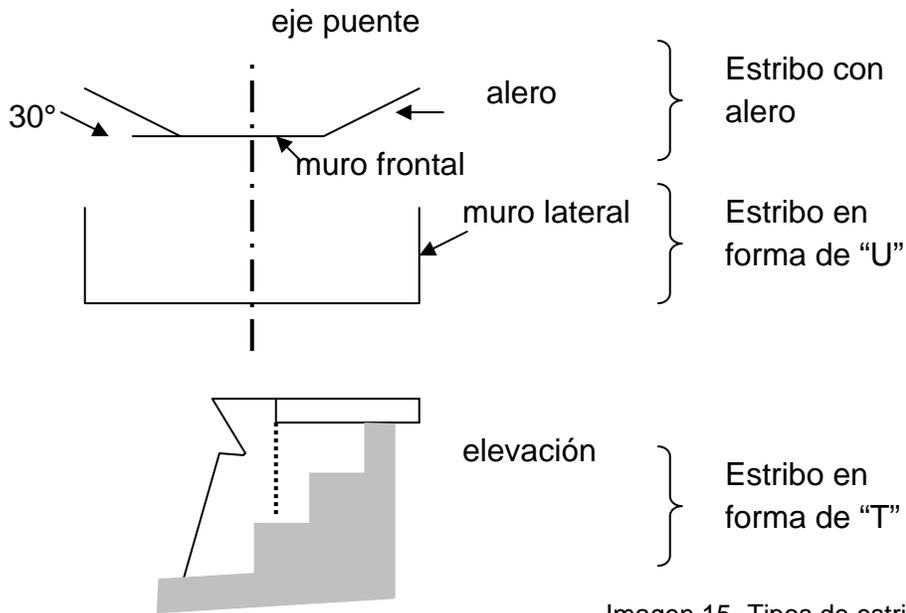


Imagen 15- Tipos de estribos

Las fuerzas que pueden actuar en el estribo son: la carga viva de la superestructura, la carga muerta de la misma, el peso de la corona, el peso del cuerpo, el peso del pedestal, fuerzas de frenado, por temperatura en el caso de tener placas, mecedoras o rodillos.

### 2.8.2. Drenajes subterráneos.

El drenaje subterráneo tiene como objetivo en proporcionar las salidas o el drenado suficiente para tener controlado el escurrimiento del agua subterránea, dando así al camino seguridad y estabilidad. Según Crespo (2005) es muy similar al drenaje superficial, ya que los estratos impermeables han de formar canales de agua subterránea. En algunos lugares no se puede pasar por alto el drenaje subterráneo por lo que se deben drenar durante la construcción, ya que un suelo seco dará mayor soporte a las cargas que se requiera para el camino (sobre todo de tránsito), quedando libre de daño. Por eso es necesario hacer todas las obras que se

requieran para mantenerlo seco o con una humedad que no pueda dañar al camino o para remover la que haya llegado al mismo. Para estos datos es necesario hacer un muestreo del lugar localizando el agua subterránea, donde es su origen y hacia donde inclina la capa freática (indicando clasificación de suelos, humedad, sacando secciones con todos los datos que se requieran como nivel de aguas, curvas de nivel, ancho del estrato, etc. ,).

Las obras más comunes para este tipo de drenaje son: las zanjas, los drenes ciegos y los drenes de tubo.

#### **2.8.2.1. Zanjas.**

Comúnmente para caminos construidos en zonas bajas según Crespo (2005) se utilizan zanjas que se encuentran a unos metros fuera del camino y paralelas a él. Pueden ser de 60 centímetros de base y de 90 a 120 centímetros de profundidad (sí fueran más profundas se podría mantener el nivel freático bajo el nivel deseado). El inconveniente de estas que tienen son peligrosas para los vehículos cuando están demasiado cerca del camino; si por el contrario se alejaran más pierden eficiencia o tienden a ser mucho más profundas.

#### **2.8.2.2. Drenes ciegos.**

Los drenes ciegos solo son zanjas rellenas de piedra quebrada o grava. Comúnmente se colocan paralelos al camino en ambos lados y bajo las cunetas. Los drenes ciegos son de 45 centímetros de ancho y de 60 a 90 centímetros de profundidad, deben tener una pendiente uniforme y tener un desfogue con una salida

adecuada. Para desfogar a una salida adecuada. Se debe cuidar también los materiales graduados para evitar así el azolve de lodo traído por el agua.

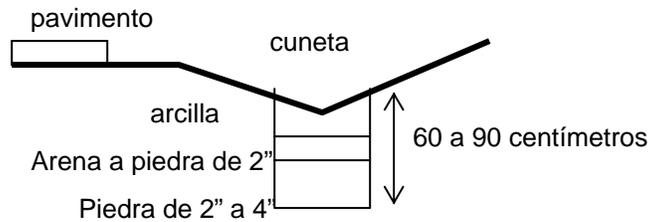


Imagen 16- Drenes ciegos

### 2.8.2.3. Drenes de tubo.

Como lo menciona Crespo (2005) los drenes con tubo de concreto o de barro son mejores a las zanjas abiertas y a los drenes ciegos. Para su buen funcionamiento deben de soportar requisitos de aplastamiento (usar tubos que no se rompan), flexión (tratando de que tengan algo de flexión para amoldarse un poco a la plantilla que será algo irregular), presión hidráulica (pueden llegar a trabajar a presión por lo que puede haber fuerzas destructivas que harán que se pueda socavar el tubo y así salga el agua), capacidad de infiltración (dependerá si el tubo es perforado o si no lo es, ya que si es perforado se verá su máxima filtración que pueda llegar a tener evitando así que la entrada de estos huecos este libre de lodo y demás material) y por durabilidad (resistentes a la desintegración, erosión y corrosión).

Para el tamaño de los tubos dependerá al tipo de terreno que se va a drenar, clase de tubo, altura de precipitación y de la pendiente de la tubería. Para conocer la cantidad de agua que llega se calcularía con la diferencia entre precipitación y el escurrimiento.

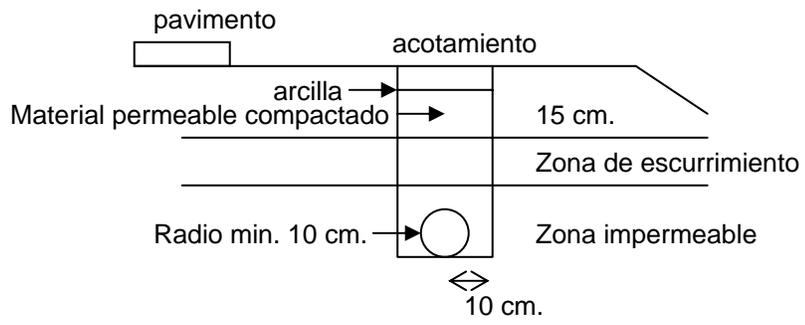


Imagen 17- Drenes de tubo

## **CAPÍTULO 3**

### **MARCO DE REFERENCIA**

Este capítulo se tratará sobre aspectos generales (localización y características principales como son la topografía y la precipitación) de la zona donde se hará la revisión del sistema de drenaje.

#### **3.1. Generalidades.**

El estudio del tramo carretero denominado “Curva del diablo”, se encuentra sobre la carretera federal de Carapan - Playa azul, de la carretera Federal Mex 037, del kilómetro 65+000 al 66+000. La ciudad de Uruapan, Michoacán se encuentra a aproximadamente a 6 kilómetros de dicho lugar. Por lo que datos de la región se consideran de esta población por su cercanía.

##### **3.1.1. Objetivo y alcance del proyecto.**

En esta investigación se realizará la revisión del sistema de drenaje, que servirá para que este punto de conflicto tenga el menor deterioro por causa del agua (problema principal de los caminos) y se mantenga en perfectas condiciones; así como también la importancia que tiene esta para la ciudad de Uruapan, Michoacán y demás usuarios que la transitan.

#### **3.2. Entorno geográfico.**

La ciudad de Uruapan, Michoacán, se localiza a 120 kilómetros al suroeste de la capital del estado (Morelia, Michoacán), con coordenadas geográficas de 102° 04'

de longitud oeste y  $191^{\circ} 25'$  de latitud norte. Con una altura media sobre el nivel del mar de 1611 metros. Limitando al norte con Charapan, Paracho y Nahuátzen; al este limita con Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan; al sur con Gabriel Zamora; y al oeste con Nuevo Parangaricutiro, Peribán y Los reyes. Su superficie es de 954.17 km<sup>2</sup>.



Imagen 18- localización de Michoacán en la República Mexicana. [www.\\_Uruapan\\_gob\\_mx-Localización.mht](http://www._Uruapan_gob_mx-Localización.mht)

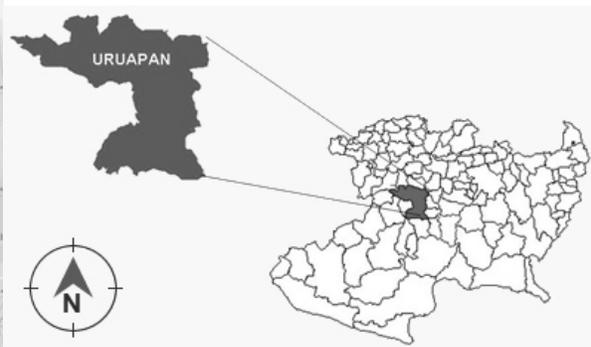


Imagen 19- localización de Uruapan en el estado de Michoacán [www.\\_Uruapan\\_gob\\_mx-Localización.mht](http://www._Uruapan_gob_mx-Localización.mht)



Imagen 20- Mapa de Uruapan, Michoacán  
Fuente: Inegi

Uruapan cuenta con un clima templado tropical (temperatura anual de 20 grados centígrados), con lluvias en verano. Un dato importante es la precipitación anual media de 1652 milímetros.

Uruapan se encuentra dentro del campo monogénico de Michoacán-Guanajuato, en la zona conocida como Meseta Volcánica Purhépecha ó Meseta Tarasca, y con los cerros llamados de la Charanda, la Cruz, Jicalán y Magdalena; teniendo una configuración de cuenca cerrada (zona de recarga de los mantos acuíferos de dicha meseta). Los suelos datan de los períodos cenozoico, terciario, cuaternario y eoceno, siendo de uso principal forestal (pino, encino y oyamel), su uso agrícola (sus principales cultivos: maíz, aguacate con calidad de exportación, durazno, café, guayaba y hortalizas como jitomate, chile, calabacita) y ganadero (importancia regular, además se cría ganado bovino, porcino, caprino, equino, avícola, abejas, acuacultura).

Su hidrografía está dada principalmente por el río Cupatitzio, Salto Escondido y la cascada la Tzaráracua, además la presa de Caltzontzin. Esta agua es de gran importancia, ya que además aprovechar para abastecimiento de agua potable para la ciudad, sirve para riego de cultivos en la población de Gabriel Zamora y parte de Parácuaro; además de generación de energía eléctrica en las plantas hidroeléctricas de Zumpimito, Cupatitzio y El Cóbano.

En cuanto al comercio, Uruapan es un importante centro comercial regional y punto estratégico, ya que es la entrada para abastecer a 13 municipios del estado (insumos, servicios y maquinaria sobre todo en las cuestiones agrícolas); y además

punto por donde llegan productos por diferentes modos de comunicación (carretera, ferrocarril y aeropuerto) de ciudades importantes como pueden ser Guadalajara, Zamora, La Piedad, Lázaro Cárdenas, Morelia, entre otras.

El turismo también tiene gran influencia principalmente por su clima, sus recursos naturales (Parque Nacional Eduardo Ruiz, La Tzaráracua) y arquitectónicos (Museo de la Casa de la Cultura). Además de gran capacidad de servicios para atender la demanda como de la población y de los turistas.

En cuanto a la topografía del lugar se considera un lomerío suave, solo con una pequeña barranca la cual solo trae corriente de agua en tiempo de lluvias sobre el km. 65+750.31.

### **3.3. Resumen ejecutivo.**

Como ya se mencionó anteriormente, esta vía de comunicación es muy importante para los usuarios, ya que es puerta de entrada de varios municipios, además de todo lo mencionado anteriormente (comercio, turismo). Por esa razón se debe mantener en perfectas condiciones, para brindarles la mayor seguridad a los usuarios y asegurar una vida útil sobre todo a los estragos que le pueda ocasionar el agua, ya que de lo contrario el impacto en caso de tener problemas de tipo social y comercial será considerable. Por lo mismo con un buen sistema de drenaje podrá evitar todo eso con un costo menor que si se volviera a construir la carretera.

Este tramo no presenta muchos problemas, ya que la topografía no es muy accidentada (se mencionó anteriormente lomerío suave), con una pendiente longitudinal que varía de 5% hasta 1.85% a lo largo del tramo 65+000 y 66+000.

Teniendo solo un arroyo sobre el kilómetro 65+750.31, que en tiempo de lluvia trae corriente de toda la cuenca de aportación (área de 363 hectáreas y pendiente 0.16% (ver anexo A)), datos que hay que considerar (niveles máximos que en este caso es de 1.70 metros en donde será necesario diseñar una alcantarilla lo suficientemente grande para que el agua pase libremente (nivel más 50 centímetros de bordo libre (ver anexo C)), además de cuidar el diseño de esta y de sus muros de cabeza que harán que las orillas encaucen el agua y que estas no se erosionen.

Para poder resolver el drenaje en el tramo de estudio se procederá a utilizar en primer lugar para el desagüe del camino, en el que hay que brindar bombeo o pendiente del eje del camino hacia los lados para desalojar el agua. Para la curva no habría ningún problema, ya que la misma sobre-elevación de la misma (10 %) permite que escurra bien el agua. Esta agua llegará a las cunetas que irán bordeando el camino para alojar las aguas del camino y escurrimientos propios del terreno que quieran llegar a la carretera. Se buscará la forma de que las cunetas descarguen sobre el arroyo o lo más alejado del camino. Para eso se debe ver que las cunetas cumplan con la altura suficiente para no desbordarse en caso de presentarse el tirante máximo aunque también tienen que quedar tan profundas para que no ocasionen accidentes.

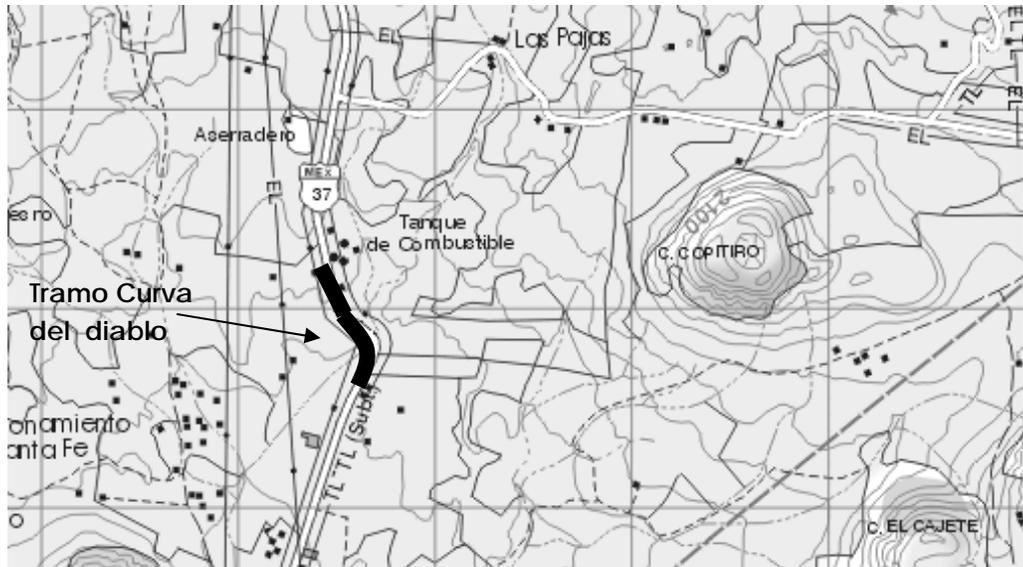


Imagen 21- Mapa topográfico de la curva del diablo.  
Fuente: Inegi

### 3.4. Estudio de tránsito.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el tránsito juega un papel fundamental para el proyecto de una carretera mientras más demanda más importancia presenta, ya que si se tiene un error en la determinación de este podría ocasionar problemas futuros por ejemplo de congestionamientos. Además sabiendo el número de vehículos que pasan, se puede prever que tanto desgaste vaya a tener el camino. Y así determinar las condiciones de operación con las que trabaja.

En este caso, esta vía como se explico en el entorno geográfico, se comunica con muchas poblaciones las cuales tienen que pasar por este punto ya sea para fines comerciales o de turismo. Por lo mismo, se ve gran variedad de vehículos según su uso. Que según SCT (1974) van desde automóviles (Ap), camionetas (Ac), Autobuses (B), camiones de carga (C2,C3, T2-S1, T2-S2, T3-S2, T3-S3) los cuales pueden llevar gran cantidad de mercancía como abarrotes, materiales de

construcción, productos de exportación, y otros. Además los considerados vehículos especiales como pueden ser remolques, maquinaria agrícola ya que se encuentran diferentes huertas a los alrededores; bicicletas y motocicletas, maquinaria de construcción, ya que las transportan para el caso de mantenimiento del camino.

El volumen diario promedio anual del tránsito es de 6683 vehículos (año 1995), los cuales del tipo A es de 72.9 %, tipo B 7.3%, tipo C2 4.8% , tipo C3 3.0 %, tipo T3-S2 1.3%, T3-S3 0.7 % , otros 0.0%.

### **3.5. Informe fotográfico.**

Se muestran las imágenes sobre el aspecto de este tramo carretero:



Imagen 22- Km. 65+000, terreno firme, lomerío suave, poca capa vegetal.  
Fuente: Propia.



Imagen 23- Km. 66+000, terreno firme, lomerío suave, poca capa vegetal.  
Fuente: Propia.



Imagen 24- Km. 65+500, entrada a curva y cunetas  
Fuente: Propia.



Imagen 25- Km. 65+800, entrada a curva, cunetas y sobre elevación en curva  
Fuente: Propia.



Imagen 26- cuneta  
Fuente: Propia.



Imagen 27- Cuneta  
Fuente: Propia.



Imagen 28- km. 65+750.31, alcantarilla, muros de contención tipo A y muro tipo B  
Fuente: Propia.



Imagen 29- km. 65.750+31, alcantarilla, muros de contención tipo A y muro tipo B  
Fuente: Propia.



Imagen 30- km. 65+750.31, sobre elevación en curva  
Fuente: Propia.



Imagen 31- km. 65+750.31, alcantarilla  
Fuente: Propia.



Imagen 32- Demasiada vegetación en alcantarilla  
Fuente: Propia.



Imagen 33- Demasiada vegetación en cunetas  
Fuente: Propia.

### **3.6. Alternativas de solución.**

Las alternativas que se usarán para la revisión del proyecto se mencionarán a continuación.

En primer lugar para las cunetas se harán con la cuneta tipo de la SCT, que serán de tipo V con los taludes 3:1 y 1.5:1 (Anexo B y plano 3,4,5) para evitar erosión (se tiene que ver también si necesitan revestimiento comúnmente de concreto), sus pendientes de salida y hacer el uso de los lavaderos para mandar el agua lejos sin dañar el camino (Anexo B) que podrán ser de 1.10 metros de ancho.

Sobre las cunetas desbordará el agua del terreno, así como del camino. Por lo mismo se considera un 2 % para caminos de asfalto (anexo B). En el tramo de la curva, la sobre-elevación de la misma (10%), hará función de bombeo.

En el caso de la alcantarilla, hay varias alternativas. La primera es en utilizar tubos, aunque tiene el inconveniente que al momento de obtener la sección, el muro cabeza daría muy largo (largo =  $4d$ ;  $4 * 1.70$  (anexo C) = 6.80 metros), y por cuestiones del proyecto no pasa.

Otra alternativa sería la de bóveda, aunque el colchón de tierra es poco (aproximadamente 2 metros) y resultaría más costoso.

La alternativa que se aprobaría sería una alcantarilla rectangular con una losa de concreto reforzado sobre muros de mampostería (muro tipo A, anexo E). Ya que son recomendables para claros de 1.5 metros a 6.0 metros. En este caso se cuenta con el claro de 4.50 metros y altura de 2.20 metros altura (anexo C) Aunque también

a este tipo se le podría llamar puente, aunque la diferencia es que la alcantarilla rectangular es que esta última tiene un colchón de tierra sobre ella, y por cuestiones de proyecto y nivel de rasante es necesario colocar el colchón de tierra, ya que con las dimensiones que se mencionaron anteriormente cumple la sección satisfactoriamente.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA**

La metodología, al igual como lo dice Jurado (2005), expone el método utilizado, formas de investigar, cómo se recolectaron los datos, cómo se ordenaron y cómo se clasificaron. Así en este capítulo se describirá la metodología con la que se llevó a cabo la presente investigación.

#### **4.1. Método empleado.**

El método empleado en la investigación fue el método científico, es de carácter deductivo, ya que se van a tener que ver los rasgos y problemas más importantes, así como se ocasionan y formas para poderlos resolver. Entonces en este caso se usó el método matemático-analítico, que en sí lo analítico trata de separar él todo en partes que se estudiarán cada una por su lado donde se podrían establecer leyes; y lo matemático que ya que posee las nociones de cantidad, valor económico y capacidad.

#### **4.2. Enfoque de la investigación.**

El enfoque que se le dio a esta investigación es de los más utilizados por las ciencias exactas relacionadas con la ingeniería, el cual es el cuantitativo. Ya que como lo dice Mendieta (2005), para la investigación que asiente números, con diversidad de hipótesis y de comprobaciones las cuales se vayan a tomar en cuenta para comprobar o negar algo. Además como lo dice Hernández (2004), es probable obtener resultados más amplios que ayudarán a tener control sobre todos los

fenómenos y los puntos de vista (conteo y magnitudes) que hará más fácil las comparaciones con investigaciones similares.

#### **4.2.1. Alcance de la investigación.**

Para el desarrollo de la investigación se utilizó un estudio tipo descriptivo, ya que tiene el objetivo de la descripción de eventos, de situaciones y de hechos, los cuales determinarán a cualquier fenómeno que se vaya a estudiar (buscando también detalladamente propiedades, rasgos y las características más importantes), todo tal como lo menciona Hernández (2004). La ciencia lo percibe en forma de recolección de información. Pudiendo ser de una manera absoluta o conjunta (tratando sobre las variables referidas).

#### **4.3. Diseño de la investigación.**

El diseño de esta investigación es no experimental, y a su vez en una forma transversal. Como lo menciona Hernández (2004) es en donde se recopilan los datos que se requieran en el tiempo preciso y único, con los cuales se analizarán y se describirán todas las variables como también su ocurrencia y relación entre ellas en un momento dado.

#### **4.4. Instrumentos de recopilación de datos.**

Según Hernández (2004), la recopilación de datos es la relación que indicará la clasificación o cuantificación, cumpliendo confiabilidad (que es repetir a un instrumento de medición que proporciona resultados iguales) y validez (grado en que

el instrumento de medición medirá en la realidad las variables pretendidas) de la misma.

Para la recopilación de datos se utilizan varios métodos mencionados por Hernández (2004), (en donde con estudios cuantitativos se pueden incluir también cuestionarios para también darle un análisis de tipo estadístico):

- Selección de los métodos o los instrumentos que haya disponibles los cuales se tienen que desarrollar según el punto de vista de la investigación, como se haya planteado el problema y que alcance vaya a tener.
- La aplicación de instrumentos.
- Preparación de los datos que se hayan obtenido para la realización de un análisis correcto de los mismos.

#### **4.5. Descripción del proceso de investigación.**

Para poder realizar la investigación se tuvo primero que tener la localización y ubicación donde se presente el problema, en este caso el del tramo carretero, el cual es necesario saber para así ver las condiciones en la que se encuentra y ver que tipo de modificación necesita, en este caso partiendo sobre el sistema de drenaje del mismo.

Después de ver las condiciones actuales se requiere tener la investigación documental (recopilación de la información teórica) que ayudará a tener bases para el diseño del proyecto en cuestión. Además dentro de este se tiene que establecer

los procesos metodológicos que los cuales definirán el alcance de la investigación así como los instrumentos que se necesiten para la recopilación de datos.

Después de todo prosigue la captura de los datos, usando programas de computadora como Excell y Autocad. Donde procederá hacer los análisis del diseño del sistema de drenaje, los cuales establecerán conclusiones que informarán si hubo cumplimiento del objetivo y de la pregunta de investigación que se formularon al inicio.

## **CAPÍTULO 5**

### **REVISIÓN DEL PROYECTO**

Este capítulo se tratará sobre la revisión del proyecto denominado “Curva del Diablo”, en el cual se verán los elementos de drenaje que existen en el proyecto original y algunas propuestas que surgieron en el transcurso de la investigación.

#### **5.1. Generalidades.**

El proyecto original cuenta con una serie de planos del tramo carretero, el cual presenta la planta de la misma (plano 1), el perfil del terreno con su rasante (plano 2), secciones del proyecto (plano 3, 4,5).

Para el proceso de revisión se seguirá el siguiente orden: cunetas y contracunetas, bombeo, lavaderos y alcantarillas.

#### **5.2. Cunetas y contracunetas.**

Para el cálculo de las cunetas primero se hizo la revisión de las secciones y la topografía para saber donde colocarlas (en secciones con corte), las cuales se verán sobre el plano 1. En este paso la localización de las cunetas no varía, solamente se indicaron salidas para el agua hacia el terreno fuera del camino y lavaderos que conducen hacia la barranca. Para la pendiente de las cunetas se siguió la pendiente natural del terreno (plano 2). Que varían desde 5% hasta 1.85%.

Para el cálculo de la sección de las cunetas se procedió a realizar la comparación con la cuneta tipo según SCT (Anexo B), dando resultado un gasto

promedio que soporta la sección de 0.26 m<sup>3</sup>/seg; gasto muy por encima con el que pueda llegar 0.00002 m<sup>3</sup>/seg. Concluyendo que al revisar las secciones (plano 3,4 y 5) todas las cunetas tienen el las dimensiones necesarias para soportar el agua. Solamente por cuestiones de mantenimiento y aunque el proyecto no lo pida se hace un revestimiento de concreto de 10 centímetros de espesor.

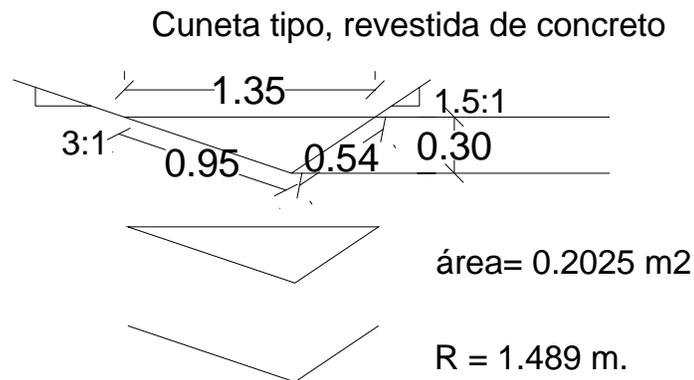


Imagen 34- Medidas de cuneta tipo según SCT

Para este proyecto no es necesario el uso de las contracunetas, ya que como se ha mencionado anteriormente se diseñan para recoger y encauzar el agua de zonas alejadas al camino, impidiendo que esta llegue a las cunetas, para que a estas no llegue más agua de la que fueron diseñadas. Las contracunetas se colocan comúnmente sobre el talud de corte o sobre el lomerío que pueda haber a los lados del camino, orientados en forma transversal a la pendiente del terreno. Y ya que para el tramo en cuestión se presenta solo lomerío suave, además de que el camino sigue la pendiente del terreno, y el agua corre paralelo al camino, siendo suficiente solamente el uso de las cunetas explicadas anteriormente.

### 5.3. Bombeo.

Se trabaja con una pendiente en caminos asfaltados del 2%, según norma SCT, por lo tanto, al comparar con el proyecto y con la sección tipo:

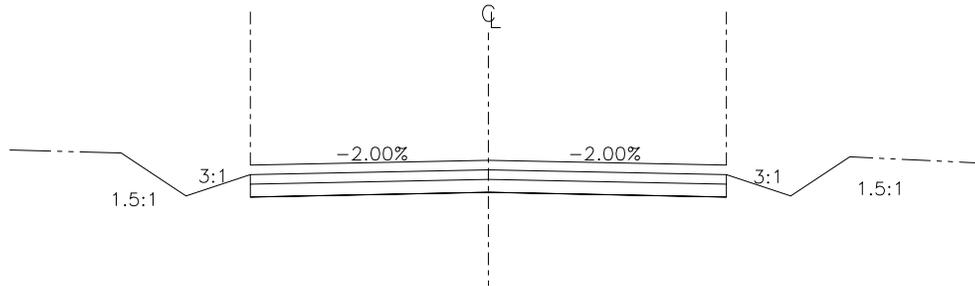


Imagen 35- Sección tipo del camino

Cumpliendo con el mismo tipo de sección todo el tramo. (plano 3, 4 y 5).

En el caso de sobre-elevación de curva tiene la suficiente pendiente para hacer drenar el agua que pueda llegar a ella (plano 3,4 y 5). La sobre-elevación de la curva se localiza del kilómetro 65+420 hasta 65+880 esta según trazo geométrico, con pendientes de 2% al 10%.

#### 5.4. Lavaderos.

Se hizo uso de 11 salidas de agua hacia el terreno, ya que hay distancias mayores a 60 metros, y por ambos lados del camino.

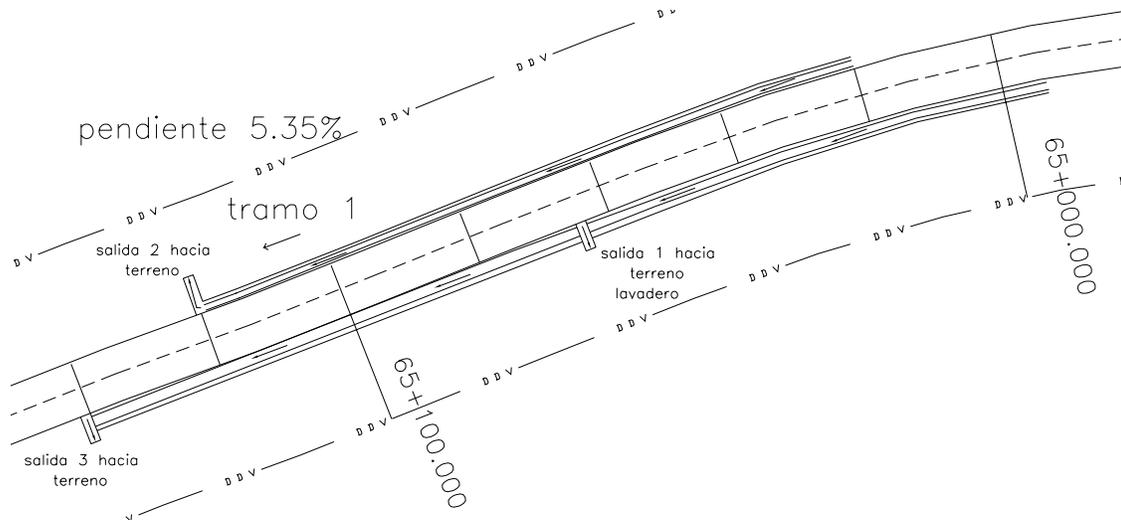


Imagen 36- Salidas de agua (1, 2 y 3) del Km. 65+020 al 65+140

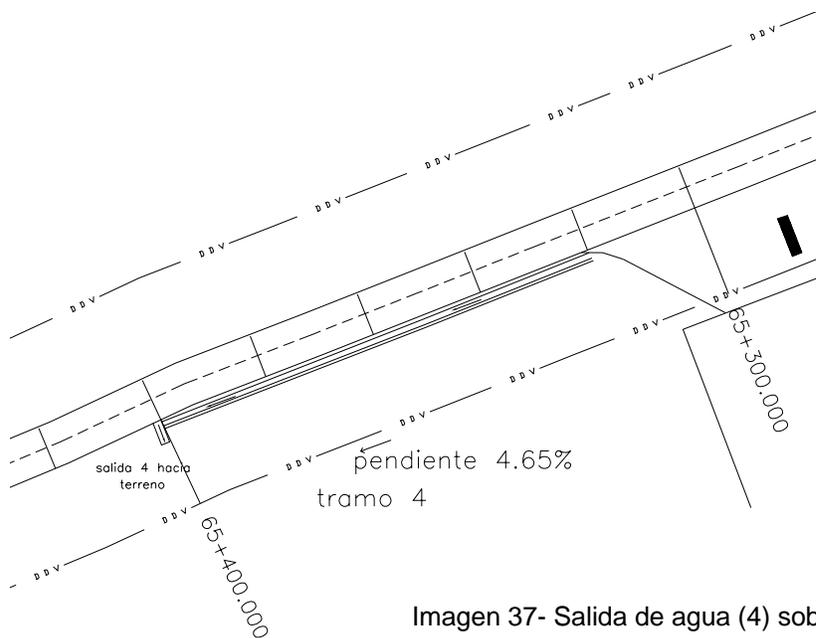


Imagen 37- Salida de agua (4) sobre el Km. 65+400

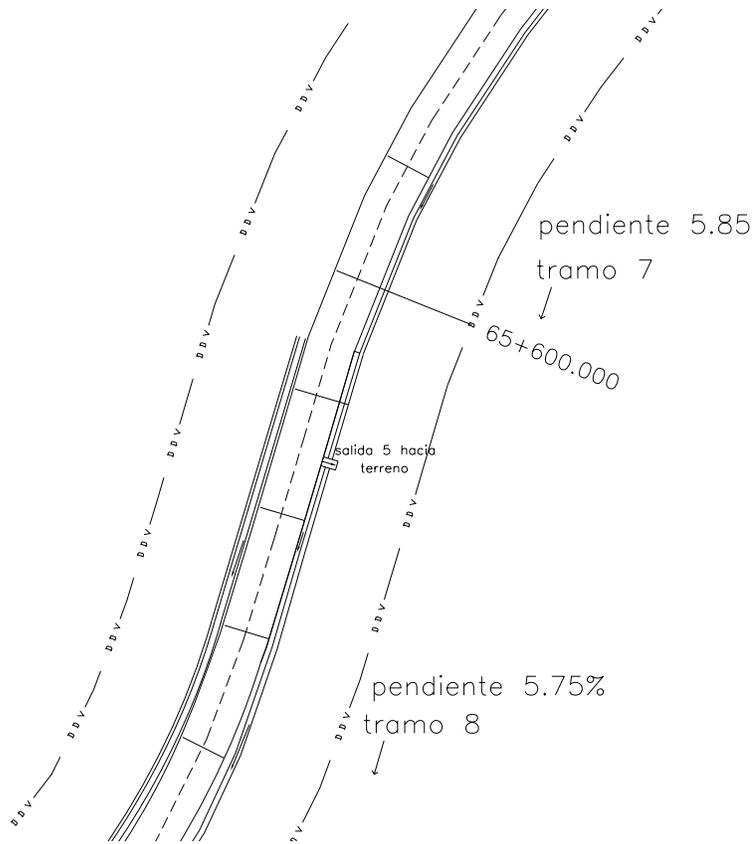


Imagen 38- Salida de agua (5) sobre el Km. 65+630

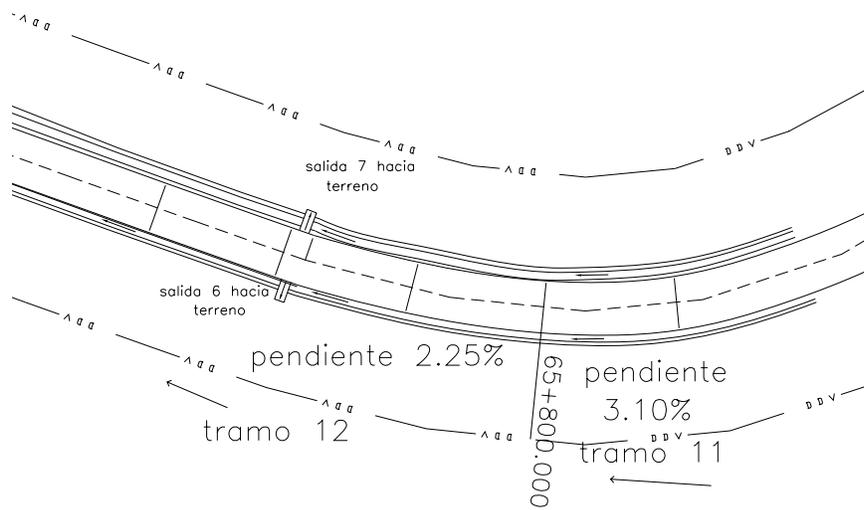


Imagen 39- Salidas de agua (6 y 7) sobre el Km. 65+840

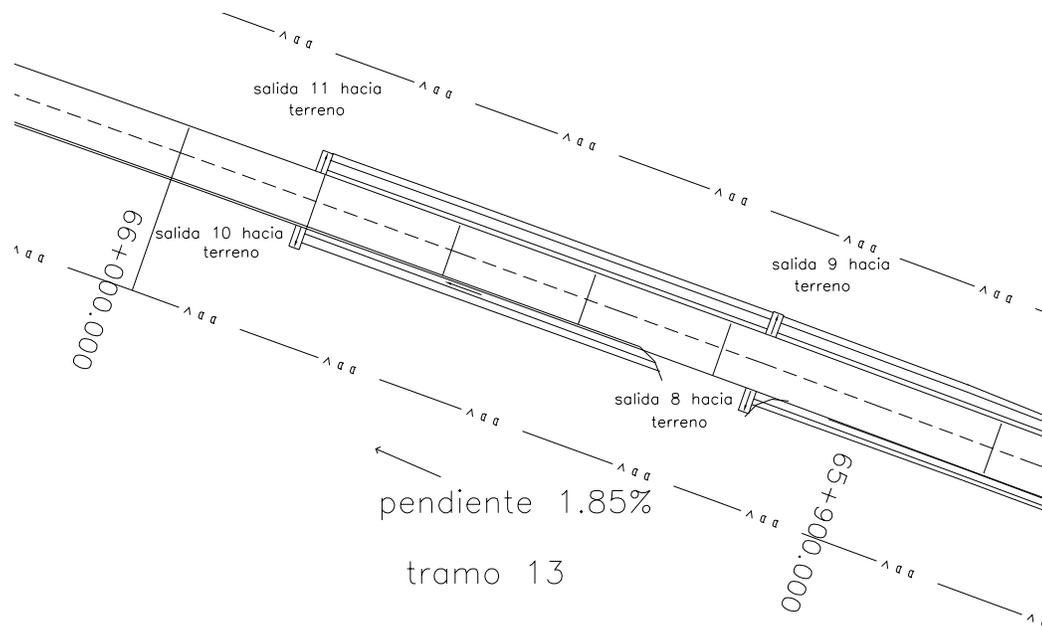


Imagen 40- Salidas de agua (8, 9, 10 y 11) del Km. 65+900 al 66+000

Se manejaron dos lavaderos cerca de la alcantarilla (Km 65+750.31), de 1.10 metros de ancho por 10 centímetros de alto. (localización en imagen 42)

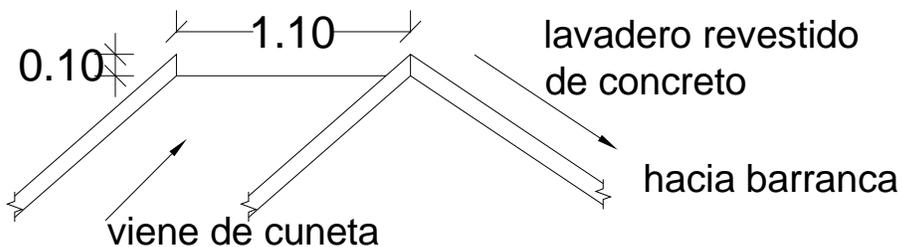


Imagen 41- Salidas de agua por lavadero

## 5.5. Alcantarillas.

Se presenta solo una alcantarilla sobre el Km. 65+750.31, la cual sirve de cauce para un arroyo que lleva la mayor cantidad de agua en tiempo de lluvia. Además tiene una cuenca de 363 hectáreas y pendiente 0.16 (Anexo A).

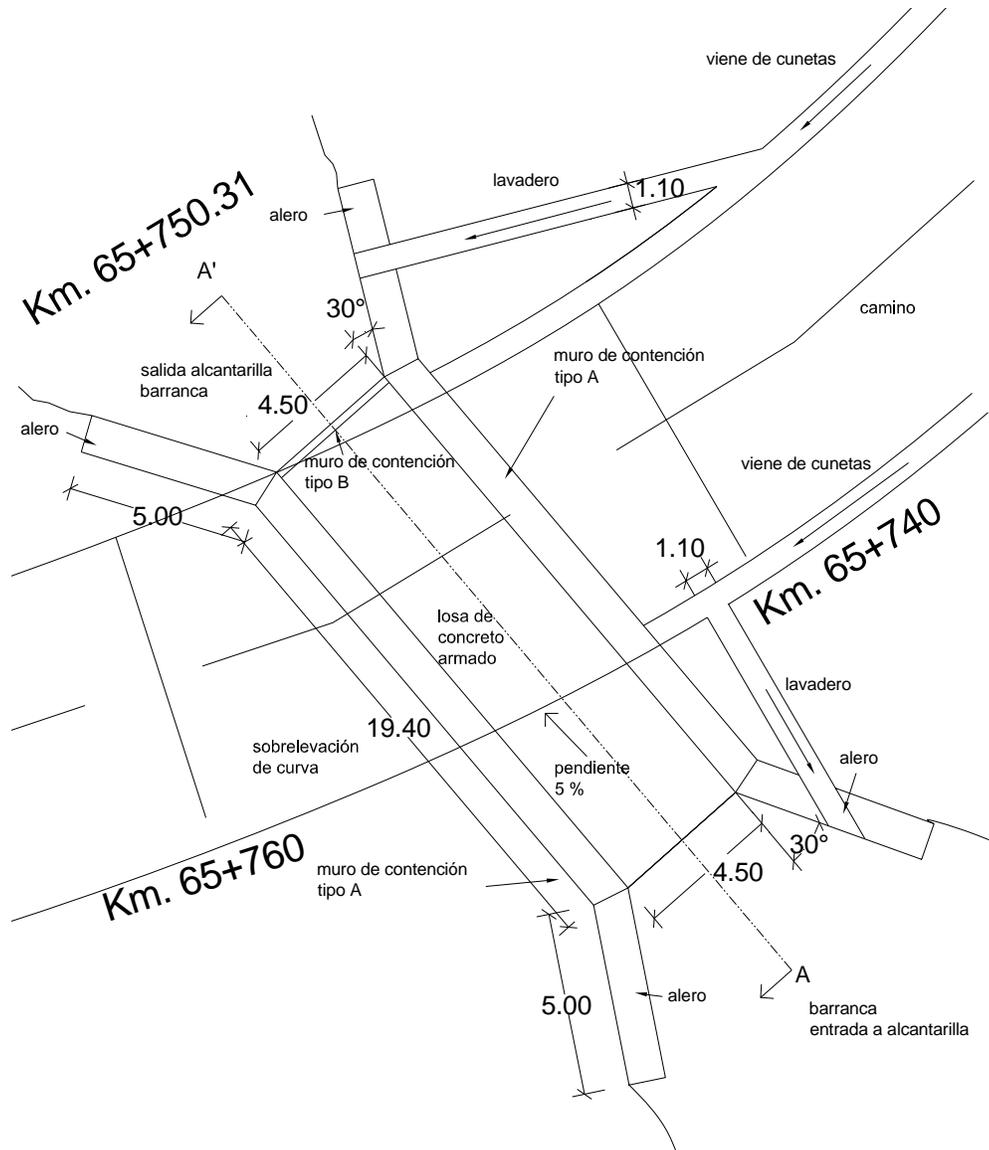


Imagen 42- Localización y datos generales de la alcantarilla

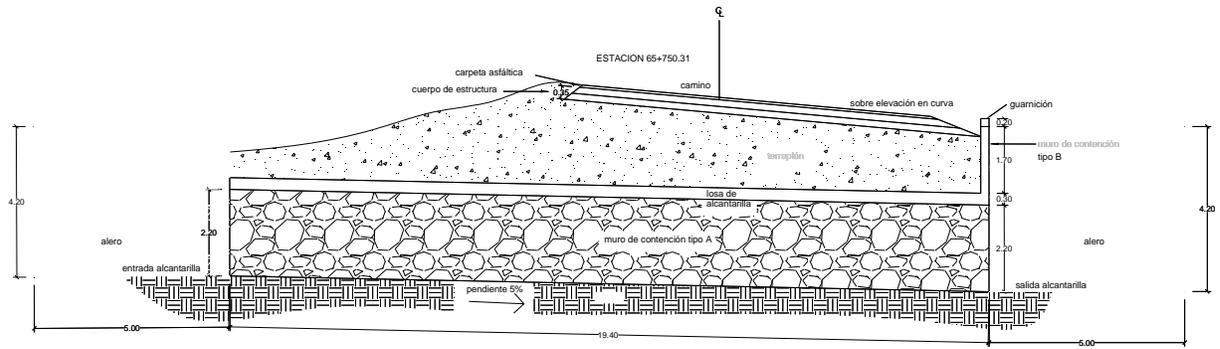


Imagen 43- Corte longitudinal A-A' de la alcantarilla Km. 65+750.31

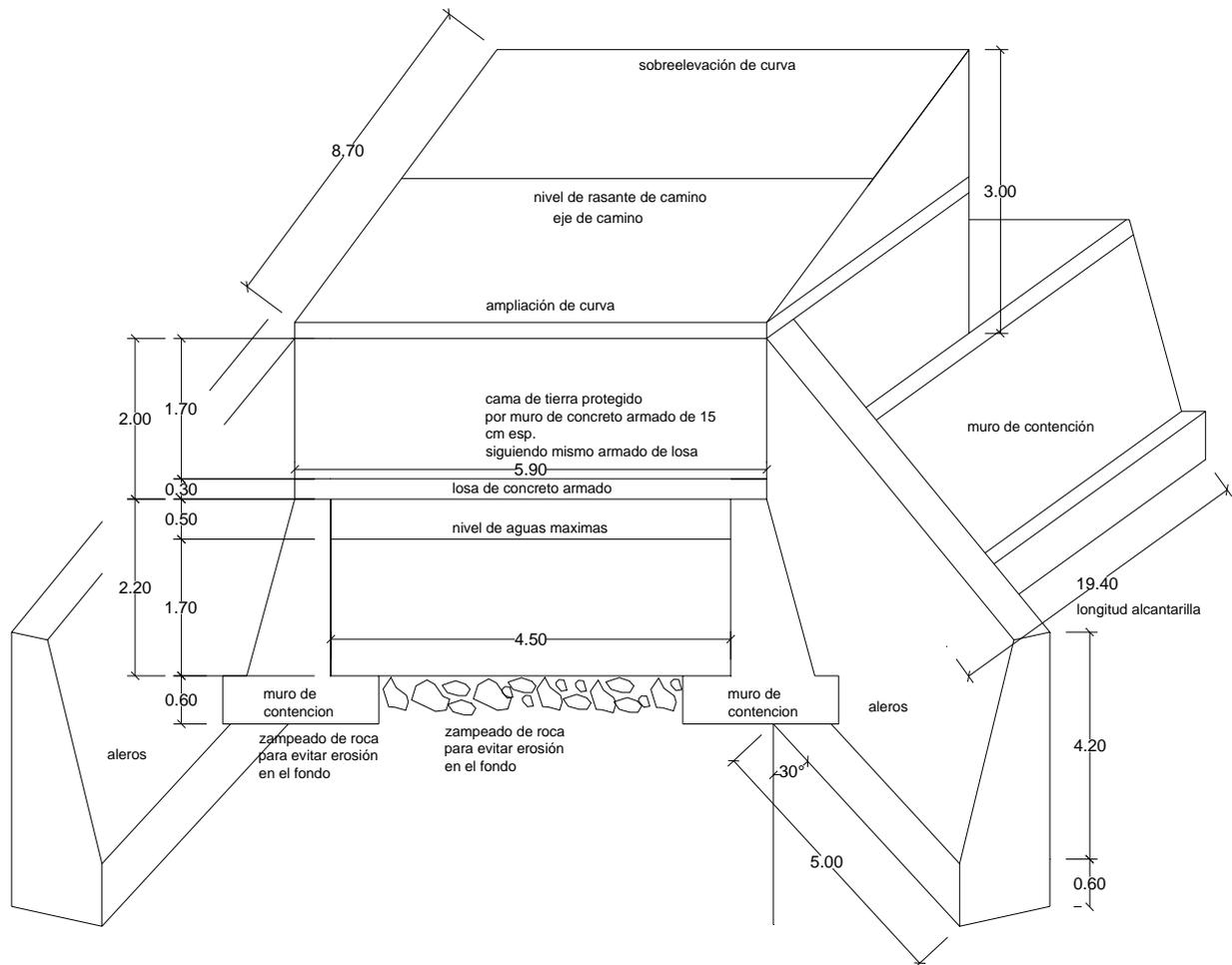


Imagen 44- Partes y medidas que conforman a la alcantarilla

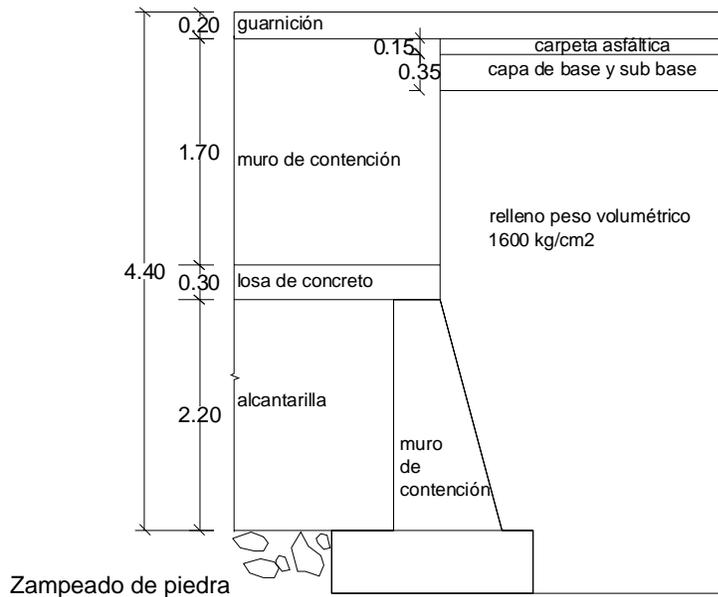


Imagen 45- Partes y medidas que conforman a la alcantarilla

La alcantarilla tiene dimensiones de 4.50 metros de ancho por 2.20 metros de alto. Que al momento de revisar paso con la misma sección. (Anexo C) A su vez se tuvo que calcular la losa, (Anexo D) de un peralte de 30 centímetros, y armado con varillas del número 6 (3/4") a cada 12 centímetros lado corto y 15 centímetros lado largo. Al fondo de la alcantarilla se propone un zampeado de piedra para evitar la erosión y problemas con los muros de contención tipo A y con los aleros.

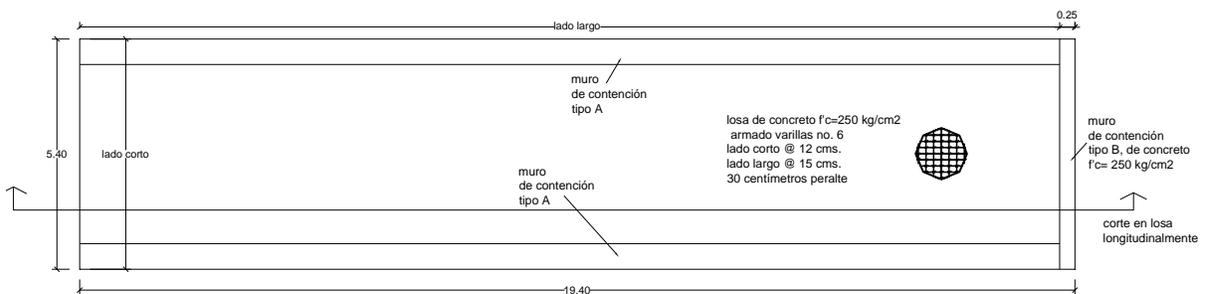


Imagen 46- Planta de losa de alcantarilla

Los muros de contención de piedra braza (tipo A) que van a lo largo de la alcantarilla, al momento realizar los cálculos (Anexo E), se comprueba que tienen margen de seguridad contra volteo, deslizamiento y por capacidad del terreno.

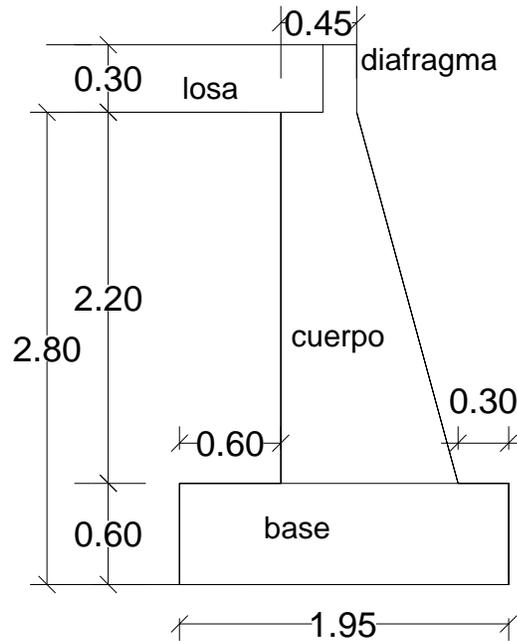


Imagen 47- Muro de contención tipo A

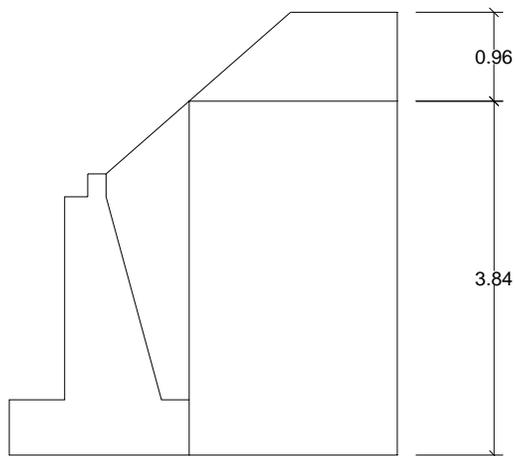


Imagen 48- H y H1 para obtener EH y EV en Muro de contención tipo a tipo A

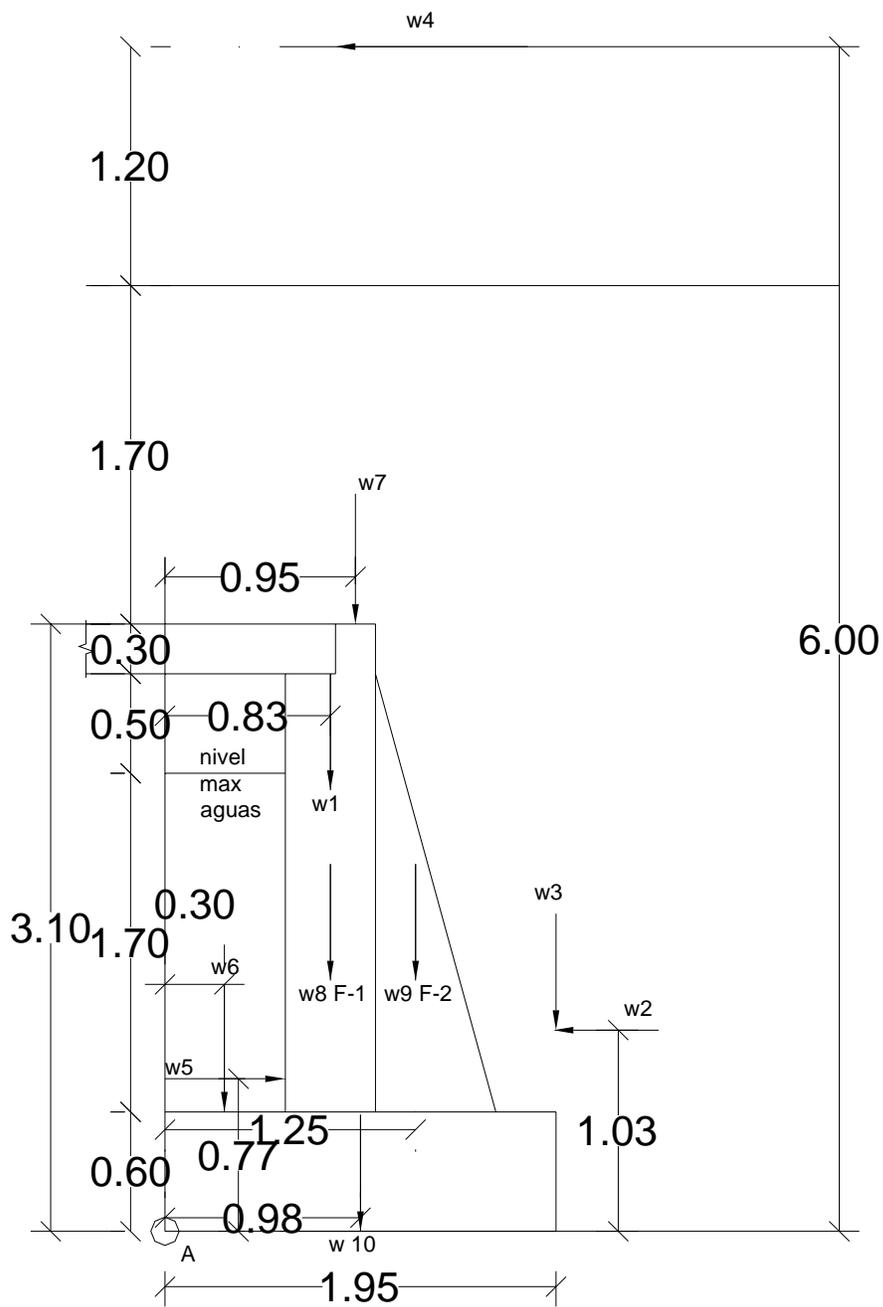


Imagen 49- Fuerzas y brazos para momento  
 en muro de contención tipo A

Al igual que los anteriores, los aleros también son de piedra braza, y cálculos (Anexo G), da bien los factores de seguridad requeridos.

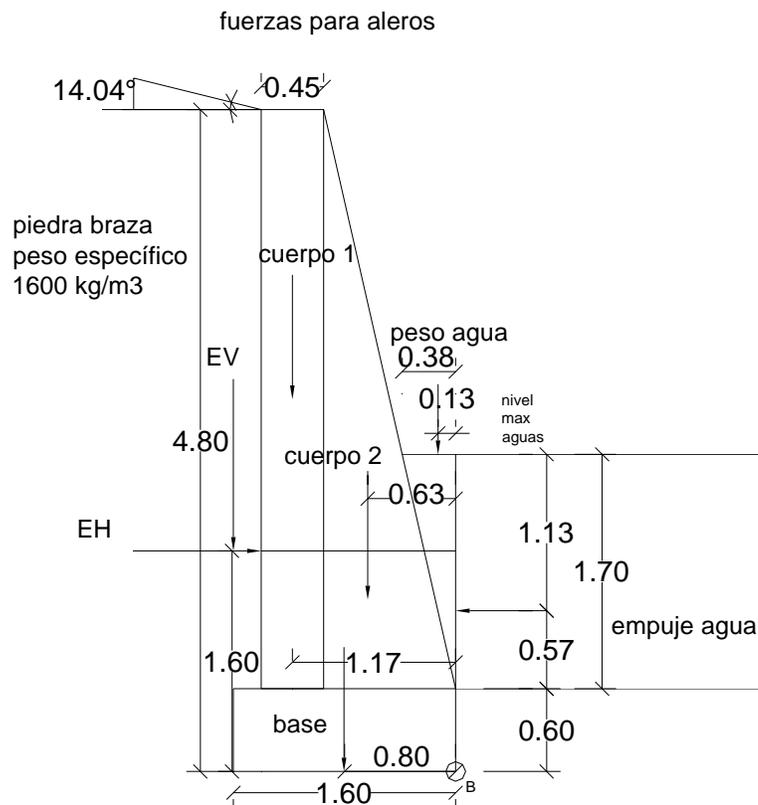


Imagen 50- Fuerzas y brazos para momento en los aleros

Por cuestiones de proyecto el nivel de la rasante queda 2 metros arriba de la alcantarilla, por lo que se uso un colchón de tierra, por lo mismo, se tuvo que colocar un muro de contención de concreto armado (plano 1), el cual para la revisión es llamado tipo B. Que con los cálculos (anexo F) pasa por conceptos de volteo y deslizamiento, finalmente con las dimensiones de 1.70 metros de altura por 25 centímetros de espesor, siguiendo el mismo armado que la losa en el sentido largo con varillas del número 6 (3/4") a cada 12 centímetros.

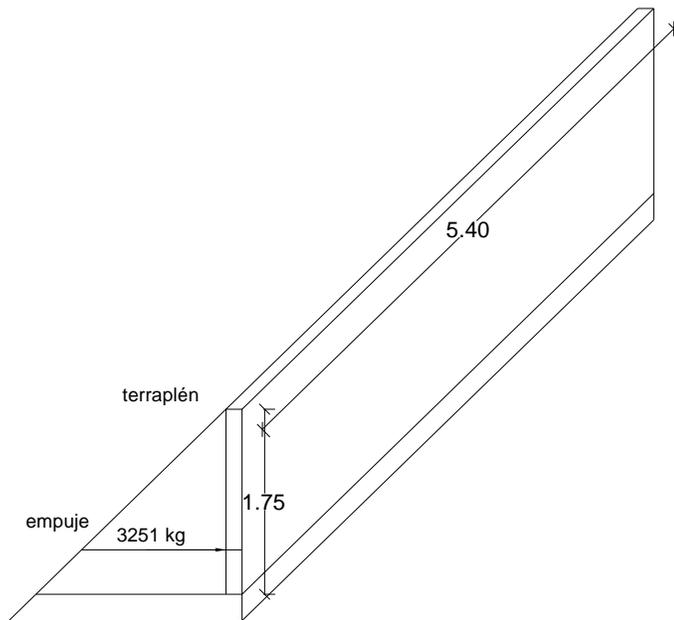


Imagen 51- Empuje tierra a muro de contención tipo B

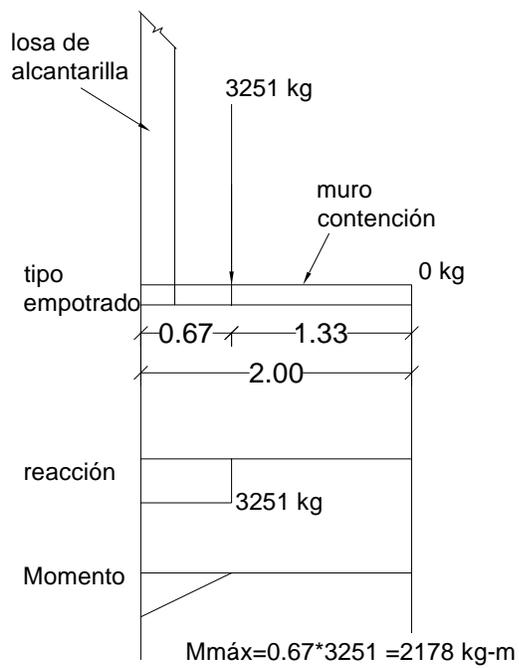


Imagen 52- Diagrama cortante y Momento para muro tipo B

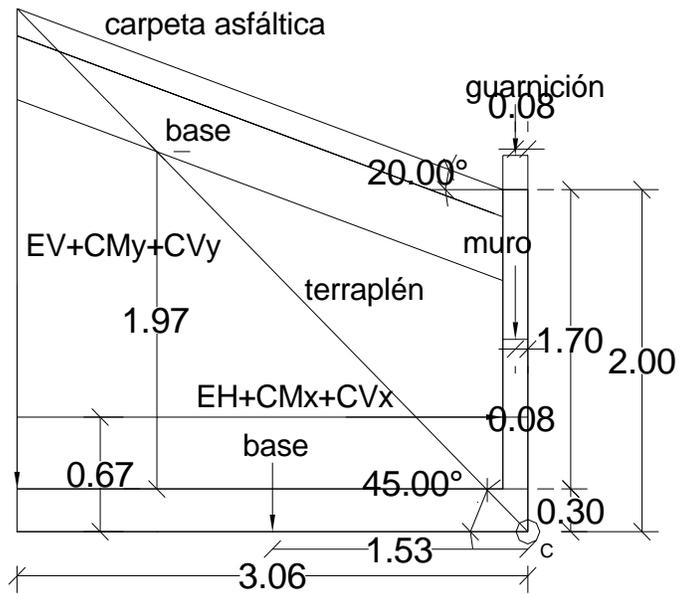


Imagen 53- Fuerzas y brazo para momentos en muro contención tipo B

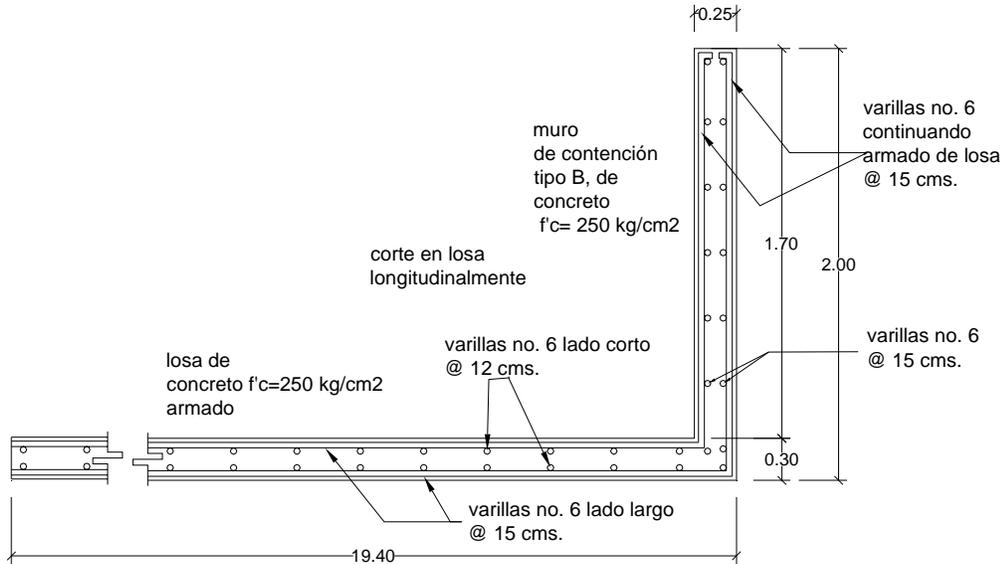


Imagen 54- Corte longitudinal armado de losa con muro de contención

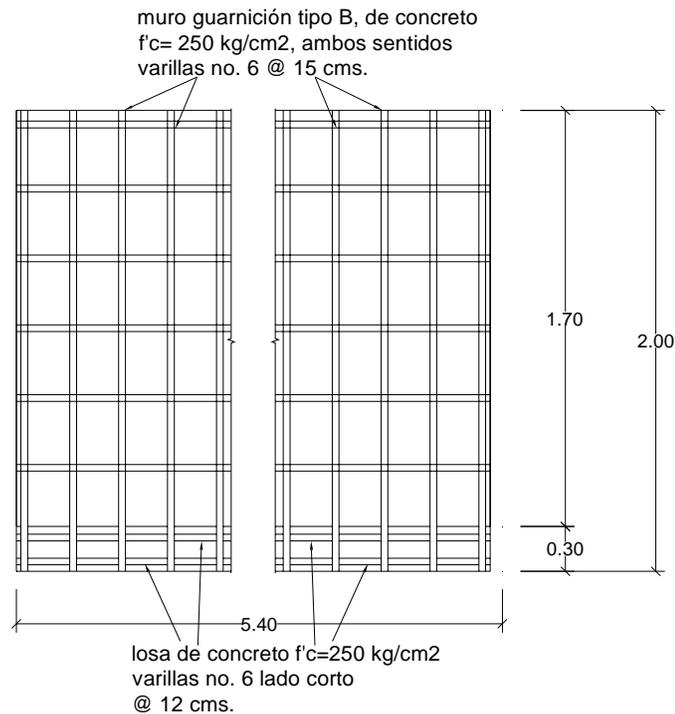


Imagen 55- Alzado de muro contención tipo B con losa de alcantarilla

## 5.6. Análisis comparativo.

La revisión del tramo de carretera denominado “Curva del diablo”, que va del Km. 65+000 al 66+000, cumple con lo establecido por la SCT.

Por la topografía del lugar (presentando un lomerío suave durante el trayecto de tramo) y una pendiente del terreno suave que va paralela al camino, hace que no presente problemas mayores en cuanto al diseño de drenaje. Solamente una pequeña barranca la cual pasa de forma transversal al camino, la cual origina una alcantarilla sobre el Km. 65+750.31.

Según SCT con una pendiente de bombeo del 2% en asfalto, será suficiente para drenar el agua que llegue al camino. Por lo que se revisaron las secciones del tramo. (plano 3, 4 y 5) Por lo tanto, por bombeo cumple, ya que todas las secciones tienen su pendiente del 2%. Para las curvas, simplemente con la sobre elevación da el drenaje necesario.

Para los escurrimientos del bombeo y de terreno hacia el camino, se revisaron las cunetas. Las cuales deben estar según la cuneta tipo (talud hacia el camino 3:1; y talud hacia el terreno 1.5:1), la cual soporta un gasto de 0.26 m<sup>3</sup>/seg; gasto muy por encima con el que pueda llegar 0.00002 m<sup>3</sup>/seg., por lo que se procedió al análisis de todas las cunetas; las cuales cumplieron en cuanto a medidas y el talud de la cuneta tipo.

El proyecto no presenta contracunetas, así que se tuvo que revisar la topografía del terreno (plano 2, 3, 4, 5), llegando a la conclusión que no le hace falta por una pendiente paralela del terreno y el camino, así como un lomerío suave. Que con las cunetas son suficientes para el agua que pueda llegar.

Para el caso de lavaderos y salidas de agua, el proyecto no menciona ninguno, por lo que se tuvo que revisar primeramente la longitud de cunetas la cual no debe ser mayor a 60 metros, aunque tal vez por el gasto pequeño que puedan llevar (0.00002 m<sup>3</sup>/seg) se considero que no eran necesarias. Así que se propusieron 11 salidas de las cunetas hacia el terreno y 2 lavaderos (de 1.10 metros de ancho y altura de 10 centímetros los cuales tienen el desagüe hacia la barranca.

Para el análisis de la alcantarilla, primeramente se revisó la sección, esto con ayuda de la cuenca de aportación para saber el máximo gasto que pueda llegar. Llegando a la conclusión que con las medidas de 4.50 metros de ancho por 2.20 metros de alto (dejando bordo libre), es suficiente para que no haya problemas y el agua pase libremente.

Los demás elementos que conforman a la alcantarilla pasan por los conceptos como pueden ser flexión, esto en el caso de la losa (con peralte de 30 centímetros y un armado con varillas del no. 6 (3/4") a cada 12 centímetros para lado corto y 15 centímetros para lado largo) y el muro de contención tipo B (con espesor de 25 centímetros, armado desde la losa con varillas del no. 6 (3/4") a cada 15 centímetros en ambos sentidos), por conceptos de seguridad como son el volteo, el desplazamiento y la capacidad de carga este en el caso de los muros de contención tipo A, el muro de contención tipo B y los aleros, los cuales cumplen para todos ellos.

## CONCLUSIÓN

Con la presente investigación se ve un aspecto muy importante para ayudar a la conservación de los caminos como es el drenaje, ya que el agua es el principal enemigo de ellos y la función del drenaje es de evitar que el agua tenga contacto con el camino, el cual debe siempre funcionar en buenas condiciones ya que estas vías de comunicación son importantes en forma económica y social, ya que se genera un desarrollo de la zona con otras regiones con las que se comunica. Teniendo ya sea, movimiento de personas así como de mercancía.

Para evitar este deterioro se puede hacer mediante bombeo en el camino hasta obras de drenaje como son cunetas, lavaderos, alcantarillas, etc., Para esto es necesario en sí saber cuanta agua se va a recibir del propio camino y también del terreno (influyendo la topografía del mismo, ya que determinará el escurrimiento que pueda haber hacia el camino). Con estos datos se puede saber cuales son los problemas que se encuentran en el camino respecto al drenaje. Ya que si el proyecto tiene cortes, entonces se hará uso ya sea de cunetas y contracunetas al bordo del camino para que el agua que escurra del terreno no toque el cuerpo del camino así como de su respectivo bombeo. Si al contrario hubiera terraplenes en el proyecto, con el bombeo puede ser más que suficiente para sacar el agua del centro del camino y alejarla lo más posible. Según sea el caso, se puede hacer uso de lavaderos que encausarían el agua hacia salidas lejos de los terraplenes. Si pasa algún arroyo sobre el camino se busca la forma de que pase sin tocar el camino, haciendo uso de alcantarillas, puentes, ya que el agua no se le puede detener solamente se desvía o se evita enviándola hacia una zona que no afecte.

En este caso, con la revisión del tramo carretero denominada “ Curva del diablo” del kilómetro 65+000 al 66+000, de la carretera Carapan-Playa Azul, se llega a la conclusión que todos los factores fueron tomados, ya que por cuestiones del proyecto y del terreno se propusieron cunetas que cumplen con la cuneta tipo de la SCT. Además el bombeo del 2% es el necesario para que el agua se vaya lo más pronto posible del camino.

Por cuestiones del terreno atraviesa un arroyo por el kilómetro 65+750.31 el cual se diseño una alcantarilla rectangular, la cual con las sección diseñada es suficiente para soportar el escurrimiento que pueda traer toda su cuenca. La alcantarilla de losa de concreto armado y muros de contención, que al momento de la revisión pasa por los conceptos de armado, conceptos de volteo, deslizamiento y capacidad de carga del terreno. Brindando seguridad al camino y garantizando que seguirá trabajando con seguridad y sin problemas que le pueda ocasionar el agua.

Siguiendo con su propósito de estar siempre disponible para el desarrollo.

## BIBLIOGRAFÍA

Aparicio Mijares, J. (1989)

Fundamentos de hidrología de superficie

Limusa Noriega editores, México

Arias Rivera, Carlos (1984)

Cuaderno de Trabajo de comportamiento de suelos

Editorial UNAM Facultad de Ingeniería Civil México

Aristides Quillet (1968) tomo III

Enciclopedia autodidáctica Quillet

Editorial Grolier

Crespo Villaluz, Carlos (2005)

Vías de comunicación

Limusa 3ª edición, México

Enciclopedia Encarta (2001)

Microsoft

Hernández S., Roberto (2004)

Metodología de la Investigación

Editorial Mc Graw Hill México

Jurado Rojas, Yolanda (2005)

Técnicas de Investigación documento

Editorial Thompson México

Manual de Proyecto (1974)

Geométrico de Carreteras

SCT

Mendieta Alatorre, Ángeles (2005)

Métodos de investigación y Manual Académico

Editorial Ed. Porrúa México

Mier S., José Alfonso (1987)

Introducción a la ingeniería de caminos

UMSNH

Olivera Bustamante, Fernando (2006)

Estructuración de Vías Terrestres 2da Edición

Editorial Continental, México

Sotelo A. Gilberto (1973)

Drenaje en carreteras y aeropuertos

UNAM

Solo consulta extra:

Apuntes de la UNAM de ingeniería civil

Ingeniería de caminos

UNAM

Chow Ven, Te (1994)

Hidrología aplicada

McGraw-Hill, México

Lavalle De la Fuente Eduardo (2003)

Problemas básicos de empujes de suelos sobre estructuras de soporte

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

Otras fuentes de información:

<http://www.capasu.gob.mx>

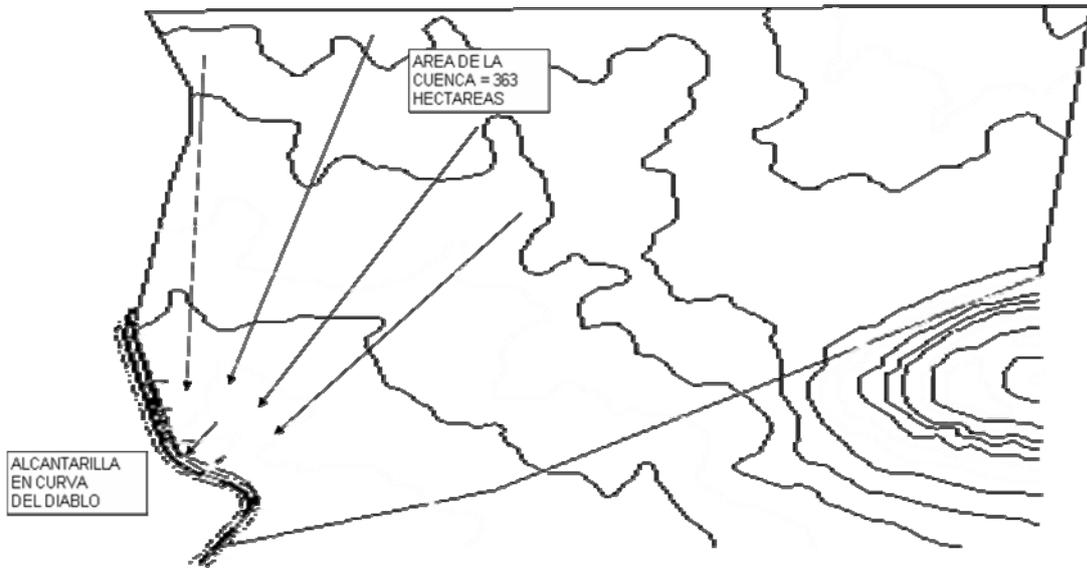
<http://www.inegi.gob.mx>

<http://www.michoacan.gob.mx>

<http://www.sct.gob.mx>

<http://www.uruapan.gob.mx>

**Anexo A -Cuenca para alcantarilla en curva del diablo**



**Pendiente de la cuenca**

CRITERIO DE ALVORD

$$\text{Pendiente} = \frac{\text{Desnivel entre curvas} * \text{Longitud total}}{\text{Area cuenca}}$$

Pendiente de la cuenca	0.16846044	
Desnivel constante entre curvas de nivel en Km	0.02	km
Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca Km	30.5755699	km
Area de la cuenca Km2	3.63	km2

## Anexo B -Cálculo de las cunetas

Se analizará la sección tipo dada por SCT la cual analizará el gasto que puede desalojar y se comparará con las del proyecto

Gasto para la cuneta tipo:

$$\text{Gasto } Q = A V$$

A = area m<sup>2</sup>

V = Velocidad m<sup>3</sup>/seg

$$\text{Area} = 0.2025 \quad \text{m}^2$$

$$\text{La velocidad según la fórmula de Manning} = \left( \frac{1}{n} \right) \left[ R^{2/3} \right] \left[ S^{1/2} \right]$$

$$n = \text{se tomará} \quad 0.04$$

$$R = \text{Area de la sección} / \text{perímetro mojado} \quad 0.2025/1.489 \quad 0.13599731$$

$$\text{tramo 1 } S = 0.0535 \quad \text{pendiente según el proyecto}$$

$$\text{tramo 4 } S = 0.0465$$

$$\text{tramo 7 } S = 0.0585$$

$$\text{tramo 8 } S = 0.0575$$

$$\text{tramo 11 } S = 0.031$$

$$\text{tramo 12 } S = 0.0225$$

$$\text{tramo 13 } S = 0.0185$$

$$V \text{ tramo 1} = 1.529 \quad \text{m/seg}$$

$$V \text{ tramo 4} = 1.426 \quad \text{m/seg}$$

$$V \text{ tramo 7} = 1.599 \quad \text{m/seg}$$

$$V \text{ tramo 8} = 1.585 \quad \text{m/seg}$$

$$V \text{ tramo 11} = 1.164 \quad \text{m/seg}$$

$$V \text{ tramo 12} = 0.992 \quad \text{m/seg}$$

$$V \text{ tramo 13} = 0.899 \quad \text{m/seg}$$

Gastos de los diferentes tramos

$$Q \text{ tramo 1} = 0.310 \quad \text{m}^3/\text{seg}$$

$$Q \text{ tramo 4} = 0.289 \quad \text{m}^3/\text{seg}$$

$$Q \text{ tramo 7} = 0.324 \quad \text{m}^3/\text{seg}$$

$$Q \text{ tramo 8} = 0.321 \quad \text{m}^3/\text{seg}$$

$$Q \text{ tramo 11} = 0.236 \quad \text{m}^3/\text{seg}$$

$$Q \text{ tramo 12} = 0.201 \quad \text{m}^3/\text{seg}$$

$$Q \text{ tramo 13} = 0.182 \quad \text{m}^3/\text{seg}$$

Con este gasto se checarán las diferentes secciones de cunetas en cada tramo para checar que lleguen a soportar dicho gasto

Con la fórmula de Burkli - Ziegler se obtendrá el gasto que pudiera entrar a las cunetas dependiendo del tramo y la captación de cada uno

$$\text{Gasto} = Q = 0.022 C * A * h ((S/A)^{1/4})$$

C = Coeficiente escurrimiento = se considerará		0.18
Area de la sub cuenca de cada tramo =	tramo1	0.2977 Has
en este caso se tomará el área	tramo 4	0.1588 Has
mayor, ya que puede tener cunetas	tramo 7	0.2117 Has
por ambos lados del camino	tramo 8	0.2452 Has
ya se está considerando el bombeo	tramo 11	0.1713 Has
del camino	tramo 12	0.1513 Has
	tramo 13	0.1346 Has

h = precipitación pluvial 1652 mm anual = 165.2 cm anual

Precipitación/6 meses/30 días/24 horas 0.038 cm por hora

s = pendiente general del terreno de cada	tramo 1	0.1
tomando promedio con la del camino	tramo 4	0.1
	tramo 7	0.06
	tramo 8	0.1
	tramo 11	0.1
	tramo 12	0.1
	tramo 13	0.1

Q =	3.43207E-05 m3 /seg	tramo 1
Q =	2.1422E-05 m3 /seg	tramo 4
Q =	2.33911E-05 m3 /seg	tramo 7
Q =	2.9673E-05 m3 /seg	tramo 8
Q =	2.26746E-05 m3 /seg	tramo 11
Q =	2.06586E-05 m3 /seg	tramo 12
Q =	1.89237E-05 m3 /seg	tramo 13

Entonces viendo estos resultados que con la sección tipo es más que suficiente para desalo proveniente de precipitación pluvial, por lo tanto solo se checarán que las secciones tengan las dimensiones de la tipo

### Anexo C - Sección de la alcantarilla

Formula de Talbot

$$S = 0.1832 C \sqrt[4]{(A)^3}$$

	C =	0.5 coef.	lomerío suave
Area cuenca	A =	363 has.	
Area seccion	S =	7.61772766 m <sup>2</sup>	
Por lo tanto:	B=	4.5 m	
	H=	1.7 m	area real= 7.65 m2
	altura mas 50 cms de bordo libre		2.2 m.
longitud =	19.4 m		

**Anexo D -Calculo de la losa de la alcantarilla**

		agregado 3/4", revenimiento 14 cm.		
Ancho	5 m.	fy =	4200 kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
Longitud alcantarilla (como viga ancha)	1 m.	f'c=	170 ka/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
fc=	250 kg/cm <sup>2</sup>	f'c=	200 ka/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
Peso vol. Concreto armado	2400 kg/m <sup>3</sup>	Concreto simple	2200 kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Ancho camino	1 m.	fs=	2520 kg/cm <sup>2</sup>	
Peso carpeta asfáltica	20 kg/m <sup>2</sup>	espesor 15 cm.		
Material debajo de carpeta espesor	35 cm	Peso volumétrico	1600 kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Peralte supuesto h=		30 cm		
Guarnicion 1 solo lado de alto	20 cm	ancho	15 kg/cm <sup>2</sup>	cm
	1 lado			
Carga móvil	T3-S3		45000 lbs	
Peso especifico Material terraplén	1600 kg/m <sup>3</sup>			
	1.2 m. esp. Promedio			
	en sobreelevación curva			
Peso especifico Material terreno natural	1600 kg/m <sup>3</sup>			
Muro de contención	alto	1.7 m	espesor	25 cm cm

**CALCULO DE LA CARGA MUERTA (CM)**

Losa	(1)(0.30)(2400) =	720	kg/m
Guarnicion	(0.2)(0.15)(2200) :	66	kg/m
Carpeta asfáltica	(1)(20) =	20	kg/m
Muro concreto armado	(1.75)(0.25)(2400)	1020	kg/m
Material debajo de carpeta	(1)(0.35)(1700) =	560	kg/m
Material terraplén	(1.2)(1)(1600) =	1920	kg/m
	sumatoria	4306	kg/m
		4.306	ton/m

Momento por carga muerta

$$M_{cm} = \frac{(4.306)(5^2)}{8}$$

$$M_{cm} = 13.46 \text{ tm} - \text{m}$$

Momento por carga muerta que soportará cada metro de ancho de losa

$$M_{cm} = 13.46 \text{ tm} - \text{m} / \text{m}$$

Fuerza cortante

Con el muro sin la carga viva      V cm = 10.765 ton

Con la carga viva sin muro      V cm = 8.77 ton

se tomará el mayor

CALCULO DE LA CARGA VIVA (CV)

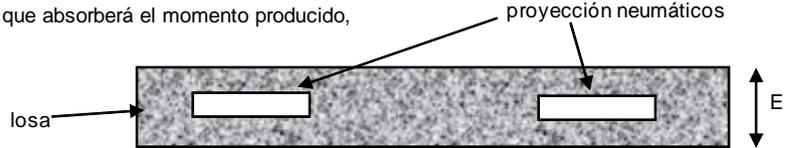
Carga T3-S3 = W 45000 lb = 20398.5 kg.  
 Carga de la rueda P= 0.4 W 8159.4 kg

h, en metros 3 S = P/A, kg/m<sup>2</sup> 288.58

carga 288.58 kg/m<sup>2</sup>  
 carga por metro = (1)288.58 = 288.579068 kg/m

como al centro mas desfavorable P = 1442.89534 kg.  
 Mcv = Wl<sup>2</sup>/8 0.901809587 ton-m

Ancho de distribución que absorberá el momento producido, proyección neumáticos



Ancho de losa que absorberá momento producido

Para claros mayores de 365 cms.

$$E = \frac{(10 N + W)}{4N}$$

N es el número de fajas de circulación y W es el ancho en pies  
 fajas circulación 2 W 3.28

E = 2.91 pies  
 E = 0.887 metros

Momento que soportara cada metro de ancho de calzada debido a la carga móvil es:

M cv= 1.02 tonm-m/m

Momento por impacto = 30% cv 0.305 tonm-m/m

Momento total carga viva + impacto 1.322 ton/m-m

Momento total con carga muerta y carga viva 14.778 ton/m-m

Calculo del peralte y armado

$d_{min} = 27 \text{ cm}$   
 peralte losa =  $d_{min} + 3 \text{ recubrimiento} = 30 \text{ cm}$   
 $M_u = M * 1.4 = 20.689 \text{ ton-m}$   
 $P = f'_c / f_y * (1 - (1 - (2 M_u) / (FR * b * d^2 * f'_c))) = 0.008$   
 $P_{min} = (0.7 * (250^{1/2})) / f_y = 0.003$   
 $P_{max} = ((f'_c / f_y) * ((4800) / (6000 + f_y))) * 0.75 = 0.014$  como  $P_{min} < P < P_{max}$ , si cumple  
 $A_s = P * b * d = 22.611 \text{ cm}^2$

Comparar con  $A_{st} = (660 X_1 / (f_y(100 + X_1))) * 100 = 3.626 \text{ cm}^2$   
 Separación de las barras =  $100a_0 / A_s = 12.605 \text{ cm}$  por lo tanto se aplicara el  $A_s$  pudiendo ir a cada 12 cm. en lado corto  
 $s_{min} = 6 \text{ cm}$   
 $s_{max}$  menos de 50 cm y 3.5 peralte con peralte 105 cm

Número de barras

#	$a_0$ (cm <sup>2</sup> )	Nº de Barras	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )
3	0.71		
4	1.27		
5	1.98		
6	2.85	1	2.85
7	3.88		
8	5.07		
9	6.41		
10	7.92		
12	11.4		

$A_s = 2.85 \text{ cm}^2$

Revisión por cortante

$V_{max} * 1.4 = 15071 \text{ kg}$   
 $V_{cr} = 0.5 F_r b d (f'_c)^{1/2} = 15273.506 \text{ kg}$

Si  $V_{cr}$  es mayor a  $V_u$  se acepta el peralte

Como en el otro sentido no hay flexión se usa ya sea  $A_{st}$  o  $A_{smin}$ , el que sea mayor

Comparar con  $A_{st} = (660 X_1 / (f_y(100 + X_1))) * 100 = 3.626 \text{ cm}^2$   
 $A_s$  con  $P_{min} = P_{min} * b * d = 7.115 \text{ cm}^2$   
 por lo tanto se utilizara  $p_{min}$

separación =  $100 a_0 / A_s = 40.056 \text{ cm}$   
 Con esta separación quedaría en el límite ya que la mayor es 50 y  $3.5 * x_1$ , pero por cuestiones de seguridad se podría utilizar la mínima que es de 6 cm, o en su caso 15 cm.

Como se calculó como viga ancha el armado será usado a lo largo de toda la alcantarilla o sea a los 19.40 metros. de largo



g) fuerza ejercida por el agua vale:

$$P_a = (\text{peso específico agua})(H^2)/2 = (1000)(1.7^2)/2 = 1445 \text{ kg/m}$$

$$\text{Peso específico agua} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$H = \text{tirante de aguas máximas ext.} = 1.7$$

h) peso del agua ( peso del tirante del agua es de

$$\text{Peso del agua sobre la base del muro} = (\text{peso específico agua})(\text{altura}) = (1000)(1.7) = 1700 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{area de la base expuesta de} = 60 \text{ cm} \times 1 \text{ m}$$

$$\text{Presion} = (1700)(0.6) = 1020 \text{ kg/m}$$

i) peso del diafragma

dimensiones	alto	25	cm	
	ancho	20	cm	
	peso específico piedra braza	1600		kg/m <sup>3</sup>
	Peso por metro	80	kg/m	

j) Peso del cuerpo

dimensiones F -1 rectangulo	alto	2.2	m	
	lado	0.45	m	
	peso específico piedra braza	1600		kg/m <sup>3</sup>
	Peso por metro	1584	kg/m	

F-2 triángulo	alto	2.2	m	
	base	0.6	m	
	Peso por metro	1056	kg/m	
	peso total cuerpo = F-1+F-2	2640	kg/m	

k) peso de la base

dimensiones	alto	0.6		
	base	1.95		
	peso específico piedra braza			1600 kg/m <sup>3</sup>
	peso por metro	1872	kg/m	

Distancias que actuaran de acuerdo a la figura respecto al punto A

W1 para la losa	0.83 m
W2 empuje tierras $E_H = H/3 = 3.05/3$	1.030 m
W3 empuje tierras $E_V =$	1.95 m
W4 por frenado la cual se considera 1.20 metros arriba de la carpeta	6 m
W5 por empuje del agua tirante 1.70 m, aplicada a $1/3$ $(1.7+0.6)/3$	0.767 m.
W6 Por peso de agua	0.3 m
W7 Peso diafragma	0.95 m
W8 Peso cuerpo F-1	0.83 m
W9 Peso cuerpo F-2	1.25 m
W10 Peso de la base	0.98 m

Factor de seguridad al volteo		Momento resistente / Momento actuante = mayor o igual a 1.5			
		fuerzas	brazo	Momento	
Fuerzas volteantes	entran	w2	6635.52	1.030	6834.586
		w4	14.429	6	86.574
		sumatoria			6921.159
Momento resistente	w1	10952.576	0.83	9090.638	
	w3	2211.84	1.95	4313.088	
	w5	1445	0.767	1107.833	
	w6	1020	0.3	306.000	
	w7	80	0.95	76.000	
	w8 F-1	1584	0.83	1314.720	
	w9 F-2	1056	1.25	1320.000	
	W10	1872	0.98	1834.560	
	sumatoria			19362.840	

Relacion de Momento resistente/Momento actuante =  $19362.84/6921.159 = 2.798$

muy amplio cumpliendo con ser mayor a 1.5 , cumple por este concepto

Factor de seguridad por deslizamiento

Fuerzas verticales que se multiplicaran por $f = \tan(2/3 f_i)$ $f_i =$	39	w1	10952.576	kg/m
		w3	2211.84	kg/m
		w6	1020	kg/m
		w7	80	kg/m
		w8 F-1	1584	kg/m
		w9 F-2	1056	kg/m
		W10	1872	kg/m
		sumatoria	18776.416	kg/m
Empujes resistentes	w5	1445	kg/m	
Empujes deslizantes	w2	6635.52	kg/m	
	w4	14.429	kg/m	
	sumatoria	6649.949	kg/m	

Relacion entre fuerzas resistentes =  $(\text{suma fuerzas verticales} * f) + \text{empuje resistente} / \text{empuje deslizante}$

$f = 0.488$

$F_s = ((18776.416 * 0.488) + 1445) / 6649.949 = 1.594$  mayor a 1.5 Cumple por este concepto

Por capacidad de carga del terreno

El esfuerzo actuantes = sumatoria de fuerzas verticales / 1.95 = 0.963 kg/cm<sup>2</sup>

la capacidad del terreno es igual a 10 ton/m<sup>2</sup> = 1kg/cm<sup>2</sup>  
queriendo decir que el terreno puede soportar la estructura, aunque al limite de su capacidad

Por lo tanto la sección del muro para todo lo largo de la alcantarilla = 19.40 metros

## Anexo F - Muro de contención-Tipo B.

Análisis de cargas actuantes

ángulo	20	
carpeta asfáltica=	$(20)(1)(3.06) =$	61.2 kg
material debajo carpeta=	$(0.35)(1)(1600)(3.06)=$	1713.6 kg
Total carga muerta =		1774.8 kg
		1774.8 kg/m
como la fuerza llega a 20° entonces $CMX = \cos 20^\circ (1774.8)=$		1667.766 kg/m
$CMY = \sin 20^\circ (1774.8)=$		607.019 kg/m

b) carga viva en la losa  
camión T3-S3

45000 lbs

como se encuentra un colchón de tierra el peso disminuirá la presión sobre la losa

h en metros  $S = P/A$   
3 288.579 kg/m<sup>2</sup>

Carga por metro de ancho de la losa es=  $(1)(288.579)=$  288.579 kg/m

como la fuerza llega a 20° entonces  $CVX = \cos 20^\circ (288.579)=$  271.175 kg/m  
 $CVY = \sin 20^\circ (288.579)=$  98.700 kg/m

e) fuerza por el empuje de tierras sobre el muro

y como el talud es mayor a 20° entonces se considerará: tipoll

KH = 450 kg/m<sup>2</sup>/m de la gráfica  
KV = 250 kg/m<sup>2</sup>/m de la gráfica

$EH = 1/2 KH * H^2$  873.2025 kg/m

$EV = 1/2 KV * H^2$  485.1125 kg/m

j) Peso del cuerpo

dimensiones	alto	1.7 m	
muro	lado	0.25 m	
peso específico concreto armado			2400 kg/m <sup>3</sup>

Peso por metro 1020 kg/m

Como irá con la losa de la alcantarilla se podría considerar como base del muro considerando a 3.06 m.

	alto	0.3 m	
	lado	3.06 m	
	peso específico		2400 kg/m <sup>3</sup>
	Peso por metro		2203.2 kg/m
Guarnición	alto	0.2	
	ancho	0.15	
	peso específico		2200 kg/m <sup>3</sup>
	Peso por metro		66 kg/m

Brazo respecto al punto C

Para EH+Cmx+Cvx	0.67	m
Para EV+Cmy+Cvy	3.06	m
Para muro	0.125	m
Para losa	1.53	m
Para Guarnición	0.125	m

Factor de seguridad al volteo	Momento resistente/Momento actuante=mayor o igual a 1.5			
		fuerzas	brazo	Momento
Fuerzas volteantes	EH+Cmx+Cvx	2812.144	0.67	1884.136
	sumatoria			1884.136
Momento resistente	muro	1020	0.125	127.5
	losa	2203.2	1.53	3370.896
	guarnicion	66	0.125	8.25
	EV+Cmy+Cvy	1190.831	3.06	3643.944
	sumatoria			7150.590

Relacion de Momento resistente/Momento actuante =  $7150.59/1884.136 = 3.795$

muy amplio cumpliendo con ser mayor a 1.5 , cumple

Factor de seguridad por deslizamiento

Fuerzas verticales	muro	1020 kg/m
que se multiplicarán	base	11640 kg/m
por $f = \tan(2/3 f_i)$	guarnición	66 kg/m
$f_i =$	EV+Cmy+Cmy	1190.831 kg/m
39	sumatoria	13916.831 kg/m
como la base		
es la losa		
se puede poner toda la long = 19.4 m		
Empujes deslizantes	EH+Cmx+Cvx	2812.144 kg/m
	sumatoria	2812.144 kg/m

Relacion entre fuerzas resistentes =(suma fuerzas verticales \* f)+ empuje resistente/empuje deslizante

$$f = 0.488$$

$F_s = (13916.831.831 * 0.488)/2812.144 = 2.414$  mayor a 1.5 cumple

Armado del muro

Momento máximo	2178	kg-m
Momento último	3.049	ton-m
dmin=	22	cm
peralte losa= dmin + 3 recubrimiento	25	cm
P=	0.002	
Pmin=	0.003	
Pmax=	0.014	
		como P < Pmin, usará el Pmin
As = P b d	5.798	cm2

Comparar con  $Ast = (660 X1 / (fy(100+X1))) * 100$  3.143 cm2

Separacion de las barras =  $100a0 / As$  49.159 cm  
 smin = 6 cm  
 smax menos de 50 cm y 3.5 peralte con peralte =  $(3.5)(0.15)$  0.525 m.  
 por lo tanto se aplicara el As pudiendo seguir el armado de la losa en sentido largo

Número de barras

#	a0 (cm²)	Nº de Barras	As (cm²)
3	0.71		
4	1.27		
5	1.98		
6	2.85	1	2.85
7	3.88		
8	5.07		
9	6.41		
10	7.92		
12	11.4		

As = 2.85 cm²

Revisión por cortante

$Vu = Vmax * 1.4 =$  4551.4 kg  
 $Vcr = 0.5 * 0.9 * 100 * 22 =$  12445.079 kg

Si Vcr es mayor a Vu se acepta el peralte

como en el otro sentido no hay flexion se usa ya sea ast o asmin, el que sea mayor

Comparar con  $Ast = (660 X1 / (fy(100+X1))) * 100$  3.143 cm2  
 As con Pmin= Pmin b d 5.798 cm2  
 por lo tanto se utilizara pmin

separacion =  $100 a0 / As$  49.159 cm

Con esta separacion quedaria en el limite ya que la mayor es 50 y  $3.5 * x1$ , pero por cuestiones de seguridad se podría utilizar la minima que es de 6 cm, repetir el armado en el otro sentido o con 15 cms. Quedaria bien

## Anexo G -Cálculo de aleros

Los aleros forman un ángulo de 30° con respecto a la normal del eje del camino y servirán para evitar que material caiga a la corriente.

Por las características topográficas los aleros tendrán una altura 4.8 m presentándose solamente el empuje de las tierras que valdrá como sigue:

a) Fuerza por el empuje de tierras sobre el muro  
y como el talud es mayor a 14 ° y suelo tipo II entonces se considerara:

KH = 400 kg/m<sup>2</sup>/m de la grafica  
KV = 280 kg/m<sup>2</sup>/m de la grafica

EH = 1/2 KH \* H<sup>2</sup> 4608 kg/m  
EV = 1/2 KV \* H<sup>2</sup> 3225.6 kg/m

Brazo respecto al punto B 1.6 m para EH  
Brazo respecto al punto B 1.6 m para EV

b) peso propio de la estructura.

Cuerpo 1 ancho 0.45 m  
alto 4.2 m  
peso específico 1600 kg/m<sup>3</sup>

Peso 3024 kg/m

Brazo respecto al punto B 1.18 m

Cuerpo 2 ancho 0.95 m  
alto 4.2 m  
peso específico 1600 kg/m<sup>3</sup>

Peso 3192 kg/m

Brazo respecto al punto B 0.63 m

Base ancho 1.6 m  
alto 0.6 m  
peso específico 1600 kg/m<sup>3</sup>

Peso 1536 kg/m

Brazo respecto al punto B 0.8 m

c) fuerza ejercida por el agua vale:

$$Pa = (\text{peso específico agua} * H^2) / 2 = 1445 \text{ kg/m}$$

Peso específico agua = 1000 kg/m<sup>3</sup>  
H = tirante de aguas máximas ext. 1.7  
Brazo respecto al punto B 1.17 m

d) peso del agua ( peso del tirante del agua es de

ancho 0.38  
alto 1.7  
peso agua 1000 kg/m<sup>3</sup>  
Peso 323 kg/m

Brazo respecto al punto B 0.13 m

Momento deslizamiento

	Fuerza	brazo	momento	
EH	4608	1.6	7372.8	

Factor de seguridad por Volteo

Cuerpo 1	3024	1.18	3568.32
Cuerpo 2	3192	0.63	2010.96
Base	1536	0.8	1228.8
Empuje agua	1445	1.17	1690.65
Peso agua	323	0.13	41.99
EV	3225.6	1.6	5160.96
sumatoria			13701.68

Factor de seguridad al volteo 1.858  
mayor a 1.5 cumple por este concepto

### Factor de seguridad por deslizamiento

Fuerzas verticales que se multiplicaran por $f = \tan(2/3 \phi)$	cuerpo 1	3024 kg/m
$\phi =$	cuerpo 2	3192 kg/m
39	base	1536 kg/m
	peso agua	323 kg/m
	EV	3225.6 kg/m
	sumatoria	11300.6 kg/m
Empujes resistentes	empuje agua	1445 kg/m
Empujes deslizantes	EH	4608 kg/m
	sumatoria	4608 kg/m

Relación entre fuerzas resistentes =  $((\text{suma fuerzas verticales}) \cdot f) + \text{empuje resistente} / \text{empuje deslizante}$

$$f = 0.488$$

$$F_s = ((11300.6 \cdot 0.488) + 1445) / 4608 = 1.510 \quad \text{mayor a 1.5 cumple}$$

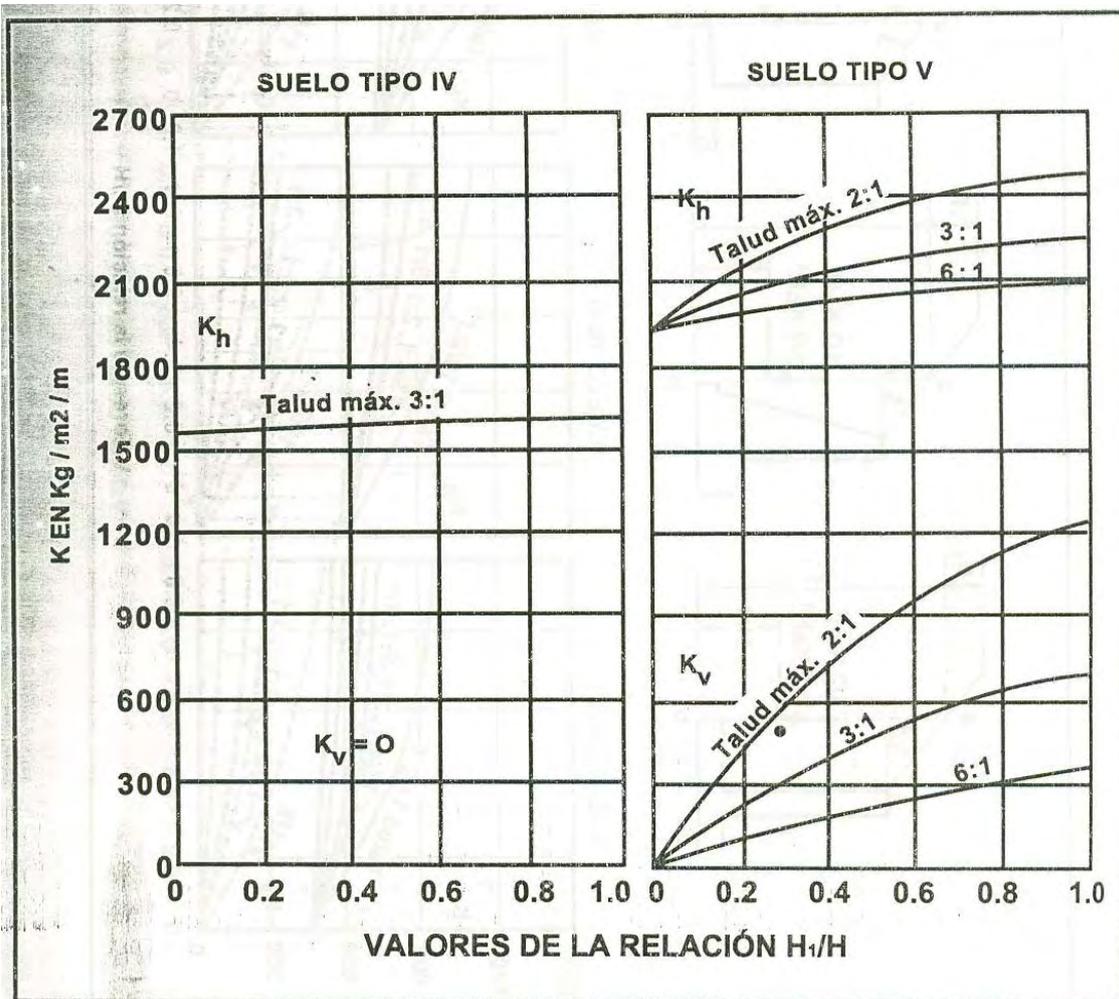
Por capacidad de carga del terreno

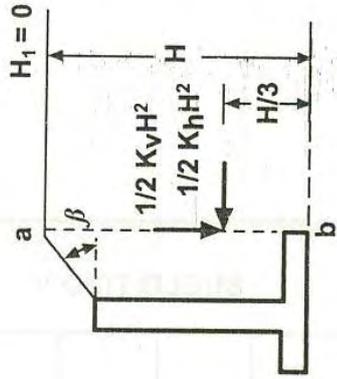
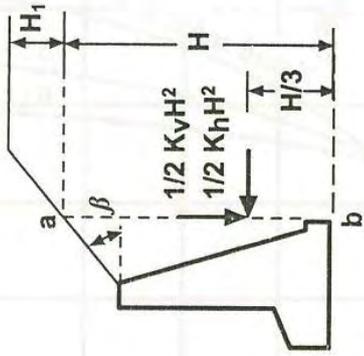
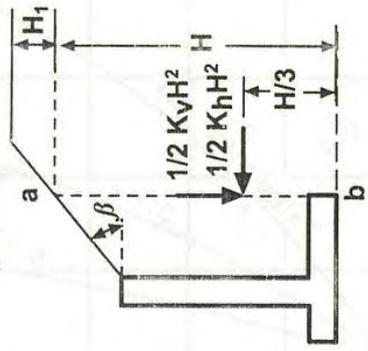
$$\text{El esfuerzo actuantes} = \text{sumatoria de fuerzas verticales} / 1.6 = 0.706 \text{ kg/cm}^2$$

la capacidad del terreno es igual a  $10 \text{ ton/m}^2 = 1 \text{ kg/cm}^2$   
queriendo decir que el terreno puede soportar la estructura

La sección del alero se acepta, para la longitud de 5 metros, distancia que marca la configuración del terreno.

# ANEXO H

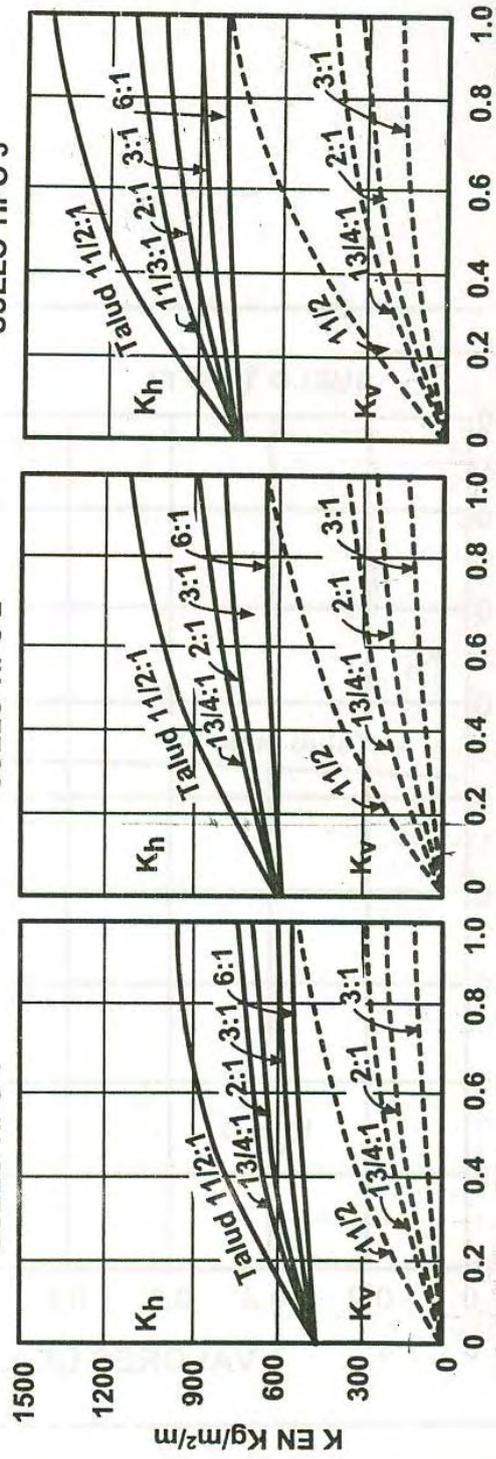




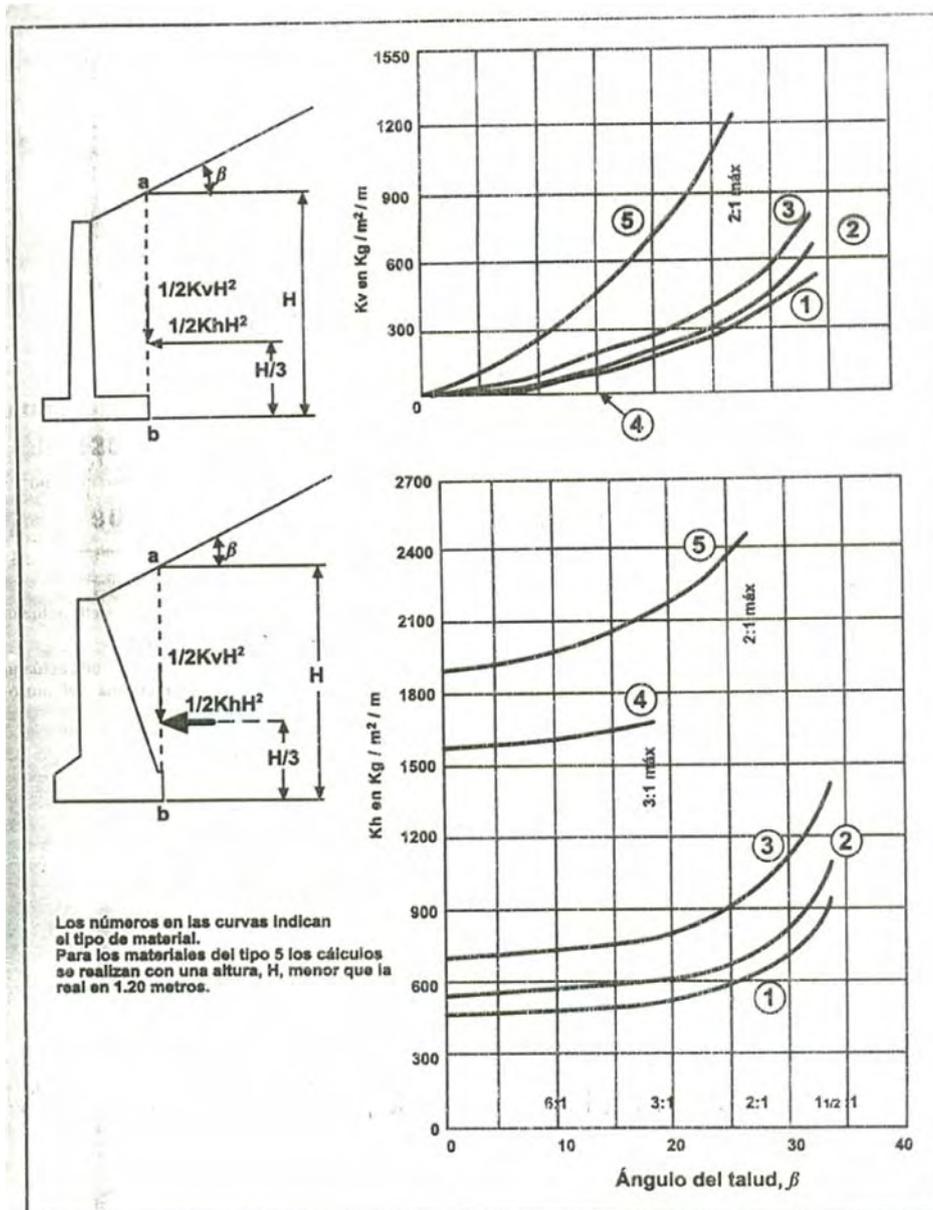
SUELO TIPO 1

SUELO TIPO 2

SUELO TIPO 3



Valores de la relación  $H_1/H$



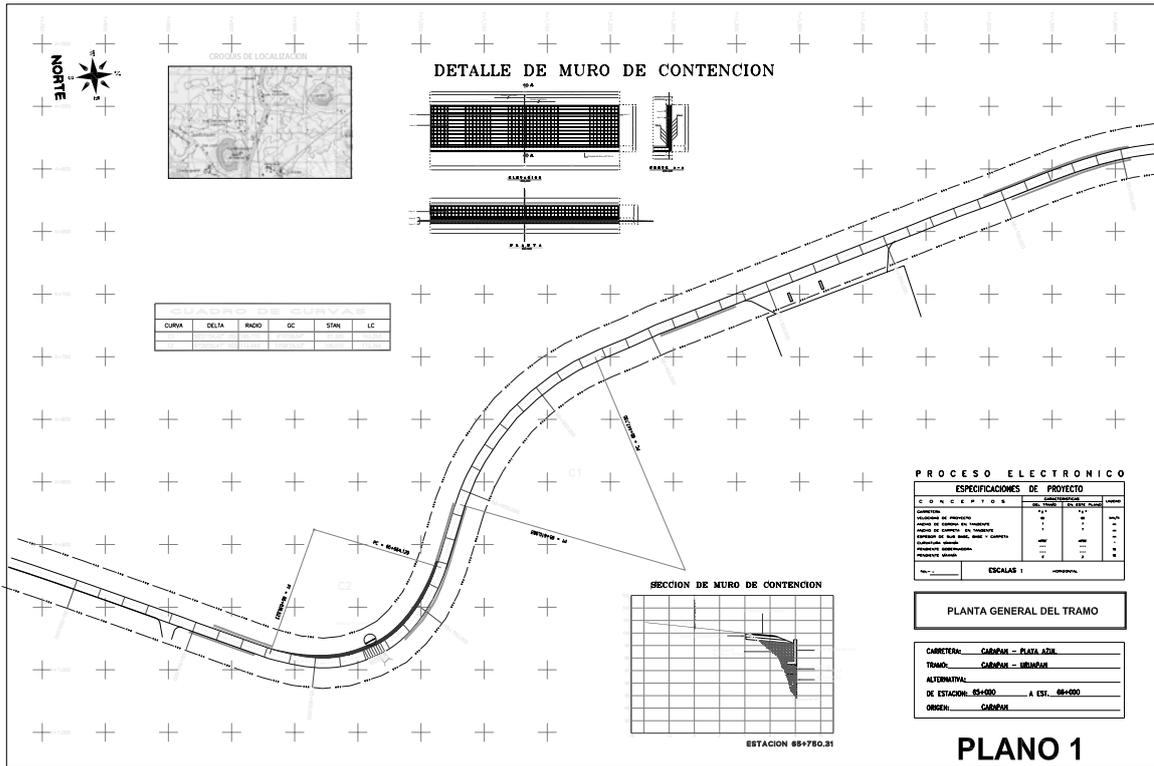
## Método semiempírico de Terzaghi

### Tipos de material de relleno

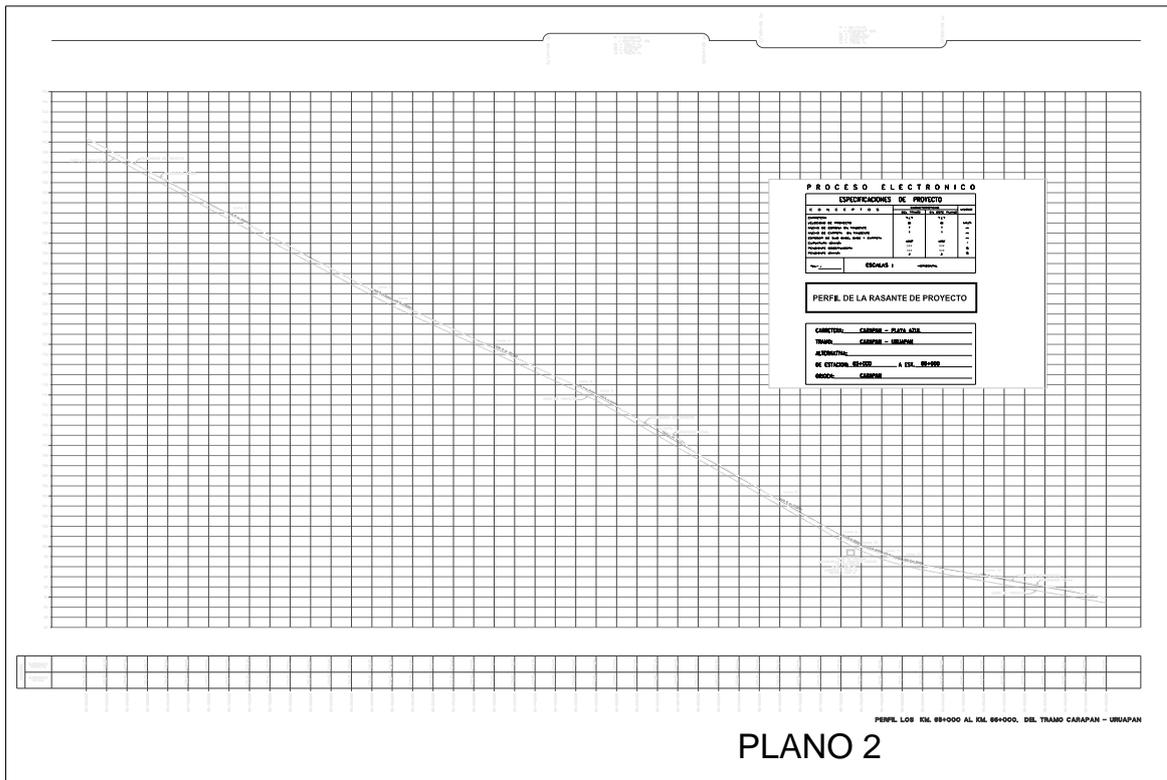
- I. Suelo granular grueso sin finos.
- II. Suelo granular grueso, con finos limosos.
- III. Suelo residual, con cantos, bloques de piedra, gravas, arenas finas y finos arcillosos en cantidades apreciables.
- IV. Arcillas plásticas blandas, limos orgánicos o arcillas mosas.
- V. Fragmentos de arcilla dura o medianamente dura, protegidos de modo que el agua proveniente de cualquier fuente no penetra entre los fragmentos.

### Geometría del relleno y condición de cargas

1. La superficie del relleno es plana, inclinada o no y sin sobrecarga alguna.
2. La superficie del relleno es inclinada a partir de la corona del muro, hasta un cierto nivel, en el cual se torna horizontal.
3. La superficie del relleno es plana y sobre ella actúa una sobrecarga uniformemente repartida.
4. La superficie del relleno es plana y sobre ella actúa una sobrecarga lineal paralela a la corona del muro y uniformemente repartida.

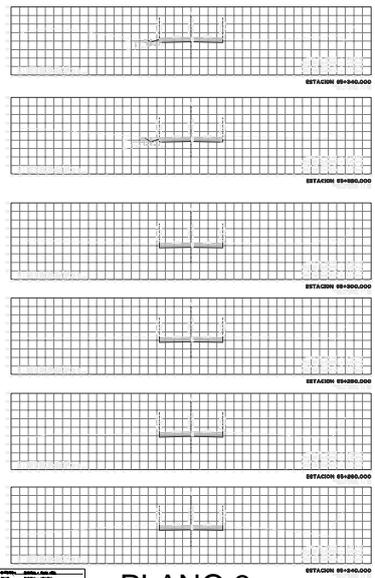
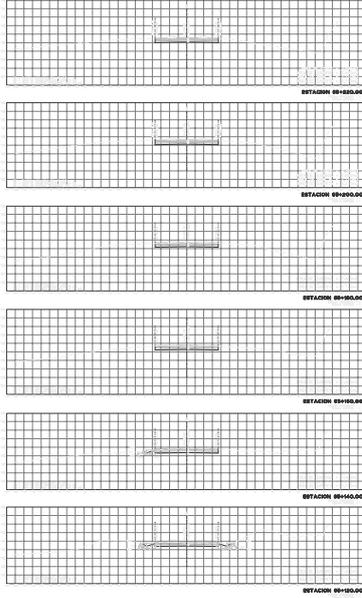
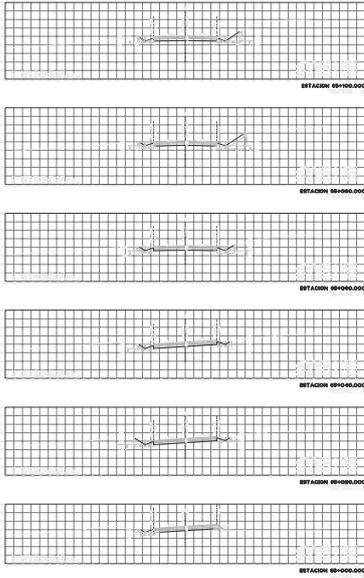


**PLANO 1**



**PLANO 2**

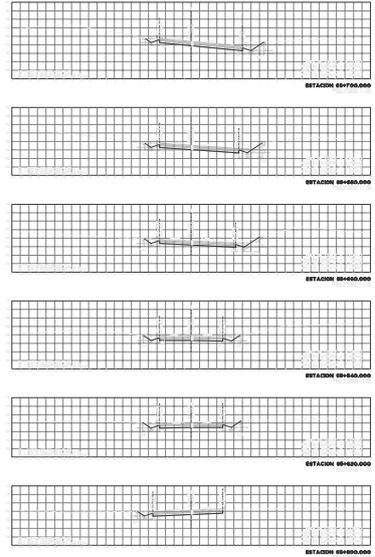
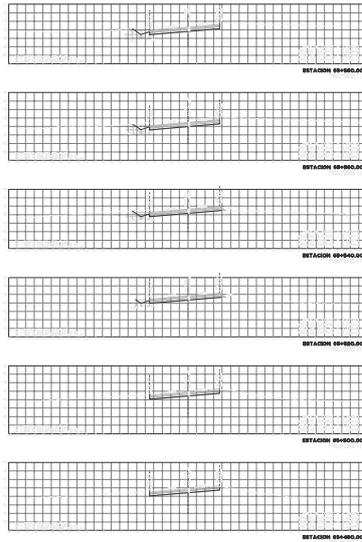
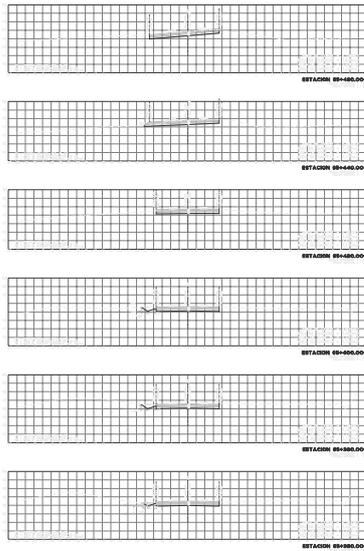
SECCIONES DEL TRAMO



PROYECTO	...
FECHA	...
ESCALA	...
...	...

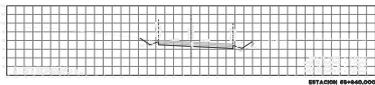
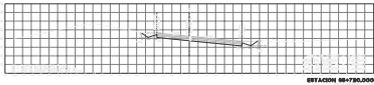
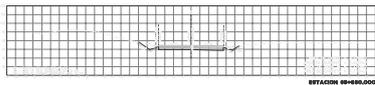
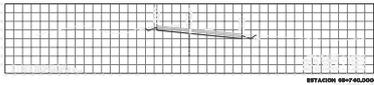
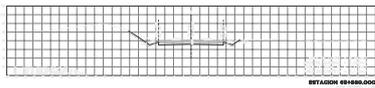
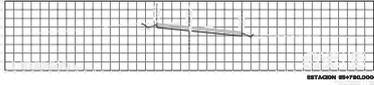
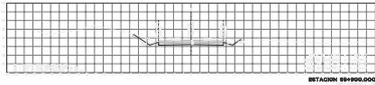
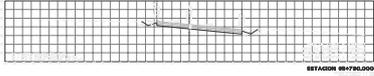
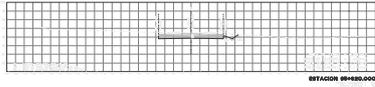
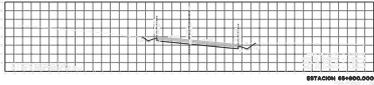
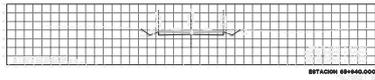
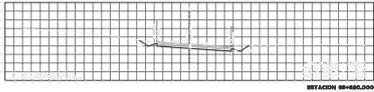
PLANO 3

SECCIONES DEL TRAMO

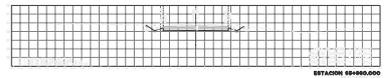
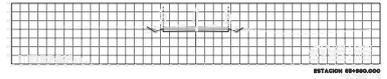


PROYECTO	...
FECHA	...
ESCALA	...
...	...

PLANO 4



SECCIONES DEL TRAMO	
CARRETERA:	CARIPAK - BUVA LINA
TRAMO:	CARIPAK - BUVA LINA
ALTERNATIVA:	
DE ESTACION 69+000	A EST. 69+500
UNIDAD:	CM/DM



PLANO 5