

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

Incorporación No. 8727- 15

A la Universidad Nacional Autónoma de México

**Escuela de Ingeniería Civil**

## **REVISIÓN DE OBRAS DE DRENAJE DEL TRAMO 7+000 AL 8+500 DE LA CARRETERA CAURIO DE GUADALUPE – PURÉPERO.**

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

presenta:

**Pedro Hernández Medina.**

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 superación, es importante para el ser humano, no es fácil obtenerla pero si se tiene el espíritu de lucha se puede lograr el objetivo y al final la recompensa es la satisfacción generada para toda la vida.

Mí agradecimiento principal es para mi Dios padre Jesucristo, que me ha dado la vida y a mi familia la fortuna de ver este gran logro que culmino con la presente tesis. De igual manera estoy agradecido con la Virgen de Guadalupe y con el Padre Javier, que nunca me han dejado solo en los momentos más críticos de mí vida.

De mis padres he obtenido el apoyo incondicional y se merecen el más grande respeto que les tengo, así como agradecimiento que les ofrezco, ya que sin ellos el triunfo que estoy obteniendo se vería más complicado. Les doy gracias por esos consejos y palabras alentadoras que en mi vida siempre fueron una ayuda en momentos de desesperación y angustia. De igual manera, de mis hermanos he tenido el apoyo constante para que yo terminara la carrera de ingeniería civil, “gracias compadre en donde se encuentre”.

Las familias, Medina y Hernández, han jugado un papel muy importante para que culminara mi carrera y lograr llegar a la meta que me propuse, especialmente a mis abuelos que fueron mis segundos padres y que siempre estuvieron apoyándome durante mis estudios. A todos los amigos les doy las gracias por lo que me ayudaron y por el tiempo que me brindaron. De igual manera estoy agradecido con la familia Díaz por su amistad y apoyo que me han ofrecido.

Esta tesis se la dedico a todos lo que creyeron en mí y que tuvieron la certeza de que culminaría los estudios y que nunca dudaron del esfuerzo que se realizó, aún cuando existieron tropezones y obstáculos durante el camino. De igual manera la tesis es dedicada a todos los estudiantes de ingeniería civil que luchan por terminar sus estudios, esperando que la presente tesis pueda servirles de consulta.

A los maestros y asesores que siempre ayudaron a que los conocimientos fueran de provecho para mí beneficio, les agradezco sinceramente y les doy las más cordiales felicitaciones por ser buenos exponentes del conocimiento. El director de ingeniería civil del Don Vasco de Uruapan, Michoacán, se ganó mi respeto, no sólo por ser el director de ingeniería civil, sino por la gran persona que es el señor Anastasio Blanco S.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
Antecedentes	1
Planteamiento del problema	3
Objetivos	4
Pregunta de investigación	5
Justificación	6
Delimitación	7
Marco de referencia	8
<b>CAPÍTULO 1. VÍAS TERRESTRES</b>	
1.1 Antecedentes de los caminos	9
1.2 Inventario de caminos	11
1.3 Elementos de ingeniería de tránsito usados para el proyecto	13
1.3.1 El usuario	16
1.3.2 El vehículo	17
1.3.3 El camino	21
1.4 Velocidad	23
1.5 Volumen de tránsito	26
1.6 Densidad de tránsito	28
1.7 Derecho de vía	28
1.8 Capacidad y nivel de servicio	30
1.9 Distancia de visibilidad de rebase	31
1.10.- Mecánica de suelos	32
1.10.1.- Origen y formación del suelo	32

1.10.2.- Relación de las propiedades volumétricas y gravimétricas	33
1.10.3 Granulometría en suelos	35
1.10.3.1 Sistema de clasificación de suelos basados en criterios de granulometría	35
1.10.4 Plasticidad	37
1.10.4.1 Límites de plasticidad	37
1.10.5 Fenómeno de consolidación en suelos	38
1.10.6 Sistema unificado de clasificación de suelos	38
1.10.7 Compactación de los suelos	44
CAPÍTULO 2. DRENAJE	
2.1. Reseña histórica de drenaje	46
2.2. Objetivos de un funcional sistema de drenaje	47
2.3 Hidrología	48
2.4 Ciclo hidrológico	48
2.5 Cuenca Hidrológica	50
2.5.1 Características de la cuenca hidrológica	51
2.5.2 Área de la cuenca	51
2.5.3 Pendiente de la cuenca	51
2.5.3.1 Criterio de Alvord	51
2.5.3.2 Criterio de Horton	53
2.5.3.3 Criterio de Nash	54
2.5.4 Cuenca principal	55
2.5.4.1 Orden de corrientes	55
2.5.4.2 Densidad de drenaje	56

2.5.4.3 Pendiente del cauce	56
2.5.5 Precipitación	57
2.5.6 Dispositivos para realizar la medición de la precipitación	58
2.5.7 Escurrimiento y su clasificación	58
2.5.8 Aforo	60
2.6 Obras de drenaje en los caminos	60
2.6.1 Drenaje superficial	61
2.6.2 Cunetas	61
2.6.3 Contracunetas	64
2.6.4 Bombeo del camino	65
2.6.5 Lavaderos o vertedores	65
2.6.6 Obras de cruce	65
2.6.7 Calculo del área hidráulica de las alcantarillas	67
2.6.8 Pendiente de la alcantarilla	72
2.6.9 Diversidad de alcantarillas	72
2.6.10 Distancia de las alcantarillas	73
2.6.11 Cabezales	74
2.6.12 Vados	74
2.6.13 Puentes vados	74
2.7 Puentes	75
2.7.1 Reseña histórica de los puentes	75
2.7.2 Principales componentes de un puente	76
2.7.3 Estudios para la proyección de puentes	76
2.7.4 Pilas de los puentes	77
2.7.5 Estribos de pilas	78

2.8 Drenaje subterráneo	79	
2.8.1 Zanjas	79	
2.8.2 Drenes ciegos	79	
2.8.3 Drenes de tubo	80	
CAPÍTULO 3. RESUMEN EJECUTIVO DE MACRO Y MICRO		
LOCALIZACIÓN		
3.1. Generalidades	81	
3.2 Resumen ejecutivo	81	
3.3 Entorno geográfico	83	
3.4 Informe fotográfico	86	
3.5 Estudios de tránsito	89	
3.6 Alternativas de solución	90	
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA		
4.1 Método empleado	92	
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	95	
4.5 Descripción del proceso de investigación	96	
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		5.1
Obtención del área y la pendiente de la cuenca	97	
5.2 Revisión de las cunetas	99	
5.3 Calculo de las alcantarillas	104	
5.3.1 Revisión de la sección	104	
5.3.2 Calculo de la losa de la alcantarilla	106	

5.3.3 Calculo de los muros de contención	112
5.3.4 Calculo de los aleros	117
5.3.5 Bombeo	122
5.3.6 Lavaderos y bordillos	123
5.4 Análisis de resultados	126
<b>CONCLUSIÓN</b>	128
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	131
<b>ANEXOS</b>	

## RESUMEN

La presente tesis que se titula, revisión de obras de drenaje del tramo 7+000 al 8+500 de la carretera Caurio de Guadalupe- purépero, sobre la cual se hizo la revisión de las obras de drenaje que se tienen realmente en el tramo ya mencionado. Para lo cual fue necesario retomar temas como se hizo en el Capítulo 1, que trata sobre las vías terrestres, desde los antecedentes hasta los temas que conforman y son parte de las mismas. Ya en el Capítulo 2, se hizo mención a las diferentes estructuras que conforman al tema de este capítulo que es el drenaje. Estructuras como las cunetas, contracunetas, alcantarillas, lavaderos y los puentes, entre otros. Para poder realizar la revisión del tramo que se estudio fue necesario conocer características tanto topográficas como geográficas, por lo tanto en el Capítulo 3 se menciona dichas características y las condiciones en las que se encuentra el tramo carretero. El Capítulo 4 se refiere a la metodología que se empleo, de lo cual se puede deducir que se utilizo el método matemático cuantitativo y se apoyo en el método analítico, contando con una investigación no experimental; se obtuvieron resultados reales que se muestran en el Capítulo 5, dichos resultados cumplen con lo requerido por las normas de la SCT, con los resultados se puede observar que las obras de drenaje se diseñaron y realizaron de manera adecuada.

La presente tesis beneficiara directamente a los usuarios, ya que tendrán la seguridad de que el tramo donde transitaran se encuentra en buenas condiciones debido a la buena conservación. Los alumnos de ingeniería civil, podrán consultar temas relacionados con el drenaje en carreteras y la importancia que tienen las obras de drenaje para una buena conservación.

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes.**

Los caminos han evolucionado conforme a las necesidades del ser humano. La historia de los caminos comienza cuando los seres humanos tenían la necesidad de trazar rutas para trasladarse de un punto a otro o incluso para acortar distancias. Posteriormente se revistieron los caminos cuando el ser humano tuvo la necesidad de trasladarse más rápidamente. En conclusión, las vías en las cuales el ser humano se pueda transportar de manera terrestre, tendrán cambios o modificaciones de acuerdo al sistema de transporte y la necesidad del hombre, ya sea para mover sus mercancías o para transporte de él mismo.

Es de vital importancia mantener las vías de comunicación en buen estado y la manera apropiada es que tengan un sistema de drenaje óptimo, esto para evitar el reblandecimiento en la estructura del pavimento y, por consiguiente, baches sobre la superficie, por lo cual el deterioro que se tendrá impactará negativamente en la vida útil del pavimento.

Una pequeña reseña que cabe mencionar con respecto a este tema se encontró en la página electrónica [www.culturaclasica.com](http://www.culturaclasica.com), en el artículo que tiene como encabezado “Caminos con 2,000 años de historia”, según el Ing. Isaac Moreno, las vías romanas son excelentes carreteras y muy buenas obras de ingeniería. Lo dicho por el Ing. Moreno lo respaldan todas las investigaciones y estudios que ha realizado durante años posteriores. Estos caminos tienen un sistema de drenaje adecuado, siendo esta la razón principal del buen estado dichas obras de ingeniería. Los caminos de los romanos con

las vías de comunicación de la actualidad tienen en común varios factores uno de ellos es el sistema de drenaje y un que hace tiempo la construcción de las obras de drenaje, diferencian con la manera y forma de construcción, al final tienen la misma función, que es el de evacuar el agua del área de rodamiento.

## **Planteamiento del problema.**

En la presente investigación se analizarán o estudiarán las obras de drenaje actuales en el tramo carretero que comprende del Km. 7+000 – 8+500 correspondiente a la carretera, Caurio de Guadalupe – Purépero, a su vez se logrará realizar una comparación con las obras de drenaje ya existentes en el tramo mencionado.

Un factor muy importante para determinar el diseño de las estructuras de drenaje, es el tipo de vehículos que transitan sobre la vía que comprende el tramo en estudio.

La precipitación pluvial, los arrastres superficiales e incluso las filtraciones que puede encontrarse en el subsuelo son de vital importancia. Ya que en zonas donde se acumula esta cantidad de agua, es el lugar donde se ubicaría las obras de drenaje, con su respectivo dimensionamiento.

Por lo tanto, en la presente investigación se realizará un análisis detallado de las obras de drenaje existentes del tramo en estudio. Con dicho análisis se podrá conocer si en realidad son o no adecuadas dichas obras, para el buen funcionamiento que se requiere. Una vez terminada esta investigación se podrá dar una recomendación o incluso una solución en caso de que se requiera o se solicite.

## **Objetivos.**

En seguida se observan los objetivos que profundizan esta investigación, por lo que es necesario subdividir los objetivos, en un objetivo general y los particulares.

### **Objetivo general:**

Realizar una revisión visual y de cálculos, para determinar si las obras de drenaje reales son las adecuadas y necesarias para el tramo del kilómetro 6+740 al 8+740 de la carretera Caurio de Guadalupe - Purépero, o si, dicho tramo es susceptible de un diseño más óptimo.

### **Objetivos particulares:**

- a) con la presente investigación se definirá que es una vía terrestre, así como los principios fundamentales que conforman las vías terrestres.
- b) El investigador realizará breves descripciones de los principales puntos que definen a un sistema de drenaje, además de analizar concientemente el procedimiento de los cálculos desde su descripción y el análisis numérico del proyecto de tesis en curso.
- c) Con el motivo de analizar las condiciones topográficas del tramo en estudio, el investigador se propone demostrar realmente en que condiciones actuales se encuentran los sistemas de drenaje existentes, así como definir si son o no los adecuados.

### **Pregunta de investigación.**

La presente investigación pretende responder la siguiente pregunta de investigación:

¿El sistema de drenaje real del kilómetro 7+000 al 8+500 de la carretera Caurio de Guadalupe – Purépero, es el adecuado a dicho tramo?

## **Justificación.**

La presente investigación pretende dar a conocer tanto a los usuarios que son los beneficiados directamente, así como las personas que se interesen en esta investigación para realizar cambios o modificaciones en caso de ser requerido, al sistema de drenaje que existe en el tramo en estudio.

Los usuarios que transitan por esta carretera, la cual es Tipo "C", podrán tener la certeza de saber que por donde viajan es un lugar seguro en condiciones climatológicas extremas, ya que es un lugar donde la lluvia es de moderada a alta, debido al tipo de vegetación y su clima montañoso.

Para las personas que radican en la zona de estudio, es un beneficio directo ya que es un camino por el cual se transportan los usuarios diariamente a los trabajos de la industria ubicados en Purépero Michoacán, además los usuarios hacen uso de dicho camino para transportar mercancías, alimentos y servicios de salud, e incluso productos del campo que se producen en la zona, por tales motivos es conveniente tener la carretera en buen estado durante todo el año. Otro motivo que se considera importante, es que las personas aledañas al tramo en estudio se puedan trasladar, para recibir algún servicio público o de salud, sin contratiempos por mal estado de esta vía terrestre o un mal funcionamiento de la misma.

También todos los estudiantes y futuros colegas ingenieros que lean esta investigación se les podrán proporcionar datos importantes para comprender incluso solucionar un problema semejante, sólo tomando en cuenta que las características del terreno y la zona donde se ubica podrían cambiar o ser diferentes al tramo que se estudió en la presente investigación.

## **Delimitación.**

Para la presente investigación es importante definir qué tipo de estudio se realizará durante el transcurso de la misma, así como la localización geográfica del tramo incluso la fecha en que se realiza la investigación. Por lo que es importante realizar una limitación de estos aspectos.

El estudio que se realizó con esta investigación tratará exclusivamente de las obras de drenaje y su función de drenar sólo el agua superficial.

Las obras de drenaje que se estudiaron se encuentran dentro del tramo 7+000 – 8+500 de la carretera Caurio de Guadalupe – Purépero.

Con la realización de la presente investigación, se revisaron y analizaron las obras existentes del tramo en estudio, para poder concluir si son o no aptas las instalaciones que se encuentran físicamente, e incluso se darán a conocer las observaciones en caso de que así lo requiera el proyecto.

## **Marco de referencia.**

El proyecto, motivo de la presente investigación, se ubica entre las poblaciones que llevan por nombre, Purépero que es cabecera municipal y Caurio de Guadalupe, municipio de Villa Jiménez. Los nativos de los poblados tanto de Purépero y Caurio de Guadalupe, la principal actividad económica se debe a la industria, ya que Purépero cuenta con varias industrias de alimentos y de artículos para el ser humano. La agricultura se hace notar muy poco ya que son lugares de zonas muy accidentadas y con pocos valles para el cultivo. Los productos del campo que se cultivan en la zona son principalmente, el Maíz, repollo, tomate de hoja, frijol, alfalfa, avena, janamargo y trigo. Aunque ya existe cierta presencia de huertas de aguacate. Con esta carretera, claro en buenas condiciones, los beneficiados son todos los habitantes de las dos poblaciones, por el motivo de que se pueda llevar ciertos servicios que son indispensables para las comunidades pequeñas como es caso particular de Caurio de Guadalupe. Servicios como lo son, educación, salud, alimentación y servicios secundarios (transporte, comunicación y transporte de mercancías).

# CAPÍTULO 1

## VÍAS TERRESTRES.

En el presente capítulo se abordará el tema de vías terrestres y todos los factores que intervienen sobre el tema, desde su historia hasta los puntos principales que intervienen en la actualidad y que son fundamentales para el buen funcionamiento de las vías terrestres.

### 1.1 Antecedentes de los caminos.

Con respecto a lo que menciona Mier (1987), los caminos comenzaron a existir cuando el hombre se hizo sedentario. Gracias a la agricultura dejaron de ser nómadas y comenzaron a establecerse en un solo lugar, por lo tanto creció la necesidad de trazar caminos para poder trasladarse de un lugar a otro y acortar las distancias.

Con el invento de la rueda en Asia menor hace algunos 5,000 años, el hombre se enfrentaba a la problemática la cual era una superficie de rodamiento para las carretas que existían en esa época y que se han descubierto como joyas arqueológicas.

Los egipcios y los asirios tenían diversas rutas marcadas y un buen desarrollo en sus caminos. Sobre el Mediterráneo se construyó una ruta la cual era un camino de piedra, esta fue una buena idea ya que los Romanos posteriormente la adoptaron. Así como fue el crecimiento del imperio Romano, igualmente se desarrollaron sus caminos ya que contaban con muy buenos ingenieros de guerra, estas personas trataron sus caminos de manera científica y estratégica, de manera que vencieron grandes obstáculos para tener una

buena red de caminos, que acortaban distancias de manera que el tiempo recorrido era menor por el tipo de estructura de sus caminos que eran contruidos de piedra.

La historia de los caminos en México comenzó a existir antes de la llegada de los españoles. Las mejores calzadas de piedra y las rutas trazadas como caminos las tenían los aztecas y los mayas, esto se debió a las actividades comerciales, religiosas y bélicas que establecieron estas culturas. Posteriormente con la llegada de los españoles trajeron consigo animales de carga y tiro, para jalar carretas que facilitaban el traslado de sus víveres y pertenencias. Los caminos existentes los utilizaron para la conquista de Cortez.

Con la colonización de la Nueva España se les dio conservación a los caminos existentes y se trazaron nuevas rutas, ya que se tenía la necesidad de transportar todos los productos que México producía de manera rápida y segura a los diferentes puertos marítimos y así trasladar todo a España.

Con la guerra de independencia se frenó el crecimiento de los caminos, posteriormente se concretaron leyes que fomentaban el desarrollo y la conservación de las vías terrestres. La industria fue fundamental para la creación de nuevos caminos y la conservación de los mismos. En 1853 se creó la Secretaría de Fomento, la cual implementó el impuesto al peaje, con el objeto de obtener presupuesto para conservar y construir nuevas vías terrestres.

Catorce años después el Presidente Benito Juárez, cambio el impuesto del peaje por el impuesto dedicado a la conservación de caminos. Posteriormente la revolución mexicana trajo consigo un estancamiento en el país, por lo tanto no se tenía Ningún interés de carácter constructivo.

Con la aparición del automóvil en México se alcanzó un gran avance en el desarrollo de las vías terrestres ya que se iniciaron la construcción de carreteras. Los caminos se adaptaron a las necesidades de los vehículos de esa época ya que se tendrían que alcanzar velocidades nunca antes vistas durante años anteriores.

Los caminos se quedaron obsoletos después de la revolución Mexicana, por el motivo de que el automóvil tubo mejoras durante los años de conflicto en México. Por lo que los gobernantes tomaron la decisión de poner un impuesto a la gasolina y con esto obtener el presupuesto para mejorar y proyectar nuevas rutas. Posteriormente en el año de 1932, se decidió crear la secretaria de comunicaciones y obras públicas. Por consiguiente la secretaria de comunicaciones y obras públicas se dividen en dos: la secretaria de obras públicas y la secretaria de comunicaciones y transportes. Esta última atiende los asuntos que tienen que ver con los caminos hasta el año 1982.

## **1.2 Inventario de caminos.**

Partiendo de lo dicho por Mier (1987), el inventario de caminos se puede realizara de dos maneras: la primera, es seguir leyendo el odómetro del carro y anotando manualmente las observaciones que se encuentren sobre el tramo recorrido. Hablando del segundo método, tiene la desventaja de ser muy lento

y antieconómico, pero además es preciso por que realiza el trabajo por medio de aparatos topográficos.

En cambio el método odografo-giroscopo-barométrico es el más eficiente debido a que combina la rapidez y la precisión, además de tener la ventaja de ser económico.

Los datos necesarios para la obtención del inventario que se consideran los mas importantes son los siguientes: planta del camino, perfil, configuración del terreno, características de las superficies de rodamiento, alineamiento horizontal y vertical, visibilidad, obras de drenaje, características de la población por donde pasa el camino, entre otros.

Para poder realizar el inventario de caminos, se tiene que disponer de un vehículo tipo guayín en el que se instala una serie de aparatos como los son el odógrafo el sistema de orientación y la grabadora magnética. Con la ayuda de una computadora, se pasan todos los datos recaudados en el campo para realizar la transcripción y tabulación de los mismos con sus respectivos cálculos.

Una de las diferentes aplicaciones que tiene el inventario de caminos es la de saber la capacidad que se tiene en una red de caminos. La capacidad comprende tanto las características geométricas del camino, como las características del tránsito que circula sobre el camino. En cuanto a las características geométricas se definen por la sección transversal que a su vez influyen en el ancho del carril, distancias de obstáculos laterales, ancho y estado de los acotamientos, alineamiento horizontal y vertical y la distancia de visibilidad de rebase.

El inventario de camino se puede realizar por tramos, a si mismo se realiza la estimación correspondiente de cada tramo, esto para hacerle mejoras oportunas al camino o al tramo que lo requiera. Si la estimación se realiza a su debido tiempo se evitara congestionamiento, funcionamiento defectuoso que es causa de accidentes viales. Señalar las obras necesarias para su reconstrucción, conservación y construcción, son parte de otra importante aplicación del inventario de caminos. Por otra parte, Los itinerarios de caminos, datos de las poblaciones por las que pasa el camino, datos sobre el número y el estado de las obras de drenaje y el estado superficial del camino son otras importantes aplicaciones y usos que tiene el inventario de caminos.

Es importante mantener al día los cambios que se realicen posteriormente a la realización del inventario de camino, específicamente de algún tramo que requiera modificaciones. Ya que si se tiene información por parte de las dependencias correspondientes, únicamente se realizarán revisiones periódicas del estado real a los tramos que se modificaron en fechas posteriores a la realización del inventario de caminos.

### **1.3 Elementos de ingeniería de tránsito usados para el proyecto.**

De acuerdo con Mier (1987), la ingeniería de tránsito se dedica a al estudio del movimiento de personas y vehículos en las calles y los caminos con el propósito de que sean confiables en cuanto a la seguridad de circular por ellos, además de ser libres y rápidos para un mejor funcionamiento de las vialidades. Existen varios problemas de tránsito los cuales no permiten que los objetivos de la ingeniería ya mencionados se lleven a cabo como lo son, los caminos actuales que son el mejoramiento de rutas que ya existían y por lo

tanto en la actualidad no son los adecuados para el tipo de vehículo que existe en la actualidad, debido a que el vehículo se encuentra en distintos cambios conforme pasan los años, esto hace que cambien las necesidades de los caminos. En las ciudades de la actualidad, se encuentran trazadas en cuadrícula rectangulares, como lo hacían las antiguas civilizaciones, esto trae como consecuencia, accidentes viales, tráfico en las calles, convirtiéndose así en un problema mas de tránsito situado en la actualidad. Los factores importantes que intervienen en este tipo de problemática son los siguientes: la diversidad de vehículos que circulan en un mismo camino, esta diversidad son: automóviles, camiones, bicicletas, vehículos de tracción animal entre otros. Siguiendo con la lista de factores que intervienen, se puede mencionar, las vías inadecuadas como los son: proyectos urbanos con trazos anticuados y que deberían estar actualizados para las diversas condiciones que se requieren en la actualidad. Entre estos trazos inadecuados se hace mención de algunos como lo son: calles y caminos angostos, así como caminos torcidos o con pendientes muy fuertes. La falta de planificación en el tránsito y la falta de educación vial, junto con la ausencia de leyes de tránsito que se apeguen a las necesidades de los usuarios, son factores que influyen en los problemas de tránsito.

La solución es diversa para los problemas que se citaron con anterioridad. La primera solución, es la solución integral que consiste en diseñar nuevos caminos que se apeguen a las condiciones del vehículo que se encuentre en la actualidad y en cuanto a las ciudades, hacer nuevos trazos que calles que permitan la circulación de los vehículos libremente. Es imposible que

se implemente esta solución de inmediato, afortunadamente en proyectos nuevos de urbanismo ya se está implementando nuevas medidas de planificación y mejoramiento vial.

La solución parcial de alto costo es la siguiente opción que consiste en sacarle provecho de lo que ya se tiene y así hacer un mejoramiento de las vialidades. Como por ejemplo hacer más anchas las calles o caminos angostos, construcción de intersecciones, mayor cantidad de estacionamientos públicos y privados, además el control automático del tránsito a través de semaforización. Y por último se dará una solución parcial de bajo costo, que es mejoramiento de problemas de tránsito sin que exista demasiada inversión para la construcción de obras materiales. Esta solución se enfoca más en las leyes y los reglamentos para las vialidades que se tienen, además de realizar campañas de educación vial. O incluso hacer cambios en la circulación de las calles para que sean de un solo sentido.

Los elementos de tránsito se encuentran de tres maneras distintas, pero incluso puede existir una relación entre los tres mutuamente. Los elementos de tránsito son: el usuario, el vehículo y el camino.

### **1.3.1 El usuario.**

En cuanto al usuario se encuentra de dos maneras diferentes en las calles donde hay circulación por parte de vehículos y tránsito peatonal. por lo tanto se tiene al usuario en una calle o vía de comunicación como peatón y como conductor. Por lo que se tiene que analizar por separado a los dos tipos de usuarios.

El peatón tiene la característica de moverse rápidamente cuando ve venir un automóvil o cualquier tipo de vehiculo que atente contra su seguridad, no siempre el peatón puede esquivar los objetos motorizados, he incluso los accidentes donde el peatón sale mas perjudicado es por la falta de movimiento, distracción o por no saber distinguir los diferentes tipos de velocidades que puede alcanzar, los diferentes tipos de vehículos. Estadísticamente el 80% de las peatones atropellados no saben conducir, por lo que se puede concluir que el que los peatones aun no se han relacionado con la era motorizada. El peatón por donde tiene que transitar es por un lugar destinado para ellos que se llama banqueta, la cual tiene que tener las medidas adecuadas para que el tránsito del peatón se rápido y seguro. En lugares donde el peatón tenga la necesidad de cruzar una calle o avenida, será por lugares donde se pueda cruzar libremente en un determinado tiempo con seguridad. Estos lugares de los cuales se habla, son donde hay semaforización, puentes peatonales o cruces en esquinas donde el vehículo no alcance grandes velocidades.

El conductor tiene la característica de tener el control del movimiento del vehículo, claro que el conductor puede ser y no responsable del buen manejo de su vehículo. La responsabilidad es la parte fundamental que el conductor debe tomar en cuenta por lo que el conductor debe saber controlar velocidades el freno y el acelerador. La velocidad con la que es conducido un vehículo, define la seguridad o el riesgo de tener un accidente, cuando la velocidad es muy alta el conductor no tendrá una reacción adecuada para poder controlar el vehículo en caso de un obstáculo en su trayectoria, si además se le adhieren problemas del vehículo o una mala calidad de la superficie de rodamiento he incluso un problema que es muy fundamental que es la visibilidad que debe tener el conductor. Si la visibilidad puede ser afectada por falta de percepción del ojo del conductor, por cuestiones climatológicas o por una mala planeación, proyección y construcción de la vía terrestre. Retomando lo dicho por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (1974), el ojo del conductor tiene que distinguir los colores y la profundidad de percepción, esto quiere decir que el conductor puede visar objetos que se encuentren adelante, notar los movimientos que se encuentran a un lado donde viaja, en la noche el conductor puede ver el camino con poca luz y con poco deslumbramiento, además poder distinguir y ver con claridad señales en el camino como semáforos luces y anuncios preventivos.

### **1.3.2 El vehículo.**

De conformidad con Mier (1987), el vehículo en los últimos tiempos a tenido un enorme desarrollo, sobre todo en los países con mas adelanto tecnológico. Un desarrollo que ha tenido en los años el automóvil es la potencia la cual se ha incrementado de tal manera que se supera la velocidad

establecida por tránsito y por la permitida por algunos caminos actuales. Y aunque en los caminos se han permitido mayores velocidades y incremento de carga en los vehículos de carga y ligeros a un siguen siendo inadecuados algunos caminos por el motivo de que no se proyectaron para tal finalidad. Tomando en cuenta lo dicho por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (1974), los vehículos especializados que no son muy recurrentes en las carreteras como lo son carros deportivos, bicicletas, maquinaria agrícola, motocicletas, vehículos de tracción animal camiones y remolques especiales para el transporte de troncos, minerales y otros productos voluminosos. Es necesario contar con proyectos de vías de comunicación de uso especializado que alojen esté tipo de vehículos especiales, este tipo de obras pueden ser como carreteras mineras o madereras, pistas o ciclopistas.

Igualmente la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (1974), especifica que se tiene que tomar en cuenta las características tanto geométricas como las de operación, que son elementos necesarios para el proyecto de una carretera. “las características geométricas están definidas por las dimensiones y el radio de giro. Las características de operación están definidas principalmente por la relación peso/potencia, la cual en combinación con otras características del vehículo y del conductor, determina la capacidad de aceleración, la estabilidad en las curvas y los costos de operación” (Secretaria de Comunicaciones y Transportes; 1974:68). “La forma de nombrar a los vehículos de proyecto depende de la separación en centímetros entre los ejes extremos, así por ejemplo, el vehículo DE-610 tiene una distancia entre los dos ejes extremos de 6.10 metros” (Mier; 1987: 31).

En la siguiente tabla, se puede observar la clasificación que se tiene en México de los vehículos que transitan por diferentes caminos del país.

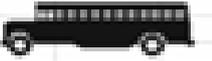
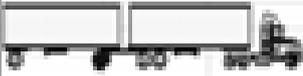
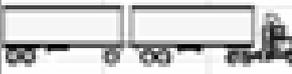
	TIPO A2 AUTOMOVIL
	A3 CAM. LIGERO HASTA 3 TON
	B2 AUTOBUS 2 EJES
	B3 AUTOBUS 3 EJES
	C2 CAMION 2 EJES
	C3 CAMION 3 EJES
	T3-S1 TRACTOR 2 EJES SEMIREMOLQUE
	T3-S2 TRACTOR 2 EJES SEMIREMOLQUE 2 EJES
	T3-S3 TRACTOR 2 EJES SEMIREMOLQUE 2 EJES
	T3-S4 TRACTOR 2 EJES SEMIREMOLQUE 2 EJES
	T3-S2R2 TRACTOR 2 EJES SEMIREM. 2 EJES REMOL. 2 EJES
	T3-S2R3 TRACTOR 2 EJES SEMIREM. 2 EJES REMOL. 3 EJES
	T3-S2R4 TRACTOR 2 EJES SEMIREM. 2 EJES REMOL. 4 EJES

Figura 1.

Clasificación de los diferentes tipos de vehículos

El radio de giro se define como “se define con el radio de la circunferencia trazada por la trayectoria de la rueda delantera externa del vehículo al efectuarse un giro (Mier; 1987:31).

De conformidad con la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (1974) la aceleración se da cuando existe una fuerza tractiva que es la que genera el motor y es superior a la fuerza que se resiste al movimiento del vehículo, y en cambio la desaceleración la fuerza que se opone es superior a la fuerza que genera el motor. Cundo se tiene el equilibrio de las dos fuerzas tanto la generada como la que se opone al movimiento se le llama velocidad de régimen, que es cuando el vehículo se encuentra con una velocidad constante.

Por lo tanto, Mier (1987) hace una clasificación del tipo de vehículos los cuales se describirán de la siguiente manera:

- a) Vehículos ligeros o también clasificados como tipo A, tienen cuatro ruedas y dos ejes. Como por ejemplo, automóvil, camionetas, unidades ligeras de carga.
- b) Vehículos pesados o clasificados también como tipo C, son los camiones de carga. Para los camiones que caen dentro de la categoría B todos los que tengan dos o más ejes y 6 o más llantas como es el caso de los autobuses.

En las carreteras de México existen las proporciones de vehículos que a continuación se mencionará. Comenzando por los vehículos ligeros se tiene que hay un porcentaje de 58% de los cuales el 46%son automóviles y se definen por las letras (Ap), el resto es de 12% que le corresponde las camionetas y se definen como (Ac). En cuanto a los camiones pesados se tiene un 42%, del cual corresponde un 12% a los autobuses y el 30% a los camiones de carga, este ultimo porcentaje se divide en camiones de 2 ejes (C2) con un porcentaje del 22%, mientras que un 4% son camiones de 3

ejes (T2-C3-S1), Así mismo el de 4 ejes (T2-S1) son el 2% y el de 5 ejes (T3-S2 y T2-S1-R2) corresponde al porcentaje del 2%.

### **1.3.3 El camino.**

De acuerdo con lo que establece Mier (1987), el camino es el área de rodamiento por donde circula un vehículo o varios. De manera que se tiene una clasificación de acuerdo a diferentes puntos de vista.

- a) Clasificación de transitabilidad. En esta clasificación se encuentran los caminos que pueden ser transitados todo el tiempo como lo son, el camino pavimentado y el revestido. En cambio el camino que se puede transitar solo en tiempo de secas es el camino de terracerías.
- b) Clasificación que hace la Secretaria de Obras Publicas (SOP) ó la ya actual Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), la cual considera un 50% de vehículos comerciales.



caminos de cooperación tripartita, ya que estos a diferencia son construidos por J.L.C. con fondos iguales de la federación, los estados y los particulares, que al igual son conservados por particulares. Y por último los caminos de cuota. Están constituidos con fondos de caminos y puentes federales de ingresos y obras conexas.

#### **1.4 Velocidad.**

En conformidad con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1974), la velocidad es el factor que determina la calidad de flujo del tránsito por consiguiente esté factor se hace indispensable para cualquier proyecto. Con la excepción de un flujo forzado, se encontrará en una corriente de tránsito, diferentes velocidades a lo largo de camino. Las consecuencias principales por la que se tienen diferentes velocidades en un camino son, la limitación de los conductores, las características de operación del vehículo, la presencia de otros vehículos, las condiciones ambientales, la limitación por parte de los dispositivos de control. Estos factores hacen que cada uno de los vehículos circulen con diferentes velocidades. Por este motivo de diversas velocidades en un camino han conducido a una velocidad representativa o también llamada velocidad media. La velocidad media se puede definir con respecto al tiempo o a la distancia.

En un camino se encuentran diferentes velocidades, de las cuales se hace una breve descripción de velocidades como lo son: la velocidad de punto, marcha, operación, global, proyecto y proyecto ponderada. La velocidad de

proyecto se tomará más énfasis, por ser la velocidad necesaria e indispensable para los cálculos de cualquier proyecto carretero.

- a) Velocidad de punto. Esta velocidad es la que se tiene en un determinado punto, en el cual se toma la velocidad de cierta cantidad de vehículos. Se toma un promedio de una clase establecida de vehículos con sus respectivas velocidades. En este tipo de velocidades influye diferentes características como lo son: el usuario, el vehículo, el camino, el volumen de tránsito, la velocidad permitida, y las condiciones prevalecientes.
- b) Velocidad de marcha. La característica de esta velocidad es la siguiente: las distancias recorridas por un grupo de vehículos determinados, se divide entre la suma de los tiempos que realizaron los vehículos al transitar un tramo en específico. En el caso particular de que los tramos sean cortos se toma la velocidad de punto que para tal estudio será representativa para la de marcha. Si se toman varias velocidades de punto en un tramo, se promedian para obtener al final la velocidad de marcha.
- c) Velocidad de operación. “Es la velocidad real con que transitan los vehículos sobre el camino y es un índice del grado de eficiencia que la carretera proporciona a los usuarios” (Mier; 1987:41). En conformidad con lo que establece la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1974), básicamente, es la velocidad con la que se puede viajar en un determinado camino, tomando en cuenta las condiciones de tránsito y sobre todo condiciones que tienen que ver

con lo atmosférico, además no se tiene que rebasar la velocidad de proyecto en ningún tramo del camino.

d) Velocidad global. Está velocidad es similar a la de marcha, aunque tiene una pequeña modificación en el tiempo. La velocidad global se obtiene sumando todas las distancias de un cierto grupo de vehículos y se divide entre el tiempo de recorrido, aunque aquí se toma el tiempo de las demoras que se tuvo ya sea por tráfico en el camino o por la reducción de velocidades en diferentes tramos donde la velocidad se reduce considerablemente.

e) Velocidad de proyecto. Como se mencionó en la pequeña introducción de este subcapítulo, la velocidad de proyecto es la que rige para determinar los elementos geométricos de un camino, por lo tanto es la velocidad máxima a la que los vehículos pueden circular con seguridad sobre el camino cuando las condiciones atmosféricas son favorables a los conductores. “La selección de la velocidad de proyecto está principalmente influida por la configuración topográfica del terreno, el tipo de camino, los volúmenes de tránsito y el uso de la tierra” (Secretaría de Comunicaciones y Transportes; 1974:106). Por otra parte Mier (1987) comenta que en un proyecto de carretera es conveniente proyectar siempre con la misma velocidad de proyecto para toda la longitud del camino, lo cual no siempre se cumple esta condición ya que el terreno lo impide cuando la topografía del terreno no es uniforme en algunos tramos. En este caso en específico la velocidad no debe cambiar bruscamente, por el contrario tiene que

ser un cambio de velocidad a la cual el conductor pueda ajustar su velocidad gradualmente.

### **1.5 Volumen de tránsito.**

Retomando lo dicho por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (1974), el volumen de tránsito es la cantidad de vehículos que pasan por un tramo de carretera en un lapso de tiempo determinado. Los intervalos que se utilizan son la hora y el día. Para su determinación se utiliza como fuentes de datos que se obtienen en los estudios de origen y destino. El objetivo que tiene el estudio de origen y destino es principalmente de conocer el origen y el final de los viajes. Adicionalmente se puede conocer la magnitud del tránsito a si como productos que se transportan en los viajes.

Sobre el tema Mier (1987) comenta lo siguiente, como los periodos mas usuales es la hora y el día es necesario definir como se relaciona el volumen con estos factores de tiempo.

El volumen promedio diario anual (VPDA) es el volumen que pasa por un punto durante un año y se divide entra 365 días, y no es el apropiado para tomarlo como referencia ya que no marca las variaciones de los meses ni las horas del día.

El volumen máximo horario anual (VMHA) en todo el año es el volumen que se encuentra mas alto. Este tipo de volumen es el que se le acerca mas a las condiciones de operación, sin embargo si se aplica se dan obras muy sobradas.

Para determinar el volumen horario mas apropiado es necesario tabular los resultados en una gráfica. La gráfica arroja un resultado el cual es llamado, volumen horario de proyecto (VHP).

El volumen de tránsito se puede obtener con datos estadísticos o con un conteo del tránsito. El conteo se puede efectuar de manera mecánica o manual. La estrategia de tipo manual o también llamado muestreo, los muestreos manuales son los mas económicos, aun que tiene la desventaja de ser imperfecto ya que hay variaciones durante las estaciones, o con las fechas del año, o incluso donde se localicen obras de una gran importancia. La manera en que se lleva acabo esté conteo es el siguiente: se ubica una estación en un punto estratégico y se realiza el conteo manual de los vehículos que pasan en uno o dos sentidos. El periodo de conteo es corto, la duración es de 5 a 10 días continuos tratando estratégicamente para poder sacar muestras representativas de toda la semana y los días más importantes como lo son los domingos y los lunes.

El conteo mecánico se lleva a cabo por diferentes dispositivos como lo son los contadores neumáticos y contadores electromagnéticos. En cuanto a los contadores neumáticos, es una especie de tubo de goma que es bastante flexible, se une uno de los extremos y el otro se conecta a un contador electrónico. Este dispositivo se coloca transversalmente en la carretera, específicamente donde se quiere conocer el volumen del tránsito. El funcionamiento de este dispositivo se da cuando los neumáticos tocan el dispositivo, esté através de unas membranas internas le trasmiten al contador electrónico. La desventaja de este dispositivo se da cruzar dos vehículos al mismo tiempo, ya que se registrara uno sólo. Otra desventaja que tiene es que

no clasifica los diferentes tipos de vehículos, sólo realiza el conteo de ejes sin importar de qué tipo de vehículo se trate. Los contadores magnéticos se colocan dentro del pavimento este dispositivo se encuentra constituido por un circuito bifilar, por el cual se encuentran una serie de hilos, uno de ellos tiene corriente eléctrica de alta frecuencia lo cual provoca a los demás hilos una corriente inducida y funciona cuando el peso de los vehículos provoca un cambio en la corriente y se dirige hacia un registro que recoge la lectura.

### **1.6 Densidad de tránsito.**

“Densidad de tránsito, es el número de vehículos que se encuentra en una cierta longitud de camino en un instante dado” (Secretaría de Comunicaciones y Transportes; 1974:97).

Por su parte, Mier (1987) reafirma que no se tiene que confundir la densidad de tránsito con el volumen de tránsito ya que son muy distintos factores. Como ya se sabe por lo descrito anteriormente el volumen de tránsito es la cantidad de vehículos en un tramo determinado en un tiempo. Y la densidad de tránsito es la cantidad de vehículos en un lugar donde exista o no factores que haga que disminuya o aumente la cantidad de vehículos en una zona. Por ejemplo en un lugar donde exista un embotellamiento se tendrán bastantes vehículos pero en cambio el volumen será cero y la densidad estará demasiado alta.

### **1.7 Derecho de vía.**

De conformidad de lo dicho por Mier (1987), el derecho de vía corresponde a una franja de terreno a lo largo del tramo carretero, que aloja una vía de comunicación. Las dimensiones del derecho de vía se encuentran

en relación con la magnitud del proyecto, por ejemplo es más la cantidad de terreno para una autopista que para una brecha. En México el derecho de vía mínimo es de 20 metros a cada lado del eje. En cuanto a su adquisición no es un asunto muy relacionado con los ingenieros si no de los abogados, el ingeniero tiene conocer y estar relacionado con los trámites para la obtención del derecho de vía. El procedimiento para la adquisición en México va de acuerdo con la importancia y magnitud de la carretera, como lo pueden ser de tipo federales, de cooperación bipartita o de cooperación tripartita. En cuanto a los caminos federales el procedimiento a seguir se retoma por el artículo de la “ley de vías generales de comunicación expedido por el decreto de fecha 30 de diciembre de 1939” (Mier; 1987:57).

En referencia al trámite, la documentación y los pagos que se realizan con motivo de las afectaciones a personas los cuales son dueños de terrenos o propiedades, que tengan que ser utilizados, para servir como derecho de vía. Los trámites correspondientes en la dirección General de Asuntos Jurídicos, así mismo en conjunto realizan los trámites con el Departamento de derecho de vía de la Secretaria de Obras Públicas. En dichos departamentos se presenta la documentación donde se comprueba los predios afectados de los propietarios.

En cuanto a los caminos de cooperación tripartita. Debido al tipo de carácter, los particulares beneficiados con la obra, dan una aportación económica, mas en ningún caso se paga por la adquisición del derecho de vía, con el motivo que se hace durante la construcción del camino. Este problema se resuelve por medio de los interesados que quieren ver construida la obra, mediante la cesión de los derechos de los terrenos por donde se ubicará el camino.

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

Con respecto a lo que establece Mier (1987), la capacidad de servicio se relaciona con la cantidad de vehículos que circulan en una vía y en un determinado tiempo, por lo que la capacidad de servicio se convierte en un buen o mal nivel de servicio. El nivel de servicio va de acuerdo con factores como lo son, la seguridad, comodidad, velocidad, el tiempo de recorrido y la libertad de manejo. Los factores mencionados se ven afectados de acuerdo al volumen de tránsito que se tenga durante un tiempo determinado en un camino. Por lo tanto el volumen de servicio tiene una relación directa con el nivel de servicio, ya que si es deficiente el nivel, el volumen de servicio se eleva, y por el contrario si el volumen es bajo el nivel de servicio es bueno, lo cual se puede decir que el volumen de servicio máximo es igual a la capacidad de un camino. Para poder decir que un camino funcione a la capacidad que se planeo es necesario que el camino cumpla con ciertas características como las que se presentan a continuación: “Los volúmenes de tránsito máximo observados son del orden de 2,000 vph en ambos sentidos en caminos de dos carriles y de 2,000 vph en un solo carril en caminos de 2 o mas carriles para un solo sentido” (Mier; 1987:60).

Así mismo Mier (1987), comenta que en cuanto a las características geométricas, así como las pendientes y la sección transversal, de las que se han venido mencionando con anterioridad, dependen del tipo de terreno que se tiene en diferentes zonas de la república y que son lugares donde cruzan algunos caminos, ya sean caminos planos, donde hay lomeríos o en una zona montañosa, estas características hacen que los vehículos pesados afecten su capacidad de operación y por consiguiente a la capacidad y el nivel de servicio del camino. Los vehículos pesados que circulan por diferentes tipos de carreteras como es en el primer caso donde se localiza un terreno en un lugar plano, los vehículos pesados alcanzan grandes velocidades y el tránsito es fluido, si el camino se encuentra ubicado en un lugar de lomerío, tiene la consecuencia de que los vehículos pesados disminuyan la velocidad considerablemente, la manera donde la circulación del tráfico se logra que fluya es donde el vehículo pesado va de manera descendente sobre las lomas. En donde si afecta y demasiado a la capacidad de servicio es donde el camino se localiza en una zona montañosa, ya que el principal factor desfavorable es la velocidad que tienen los vehículos pesados y por consiguiente, hace que los vehículos ligeros tengan retrasos importantes.

### **1.9 Distancia de visibilidad de rebase.**

Según la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (1974), se le llama distancia de visibilidad, cuando un vehículo tiene un espacio dentro del camino para realizar una maniobra que se trata de adelantarse a otro vehículo que tengan una menor velocidad. Dicha maniobra se realiza cuando el conductor tiene la visibilidad y seguridad de que no se encuentre a un tercer vehículo que circule en sentido contrario. Es necesario tener zonas donde la

visibilidad sea amplia para poder hacer la maniobra de rebase, ya que si se tiene dichas zonas donde se obtenga la seguridad necesaria para los conductores de efectuar la maniobra, se tendrá una fluidéz en el camino mas amplia y por lo tanto un mejor servicio y una capacidad aceptable.

Donde la pendiente del camino es fuerte, se deberá proyectar una buena visibilidad de rebase ya que los vehículos que circulen de manera ascendente, no tendrán un buen desempeño el motor para realizar la maniobra, además se complica aún mas por el motivo que los vehículos que circulan de manera descendente alcanzan mayor velocidad que los que circulan de manera contraria. La distancia mínima que se requiere para que el vehículo realice la maniobra sin problemas es la distancia suficiente para rebasar un solo vehículo.

#### **1.10.- Mecánica de suelos.**

La mecánica de suelos estudia las características diferentes que se encuentran internamente, ó sea en las partículas que conforman la estructura de los diferentes suelos. Por lo que a continuación se describe las características y el comportamiento que tiene el suelo ante ciertos factores.

##### **1.10.1.- Origen y formación del suelo.**

Partiendo por lo dicho por Juárez (2004), el suelo tiene diferentes definiciones según el tipo de ciencia que lo estudie, para fines de la presente investigación y para los ingenieros civiles, suelo es todo material terroso y queda exento todo tipo de rocas ígneas, metamórficas o rocas sanas. El suelo tiene su formación cuando las rocas que se disgregan fácilmente por motivo de la erosión, por el agua, incluso por el aire. Las rocas como lo son lutitas

suaves, areniscas parcialmente cementadas, hasta los rellenos de material de desperdicio. Los agentes destructores de las rocas y que a su vez forman suelos, se clasifican en dos grupos por descomposición química y la desintegración mecánica. Hablando de la descomposición química, las rocas tienen en su composición ciertos tipos de minerales los cuales reaccionan químicamente con el agua, que es el principal elemento que provoca, carbonatación, hidratación y oxidación en las rocas. Junto con los factores climatológicos, en este caso el calor, se llegan a formar arcillas, mientras que en lugares fríos se conforma el tipo de suelo llamado, limos o arenas. La desintegración mecánica se debe los siguientes factores como lo son: los cambios de temperatura como lo son el frío y el calor. Así mismo los organismos como las plantas juegan un papel importante, y donde se tiene vegetación es en las zonas húmedas o frías, en dichas zonas se encuentran suelos tales como, arenas, limos y en casos muy particulares arcillas.

Las rocas que son atacadas por el intemperismo quedando el producto de dicho material sobre misma roca, a este tipo de suelos se les llama residuales. En cambio cuando las rocas se encuentran disgregadas por los mismos agentes del intemperismo pero que además son removidos del lugar por efectos geológicos, el producto de este material se depositan en otro lugar y sobre otro tipos de estratos, a este tipo de suelo se le denomina suelos transportados.

#### **1.10.2.- Relación de las propiedades volumétricas y gravimétricas.**

“Observando a simple vista un suelo, se podría definir como un sistema de partículas cuyos espacios libres pueden estar parcial o totalmente llenos de

agua, teniéndose de hecho, tres fases en juego: la sólida, la líquida y la gaseosa” (Arias; 1984:4). Con respecto a lo dicho por Juárez (2004), la capa sólida se compone principalmente por partículas minerales de suelo, mientras que la líquida, por agua principalmente. Como su nombre lo dice la gaseosa se compone por gases como lo son: vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, pero principalmente esta capa se compone de aire.

En la mecánica de suelos, la relación de pesos y de volúmenes, es decir, se relaciona los pesos con las distintas fases con los volúmenes correspondientes, por el concepto llamado peso específico.

Las relaciones entre fases son de fundamental importancia para la mecánica de suelos, ya que con las relaciones que se mencionarán a continuación, se determina el comportamiento físico y de compresibilidad de los suelos. En la mecánica de suelos las relaciones entre fases que son las más significativas son las siguientes: la relación entre volumen de los vacíos y el sólido del suelo, se le denomina relación de vacíos, ( $e$ ). La relación de los volúmenes de vacíos y el volumen de sus masas, es también llamado porosidad de un suelo, ( $n$ ). Se le llama grado de saturación a la relación que existe entre el volumen de los sólidos y el volumen del agua. Varía esta relación de 0% que es cuando se encuentra un suelo seco, al 100% que es cuando el suelo se encuentra totalmente saturado. Su abreviatura es ( $G_w$ ).

### **1.10.3 Granulometría en suelos.**

Según Arias (2007). En la mecánica de suelos, la granulometría es fundamental ya que estudia tanto las formas como los tamaños de gravas y de partículas que constituyen un suelo. Con respecto a las formas de un suelo, se presentan de formas tubulares o de placas y además formas como lo son angulares y redondas. Los suelos gruesos son los que representan el tipo de forma de placas y pueden ser tanto arcillas como micas. Las tubulares suelen ser muy comunes en algunas arcillas.

#### **1.10.3.1 Sistema de clasificación de suelos basados en criterios de granulometría.**

Retomando lo dicho por Juárez (2004), se logra realizar un análisis descriptivo de los suelos, si se tiene los límites de tamaños de las partículas que conforman un suelo. Esta clasificación se venía realizando desde mucho antes de esta ciencia, que es la mecánica de suelos, solo que se dividían en tres o cuatro fracciones debido a lo laborioso de la separación de los diferentes tamaños de las partículas. En la actualidad, con el proceso de cribado se pueden clasificar más diferentes tipos de tamaños y así trazar una curva granulométrica más confiable.

Clasificación internacional, la cual se basó en otra que se desarrolló en Suecia.

Tamaño en mm.

2.0	0.2	0.02	0.002	0.0002
Arenas gruesas	Arenas fina	Limo	Arcilla	Ultra-Arcilla (coloides)

Fig. 3 Fuente: (Juárez; 2004:98) Clasificación de granulometría internacional

Massachusetts Institute of Technology, (M.I.T.).

Tamaño es en mm. (Juárez; 2004:99)

2.0	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002
Gruesa	Media	Fina	Grueso	Medio	Fino	Gruesa	Media	Fina (coloides)
ARENA			LIMO			ARCILLA		

Fig. 4 Fuente: (Juárez; 2004:99)

De conformidad con Juárez (2004), la gráfica granulométrica es la que representa la distribución de los diferentes tamaños que tiene un suelo. Cuando se realiza el cribado de un suelo, por diferentes mallas, los porcentajes que retienen las diferentes mallas, se tabulan en la grafica granulométrica para identificar si el suelo se encuentra bien o mal graduado. Durante el proceso de cribado se puede conocer si se trata de gravas, arenas o si se trata de finos.

#### **1.10.4 Plasticidad.**

Según Juárez (2004), la plasticidad en los suelos que son remoldados se presenta cuando las características del mismo cambian cuando cambia el contenido de agua en las partículas. Desde la antigüedad a estos tipos de suelos con características plásticas se les denomina arcillas. Existe una relación muy importante entre la compresibilidad de un suelo y la permeabilidad propia del mismo. La forma de láminas alargadas de las partículas es clásica en suelos plásticos, y de igual manera las características ya mencionadas, influye en la compresibilidad del suelo y en la permeabilidad ya que los suelos plásticos son poco permeables.

##### **1.10.4.1 Límites de plasticidad.**

Para definir la cantidad de plasticidad en las arcillas, Juárez (2004) recomienda que sea necesario utilizar el criterio de Atterberg, el cual establece que las arcillas no siempre son plásticas. Tiene que ver el contenido de agua que se encuentre interiormente en las partículas de la arcilla, por lo tanto cuando una arcilla tiene un contenido de agua nula, la arcilla se comporta de manera rígida, en cambio, con un alto contenido de agua en las partículas, el suelo es muy plástico. Por lo que el límite líquido y el límite plástico se definen por pruebas de laboratorio que Atterberg realizó e inventó y que le dieron buenos resultados, para poder clasificar los diferentes tipos de materiales. Por lo tanto el índice plástico es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

### **1.10.5 Fenómeno de consolidación en suelos.**

Retomando lo establecido por Juárez (2004), los materiales como lo son el concreto, el acero y el suelo, experimentan deformaciones cuando hay cambios en las condiciones de esfuerzo, principalmente de esfuerzo-deformación. En particular el suelo se deforma con menos carga aplicada sobre el estrato que el concreto y el acero. Aunque el suelo para poder deformarse necesita un lapso de tiempo. La consolidación es el proceso por el cual un suelo tiene disminución de volumen, por el motivo de aplicación de cargas o de presiones ejercidas sobre el suelo. Para entender más claramente el fenómeno de consolidación unidimensional se analizará el modelo de Terzaghi, que consiste en un cilindro que en la parte superior se encuentra sellado por un pistón, el cual a su vez tiene un orificio en la parte interna del cilindro, se tiene un resorte que soporta el pistón de igual manera se encuentra líquido atrapado dentro del cilindro. El primer caso se da cuando el orificio que tiene el pistón se encuentra sellado y cuando se le aplica una carga al pistón el resorte no presenta deformación ya que el líquido que se tiene es incompresible. El segundo caso es cuando el orificio no está sellado y permite la expulsión del flujo a la superficie, cuando se le aplica una carga al pistón. El resorte tiene una notable deformación por el motivo que el suelo, recibe la carga aplicada al pistón.

### **1.10.6 Sistema unificado de clasificación de suelos**

El sistema unificado de clasificación, cubre los suelos tanto gruesos como finos, lo que separa uno de otro es la malla número 200. Si el 50% de las partículas son gruesas y se retienen en la malla número 200, y por lo tanto son

finos cuando el 50% de las partículas pasan la malla número 200, así lo menciona Juárez (2004).

Los suelos gruesos, que son las gravas y las arenas y tienen símbolos ingleses siguientes: G, para las gravas y S, para las arenas. Sin embargo los suelos gruesos se dividen varios grupos por las características de sus partículas. Un GW y un SW significan que es una grava y una arena, limpios de finos y bien graduados.

Un material limpio de finos y mal graduado corresponde a los símbolos, GP y SP. Los símbolos GM y SM, se identifican por ser un material con cantidad apreciable de finos no plásticos, en cambio cuando se tiene un material con cantidad apreciable de finos plásticos se denomina con las letras GC y SC.

Las tablas que se muestran a continuación, clasifican los diferentes tipos de suelos, de acuerdo a la variedad de tamaños, así como sus propiedades mecánicas de los mismos.



Método de identificación para partículas que pasan la malla No. 40.						
Muestra	Industria	Elemento	Forma	Composición	Descripción	Observaciones
	(origen)	(composición)	(color)	(química)		
Muestra 1	Plomo	Plomo	Redondo	Pb	Granos pequeños, color grisáceo, al tacto se siente suave y al ser golpeado se fragmenta en pedruzcos.	Se observó un tipo de partículas que al ser golpeadas, se fragmentan en pedruzcos, color grisáceo, al tacto se siente suave y al ser golpeado se fragmenta en pedruzcos.
	Aluminio	Aluminio	Redondo	Al	Granos pequeños de aluminio, color grisáceo, al tacto se siente suave y al ser golpeado se fragmenta en pedruzcos.	
	Hierro	Hierro	Redondo	Fe	Granos pequeños, color grisáceo, al tacto se siente suave y al ser golpeado se fragmenta en pedruzcos.	
Muestra 2	Plomo	Plomo	Redondo	Pb	Granos pequeños, color grisáceo, al tacto se siente suave y al ser golpeado se fragmenta en pedruzcos.	Se observó un tipo de partículas que al ser golpeadas, se fragmentan en pedruzcos, color grisáceo, al tacto se siente suave y al ser golpeado se fragmenta en pedruzcos.
	Aluminio	Aluminio	Redondo	Al	Granos pequeños de aluminio, color grisáceo, al tacto se siente suave y al ser golpeado se fragmenta en pedruzcos.	
	Hierro	Hierro	Redondo	Fe	Granos pequeños, color grisáceo, al tacto se siente suave y al ser golpeado se fragmenta en pedruzcos.	
Muestra 3					Granos pequeños, color grisáceo, al tacto se siente suave y al ser golpeado se fragmenta en pedruzcos.	Se observó un tipo de partículas que al ser golpeadas, se fragmentan en pedruzcos, color grisáceo, al tacto se siente suave y al ser golpeado se fragmenta en pedruzcos.

Fig. 7 Fuente: (Juárez; 2004: ANEXO VII-A) Partículas finas que pasan la malla No. 40

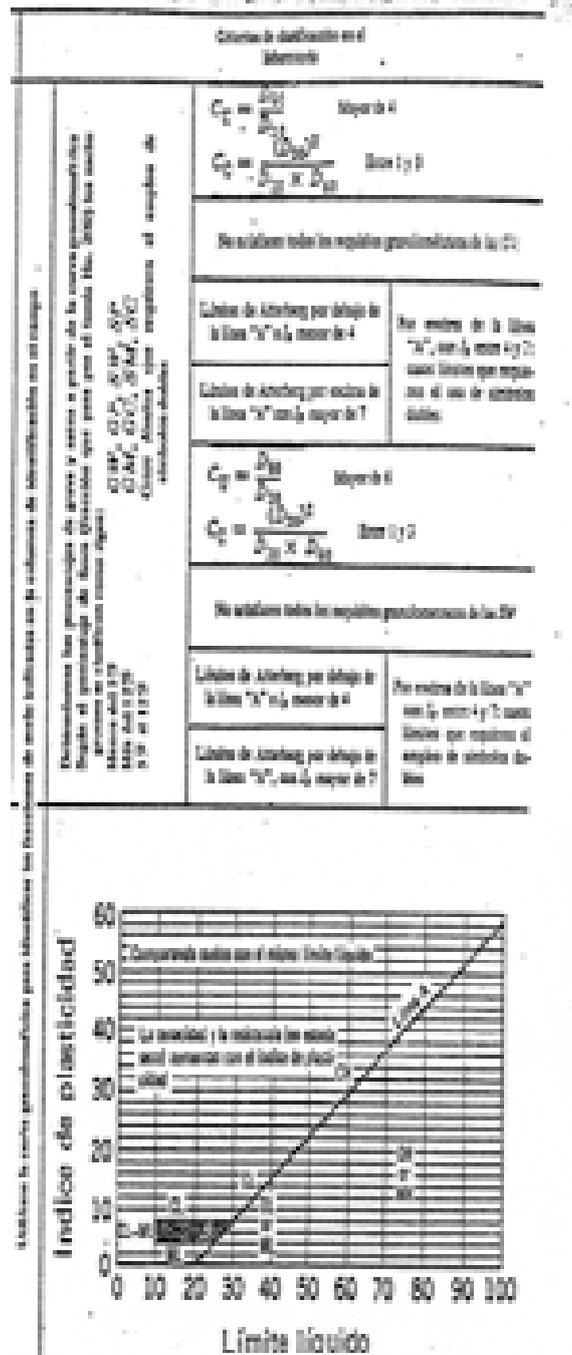


Fig. 8 Fuente: (Juárez; 2004: ANEXO VII-A) La carta de plasticidad, la cual es indispensable para la identificación de suelos en el laboratorio.

Para identificar los suelos finos, se recurre a la carta de plasticidad donde los límites para determinar si se trata de un material o de otro tipo son, la línea A y el límite líquido 50. Los suelos finos se clasifican como grupos de

acuerdo al tipo de característica y a las condiciones ya mencionadas. El grupo de CL y CH según la carta de plasticidad son, arcillas inorgánicas. Para el grupo ML y MH, de igual manera las características de los materiales los clasifican en limos orgánicos y limos arcillosos. El siguiente grupo le corresponde las letras OL y OH, que caen sobre la zona donde se identifican el ML y el MH, la diferencia es que tanto puede ser un limo orgánico como una arcilla orgánica de baja plasticidad en casos como los de OH con plasticidad de media a alta.

#### **1.10.7 Compactación de los suelos.**

De conformidad a lo dicho por Juárez (2004), la compactación es un mejoramiento artificial de las propiedades mecánicas del suelo y que es mejorado por medios mecánicos. La compactación tiene una gran importancia para suelos que se utilizan como rellenos artificiales, como lo son cortinas de presas, terraplenes de caminos y ferrocarriles, entre otros. El aumento de la resistencia y la disminución de capacidad de deformación son características primordiales que traen consigo la compactación, ya que el suelo se sujeta a técnicas para aumentar el peso específico seco y disminuir los vacíos en las partículas. Para lograr una compactación adecuada es necesario elegir el tipo de prueba de laboratorio de acuerdo al tipo de suelo que se desee compactar, se elige el equipo adecuado, ya que existe una variedad de compactadores que tienen diferentes características para compactar. Los factores como lo son, el contenido de agua que se tiene en el suelo antes de ser compactado, el cual el laboratorio lo define, y la energía específica del compactador, que se aplique, son factores que influyen en la compactación y que son los más importantes para dicho proceso.

Las pruebas para la compactación es históricamente la Proctor estándar o también mencionada como A.A.S.H.O. Estándar, que significa, American Association of State Highway Officials, esta prueba comenzó tener dificultades para representar la compactación en campo con equipos relativamente nuevos en cuanto a la energía que aplicaba al suelo. Por que se tubo que hacer ajustes a la prueba Proctor estándar y termino por llamarse prueba Proctor modificada donde la humedad optima es menor que en la otra prueba.

En el siguiente capítulo de la presente investigación se abordará el tema con respecto al sistema de drenaje que se tiene en un camino, ya que dicho tema es de suma importancia para la conservación y buen funcionamiento del camino.

## CAPÍTULO 2

### DRENAJE

A continuación se analizarán en el presente capítulo, temas que conforman la estructura del drenaje en carreteras, así como los principales aspectos que influyen directamente en el diseño y operación de los diferentes componentes de un sistema de drenaje.

#### **2.1. Reseña histórica de drenaje.**

Como lo establece Crespo (2005), los caminos que se encuentran en mal estado y que por consiguiente son analizados para saber la causa que origino el problema. Se ha llegado a la conclusión de que en los casos donde se encuentran deteriorados los caminos se debe a que no se tiene un sistema de drenaje eficiente y que por lo tanto afecta directamente la estructura del pavimento. El agua es un agente erosivo capaz de dañar la estructura total del pavimento, en condiciones donde se tenga exceso de agua, por este motivo y principalmente por la seguridad del usuario el agua se tiene que desalojar lo mas rápido posible, esto para tener un camino en buenas condiciones, para que el usuario tenga un buen servicio. De igual manera el exceso de agua en taludes, es totalmente perjudicial para el mismo, ya que hay suelos que al saturarse sus partículas de agua, suelen desprenderse y provocar derrumbes o incluso colapsos totales del terraplenes y taludes, como parte de la estructura del pavimento, por tales motivos y como se ha venido recordando, se debe tener seguridad plena, sobre todo en este tipo de suelos, para esto se tiene que instalar un sistema de drenaje adecuado.

## **2.2. Objetivos de un funcional sistema de drenaje.**

Crespo (2005), asienta por su parte, que el objetivo principal, tiene que ver con reducir la cantidad de agua posible y la de dar salida a la misma lo más rápido posible. Detallando lo dicho por el autor, la rapidez para desalojar el agua en la cinta asfáltica, hace que el camino tenga una alta seguridad para que transiten los vehículos a la velocidad que se establece por el tipo de carretera, ya que no se estancará el agua en la misma y los neumáticos tendrán mejor adherencia con la cinta asfáltica. Una vez desalojada el agua del pavimento, es necesario también que el sistema de drenaje, tenga la capacidad que contener las estructuras de desalojo para que circule libremente el agua y no se tenga la problemática de que el nivel del agua sobrepase los límites y se tenga un reblandecimiento en partes de la estructura. Estos objetivos tienen la finalidad de dar la seguridad al usuario y conservar la estructura del pavimento.

Lo ideal para un camino según Crespo (2005), es que se trazará de manera que no se encuentre en lugares donde existe humedad, aunque en la realidad se trazan los caminos dependiendo de la extensión de territorio disponible, por lo que obliga a los proyectistas a cruzar zonas donde se tenga bastante humedad, para esto el ingeniero se verá obligado a diseñar un sistema de drenaje adecuado, el cual no permita que la humedad llegue a la superficie por capilaridad. Si se tiene un sistema de drenaje adecuado en este tipo de terrenos, se evitará la formación de baches que son producto de la humedad de zonas como son, lugares donde el nivel de aguas máximas es superficial, (terrenos fangosos o pantanosos donde por lo regular son turbas, terrenos donde se localicen manantiales, ríos o incluso lagos). En particular

donde se localiza un lago y si es obligatorio el trazo del camino por ese lugar, se tiene que tomar demasiada precaución, ya que se debe saber el nivel de aguas máximas, que es posible que se presente en temporadas del año, donde la capacidad del agua aumenta. Se prevé por el motivo de que no rebase el terraplén y llegue a las tercerías, las cual puede reblandecerse y por consiguiente colapsarse o dañar permanentemente.

### **2.3 Hidrología.**

Partiendo por lo que dice Aparicio (1989), la hidrología en la ingeniería civil, se le puede llamar también como ingeniería hidrológica o hidrología aplicada. Dicha ciencia estudia lo referente con el agua, ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, así como la relación directa con los seres vivos.

Es de vital importancia esta ciencia para la ingeniería ya que los proyectos que se deseen planear, como lo son, presas, puentes, carreteras, sistemas de drenaje de poblaciones. Requieren un análisis cuantitativo hidrológico, para seleccionar el evento de diseño necesario.

### **2.4 Ciclo hidrológico.**

El ciclo hidrológico se compone principalmente por cuatro etapas así lo especifica la Enciclopedia Encarta (2003), las cuales son, precipitación escorrentía almacenamiento y evaporación. En lugares de almacenamiento de agua, como por ejemplo ríos, lagos y principalmente océanos. Los ya mencionados son parte fundamental así como los siguientes procesos, ya que uno depende del otro, un ejemplo claro de esta dependencia es el problema que se tiene con la sequía de ríos y lagos y que afecta de manera directa a las

posteriores etapas que se mencionaran a continuación, por lo tanto es un problema que tiene como consecuencias la destrucción de la vida silvestre y humana, por lo que es importante conservar los lugares donde se almacene agua, ya que el ciclo hidrológico es signo de vida, para las especies y para la humanidad del planeta. La evaporación y transpiración es la etapa en la cual los océanos y el agua de la tierra se evapora debido a que la humedad del viento disminuye, convirtiéndose en vapor de agua, este gas penetra la atmósfera, para proseguir con la siguiente etapa que conforma a el ciclo del agua. En cuanto a la transpiración de las plantas, se puede mencionar que es un proceso de las plantas las cuales hacen que aumente la cantidad de vapor de agua. Los efectos que hacen que se realice esta etapa son los siguientes, la temperatura, la intensidad de la luz solar, la velocidad del viento, la humedad del suelo y la vegetación.

La condensación es la etapa donde el vapor de agua se enfría de manera que se forman gotas de agua que a su vez conforman a las nubes, estas se precipitan dejando caer de nuevo a la tierra una gran cantidad de agua que se evaporó. Un dato importante es el que al día se precipita 300 km<sup>3</sup> en la tierra, está precipitación se presenta de diferente manera como es lluvia, nieve, granizo. Ya que inicia la precipitación, la escorrentía se presenta, y en las estaciones del año donde la precipitación es constante, la escorrentía es mayor. Además aumenta la escorrentía cuando se derrite el hielo y la nieve. El agua que circula por los ríos y caudales, se transporta de manera directa a zonas de almacenamiento ya mencionadas. La escorrentía se presenta no solo de manera superficial, si no que también se presenta de manera subterránea.

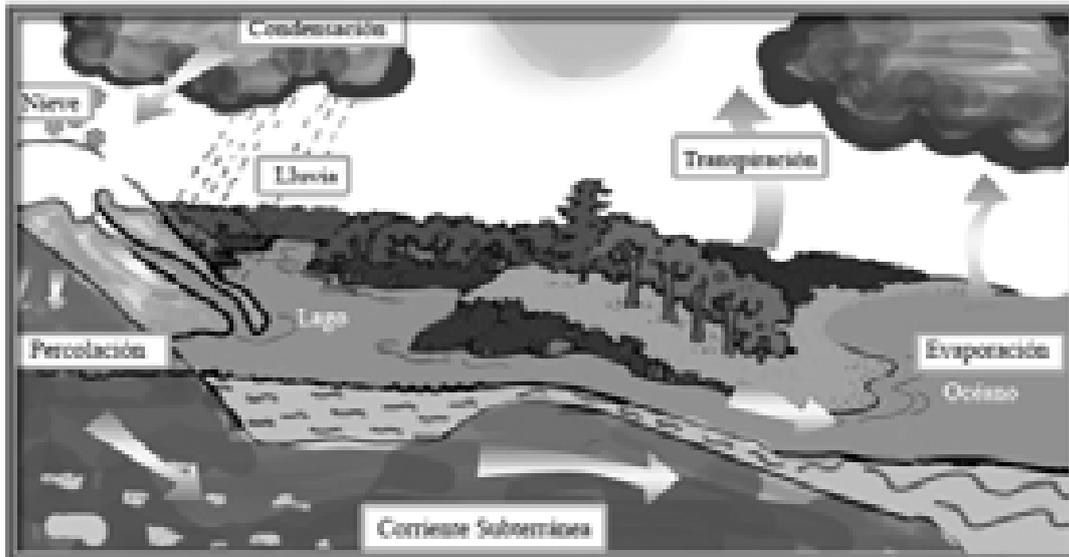


Fig. 9 Fuente: Enciclopedia Quillet.

## 2.5 Cuenca Hidrológica.

La cuenca hidrológica según Aparicio (1989), se refiere al área que aporta grandes cantidades de agua, de origen pluvial o escurrimientos que son productos de deshielo de montañas. El agua que se capta en el transcurso de su ciclo, se encausa en la cuenca principal que es la que se encarga de drenar el agua a un punto de salida, este punto tiene una elevación mas bajo que el cause principal. Las cuencas tributarias o secundarias son los causes que aportan menor cantidad de agua, que la que conduce la principal. Las tributarias conducen el agua que acumulan durante su trayecto, a un punto bajo donde se une con la principal.

### **2.5.1 Características de la cuenca hidrológica.**

En cuanto el ciclo hidrológico, la precipitación se puede esquematizar como un estímulo, en donde la cuenca contribuye a su salida.

### **2.5.2 Área de la cuenca.**

Partiendo de lo dicho por Aparicio (1989) expone lo siguiente, el área se refiere a la superficie de la cuenca, la cual se delimita por el parteaguas, por lo regular la superficie se mide en kilómetros cuadrados, por lo tanto se puede hacer una clasificación la cual consiste en lo siguiente, las cuencas que tengan una superficie menor de 250 km<sup>2</sup> se consideran pequeñas, en cambio, cuando se trate de superficies de más de 250 Km<sup>2</sup> se refiere a cuencas grandes.

### **2.5.3 Pendiente de la cuenca.**

Por su parte Aparicio (1989) hace el comentario al respecto de que existen varios criterios, estos criterios ayudan a la recolección de datos para el sistema de drenaje, los criterios más utilizados son los de Alvord, Horton y el Nash.

#### **2.5.3.1 Criterio de Alvord.**

La manera de obtener la ecuación la cual proporciona la pendiente de la cuenca, para la cual se tiene que analizar la pendiente existente entre las curvas de nivel, de manera que se pueda analizar la faja que se define por las líneas medias, estas últimas se ubican a la mitad de las curvas de nivel, por consiguiente el área tributaria para cada una de ellas se calcula con la siguiente expresión.

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

Lo que quiere decir:

S1 = Pendiente media de la faja referente.

D = Desnivel entre líneas medias.

W1 = Ancho de la faja. = a1/L1

a1 = Área de la faja

L1 = Longitud de la curva de nivel.

Para sacar la pendiente de la cuenca es necesario sacar el promedio de cada faja, manteniendo la relación con su área, por lo tanto para n fajas la ecuación se modifica de la manera siguiente:

$$S = \left( \frac{D L1}{a1} \right) \left( \frac{a1}{A} \right) + \left( \frac{D L2}{a2} \right) \left( \frac{a2}{A} \right) + \dots + \left( \frac{D Ln}{an} \right) \left( \frac{an}{A} \right)$$

Para finalmente obtener la ecuación que es la siguiente:

$$Sc = \frac{DL}{Ac}$$

Lo que significa:

D = Desnivel constante entre curvas de nivel.

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

Ac = Área de la curva (L<sup>2</sup>).

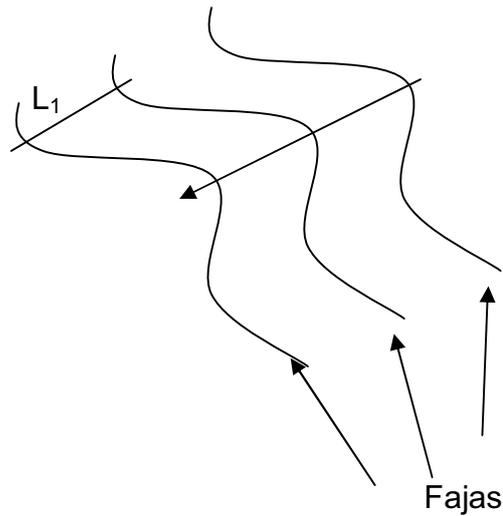


Fig. 10 Cálculo de la pendiente por fajas según es criterio de Alvord.

### 2.5.3.2 Criterio de Horton.

Ya que se tiene delimitada el área de la cuenca, el criterio de Horton específica que se deberá insertar una cuadrícula sobre el área en estudio de la cuenca dicha malla o cuadrícula se orienta de manera que quede en sentido de la corriente principal. En los casos específicos donde se establezca que la cuenca es pequeña, o sea menor de  $25 \text{ km}^2$ , se colocara una cuadrícula que contenga cuatro cuadros por lado, la separación que se tenga en la cuadrícula así como su tamaño, influirá en la precisión del calculo.

Para determinar la pendiente que tendrá la cuenca en estudio, se procede a realizar mediciones de la longitud de cada línea de la retícula, de manera que se pueda situar las intersecciones y las tangentes de cada una de las líneas con respecto a las curvas de nivel que contiene la cuenca topográfica.

A continuación se muestra la fórmula que determina la pendiente de una determinada cuenca utilizando el criterio de Horton.

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

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

Y se definen como:

$N_x$  = Número de intersecciones en la dirección y con las curvas de nivel.

$N_y$  = Número 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.

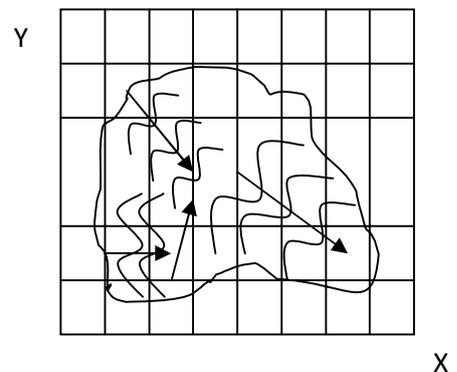


Fig. 11 Criterio de Horton.

### 2.5.3.3 Criterio de Nash.

De igual manera que en el criterio de Horton, se inserta una cuadrícula, que encierre la cuenca en que se desee estudiar, realizando dicha retícula se tienen que obtener cien intersecciones. Para cada una de las intersecciones se tendrá que medir la longitud mínima entre las curvas de nivel, a si como la pendiente que se tiene en ese punto determinado. Es necesario realizar una grafica donde se muestre la distribución de frecuencias de cada una de las pendientes medias en cada punto donde se localizan, con esto se puede apreciar la distribución total de la pendiente de una cuenca que se desee estudiar.

### 2.5.4 Cuenca principal.

Según Aparicio (1989), un cauce principal, es el que capta el agua de los diferentes riachuelos a los cuales se le denomina como cuencas tributarias o secundarias.

El cauce principal cuenta con los siguientes parámetros, tales como: el número de orden, la densidad del drenaje, así como la pendiente la cuenca.

#### 2.5.4.1 Orden de corrientes.

Para determinar el orden que tiene cada una de las ramificaciones es necesario identificar perfectamente cada uno de corrientes tributarias así como su longitud de cada una de ellas. La corriente de orden uno corresponde a un tributario sin ramificaciones y por consiguiente las de orden 2 tiene como tributarios a las de orden 1. Las de orden 3 pueden contener tanto como las de orden 1 y 2, esta última descarga en la corriente de orden 4, así terminaría una cuenca donde la corriente sea de orden 4. Lo dicho por Aparicio (1989), se comprueba con la siguiente figura.

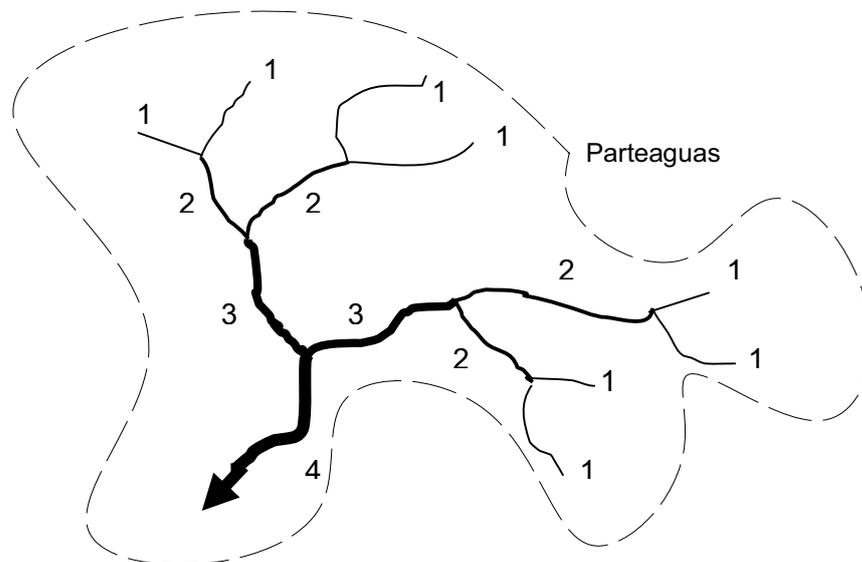


Fig. 12 Corriente de orden 4.

#### **2.5.4.2 Densidad de drenaje.**

La densidad de drenaje es el resultado de de la relación que hay entre la longitud total del cause entre el área de la cuenca, para esto se utiliza una formula la cual se describe a continuación:

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

Donde:

LT = Longitud total incluyendo tributarios.

Ac = Área de la cuenca.

#### **2.5.4.3 Pendiente del cauce.**

La pendiente del cauce tiene que ver con la elevación que se tiene en cada punto durante el trayecto de la corriente, en pocas palabras tiene relación la elevación con la distancia de extremo a extremo del cauce. La pendiente de un cauce se puede calcular con dos métodos, el primero es conforme a una formula que a continuación se explicará, el segundo es un método el cual se realiza con una compensación de áreas.

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

Donde:

$\Delta H$  = Diferencia de elevaciones.

D = Distancia

Compensando áreas

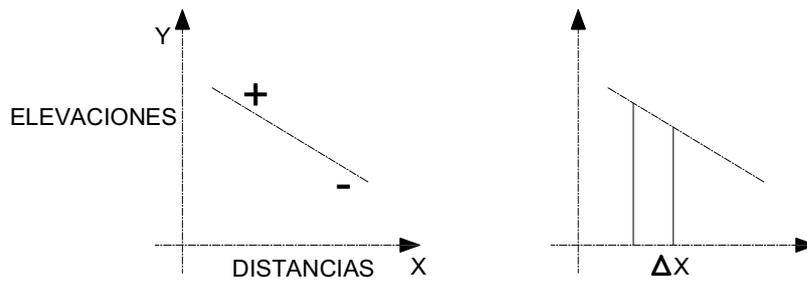


Fig. 13 y 14 Compensando áreas.

Po lo tanto:

$$\Delta x = \text{Constante}$$

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

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

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

$$\text{Como: } \sum \Delta T = T, \quad \sum \Delta X = L$$

$$S_{\text{cauce}} = \left( \frac{L}{\Delta x} \frac{M}{\sum_{i=1} \sqrt{S_i}} \right)^2$$

### 2.5.5 Precipitación.

La precipitación se origina cuando el vapor que se producto de la condensación, una vez que se enfría dicho vapor se acumula grandes cantidades de agua, esta tiende a presentarse en forma de lluvia, granizo o incluso como nieve. Existen tipos de precipitación como lo es la forma de chubascos, estos se pueden presentar como pequeñas lloviznas hasta

tormentas huracanadas. El aire caliente que se hace presente es el que origina dicho fenómeno. Es importante mencionar los tipos de precipitación que se presentan en las montañas, así como en las zonas tropicales, a las primeras que se mencionaron es la orográfica, estas se presentan con baja intensidad. Las tropicales se presentan de manera ciclónica debido a las corrientes de aire en los océanos.

### **2.5.6 Dispositivos para realizar la medición de la precipitación.**

El objetivo que tiene la medición de la precipitación en las cuencas es para conocer el volumen e incluso la intensidad en dicha cuenca. Esta medición se realiza con aparatos o dispositivos como lo son estaciones climatológicas, pluviométricas, climáticas entre otras. De manera que los dispositivos en la zona de fluencia captan sistemáticamente y de manera continua la cantidad, además las variaciones de la intensidad con respecto al tiempo. En el caso de las estaciones climatológicas automáticas tienen como función registrar la cantidad de lluvia la velocidad del viento, así como las diferentes temperaturas que se presenten durante un determinado tiempo.

El pluviómetro registra hasta lapsos de 24 horas continuas. Lo que registra dicho aparato son: la precipitación, la intensidad de la misma, variaciones con precisión y la duración.

### **2.5.7 Esguerrimiento y su clasificación.**

Es importante definir que es el esguerrimiento y además tener noción de los diferentes tipos de esguerrimiento que se presentan una determinada área de la cuenca que se desee estudiar, de manera que se sigue lo escrito por Aparicio (1989).

El escurrimiento es que se tiene como producto de la precipitación, la cual puede circular de manera superficial ó puede incluso circular de manera subterránea, dichos escurrimientos se transportan por medio de corrientes hidrológicas que tienen su salida donde finaliza la cuenca. El escurrimiento se subdivide de la siguiente manera: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y por ultimo el escurrimiento subterráneo.

El escurrimiento superficial, se presenta cuando el suelo se satura debido a la precipitación. El agua comienza a escurrir por la superficie de otra manera dicho es el flujo en la superficie del terreno en la trayectoria que trae consigo las corrientes de una cuenca se le unen las corrientes debidas al escurrimiento superficial. Esté tipo de escurrimiento tiene dos desventajas latentes las cuales hacen que llegue poca cantidad de agua a cauces bien definidos, los inconvenientes son la evaporación y la infiltración que se tiene en el suelo.

El escurrimiento subsuperficial, se presenta este tipo de escurrimiento muy cerca de la superficie del suelo, ya que es agua producto de la precipitación, la cual cae y se infiltra, es importante mencionar que el escurrimiento subsuperficial tiene su corriente de manera paralela a los estratos del suelo.

Con respecto al escurrimiento subterráneo, se puede mencionar que parte del agua que se infiltra y que llega hasta niveles inferiores en donde se localiza los niveles freáticos, uniéndose a esté el escurrimiento producto de la precipitación, esta unión tiene como dirección a lugares donde fluya de manera

directa a salidas de la cuenca hidrológica o incluso en puntos intermedios de la misma.

De los tres tipos de escurrimiento el superficial es el que corre con mayor velocidad y es la que tiene la salida más rápida en la cuenca, ya que los otros dos tipos de escurrimiento dependen del tipo de estrato que se tenga en los diferentes tipos de suelos.

### **2.5.8 Aforo.**

El aforar significa medir el gasto que pasa por un caudal de dimensiones y características específicas. Para realizar el aforo de corrientes se cuenta con tres métodos diferentes como lo son: secciones de control, relación de sección-pendiente y el que tiene la relación de la sección-velocidad.

### **2.6 Obras de drenaje en los caminos.**

Como ya se mencionó, el objetivo del sistema de drenaje es evacuar el agua en el tiempo mas corto, para evitar encharcamientos sobre la superficie de la carpeta o incluso en los hombros del camino, en donde se tienen que instalar sistemas de drenaje adecuados que permitan desalojar el agua acumulada tanto en la carpeta como en los hombros del camino.

Así como lo menciona Crespo (2005), en un camino tiene que existir, drenaje superficial que es el que se encargará de evacuar el agua, para evitar encharcamientos sobre la carpeta, o incluso para darle salida al agua acumulada sobre la misma y así evitar problemas de reblandecimiento de la carpeta y posteriormente de parte de la estructura del camino, formando los

mencionados baches, de igual manera para los terraplenes se necesita drenaje superficial el cual tiene como objetivo, el evitar deslavamiento del terraplén. Si se emplean los sistemas adecuados en el camino se conservaran seguros y además económicos. Así como el drenaje superficial es fundamental para un camino, de igual manera el drenaje subterráneo influye de manera importante. Por lo que se estudiará en esta investigación los dos conceptos de manera individual, para un mejor entendimiento de cada sistema.

### **2.6.1 Drenaje superficial.**

Crespo (2005) establece que el sistema de drenaje superficial tiene como objetivo conducir el agua por medio de obras de captación de defensa, estas obras hacen que fluya el agua y se dirija a su disposición final. Las obras de defensa se conocen como cunetas, contra cunetas, lavaderos y el bombeo que se tiene sobre la carpeta, entre otros. El agua que es captada en las cunetas, lavaderos y contra cunetas, así como los riachuelos que cruzan el camino, es necesario realizar obras de cruce, como son alcantarillas, vados, puentes-vados y vados.

A continuación se mostrará un esquema seccionado, donde se puede apreciar los componentes principales de un camino y que son parte de un sistema de drenaje superficial.

### **2.6.2 Cunetas.**

Partiendo por lo establecido por Crespo (2005), las cunetas se ubican en los extremos de los caminos. Son zanjas revestidas de concreto principalmente. Dichas zanjas tienen la función de desalojar el agua que se acumula en la carpeta, esto para poder dar una salida rápida al agua. Además

las cunetas reciben en ocasiones aportaciones de agua de los taludes donde se realizó cortes en el suelo, así como de aras pequeñas aledañas al camino, las cunetas se ubican de manera que tengan separación entre la estructura del pavimento y el borde de la cuneta, la separación del borde de la cuneta y el pie del talud se tiene que considerar también ya que el acumulamiento de agua puede reblandecer el terraplén y provocar un asentamiento de consecuencias perjudiciales para el camino.

El área que se drena es relativamente pequeña por tal motivo se proyectan para poder tener capacidad para fuertes aguaceros con duración de 10 a 20 minutos. Se dice que se considera seguro que se tome el 80 % del agua pluvial que cae en la mitad del ancho total del derecho de vía. El flujo que va a escurrir por las cunetas es un dato importante para determinar las dimensiones, pendientes y demás características que conforman la estructura de las cunetas. Las cunetas se construyen de sección triangular o trapezoidal, el diseño que se utiliza para calcular dichas cunetas se basa principalmente en los principios del flujo en canales abiertos. Cuando se tienen flujos uniformes, tiene una relación con la fórmula de Manning la cual se expone a continuación.

$$V = \frac{1.49}{n} [R^{2/3}] [S^{1/2}]$$

En donde:

V = velocidad en m/s.

n = coeficiente de rugosidad.

R = medio hidráulico.

S = pendiente en metros.

Esta formula se obtiene de la formula de Chezy la cual es:

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

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

Si:  $Q = A \cdot V$

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

Donde:

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

A = área de la sección transversal.

Según Crespo (2005) propone una tabla en la cual dependiendo del tipo de materia con el que se construye el canal tiene ciertos valores de velocidades, nótese en la tabla que se muestra por el autor de esta bibliografía con motivo de esta investigación.

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

### **2.6.3 Contracunetas.**

De conformidad con lo que establece Crespo (2005), las contracunetas son zanjas que de manera estratégica se ubican para evitar que le llegue mas cantidad de agua a las cuentas, éstas se ubican en lugares mas altos que las cunetas, esto quiere decir, en la parte superior de los taludes de cortes de manera transversal a la pendiente del terreno, con el fin de quitarle agua a las cunetas y la razón principal es en no permitir que el agua escurra por los taludes de los cortes, ya que reblandecería el suelo al saturarse sus partículas y posteriormente se colapsarían. Se recomienda la ubicación de contracunetas en zonas montañosas y de lomeríos, por lo que se tiene que observar la naturaleza geológica. Las contracunetas se calculan de la misma forma que las cuentas, éstas por lo regular tienen sección trapezoidal, con una plantilla de 50 cm y con un talud de la sección 1:1 en materiales compactos. Su cálculo depende de las condiciones del terreno y de las necesidades hidráulicas, con

respecto a la altura, estas se colocan a 5 metros aproximadamente del talud del corte.

#### **2.6.4 Bombeo del camino.**

Se le llama bombeo de un camino a la sección transversal del mismo y el objetivo que tiene ponerle bombeo a los caminos es el de drenar el agua hacia los lados y dirigirla hacia las cunetas o lavaderos. Se le coloca el bombeo de manera que pueda transitar los vehículos y que pueda tener la capacidad de desalojar el agua, por estas razones en México se emplea un bombeo del 2% esto para caminos asfaltados y en el caso de caminos elaborados de concreto hidráulico se utiliza el 1.5%.

#### **2.6.5 Lavaderos o vertedores.**

Los lavaderos se construyen de mampostería de concreto o de piedra y tienen como objetivo encausar el agua de los tubos o de los terraplenes, además de conducir el agua hacia un lugar donde no se exponga los terraplenes o los taludes de los cortes donde el material es muy erosionable. En lugares donde el terreno es inclinado y se tiene que colocar un lavadero, se coloca a estos dentellones para evitar que se deslicen. En cuanto a las dimensiones, así como forma de los lavaderos y vertedores, queda a criterio de los ingenieros.

#### **2.6.6 Obras de cruce.**

Obras de cruce o alcantarillas, según Crespo (2005), tiene como objetivo cruzar de manera rápida y directa el agua de un lado a otro del camino. En estas obras de cruce se consideran los puentes y las alcantarillas, la diferencia

entre estas es que las alcantarillas necesitan un colchón de tierra para poder recibir la estructura del pavimento, mientras que los puentes no lo necesitan. Las alcantarillas constan principalmente del cañón y muros de cabeza, en sí el cañón es la parte donde circulará el agua que puede ser tubería o canales que conduzcan el agua. Los muros de cabeza se colocan para que el agua que entra y que sale del cañón no erosione parte del terraplén, incluso sirve de guía para que el agua continúe con su curso natural. Según la forma del cañón, se clasifican las alcantarillas de la siguiente manera, de tubo, bóveda y de cajón. En lugares donde se tenga que colocar una alcantarilla se tiene que procurar de no forzar los cruces, por lo tanto se deben realizar de manera que queden las obras de cruce de manera como se encontraban naturalmente. En el caso de que se tenga que realizar el esviamiento de una corriente y que sea igual o menor de  $5^\circ$ , se tiene que hacer una estructura perpendicular al camino rectificando de manera leve la orientación del cauce. Cuando la corriente del agua con respecto al eje del camino forme un ángulo mayor de  $5^\circ$ , se recomienda alinear la alcantarilla con el fondo del cauce, esto trae como consecuencia que la alcantarilla sea mas larga y con un costo mayor, ya que si no se realiza así, se tendría que colocar codos con ángulos muy forzados para canalizar la corriente, estos serian poco resistentes a la embestida de los aguaceros, provocando deslaves donde la velocidad es máxima y asolves donde es mínima.

En lugares donde se tienen localizadas cunetas donde su longitud es igual o mayor de 60 metros como lo menciona Crespo (2005), además dependiendo del tipo de suelo condiciones de la pendiente y ancho de la

sección transversal, se colocará alcantarillas de alivio, esta tiene el objetivo de desfogar el agua que traiga consigo la cuneta.

### **2.6.7 Calculo del área hidráulica de las alcantarillas.**

Para el cálculo del área hidráulica de las alcantarillas, se sigue de cerca lo escrito por Crespo (2005), lo cual dice que para dicho cálculo se tienen que analizar los caudales máximos que se puedan a llegar a tener, esto para hacer que no se presenten daños tanto en la obra de drenaje como en la estructura del pavimento.

Para proyectar el área hidráulica se tienen cinco procedimientos que ayudan a realizar los cálculos correspondientes, estos procedimientos son los siguientes: procedimiento por comparación, procedimiento empírico, procedimiento de sección y pendiente, procedimiento de la precipitación pluvial y por ultimo el racional.

\* Procedimiento por comparación. Este se aplica en lugares donde se va a construir alcantarillas nuevas en lugares donde ya existían otras. Los datos que se utilizan son los que se proporcionan a simple vista, esto quiere decir que se observa hasta donde alcanzó su nivel máximo el agua en la alcantarilla, incluso se le pregunta a los vecinos hasta donde llego el nivel del aguas máximo. Ambos datos se requieren con un lapso de tiempo de por lo menos de 10 años. Si en el caso particular donde no se tenga alcantarillas en el lugar donde se tiene que colocar, se analizan las que se encuentran aledañas a la obra.

\* Procedimiento empírico. Este procedimiento por lo contrario se aplica cuando no ha existido ninguna alcantarillas y ningún dato a cerca del gasto máximo del cauce y de la precipitación pluvial. Para resolver el problema mediante dicho procedimiento es necesario recurrir a ciertas formulas en las cuales se necesita el área drenada, así como las características topográficas de la cuenca. La formula que se aplica es de A.N. Talbot la cual se describe a continuación:

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

En la cual:

a = Área hidráulica, en metros cuadrados, que tendrá 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.

\* Procedimiento de sección y pendiente. Es necesario para este procedimiento observar las huellas del agua donde alcanzó niveles máximos. Esto para obtener la sección y la pendiente del cauce en lugares específicos como en los cruces o en dos secciones definida. Estas tendrán que ser en lugares donde los márgenes sean más altos que el nivel máximo del agua. Para esto, el gasto máximo se calculará en función del área hidráulica, el perímetro mojado, así como la pendiente y un coeficiente de rugosidad, que tienen relación con las paredes de la cauce. Con los ya mencionados datos y ayudados con la fórmula de Manning se obtiene la velocidad, la cual se multiplica por el área hidráulica, arroja como resultado el gasto máximo para el cual se tiene que diseñar la alcantarilla. A continuación se describirá la fórmula de Manning.

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

lo que quiere decir:

V = velocidad en m/s.

n = coeficiente de rugosidad.

R = medio hidráulico.

S = pendiente en metros.

\* Procedimiento de la precipitación pluvial. Para este procedimiento se le da paso al agua que puede escurrir de la precipitación. Las formulas que se emplean en este procedimiento, se necesitan datos como la precipitación pluvial que se ha presentado en varios años atrás, la topografía, el tipo de suelo. La formula que se utiliza para casos donde se presentan aguaceros, se calculan con la formula de Burkli Ziegler, que es la que se presenta en seguida:

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

Dicha formula significa:

Q = gasto de la alcantarilla en m<sup>3</sup>/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.

\* Procedimiento racional. Con este procedimiento se supone que la descarga será igual a la precipitación pluvial, menos la retención de la cuenca. Este procedimiento solo se puede confiar si las cuencas son pequeñas o de menos de 400 hectáreas. Para estos casos se emplea la fórmula que dice lo siguiente, el gasto es igual a la precipitación pluvial en un porcentaje que se multiplica por su área tributaria. La fórmula del método racional es la que se presenta de la siguiente manera:

$$Q = 27.52 C I A$$

La cual se refiere a:

Q = Gasto en litros por segundo.

C = Coeficiente de escorrentía.

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

#### **2.6.8 Pendiente de la alcantarilla.**

Continuando con lo que establece Crespo (2005), se da una recomendación, que dice: “la pendiente de en las alcantarillas deben ser la misma que la del lecho de la corriente” (Crespo: 2005; 156). Ya que si la pendiente de la alcantarilla es mayor que la del cauce, está se asolvará en el extremo, en cambio si es menor la pendiente se asolvará en el extremo superior. En lugares donde se tenga zonas montañosas y por lo tanto se tenga que emplear una alcantarilla de longitud muy grande y muy costosa, se recurre a darle una pendiente bastante menor y hacer en su salida un lavadero sobre el terraplén donde pueda escurrir y que llegue al terreno natural.

#### **2.6.9 Diversidad de alcantarillas.**

Son varios factores que intervienen para elegir el tipo de alcantarilla que se utilizará, así lo describe Crespo (2005), de tal motivo que se necesita datos como lo son de topografía, conocer que tipo de suelo es donde se colocara la alcantarilla, las dimensiones de la misma y algo que es muy importante que es la economía. Es conveniente hacer una clasificación de acuerdo con su forma y el tipo de material con el que esta hecha, por esto motivo se clasifica de la siguiente manera:

Alcantarillas de tubo, las cuales están hechas de lamina corrugada, de concreto reforzado, de barro vitrificado y de fierro fundido.

Las alcantarillas de cajón, por su parte se construyen de concreto reforzado y son sencillas o múltiples.

Las alcantarillas de bóveda, por lo regular son de mampostería de concreto simple, sencillas o múltiples.

Y por ultimo las alcantarillas de losa, estas se construyen de concreto reforzado.

En cuanto a la elección de la alcantarilla adecuada, se tiene que ver los factores que ya se mencionaron, además de considerar la economía y la funcionalidad, ya que se tiene que ver la duración y la conservación entre las diferentes opciones que se tienen de alcantarillas.

#### **2.6.10 Distancia de las alcantarillas.**

La distancia que tendrá la alcantarilla depende de varios factores que se relacionan con, el ancho de la corona del camino, la altura del terraplén, del talud, así como el Angulo de esviajamiento. Con respecto al cañón tiene que ser de la longitud requerida para que el material del terraplén no azolve los extremos cuando se presenten derrumbes o deslaves.

#### **2.6.11 Cabezales.**

Ya se mencionó con anterioridad que los muros de cabeza según Crespo (2005), tienen la función de evitar la erosión alrededor del cañón, así como para servir de guía para la corriente y por ultimo para que no se invada el

terraplén al canal. Se construyen de mampostería de concreto e incluso de piedra suelta. En cuanto a la altura, deben ser mas grandes de donde se intersecta con los taludes del camino. En la parte inferior se tiene que prolongar por lo menos 60 cm por debajo de la plantilla el cual forma un dentellon que sirve de cimiento. las dimensiones dependen del tipo de la alcantarilla.

#### **2.6.12 Vados.**

Estas obras se construyen en lugares donde la precipitación es muy irregular o incluso donde los riachuelos llevan corrientes pequeñas. Estos consisten en revestir de concreto por donde pasa el agua y que no perjudica al camino. Es necesario señalar en los vados el tirante del agua. Se debe observar además que no se erosione aguas arriba y aguas abajo, se tiene que facilitar el escurrimiento de manera que no se tenga un régimen turbulento.

#### **2.6.13 Puentes vados.**

Un puente vado tiene la finalidad de servir como puente cuando solo el gasto es mínimo, o sea con nivel de aguas ordinarias y en el caso donde se tengan avenidas con el nivel de aguas máximas extraordinarias, pueda el agua pasar por arriba de la estructura. La longitud y altura se tienen que proyectar de manera que no se tenga obstruida el agua ni que se retengan los arrastres que tienen que pasar por la subestructura esto para que se evite un daño en la misma.

## **2.7 Puentes.**

Un puente es una estructura que sirve para salvar un claro donde se tenga un río, una barranca o incluso pasar sobre otra vía de comunicación. Con los materiales con los que se puede construir es de concreto simple y armado, madera, fierro, piedra, ladrillo. Es la descripción que hace Crespo (2005), acerca de los puentes e incluso comenta para que una estructura se denomine puente tiene que tener mas de 6 metros de longitud y que estos a diferencia de las alcantarillas, no utilizan el colchón de tierra en la parte superior.

### **2.7.1 Reseña histórica de los puentes.**

Así como lo establece Crespo (2005), los primeros puentes son los que con árboles caídos formaban un tipo de puente natural para cruzar de un punto a otro, con el tiempo esta idea la retomaron los egipcios donde el Rey Menis logro hacer el primer puente, después los romanos tuvieron nuevas ideas las cuales plasmaron en los muchos puentes que realizaron, unos de madera y otros en forma de arco hechos de mampostería. Donde aparecieron los primeros puentes de estructura metálica es en Inglaterra. En el occidente los chinos utilizaban los puentes colgantes que ellos mismos inventaron.

### **2.7.2 Principales componentes de un puente.**

Principalmente se conforma de la superestructura, la subestructura y de la infraestructura.

Se puede decir que la superestructura se ubica en la parte superior de la subestructura, y que tiene como finalidad de servir de área de rodamiento o incluso para que puedan transitar.

La subestructura es la parte que recibe las cargas de la superestructura que se encuentran distribuidas a lo largo de esta. Un ejemplo de esta pueden ser la vigas de madera, acero y/o de concreto, Así como las pilas y estribos de mampostería.

En cuanto a la infraestructura, es la parte de la cimentación de un puente, como pueden ser pedestales de mampostería de concreto, cilindros de fricción y pilotes.

### **2.7.3 Estudios para la proyección de puentes.**

Estudios topográficos ayudan a identificar plenamente la ubicación tanto del río o barranca donde se realizará el puente, además de identificar varios puntos importantes para el proyectista como lo es origen del kilometraje ángulo de la corriente, elevaciones y ubicaciones de los bancos de niveles más próximos, entre otros.

Los estudios hidráulicos recaudan datos como lo son secciones del cauce aguas arriba y aguas abajo, el gasto que pasa, niveles de agua tanto extraordinarios como ordinarios, coeficiente de rugosidad del cauce, si la corriente deposita o socava, estos son algunos de los datos que se estudian en cuanto a la hidráulica.

Estudios Geológicos, estos se enfocan en los estudios que se le hacen al suelo con respecto a su composición geológica, de manera que se puede describir algunos de estos estudios como son los siguientes: cargas admisibles que pueden soportar las diferentes capas del suelo, cortes donde se indique los materiales que conforman subsuelo y niveles de agua freática.

Estudios comerciales, dichos estudios se realizan para conocer lo que puede beneficiar y perjudicar a su alrededor, estos son: jornales medios en la región para diferentes categorías, vías próximas de comunicación entre otros.

De acuerdo con lo dicho por Crespo (2005), los puentes se diseñan de tal manera que puedan soportar diversas cargas y de diferentes magnitudes. Cargas como lo son: cargas vivas y muertas, efectos dinámicos o de impacto sobre la carga vivas, fuerzas laterales y longitudinales, así como las banquetas para los peatones entre otros.

#### **2.7.4 Pilas de los puentes.**

Las pilas conforman parte de la subestructura, ya que estas son las que reciben las cargas de la superestructura, está última transmite las cargas que ya se mencionaron a las vigas y a su vez a las pilas para poder bajar dichas cargas al suelo. La forma que deben tener estas estructuras es de manera

semicircular o incluso rectangular pero en los extremos se le da forma triangular de manera que cuando llegue la corriente del río no se obstruya el paso ni la dirección. Los principales factores que afectan a las pilas son la socavación y la erosión que produce el agua en el suelo donde se desplanta las pilas. Las partes que conforman las pilas son: la corona, el cuerpo y la zapata.

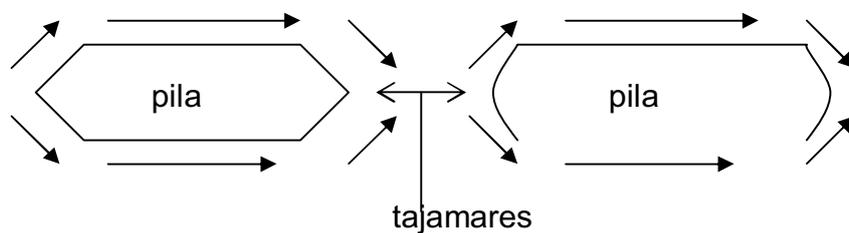


Fig. 15 ilustración de un modelo de pilas.

### 2.7.5 Estribos de pilas.

Estas estructuras sirven como pila y como muro de contención y se ubican en los extremos del puente. La manera en que se construye los estribos son como si fuera una especie de aleros que conforman un ángulo de  $30^\circ$  ó  $45^\circ$ , pueden tener forma de U y forma de V. Las cargas que trasmite los estribos son: cargas vivas y muertas, peso de la corona, del pedestal y las fuerzas de frenado entre otras.

## **2.8 Drenaje subterráneo.**

Partiendo por lo dice Crespo (2005), se requiere estabilidad y seguridad en los caminos por lo tanto es necesario en casos particulares colocar drenes en el suelo para dar salida y controlar los escurrimientos subterráneos. Los materiales impermeables, forman canales de agua los cuales no suben a la superficie. Por tal motivo es necesario realizar estudios donde se localice el nivel de agua freática o corrientes subterráneas que puedan afectar la estabilidad del camino. En el caso de encontrarse con los factores ya mencionados, se tiene que drenar el agua durante el proceso de construcción del camino, por el motivo de que el material no tiene que estar saturado ya que no se llegara a la compactación deseada. Los drenes subterráneos más comunes son: zanjas, drenes ciegos y drenes de tubo.

### **2.8.1 Zanjas.**

Estas se utilizan en lugares aledaños al camino, para ser más exactos paralelamente al eje del camino a unos cuantos metros ya que tiene como objeto el no dejar que llegue el agua a la estructura del pavimento. Las dimensiones son de 60 de base y de 90 a 120 de altura. No pueden ser mas profundas por el motivo de que son peligrosas por el hecho de estar cerca del camino.

### **2.8.2 Drenes ciegos.**

A diferencia de las zanjas es que estas van revestidas de grava o piedra triturada, de igual manera se colocan paralelamente al eje del camino y tener una desembocadura en alguna alcantarilla o un punto bajo. Lo que se tiene que

cuidar en este tipo de drenaje, es el cuidar la granulometría del material ya que esto dependerá de que no se asolve. Las dimensiones de construcción son, de 45 centímetros de ancho y 60 hasta 90 centímetros de altura.

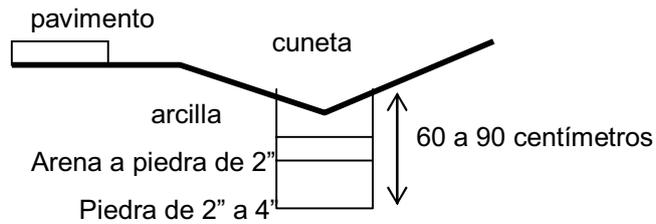


Fig. 16 Drenes ciegos.

### 2.8.3 Drenes de tubo.

los drenes de tubo tiene mejor funcionalidad que los drenes ciegos o las zanjas, solo se tiene que tener cuidado de que la tubería pase por aplastamiento, flexión y capacidad hidráulica, capacidad de infiltración.

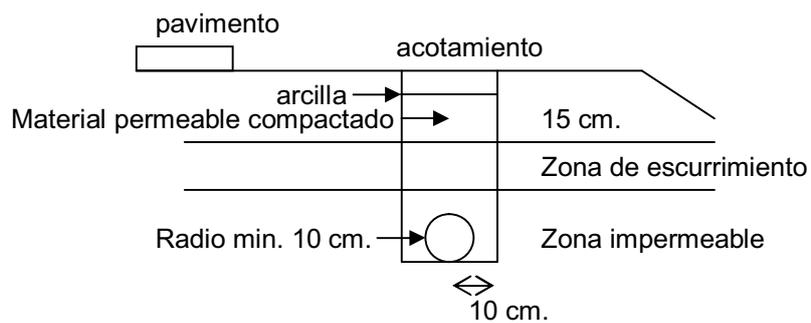


Fig. 17 Drenes de tubo.

## **CAPÍTULO 3**

### **RESUMEN EJECUTIVO DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN.**

El presente capítulo presentará datos como son la ubicación del tramo en estudio así como la localización de las alcantarillas y de más estructuras de drenajes.

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

La localización del tramo en estudio, se encuentra delimitado por el kilómetro 7+000 al 8+500, que comunica las comunidades de Caurio de Guadalupe - Purépero, esto a su vez en el estado de Michoacán.

#### **3.2 Resumen ejecutivo.**

Una vez que se asistió al tramo correspondiente a esta investigación, se realizó la recopilación de datos necesarios para poder ofrecer una crítica objetiva real, en cuanto a las estructuras que ya están construidas y del entorno geográfico y de más datos del lugar. De igual manera se realizó un pequeño aforo vehicular que es la representación real del tránsito del camino.

En cuanto al tramo que se investigo que fue el 7+000 al 8+500 de Caurio de Guadalupe - Purépero, el proyecto cuenta con 3 alcantarillas, de las cuales todas de ellas esta construida de losa y de mampostería de piedra, los cabezales y muros que sostienen la losa. Se localizó un lavadero el cual es adecuado para la cantidad de agua que se tiene que desalojar, por lo que se pudo observar, el lavadero no presenta daños materiales ni problemas de erosión. En cuanto a las alcantarillas tienen las dimensiones adecuadas ya que el nivel aguas máximas que se observo dentro de las alcantarillas se refleja

en la huellas de humedad y sedimentos que se han quedado grabados en las paredes de las alcantarillas, mas adelante los cálculos corregirán o afirmaran lo ya dicho. Ocupando aproximadamente el 50% de la capacidad total de las mismas, ya que son riachuelos de temporada de lluvia, los que cruzan por dichas alcantarillas, así como el agua que se desaloja por medio del bombeo que se tiene en el camino, que a su vez dicha agua, es conducido por bordillos y cunetas. Todo lo que se mencionó con anterioridad con respecto a los sistemas de drenaje que se mencionaron, se analizaran en la fase de cálculos a si como las dimensiones y características principales, para poder afirmar o denegar lo que se menciono.

La recomendación que se puede dar sin tener que analizar los sistemas de drenaje es la siguiente: debido a que las alcantarillas localizadas en el tramo correspondiente a esta investigación se encuentran en un porcentaje aproximado del 5% de asolvamiento con respecto al diámetro de las alcantarillas, la recomendación es el mantenimiento que se le tendría que dar a las mismas, para que sigan en buen funcionamiento y no se tengan problemas posteriores que afecten tanto al usuario como al camino. La conservación es de igual manera para las cunetas y los hombros del camino, ya que en la actualidad se encontraron con demasiada vegetación, la cual puede afectar directamente el camino y los usuarios que transitan sobre el mismo.

### 3.3 Entorno geográfico.

El presente estudio se realizó en el estado de Michoacán, el cual se localiza en la región Centro – Occidente entre los paralelos 20° 23' 44" de latitud norte, y los meridianos 100° 04' 48", 103° 44' 20" de longitud oeste. La extensión territorial es del 3 % de territorio Mexicano.

Limita el estado Michoacán con los estados del lado norte como Jalisco y Guanajuato, por el noreste con Querétaro, al este con el estado de México, al sureste y sur con el estado de Guerrero, al oeste con Colima y parte de Jalisco y al suroeste con el Océano Pacífico. Teniendo como capital la ciudad de Morelia.



Imagen 1, localización del estado de Michoacán

[www.sagarpa.gob.mx/dlg/michoacan/ganaderia/htm](http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/michoacan/ganaderia/htm)

La localidad de Purépero se encuentra localizada al noreste del Estado de Michoacán y sus coordenadas son las siguientes: 19° 54' de latitud noreste, 102° 00' de longitud Oeste y una altura de 2,020 metros sobre el nivel del mar.

Dicha localidad es limitada al Norte con Tlazazalca, al Este con Zacapu, al Sur con Chilchota y al Este con Tangancícuaro. La capital de estado se encuentra a 113 kilómetros con respecto a dicha localidad.

Su relieve está constituido por el sistema volcánico transversal, el cual lo constituye la sierra de Purépero, los cerros de la Alberca, del cobre y de los Pérez.

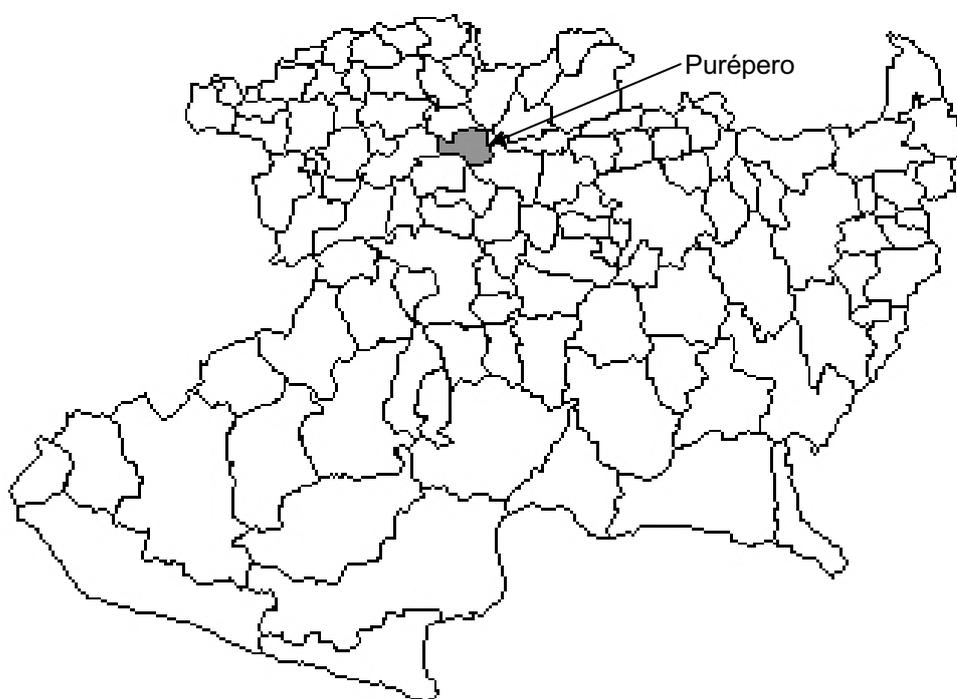


Imagen 2, localización de Purépero Michoacán.

[www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/michoacan/mpios/16070a.htm](http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/michoacan/mpios/16070a.htm)

La hidrografía de Purépero se constituye por los arroyos de Tlazazalca, así como los manantiales de agua fría de la Alberca y las Lajas. En cuanto al clima de esta localidad, es templado con lluvias en verano y su precipitación pluvial anual de 1,400 milímetros, en cuanto a su temperatura es demasiado variado oscila desde los 6° hasta los 45 °C. Su principal ecosistema se compone de por los bosques mixtos donde predominan especies como los

pinos y encinos, en cuanto su fauna se conforma por animales como lo son los armadillos, cacomixtle, zorrillo, coyote y liebre.



Imagen 3, localización del camino Purépero - Caurio de Guadalupe en el estado de Michoacán.

Fuente: INEGI

Las características del suelo de este municipio datan de los periodos cenozoico, cuaternario, terciario y mioceno los cuales corresponden principalmente al de tipo podzólico, en cuanto al uso del suelo es principalmente ganadero y en menor proporción forestal y ganadero.

Las principales vías de comunicación son, la de Morelia – Zacapu – Carapan – Purépero. Además se encuentra a 23 kilómetros de la Autopista de Occidente México – Guadalajara.

Cuenta con telefonía automatizada domiciliar, caseta de teléfono público, cobertura de telefonía celular, entre otros servicios que sirven de comunicación y comodidad para los usuarios.

La actividad económica de este municipio, parte principalmente de la industria ya que cuentan con 7 fábricas de calzado fino y de trabajo, 3 de lácteos y alimentos balanceados, así como textiles y prendas de vestir, talles de torno, talleres para elaboración de muebles y de curtiduría.

Además de los pobladores cuentan con ingresos de la ganadería y la agricultura, estos ingresos no son muy significativos ya que lo que se cultiva y lo que se produce es muy poco. En cuanto a lo que se cultiva en la zona es principalmente, Maíz, repollo, tomate de hoja, frijol, alfalfa, janamargo y trigo, además se tiene cierta presencia de hurtas de aguacate. En cuanto a la ganadería se cría principalmente ganado porcino, bovino, caprino, ovino, caballar, aves de corral y la apicultura.

### **3.4 Informe fotográfico.**

En las siguientes imágenes se muestran las condiciones reales de los sistemas de drenaje y la vegetación, que se encuentran en el tramo que se estudió.



Imagen 4, Localización de la alcantarilla de losa, con la vegetación que la rodea. Km. 7+180  
Fuente: propia



Imagen 5, En la alcantarilla que se muestra, se observa el asolve y así como sus dimensiones Km. 7+180  
Fuente: propia



Imagen 6, vegetación que se encontró en los hombros del camino. Km. 7+400  
Fuente: propia



Imagen 7, Localización de cuneta y bordillo Km. 7+ 860  
Fuente: propia



Imagen 8, Ubicación del lavadero. Km. 8+080  
Fuente: propia



Imagen 9, Tipo de vegetación que se encontró en el camino que afecta las obras de drenaje, así como la visibilidad de los usuarios. Km. 7+ 520



Imagen 10, Localización de la alcantarilla de losa.  
Km. 7+606  
Fuente: propia



Imagen 11, Tipo de vehiculo con mas tonelaje que transita por el camino.  
Fuente: propia



Imagen 12, Localización de alcantarilla de losa.  
Km. 7+815  
Fuente: propia



Imagen 13, Se muestra en la fotografía, la cuneta que va a lo largo del corte del terreno, protegiendo el cuerpo del camino.  
Fuente: propia

### **3.5 Estudios de tránsito.**

El tránsito en un camino juega un papel importante ya que si no se tiene un estudio de tránsito que sea confiable se tendrán problemas a futuro como lo es el congestionamiento.

En el caso particular del tramo en estudio, forma parte de un camino tipo c el cual comunica a Purépero y Caurio de Guadalupe, por tal motivo el camino tiene poco tránsito. En dicho camino se encontró con vehículos de tipo Ap carros, Ac camionetas y camiones de carga como C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>. Se considera en el tránsito la circulación de remolques, maquinaria agrícola, bicicletas y motocicletas.

Los vehículos de tipo Ap y Ac, son los que tienen mayor circulación por el camino ya que como se menciona con anterioridad los pobladores de diferentes localidades aledañas a la población de Purépero se trasladan con la finalidad de trabajar en el ramo de la industria. Para el campo existe poca movilización ya que solo en la temporada de cosecha es cuando transitan vehículos de tipo C<sub>2</sub> Y C<sub>3</sub>.

El volumen de tránsito que se tiene en la zona de estudio es de 32 vehículos en una hora, de los cuales el 18.76 % son de tipo Ap, mientras que el 71.86 % corresponde a los de tipo Ac, para los vehículos de carga tipo C<sub>2</sub>, le corresponde un 6.25 % y para los de tipo C<sub>3</sub>, solo un 3.13 %.

### **3.6 Alternativas de solución.**

Para el tramo que se estudió pudieron ser utilizadas varias alternativas que pudieron tener un buen funcionamiento o incluso desecharlas por razones que a continuación se mencionaran.

En el caso de las cunetas, se podrían construir de sección trapezoidal o triangular. Lo que determina los aspectos anteriores es la cantidad de agua que circulara a través de estas estructuras. Las cunetas son revestidas de concreto principalmente, esto para que el agua no erosione el material de los hombros del pavimento asfáltico o incluso los taludes que tienen los cortes de terreno natural.

El bombeo del camino que se considera ideal para caminos asfaltados es del 2 %, en las curvas, la sobre-elevación de la misma tiene función de bombeo para drenar el agua, al punto de descarga.

Las alcantarillas se eligen de acuerdo a la cantidad de agua que se desea drenar o incluso el tipo de suelo. Las alternativas son distintas, como lo pueden ser de losa, de tubo y de bóveda.

Las alcantarillas que se utilizaron en el tramo en estudio que comprende del kilómetro 7+000 al 8+500, son 3 alcantarillas de losa. La alcantarilla de losa es construida por muros de mampostería de manera transversal al eje del camino, con la finalidad de soportar los empujes del propio suelo y de servir como base para soportar la losa, la carpeta y las cargas vivas. Los cabezales forman parte de la alcantarilla los cuales se localizan al principio y al final de la alcantarilla, de igual manera son contruidos de mampostería de piedra.

Las cunetas tendrán que ser de sección triangular y revestidas de concreto tales como son las cunetas tipo que marca la SCT, los taludes de estas cunetas son los siguientes:

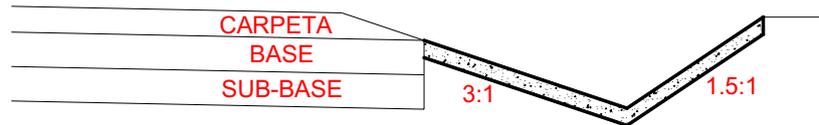


Imagen 32, Sección de la cuneta que establece la SCT.

## CAPÍTULO 4

### METODOLOGÍA

En presente capítulo se expone la metodología que se llevó a cabo durante el proceso de investigación de la presente tesis. Se presenta el método que se utilizó, el ordenamiento y la estrategia de recopilación de datos, así como el proceso para investigar.

#### 4.1 Método empleado.

De acuerdo con lo establecido por Mendieta (2005), en la investigación presente se empleó el método científico, y se considera de carácter deductivo por el motivo que se tuvo de observar los principales problemas y la manera de resolverlos, para poder dar una solución a dichos rasgos importantes. “El método científico es un procedimiento para descubrir las condiciones en que se presentan sucesos específicos, caracterizado generalmente por ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica,” (Tamayo; 2000: 35)

Según Ander Egg, que a su vez es citado por Tamayo (2000), se caracteriza el método científico de la siguiente manera:

- Es de manera Fáctico, por la razón que se tiene una referencia empírica.
- Trasciende los hechos, ya que los científicos expresen la información para tener resultados mas acercados con la realidad.
- Verificación empírica. Se formulan con está una serie de respuestas para los problemas planteados o para apoyar las afirmaciones.

- Autocorrectivo. Rechaza o ajusta en el proceso, las propias conclusiones.
- Es objetivo, ya que no permite que se distorsione el hecho, mediante circunstancias concretas.

Por consiguiente el método matemático es aplicable, ya que el ser humano, aplica procedimientos científicos, para analizar cuantitativamente un problema a resolver, dando como resultado, comparaciones de cantidades, valores económicos y capacidades.

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

Así mismo, Mendieta (2005), comenta que una vez que se tenga que comprobar algo, o por lo contrario una negación, se acude a los números que confirmen lo supuesto, por tales motivos y específicamente en esta investigación se tiene un enfoque cuantitativo, ya que el tramo en estudio, se tiene que llegar a la conclusión de si son o no, las instalaciones adecuadas. Y para lograr el objetivo se tiene que emplear ciencias exactas como por ejemplo las matemáticas, que son parte fundamental en la ingeniería civil. Por su parte Hernández (2005), comenta al respecto, que cuando se aplica un enfoque cuantitativo, se tiene un control en los conteos y magnitudes que influyen en los fenómenos, y se obtiene dicho control con resultados amplios que ayuden a tener mejores visiones de la realidad.

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

Existen diferentes alcances, como lo son, el exploratorio, el descriptivo y por ultimo el correlacional, aun que para el desarrollo que se realizo en esta investigación, solo se utilizo el estudio descriptivo, por el motivo que continuación Hernández (2005) expone. Los estudios descriptivos describen hechos, situaciones o eventos. Dichos estudios buscan la manera de especificar las propiedades, así como las características principales de seres humanos o de fenómenos que se encuentren en estudio. El estudio descriptivo tiene como objetivo la recopilación de datos de diferentes aspectos, como lo son, dimensiones o partes de que conforman a un fenómeno que se desee analizar. Para el caso de la presente investigación, el investigador que tiene el enfoque cuantitativo hace la descripción de manera de medición, por el hecho de los cálculos exactos que se realizan durante el proceso de la investigación, ya que el resultado tiene que ser confiable y de plena seguridad.

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

Partiendo de lo dicho por Hernández (2005), los tipos de diseño se subdividen en experimentales y no experimentales, y a su vez las no experimentales se clasifican en transeccionales o longitudinales. En está investigación no se realizarán experimentos y el diseño de la ya mencionada tesis en estudio. Será de manera no experimental y transeccional, o también llamado transversal. Esto quiere decir que la recopilación de datos físicos como cuantitativos, que son recaudados por el investigador en un determinado tiempo, no aplica para tiempos posteriores, por el hecho de que cambian las condiciones iniciales donde se dio origen a la presente investigación. En

cuanto al diseño transeccional descriptivo, como su nombre lo dice son puramente descriptivos. Describen en un punto e el tiempo eventos, fenómenos, conceptos y variables, y en al caso de que sean hipótesis, de igual manera solo será puramente descriptiva. En la actualidad se manifiesta una tendencia a describir cuantitativamente como cualitativamente, por el hecho de que se utilizan diferentes variables, como es el caso de los materiales de construcción o incluso los conceptos para la elaboración de cualquier trabajo de construcción, se realiza una descripción física de los ya mencionados, para poder hacer cuantitativamente un análisis, que determina cantidades o dimensiones.

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

Hernández (2004) establece que, en el caso del enfoque cuantitativo, se recurre a varios tipos de cuestionarios, en conjunto con pruebas estandarizadas, así mismo como su recopilación, todos estos datos construyen un análisis estadístico. Para realizar la recopilación de datos, es necesario seguir con una serie de pasos a seguir. Primero se elige uno o varios instrumentos de recopilación que tengan que ver con el enfoque cuantitativo, además depende del planteamiento del problema y de los alcances de la investigación. Los datos que se obtienen se aplican directamente para realizar su análisis correspondiente en programas que realcen la fase de cálculos o de mediciones exactas. En el caso específico del proceso de investigación de esta tesis, se utilizó programas como lo son, el AutoCad y el Excel.

La recopilación cuantitativa, se refiere a realizar mediciones, las cuales relacionan conceptos abstractos como empíricos, mediante cuantificación o

clasificación. Para dicha recopilación deberá cumplir con los requisitos que son validez y confiabilidad. Para realizar una recopilación de datos son necesarias dos fases que son, la introducción inicial en el campo y la recopilación de los datos que se obtuvieron en el trabajo de campo, para realizar su respectivo análisis.

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

El proceso que se realizó en la presente investigación fue el siguiente: en primer lugar se identificó el tramo que se deseaba estudiar, una vez que se tiene identificado el lugar, que tiene objetivo el tema de tesis, se analizó visualmente y recopilaron los datos importantes como son la localización de los sistemas de drenajes existentes, así como la medición de las mismas, para posteriormente proseguir con la obtención de datos, los cuales se recopilaron con alguna dependencia de gobierno o particular. Una vez que se obtuvo una captación de datos satisfactoria sobre el tramo en estudio, se procedió a revisar, especialmente el tema que se enfoca la tesis, que es el drenaje de todo el tramo que se estudió.

Ya que se obtuvieron los datos de campo, necesarios para realizar los cálculos correspondientes, se procedió a realizar el análisis que determinará si realmente son o no adecuadas las instalaciones de drenaje que se encontraron realmente y físicamente en el lugar de estudio, y con esto ofrecer una solución a la pregunta de investigación una vez que los cálculos ofrezcan resultados contundentes y en todo caso verificar si se cumplió o no el objetivo de la tesis, además de poder dar una recomendación en el caso de que ser requerido.

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo muestra los cálculos que fueron requeridos para realizar la revisión de las obras de drenaje que se tienen en el tramo en estudio, con el objetivo de ofrecer una crítica objetiva de dichas obras y compararlas con los resultados obtenidos. Al finalizar los cálculos se realizará un análisis comparativo donde se puede decidir si son o no las estructuras de drenaje, las adecuadas para drenar la cantidad de agua que se tiene en la zona de estudio.

#### 5.1 Obtención del área y de la pendiente de la cuenca.

Para obtener el área de la cuenca, fue necesario trazar el parteaguas de la misma sobre la carta topográfica E14A11 del estado de Michoacán, con la ayuda de programa AutoCad, se trazo la cuenca y se obtuvo el área correspondiente a la ya mencionada, tal y como se muestra en la figura 33.

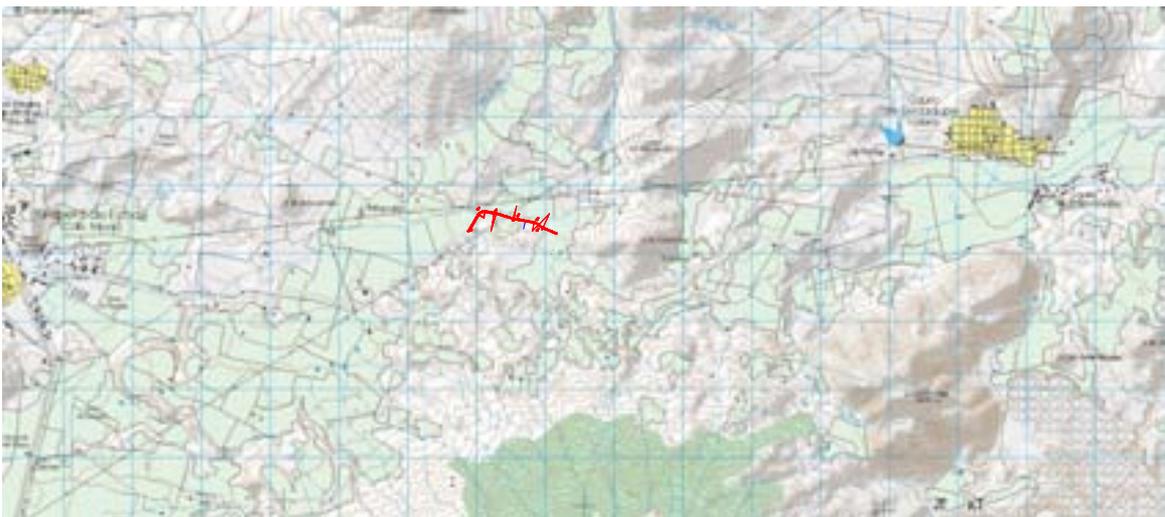


Imagen 14, muestra la localización del tramo en estudio

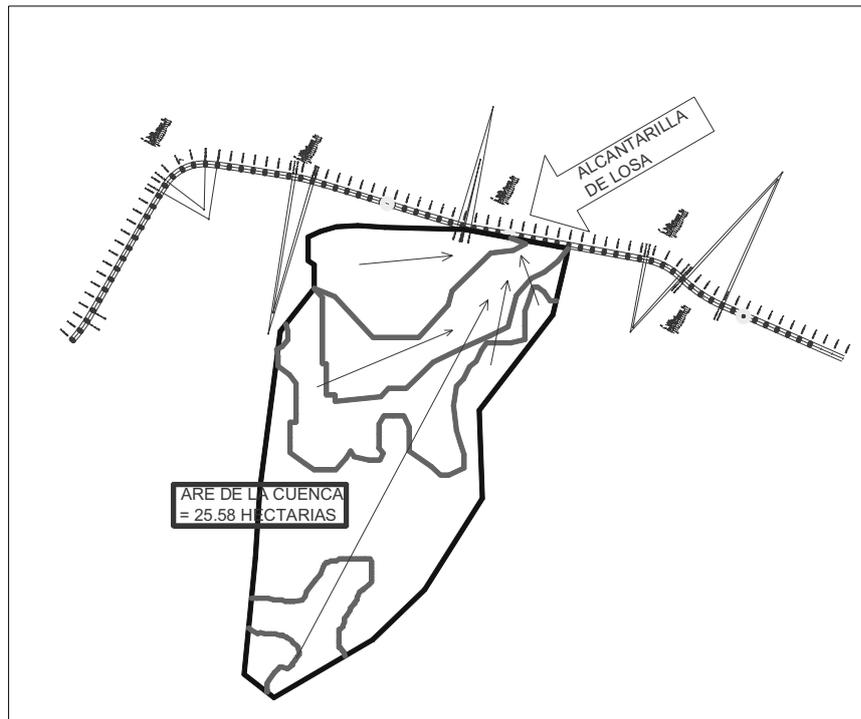


Imagen 15, Área de la cuenca establecida

La manera de obtención de la pendiente fue necesario recurrir a la fórmula que establece el criterio de Alvord, la cual se muestra a continuación:

$$Sc = \frac{PA}{Az}$$

$$Pendiente = \frac{(desnivel\ entre\ curvas)(longitud\ total)}{\text{área de la cuenca}}$$

Datos:

- Desnivel constante entre curvas de nivel, en kilómetros. = 0.02 Km.
- Longitud total de las curvas de nivel dentro de la Cuenca, en Kilómetros. = 2.75 Km.
- Área de la cuenca en Kilómetros cuadrados = 0.25  $\text{Km}^2$

$$Ponderación = \frac{0.02 \times 2.75}{0.25} = 0.21$$

## 5.2 Revisión de las cunetas.

Se comienza por analizar la cuenta tipo que es la que establece la SCT, esto para conocer el gasto que desaloja y poder realizar una comparación con el gasto que se tiene en las cunetas de proyecto (**ver anexos D**).

El gasto para la cuneta tipo, se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q = A \times V$$

Donde:

A= Área de cuenca en metros cuadrados, ( $\text{m}^2$ ).

V= Velocidad en metros cúbicos sobre segundo, ( $\text{m}^3/\text{seg}$ ).

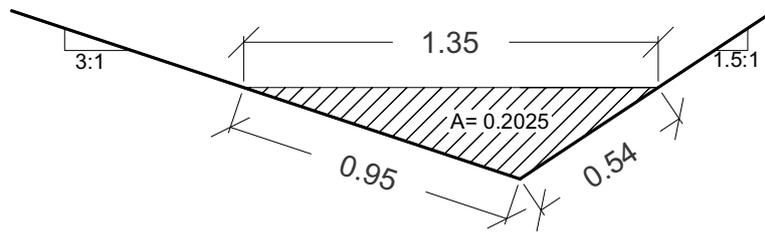


Fig. 18, Dimensiones de la cuneta tipo según la SCT

$$A = 0.2025 \text{ m}^2$$

Para obtener el valor de la velocidad, es necesario recurrir a la fórmula de Manning la cual es la siguiente:

$$V = \left[ \frac{1}{n} \right] \left[ R^{2/3} \right] \left[ S^{1/2} \right]$$

En el capítulo 2 muestra la definición de las variables de esta fórmula, así como los valores de la rugosidad (n), que para este caso se aplicará:  $n = 0.03$  el cual se aplica cuando se tiene roca lisa y uniforme.

$$R = \frac{\text{Área de la cuneta}}{\text{perímetro mojado}} = \frac{0.2025}{1.4889} = 0.1360$$

Las pendientes en las subcuencas de cada tramo son:

Tramo N° 2-----  $S = 0.005$

Tramo N° 4-----  $S = 0.011$

Tramo N° 5----- S= 0.005

Tramo N° 6----- S= 0.010

Tramo N° 7----- S= 0.018

Como se puede observar se tienen varias pendientes, por lo tanto se tendrá una velocidad de cada tramo con la ya mencionada fórmula de Manning.

$$\text{Tramo N° 2----- } V = [1/n][R^{2/3}][S^{1/2}] = \left[ \frac{1}{0.02} \right] [0.1368^{2/3}] [0.005^{1/2}] = 0.467$$

m/seg

$$\text{Tramo N° 4----- } V = [1/n][R^{2/3}][S^{1/2}] = \left[ \frac{1}{0.02} \right] [0.1368^{2/3}] [0.011^{1/2}] = 0.693$$

m/seg

$$\text{Tramo N° 5----- } V = [1/n][R^{2/3}][S^{1/2}] = \left[ \frac{1}{0.02} \right] [0.1368^{2/3}] [0.005^{1/2}] = 0.467$$

m/seg

$$\text{Tramo N° 6----- } V = [1/n][R^{2/3}][S^{1/2}] = \left[ \frac{1}{0.02} \right] [0.1368^{2/3}] [0.010^{1/2}] = 0.661$$

m/seg

$$\text{Tramo N° 7----- } V = [1/n][R^{2/3}][S^{1/2}] = \left[ \frac{1}{0.02} \right] [0.1368^{2/3}] [0.018^{1/2}] = 0.887$$

m/seg

Se sustituye los valores en la fórmula del gasto, mencionada en el capítulo 2

$$Q = A \times V$$

Tramo N° 2-----  $Q = A \times V = (0.2025)(0.467) = 0.095 \text{ m}^3/\text{seg}$

Tramo N° 4-----  $Q = A \times V = (0.2025)(0.693) = 0.140 \text{ m}^3/\text{seg}$

Tramo N° 5-----  $Q = A \times V = (0.2025)(0.467) = 0.095 \text{ m}^3/\text{seg}$

Tramo N° 6-----  $Q = A \times V = (0.2025)(0.661) = 0.134 \text{ m}^3/\text{seg}$

Tramo N° 7-----  $Q = A \times V = (0.2025)(0.887) = 0.180 \text{ m}^3/\text{seg}$

Se puede observar que en el tramo más crítico es el N° 7, donde se presenta el gasto más grande que soporta la cuneta tipo, el gasto es de  $0.180 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

- A continuación se procede a calcular el gasto que soporta la cuneta existente en el tramo crítico.

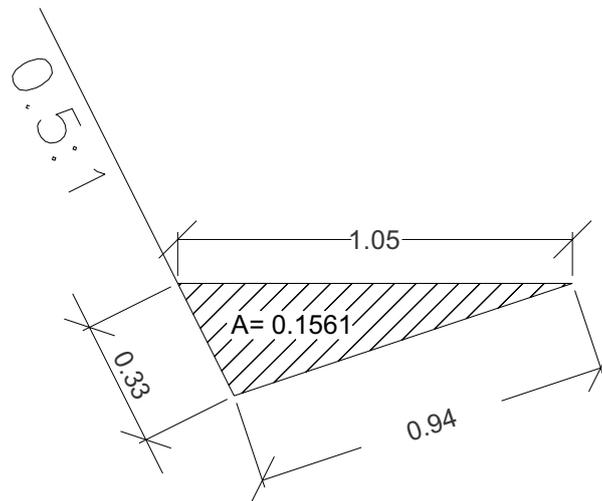


Fig. 19, Dimensiones de la cuneta de proyecto.

$$A = 0.1561$$

S = 0.018 corresponde a la subcuenca crítica.

$$R = \frac{\text{Área de la subcuenca}}{\text{perímetro en km}} = \frac{0.1561}{1.27} = 0.123$$

$$V = \left[ \frac{1}{n} \right] [R^{4/3}] [S^{2/3}] = \left[ \frac{1}{0.03} \right] [0.123^{4/3}] [0.018^{2/3}] = 0.566 \text{ m/seg}$$

$$Q = (0.1561)(.566) = 0.088 \text{ m}^3/\text{seg}$$

- Se revisará el gasto que se tiene en la subcuenca mas crítica, para esto es necesario recurrir a la formula de Burkli-Ziegler, está fórmula ya fue explicada en el capítulo 2.

$$Q = 0.022CIA^2\sqrt{S/A}$$

Para obtener el área de las subcuencas fue necesario utilizar el programa AutoCad y los resultados fueron los siguientes:

Tramo N° 2 ----- A= 5.44 hectáreas.

Tramo N° 4 ----- A= 6.33 hectáreas.

Tramo N° 5 ----- A= 4.66 hectáreas.

Tramo N° 6 ----- A= 2.47 hectáreas.

Tramo N° 7 ----- A= 18.25 hectáreas.

C = 0.25 El valor corresponde en donde hay terrenos de cultivos.

I = 1.5 cm/hr intensidad de lluvia.

S= 0.90 Este valor corresponde al promedio de las pendientes de la subcuenca crítica y a la que se tiene en el camino (ver anexo C).

$$Q = 0.022CIA \sqrt{S/A} = (0.022)(0.25)(1.5)(18.25) \sqrt{0.90/18.25} = 0.112 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Por lo tanto, la cuneta de proyecto, no es la adecuada para desalojar el gasto generado en la subcuenca. En cambio la cuneta tipo, si tiene la capacidad para desalojar el gasto que se tiene en todo el tramo que se estudió.

### 5.3 Calculo de las alcantarillas.

Se localizaron tres alcantarillas de losa en el tramo que se estudio, las tres alcantarillas tienen dimensiones iguales, para conocer la alcantarilla más crítica, se identificó la cuenca con mayor área. La ubicación de las alcantarillas son en los kilómetros 7+180, 7+606, 7+815 (ver anexo B).

La alcantarilla que se encuentra en el kilometro 7+606, es la que se calculara ya que tiene la cuenca con mayor área. El flujo que lleva la cuenca, es en dirección de izquierda a derecha en el sentido del cadenamiento y tiene un área de 25.58 hectáreas, esta cuenca aporta directamente una cantidad de agua, solo en temporada de lluvias.

#### 5.3.1 Revisión de la sección.

Para realizar el cálculo de la sección se recurre a la fórmula de Talbot.

$$S = 0.14932 C \sqrt{(A)^3}$$

Donde:

C= 0.5 valor que corresponde al lomerío suave.

A= 25.58 hectáreas.

$$S=0.1832 C \sqrt{(A)^3} = (0.1832)(0.5)(\sqrt{(25.58)^3}) = 1.04188 \text{ m}^2$$

Las dimensiones de la sección de proyecto son:

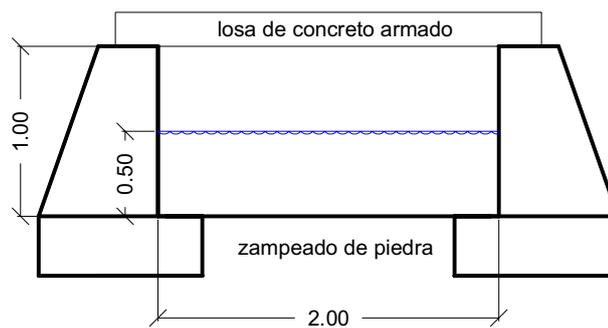


Fig. 20, Dimensiones de la sección de proyecto.

Teniendo un área de  $2 \text{ m}^2$  y el área que se requiere es de  $1.041 \text{ m}^2$  por lo tanto la sección se acepta, ya que se considera un borde libre de 50 cm.

### 5.3.2 Cálculo de la losa de la alcantarilla.

Datos generales para los cálculos de la losa y los muros de contención:

Ancho de la losa = 2.50  $m$

Largo de la losa = 1  $m$  (se tomará como viga ancha)

$f'c$  del concreto = 200  $kg/cm^2$

$f''c$  del concreto = 136  $kg/cm^2$

$f^*c$  del concreto = 160  $kg/cm^2$

Peso volumétrico del concreto armado = 2400  $kg/m^3$

Peso volumétrico del concreto simple = 2200  $kg/m^3$

Peso de la carpeta asfáltica = 20  $kg/m^3$

Espesor de la carpeta asfáltica = 15  $cm$

Material de base = 20  $cm$

Peso volumétrico del material de base = 1600  $kg/m^3$

Peralte de la losa = 20  $cm$

Dimensiones de la guarnición = 15  $cm$  de ancho x 20  $cm$  de altura

Carga móvil = camión C3 = 20 ton = 44091.8 lbs.

Peso específico del terreno natural = 1600  $kg/m^3$

- Calculo de la carga muerta.

	Losa	Guarnición	Carpeta asfáltica	material de base
operación	(1x.20x2400)	(.20x.15x2200)	(1x20x15)	(1x.20x1600)
resultado en kg/m	480	66	300	320
total en kg/m	1166			
total en ton/m	1.16			

- Momento por carga muerta.

$$M_{cms} = \frac{(1.16 \times 2.4^2)}{8} = 1.28 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$M_{cms}$  que soportará la losa por cada metro.  $M_{cms} = \frac{1.28}{1} = 1.28 \text{ ton} \cdot \text{m/m}$

- Fuerza cortante sin carga viva y tomando en cuenta el muro de contención.

$$V_{cms} = \frac{(1.16 \times 2.4)}{2} = 2.045 \text{ ton}$$

- Fuerza cortante con carga viva y sin tomar en cuenta el muro de contención.

$$V_{cms} = \left[ \left( \frac{(2.045 \times 2.4) \times 2.4}{2.4} \right) / 2 \right] + \left[ \left( \frac{(2.045 \times 2.4)}{2.4} \right) / 2 \right] = 5.89 \text{ ton}$$

Se toma el  $V_{cms}$  mayor que es el de 5.89 ton

- Calculo de la carga viva.

Carga del camión C3 =  $W = 44,091.8 \text{ lb} = 20,000 \text{ kg}$

Carga de la rueda =  $P = 0.4 \times W = 7994.7251 \text{ Kg}$

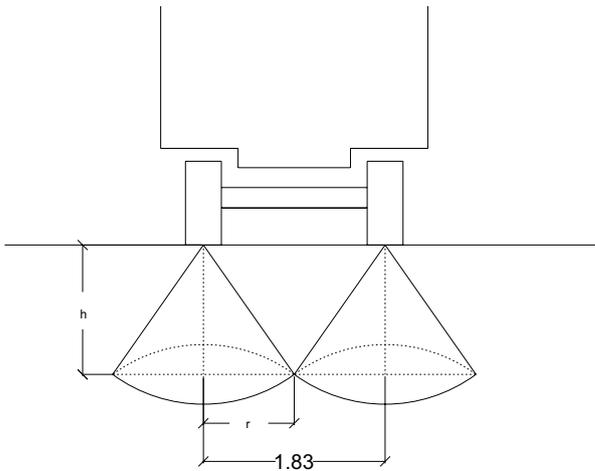


Fig. 21, Carga viva que trasmite el camión a la estructura del pavimento.

$$r = h = \frac{1.83}{2} = 0.91$$

$$A = \pi r^2 = (3.1416 \times 0.91)$$

$$S = \frac{P}{A} = \frac{7994.7251}{\pi(0.91^2)} = 3073.05 \text{ kg/m}^2$$

Carga por metro lineal =  $3073.05 \text{ kg/m}$

$$P = 3073.05 \times 2.5 = 7682.629 \text{ Kg}$$

$$M_{cv} = \left[ \left( \frac{7682.629}{2.5} \right) / 2 \right] \times \left[ \left( \frac{2.5}{2} \right) / 2 \right] = 2.40082 \text{ ton-m}$$

Momento que soportará por metro lineal =  $2.40 \text{ ton-m/m}$

Para el momento por impacto ( $M_{imp}$ ) se tomará un 30% de  $c_v$

$$M_{imp} = 2.40 \times 0.3 = 0.720 \text{ ton} \cdot \text{m/m}$$

Sumatoria de carga viva + impacto

$$M_{total} = 2.40 + 0.72 = 3.121 \text{ ton} \cdot \text{m/m}$$

$$M_{total \text{ de } c_v + c_m} = 3.121 + 1.28 = 4.40 \text{ ton} \cdot \text{m/m}$$

- Cálculo del peralte y el armado de la losa.

Peralte de la losa = 20 cm     $d_{min} = 17 \text{ cm}$

$$M_u = M \times 1.4 = 4.40 \times 1.4 = 6.159 \text{ ton} \cdot \text{m}$$

$$P_{min} = \frac{0.5 \cdot M_u}{f_y} = 0.002$$

$$P_{max} = \left( \frac{f_c}{f_y} \right) \left( \frac{400}{2000 + f_y} \right) \times 0.75 = 0.011$$

$$P = \left( \frac{f_c}{f_y} \right) \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_u}{(f_c - 0.85 f_c) (b \cdot d^2)}} \right) = 0.006$$

$P_{min} < P < P_{max}$  Por lo tanto se cumple por este concepto.

$$A_s = P b d = (0.006)(1)(17) = 10.606 \text{ cm}^2$$

$$\text{Comprobando con } A_{st} = \left( \frac{0.5 \cdot M_u}{(f_y - 0.85 f_c)} \right) (100) = 2.619 \text{ cm}^2$$

Se usará varilla del N° 5 que tiene un área de 1.98  $\text{cm}^2$  por lo tanto la separación de las varillas es la siguiente:

$$Sep = \frac{200 \times 200}{19.696} = 18.667 \approx 19 \text{ cm}$$

La separación mínima es de 6  $\text{cm}$  y la máxima es de 50  $\text{cm}$  por lo tanto la separación que se utilizará en el lado corto es de 19  $\text{cm}$

Como en el sentido del lado largo no existe flexión se usará el  $A_s \text{ mín}$  o el  $A_s \text{ tot}$  el sea el mayor de los dos.

$$A_s \text{ tot} = 2.619 \text{ cm}^2$$

$$A_s \text{ con el } F_{\text{mín}} = F_{\text{corte } b \cdot d} = 4.007 \text{ cm}^2$$

La separación para este sentido será de:

$$S = \frac{200 \cdot 200}{A_s} = \frac{200 \times 150}{4.007} = 49.414 \text{ cm}$$

Por lo tanto la separación máxima es de 50  $\text{cm}$  y la mínima es de 6  $\text{cm}$  y la separación que arrojo el calculo se encuentra en el límite de la separación máxima por lo que se toma la decisión de poner la separación de 25  $\text{cm}$  por cuestión de seguridad

- Revisión por cortante.

$$F_v = (F_{max})(L_d) = 2863 \text{ Kg}$$

$$V_{cr} = 0.5 F_r b d (f'c)^{1/2} = 8601.395 \text{ Kg}$$

$V_{cr} > F_v$  por lo tanto se cumple por este concepto.

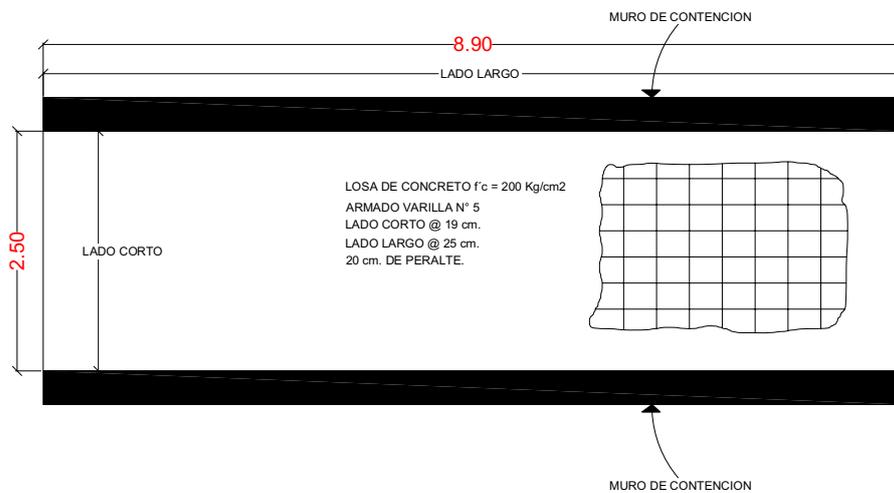


Fig. 22, Resultados obtenidos para la losa de concreto armado.

### 5.3.3 Cálculo de los muros de contención.

Los datos que se requieren para el calculo de los muros como el de los aleros son los mismos que se utilizaron para la losa.

Para comenzar con el análisis de cargas actuantes es necesario aclarar que las cargas tanto de la losa como el peso que se tiene arriba de ella, se aplicaran como si estuvieran simplemente apoyadas en los muros de contención.

- Análisis de cargas actuantes sobre el muro.
- Carga muerta

	Losa	Guarnición	Carpeta asfáltica	material de base
operación	(1x.20x2400x2.5)	(.20x.15x2200x2.5)	(1x20x2.5)	(1x.20x1600x2.5)
resultado en Kg	1200	165	50	800
total de carga muerta en Kg	2215			

Carga por metro lineal de alcantarilla =  $2215 \text{ Kg/m}$

Carga muerta que soportará cada muro de contención =  $\frac{2215}{2} = 1107.5 \text{ Kg/m}$

- Carga viva sobre la losa.

Carga por metro lineal=  $3073.052 \text{ Kg/m}$  (fue calculado en la losa)

Carga que soportará en cada muro=  $\frac{3073.052}{2} = 1536.526 \text{ Kg/m}$

Carga por impacto

se toma un 30% de la carga viva =  $1536.526 \times 0.30 = 460.958 \text{ Kg/m}$

Carga total que se le aplicará al muro

$$W_t = C_m + C_v + Imp = 1107 + 1536.526 + 460.958 = 3104.984 \text{ Kg/m}$$

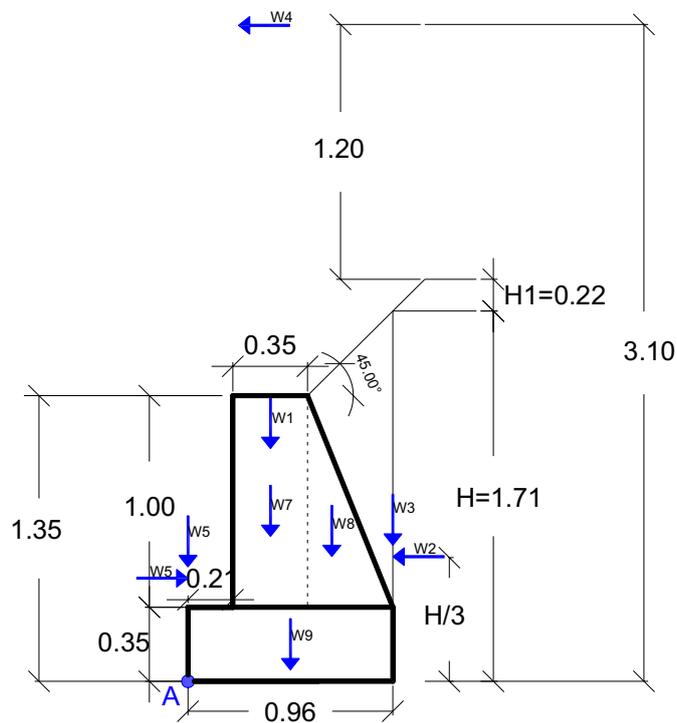


Fig. 23, Dimensiones y fuerzas ejercidas sobre el muro de contención

Relación  $\frac{W_2}{W} = \frac{1.71}{3.10} = 0.13$

Se considera para el material de relleno como tipo II

Como el ángulo del talud es igual o mayor a 45° se considera los siguientes valores obtenidos de las tablas que se encuentran en el **anexo A**

$$KH = 700 \frac{Kg}{m^2} / m$$

$$KV = 100 \frac{Kg}{m^2} / m$$

- Empujes verticales y horizontales del terreno tipo II

$$EH = \left(\frac{1}{2}KH\right) (H^2) = 1023.435 \text{ Kg/m}$$

$$EV = \left(\frac{1}{2}KV\right) (H^2) = 146.205 \text{ Kg/m}$$

- La fuerza de frenado se considera un 10% de **CV**

$$Pf = 1536.526 \times 0.10 = 153.65 \text{ Kg/m}$$

- Fuerzas ejercidas por el agua

$$Pa = \frac{\text{Peso específico del agua} \times H^2}{2} = \frac{1000 \times 1.5^2}{2} = 1125 \text{ ton}$$

- Peso del agua sobre la base del muro

$$(1000)(0.5) = 500 \text{ Kg/cm}^2 \text{ área de la base expuesta } 21 \text{ cm} \times 1 \text{ m}$$

$$\text{Presión} = 500 \times 0.21 = 105 \text{ Kg/cm}$$

- Peso del cuerpo (muro de contención)
- Rectángulo

$$\text{Atura} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Peso de la piedra braza} = 1600 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Ancho} = 0.35 \text{ m}$$

$$\text{Peso total por metro lineal} = (1 \times 0.35 \times 1600) = 560 \text{ Kg/m}$$

- Peso del triangulo

Atura= **1 m**      Peso de la piedra braza= **1600 Kg/m<sup>3</sup>**      Ancho= **0.40 m**

$$\text{Peso total por metro lineal} = \left( \frac{1 \times 0.4}{2} \times 1600 \right) = 320 \text{ Kg/m}$$

- Peso de la base

Atura= **0.35 m**      Peso de la piedra braza= **1600 Kg/m<sup>3</sup>**      Ancho= **0.96 m**

$$\text{Peso total por metro lineal} = (0.35 \times 0.96 \times 1600) = 537.6 \text{ Kg/m}$$

- **Factor de seguridad al volteo**

Fuerzas  
volteantes

	Fuerzas	Brazo	Momento
W2	1023.435	0.570	583.358
W4	153.653	3.1	476.323
		total Kg/m	1059.681

Momento resistente

	Fuerzas	Brazo	Momento
W1	3104.984	0.385	1195.419
W3	146.205	0.96	140.357
W5	125	0.167	20.833
W6	105	0.105	11.025
W7	560	0.385	215.6
W8	320	0.48	153.6
W9	537.6	0.717	285.459
		total Kg/m	2022.293

$$F_s \text{ volteo} = \frac{\text{momento resistente}}{\text{momento volteante}} = \frac{2022.293}{1059.681} = 1.908 > 1.5 \text{ por lo tanto se acepta.}$$

- **Factor de seguridad por deslizamiento.**

fuerzas verticales		fuerzas resistente	
W1	3104.984	W5	125
W3	146.205	Total	
W6	105	Kg/m	125
W7	560		
W8	320	empujes deslizantes	
W9	537.6	W2	1023.435
total		W4	153.653
Kg/m	4773.789	Total	
		Kg/m	1177.088

Las fuerzas verticales se multiplican por:

$$f = \tan \frac{2}{3} f_l = \tan \frac{2}{3} \times 39 = 0.488$$

$f_l = 39$  este valor es el ángulo de fricción interna supuesto para el suelo tipo II

$$F_s = \frac{(\sum \text{fuerzas verticales} \times f) + \text{empuje resistente}}{\text{empuje deslizante}} = \frac{(4773.789 \times 0.488) + 125}{1177.088}$$

$F_s \text{ deslizamiento} = 2.085 > 1.5$  por lo tanto se cumple por este concepto

- Para la capacidad de carga se supondrá  $1 \text{ Kg/cm}^2$  ó  $10 \text{ ton/m}^2$  este valor se considera bastante aceptable para que resista la estructura de la alcantarilla.

$$\text{Esfuerzo actuante} = \frac{\sum \text{fuerzas verticales}}{\text{base del muro de contención}} / (10000)$$

$$\frac{4773.789}{9.85} / 10000 = 0.497 \text{ Kg/cm}^2 < 1 \text{ Kg/cm}^2 \text{ por lo tanto el suelo resiste}$$

ampliamente la carga que reparte los muros de contención.

### 5.3.4 Cálculo de los aleros.

Los aleros que se tienen en el proyecto forman un ángulo de  $33^\circ$  con respecto al eje de la alcantarilla, con el motivo de evitar que el material del terraplén se derrumbe hacia la corriente, incluso dicha inclinación sirve para darle dirección a la entrada y a la salida de la corriente del agua. La inclinación que tiene con respecto al suelo tipo II es de  $15^\circ$  con respecto a los aleros.

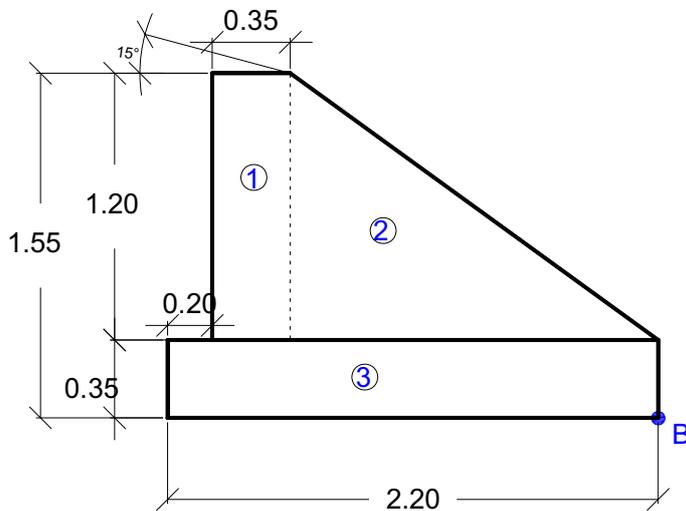


Fig. 24, Dimensiones de los aleros

- Fuerzas por empujes del suelo sobre el muro.

De las tablas que se encuentran en el **anexo A** se obtienen los valores correspondientes al ángulo de  $15^\circ$ .

$$KH = \frac{100 \frac{m^2}{m}}{m}$$

$$KV = 100 \frac{m^2}{m} / m$$

- Empujes verticales y horizontales del terreno tipo II

$$EH = \left(\frac{1}{2}KH\right) (H^2) = 720.75 \text{ Kg/m}$$

$$EV = \left(\frac{1}{2}KH\right) (H^2) = 120.125 \text{ Kg/m}$$

Brazo de palanca con respecto B para EH= 0.517 m

Brazo de palanca con respecto B para EV= 2.2 m

- Peso propio de la estructura.
- Bloque N°1 (rectángulo)

Altura= 1.20 m      Peso específico de la piedra braza= 1600 Kg/m<sup>3</sup>

Base= 0.35 m      Brazo con respecto a B= 1.82 m

Peso total del bloque N°1 = 672 Kg/m

- Bloque N°2 (triángulo)

Altura= 1.20 m      Peso específico de la piedra braza= 1600 Kg/m<sup>3</sup>

Base= 1.65 m      Brazo con respecto a B= 1.1 m

Peso total del bloque N°2 = 1584 Kg/m

- Bloque N°3 (rectángulo)

Altura= ~~0.95 m~~      Peso específico de la piedra braza= **1600 Kg/m<sup>3</sup>**

Base= **2.2 m**      Brazo con respecto a B= **1.1 m**

Peso total del bloque N°3 = 1232 **Kg/m**

- Fuerza por el empuje del agua sobre el alero

Tirante del agua = 0.50 **m**

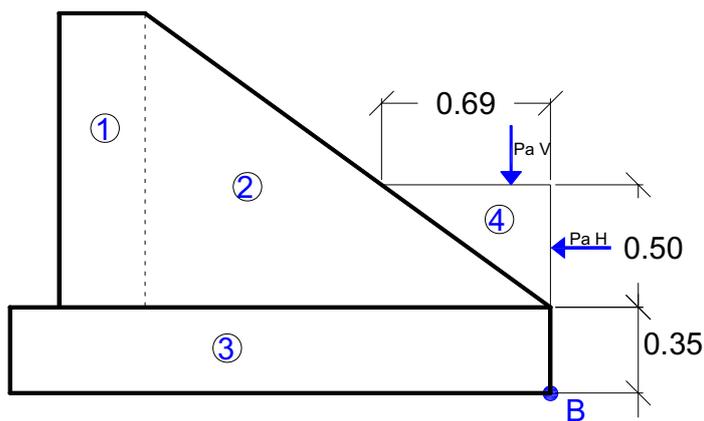


Fig. 25, Empuje del agua sobre el alero

- Bloque N°4 (triángulo)

Altura= ~~0.50 m~~      Peso específico del agua = **1000 Kg/m<sup>3</sup>**

Base= **0.69 m**      Brazo con respecto a B= **0.23 m**

Peso total del bloque N°4 = 172.5 **Kg/m**

$$P_a = \frac{2500 \text{ Kg/m}^2}{2} = 125 \text{ Kg/m}$$

- Momento de deslizamiento.

	Fuerza	Brazo	Momento
EH	720.75	0.517	372.6277

- Factor por de seguridad por volteo

	Fuerza	Brazo	Momento
Bloque 1	672	1.82	1223.04
Bloque 2	1584	1.10	1742.40
Bloque 3	1232	1.10	1355.20
Bloque 4	323	0.13	41.99
empuje del agua=	120.125	2.2	264.275

Total = 4691.53 **Kg/m**

- Factor de seguridad al volteo.

$$F_s \text{ volteo} = \frac{\text{momento resistente}}{\text{momento actuante}} = \frac{4691.53}{362.6277} = 12.93 > 1.5 \text{ se acepta por este concepto}$$

- Factor de seguridad por deslizamiento.

	Fuerza
Bloque 1	672
Bloque 1	1584
Bloque 1	1232
Bloque 1	323
EV	120.125

Total = 3931.125 *Kg/m*

- Empuje resistente

Empuje del agua= 125 *Kg/m*

Empuje deslizantes= 720.75 *Kg/m*

Las fuerzas verticales se multiplican por:

$$f = \tan^2 \phi / 1 = \tan^2 \frac{39}{90} = 0.488$$

$\phi = 39$  este valor es el ángulo de fricción interna supuesto para el suelo tipo II

$$F_s = \frac{(\sum \text{fuerzas verticales} \times f) + \text{empuje resistente}}{\text{empuje deslizante}} = \frac{(3931.125 \times 0.488) + 125}{720.75}$$

$F_s \text{ deslizamiento} = 2.602 > 1.5$  por lo tanto se cumple por este concepto

- Para la capacidad de carga se supondrá  $1 \text{ Kg/cm}^2$  ó  $10 \text{ ton/m}^2$  este valor se considera bastante aceptable para que resista el peso de los aleros.

$$\text{Esfuerzo actual} = \frac{\text{Esfuerzos verticales}}{\text{base del alero}} / (10000)$$

$$\frac{1922.12}{2.2} / 10000 = 0.179 \text{ Kg/cm}^2 < 1 \text{ Kg/cm}^2 \text{ por lo tanto el suelo resiste}$$

ampliamente la carga aplicada por el alero.

### 5.3.5 Bombeo.

Para los caminos asfaltados según la norma de la SCT, se maneja un 2% de pendiente, esto es en tramos rectos, en las curvas se maneja la sobre-elevación que se requiera dependiendo de las características de las curvas. Por lo tanto se comparo la sección tipo de la SCT, con la del proyecto y resultado:

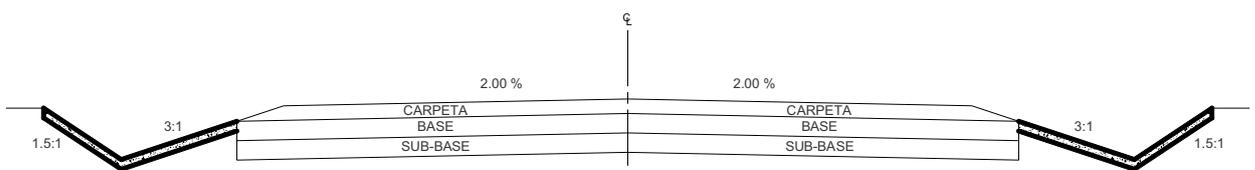


Fig. 26, Sección tipo del camino

Concluyendo, el bombeo es el mismo que el que recomienda la SCT, a lo largo del tramo que se estudió, desde el kilómetro 7+000 al 8+500. En los **anexos D** se observa el bombeo del camino.

### 5.3.6 Lavaderos y bordillos.

Los lavaderos se colocan para disminuir la cantidad de agua en las alcantarillas, por lo tanto se ubican unos metros antes o incluso los lavaderos llegan a formar parte de las alcantarillas, ya que se construyen arriba de ellas, como es caso de las alcantarillas de tubo. En el tramo que se estudió se encontró un lavadero, éste se localiza en el Km. 8+080, se encuentra en una curva derecha, y recibe el agua de las cunetas localizadas del lado derecho con respecto al cadenamiento del camino.

El lavadero tiene las siguientes dimensiones:

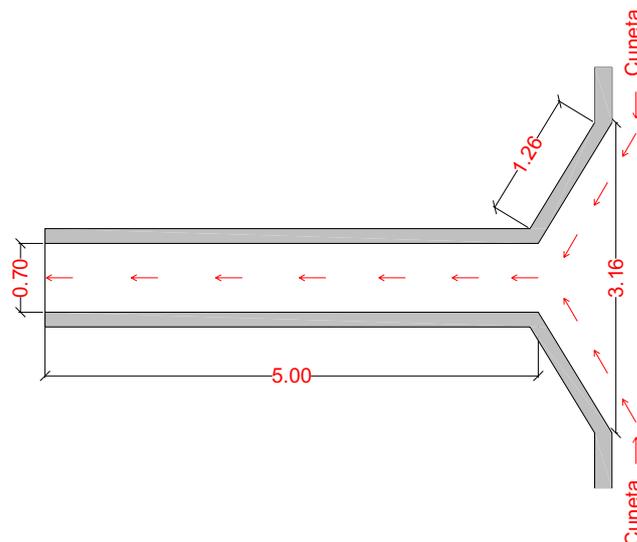


Fig. 27, Dimensiones del lavadero

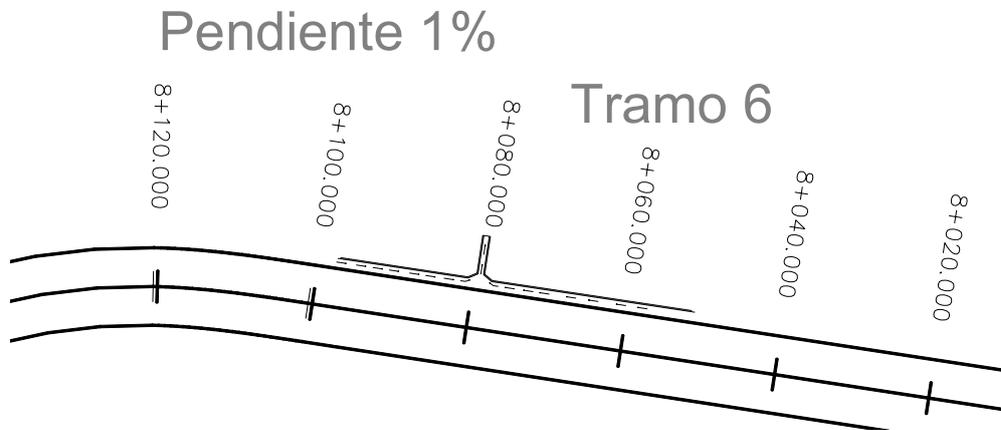


Imagen 16, localización del lavadero en el tramo.

Los bordillos se encuentran localizados en los tramos donde se encuentra los terraplenes, con la finalidad de evitar que el agua que se acumula en la carpeta no dañe el cuerpo del terraplén. Los bordillos pueden colocarse en los dos hombros del camino, o hacer una combinación de bordillo por un lado y cuneta por el otro. Los ya mencionados desembocan el agua en las cunetas y en los lavaderos. Las dimensiones de los bordillos son:

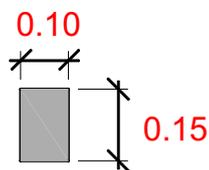


Fig. 28, Dimensiones de los bordillos.

Los bordillos se encontraron localizados de la siguiente manera:

En el kilómetro 7+260 al 7+580, así como en el kilómetro 7+660 al 7+920 del lado derecho con respecto al sentido del cadenamiento.

Los bordillos siguientes se encontraron localizados por el lado izquierdo en el sentido del cadenamiento. Del kilómetro 7+320 al 7+580 se encontró el primer tramo, el siguiente tramo donde existe bordillo, es del kilómetro 7+700 al 7+920, y por ultimo en el kilómetro 7+960 al 8+280.

#### 5.4 Análisis de resultados.

El análisis de resultados consiste en realizar una comparación de los resultados que se obtuvieron en los cálculos, con los datos que se tienen del proyecto. Al final se puede concluir si son o no las obras de drenaje las adecuadas para las condiciones reales que se tienen y que ya se calcularon con anterioridad.

Se comenzara por las cunetas de proyecto, a las cuales se realizó una comparativa con la cuneta tipo y con el gasto que puede soportar dicha sección. La cuneta de proyecto quedo muy pequeña para el gasto que se puede presentar ya que tiene un área de 0.1561 metros cuadrados y el gasto soporta esta sección es de 0.088 metros cúbicos sobre segundo y el gasto que se puede presentar es de 0.112 metros cúbicos sobre segundo. En cambio la cuneta tipo que establece la SCT, tiene la capacidad suficiente para drenar el gasto requerido, ya que tiene un área de 0.02025 y puede desalojar un gasto de 0.180 metros cúbicos sobre segundo.

Las alcantarillas son tres de losa y las tres tienen dimensiones iguales lo que se tubo que proceder a investigar cual es la mas desfavorable y el resultado fue la que tenia mas área en la cuenca. La localización de las alcantarillas (ver anexo B) son en los kilómetros 7+180, 7+606 y 7+815, la más desfavorable fue la que se encontró en el kilómetro 7+606, y las dimensiones se puede observar en el anexo E. En está alcantarilla se realizaron los cálculos respecto a la losa de concreto armado, los muros de contención y de los aleros.

El armado de la losa quedo de la siguiente manera:

El peralte de la losa es de 20  $\text{cm}$  y tiene un ancho de 2.50  $\text{m}$  por un ancho de calzada de 8.90  $\text{m}$ . El concreto que se utilizó tiene un  $f'c$  de 200  $\text{Kg/cm}^2$ . En cuanto al armado de la losa, se empleo varilla del N° 5 teniendo un área de cada varilla de 1.98  $\text{cm}^2$ . La separación de las varillas en el lado corto es de 19  $\text{cm}$  y por el lado largo quedo de 25  $\text{cm}$ .

Los muros de contención como los aleros fueron revisados por los factores de seguridad de volteo y deslizamiento así como capacidad de carga. Teniendo como resultado que tanto lo muros de contención como los alero se aceptaron por los conceptos antes mencionados, con las dimensiones de proyecto.

El bombeo que se tiene en el proyecto es el que establece la SCT, y se puede verificar en los **anexos D**.

Los lavaderos y bordillos no se tienen datos de ellos en el proyecto pero fue necesario ubicarlos como se realizó anteriormente.

## CONCLUSIÓN

La seguridad, el funcionamiento y la conservación son factores importantes para la presente investigación. La conservación es el principal aspecto que se tiene que tomar en consideración ya que de este depende la seguridad en los caminos. Para que se tenga una correcta conservación es necesario que el camino presente un buen funcionamiento de los sistemas de drenaje, que es el tema principal de esta investigación. La importancia de la conservación en un camino se ve reflejada en la sociedad y en la economía de la misma. Los caminos son indispensables a las comunidades que se comunican a través de ellos, ya sea para transportar una variedad de productos de un lugar a otro o incluso para dar servicios a las comunidades aledañas al camino.

Para tener un camino, el cual su conservación sea efectiva, es necesario que las estructuras de drenaje desalojen el agua que se capta dentro de la zona de estudio. Por lo tanto se tiene que conocer la cantidad de agua que fluye y se acumula tanto en el camino como en el terreno que lo rodea. La topografía influye para determinar el escurrimiento que pueda llegar al camino y así poder tomar la decisión si son necesarias las estructuras de drenaje como son las alcantarillas, cunetas y contracunetas. Se ubican las cunetas y las contracunetas en lugares donde existen cortes del terreno natural, con el motivo de que el agua que escurre sobre los taludes no toque el cuerpo del terraplén. El agua que se capta debido al escurrimiento, más la que se deriva del bombeo, se dirige hacia las cunetas.

Cuando se tiene terraplenes en el lugar de cortes en el terreno natural, el gasto que se obtiene del bombeo se le da salida por medio de bordillos que se construyen en los hombros del camino y que al mismo tiempo depositan el agua en las cunetas o en los lavaderos.

En algunos puntos específicos del camino se pueden llegar a localizar arroyos o cuencas que pueden llevar agua en todo el año o incluso solo en el tiempo de lluvias, para estos casos es necesario construir alcantarillas que tengan la capacidad de drenar el agua que cruce el camino, con su respectivo esvía que tenga la cuenca.

En la presente investigación se revisaron los sistemas de drenaje que se tienen en el tramo 7+000 al 8+500 de la carretera Caurio de Guadalupe-Purépero. El análisis de cada sistema, determina la siguiente conclusión.

El bombeo que se tiene en el camino es del 2%, que es el requerido en pavimentos asfálticos según la SCT, para desalojar el agua de la carpeta y dirigirla ya sea hacia a los bordillos o a las cunetas. En la revisión de las cunetas, cabe mencionar que las dimensiones que se tienen en el proyecto si cumplen con respecto a las dimensiones de cuneta tipo que establece la SCT. El lavadero se encuentra en un lugar bien ubicado y sus dimensiones son las adecuadas para desalojar el gasto del bombeo del camino.

En el tramo que se estudió se localizaron tres alcantarillas de losa, de las cuales las tres tienen dimensiones iguales, por lo tanto se calculó la alcantarilla más crítica, ésta tiene la cuenca más extensa por lo tanto la captación de agua es mayor. La sección de la alcantarilla propuesta por el proyecto tiene buena aceptación, ya que las dimensiones son suficientes para

desalojar el agua que circula en temporada de lluvia, ya que no existen arroyos que crucen el tramo en estudio. En las alcantarillas se revisó el armado de la losa, los muros de contención y los aleros. Se verificó si se aceptaba por concepto de armado, para los muros y aleros se revisaron los factores de deslizamiento y volteo, así como la capacidad de carga del terreno para resistir la estructura, dando resultados aceptables, ya que cumple todos los aspectos anteriores. El camino cuenta con un buen sistema de drenaje que brinda seguridad al usuario que transita sobre el camino, por lo tanto la conservación del mismo será buena, ya que el agua no será un factor destructivo para el cuerpo del terraplén. Los usuarios son beneficiados directamente, al transitar por esta carretera, por el motivo de que se pueden trasladar de un punto a otro sin contratiempos, por encontrarse la vía en mal estado.

## BIBLIOGRAFÍA

Aparicio Mijares, J. (1989)

Fundamentos de hidrología de superficie

Editorial Limusa - Noriega, México.

Arias Rivera, G. Carlos; Meza Reina, Jorge L. (1984)

Cuaderno de trabajo de comportamiento de suelos

Editorial Universidad Autónoma de México. UNAM, México.

Aristides Quillet (1968) tomo III

Enciclopedia autodidáctica Quillet

Editorial Grolier

Crespo Villalaz, Carlos. (2005)

Vías de comunicación

Editorial Limusa – Noriega, México.

Comisión Federal de Electricidad. (1993)

Manual de mantenimiento para sistemas de conducción de centrales hidroeléctricas

México.

Hernández S., Roberto y Cols. (2005)

Metodología de la investigación

Editorial Mc. Grawhill, México.

Juárez Badillo, Eulalio; Rico Rodríguez, Alfonso (2004)

Mecánica de suelos, tomo I

Editorial Limusa – Noriega, México.

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

Editorial U.M.S.N.H, México.

Olivera Bustamante Fernando. (2006)

Estructuras de vías terrestres

Editorial Continental, México.

Secretaria de Comunicaciones y Transportes. (1974)

Manual de proyectos geométricos de carreteras

México.

Tamayo y Tamayo Mario. (2000)

El proceso de la investigación científica

Editorial Limusa, México.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN:

<http://www.culturaclasica.com>

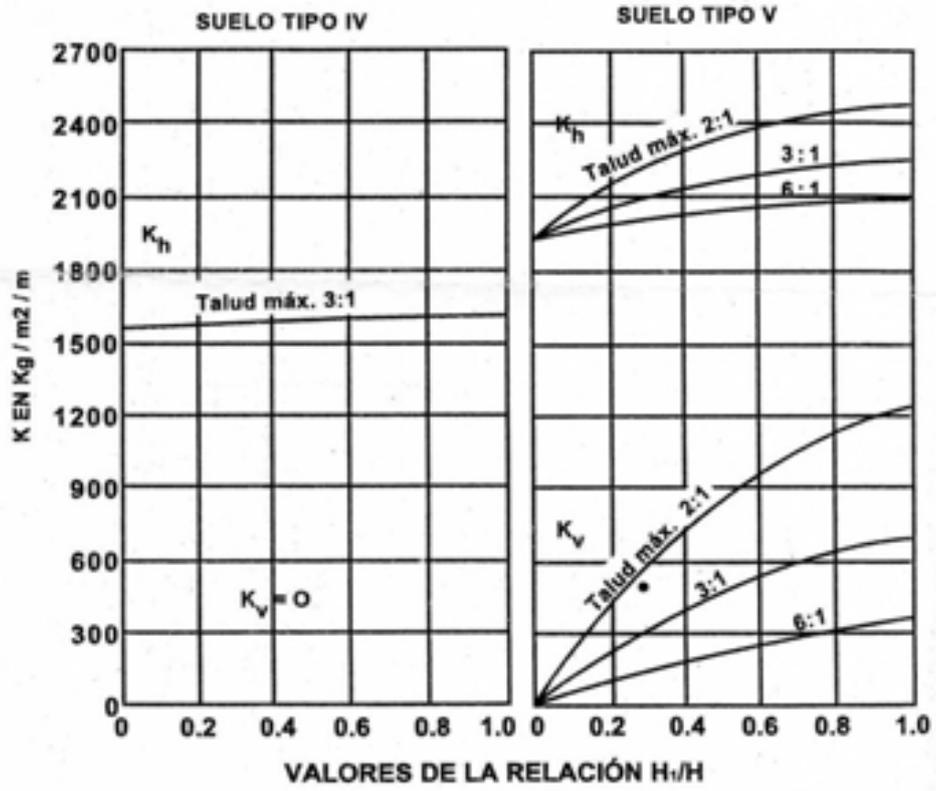
<http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/michoacan/municipios/htm>

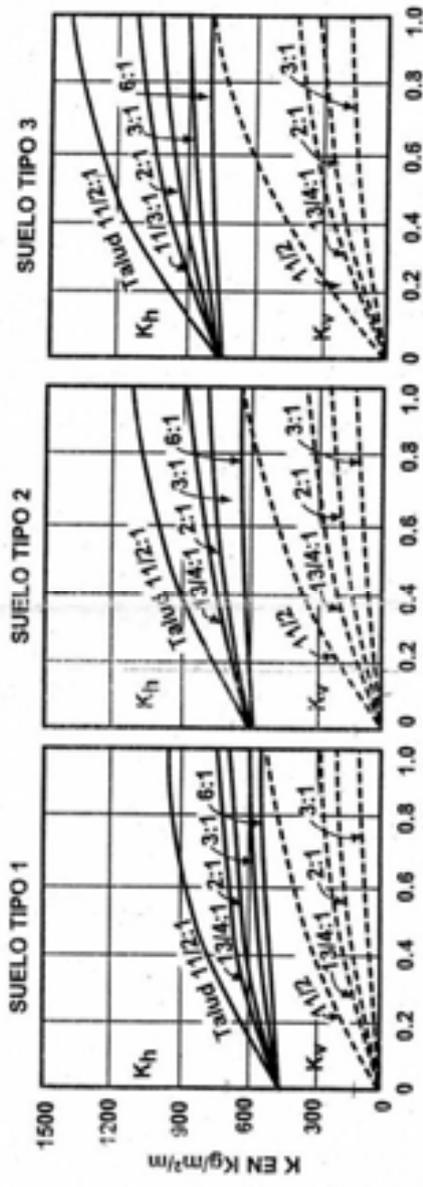
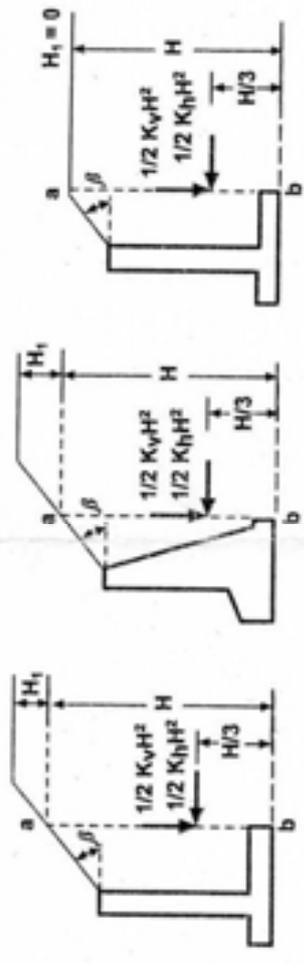
<http://www.sagarpa.gop.mx/michoacan/ganaderia/htm>

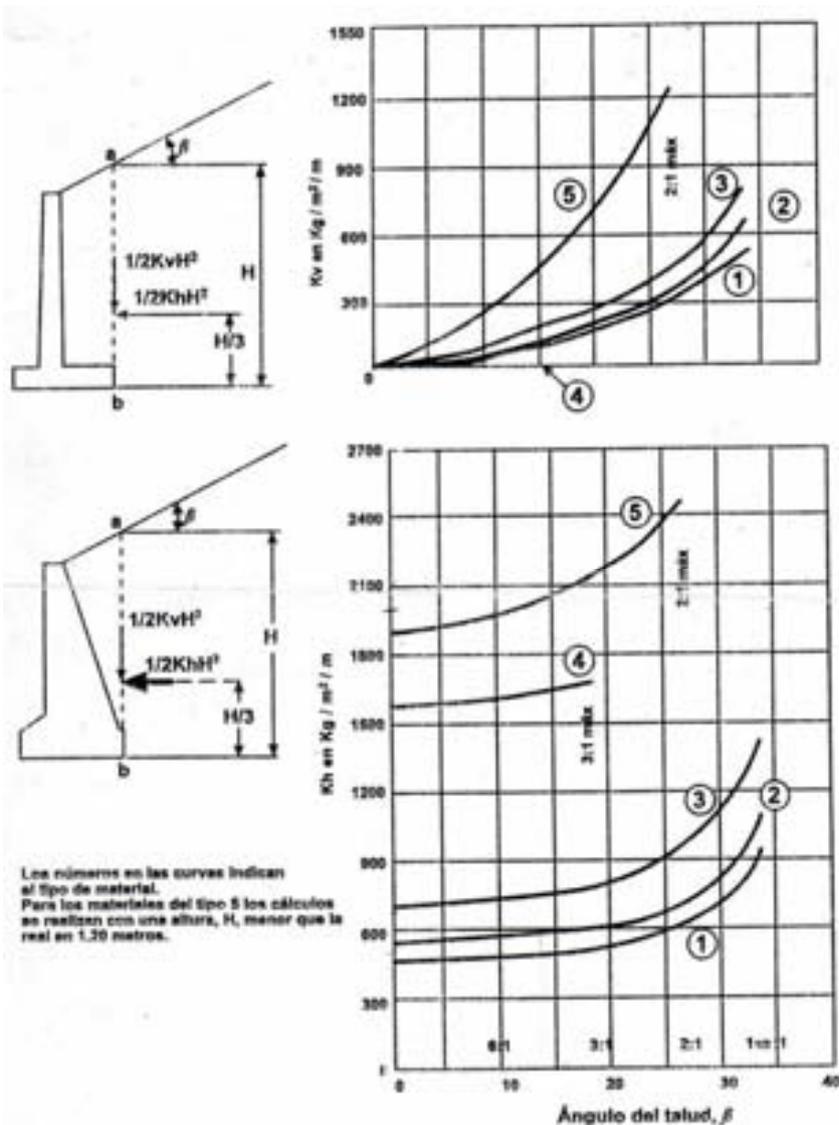
Encarta 2003

# **Anexos**

# Anexo A







## Método semiempírico de Terzaghi

### Tipos de material de relleno

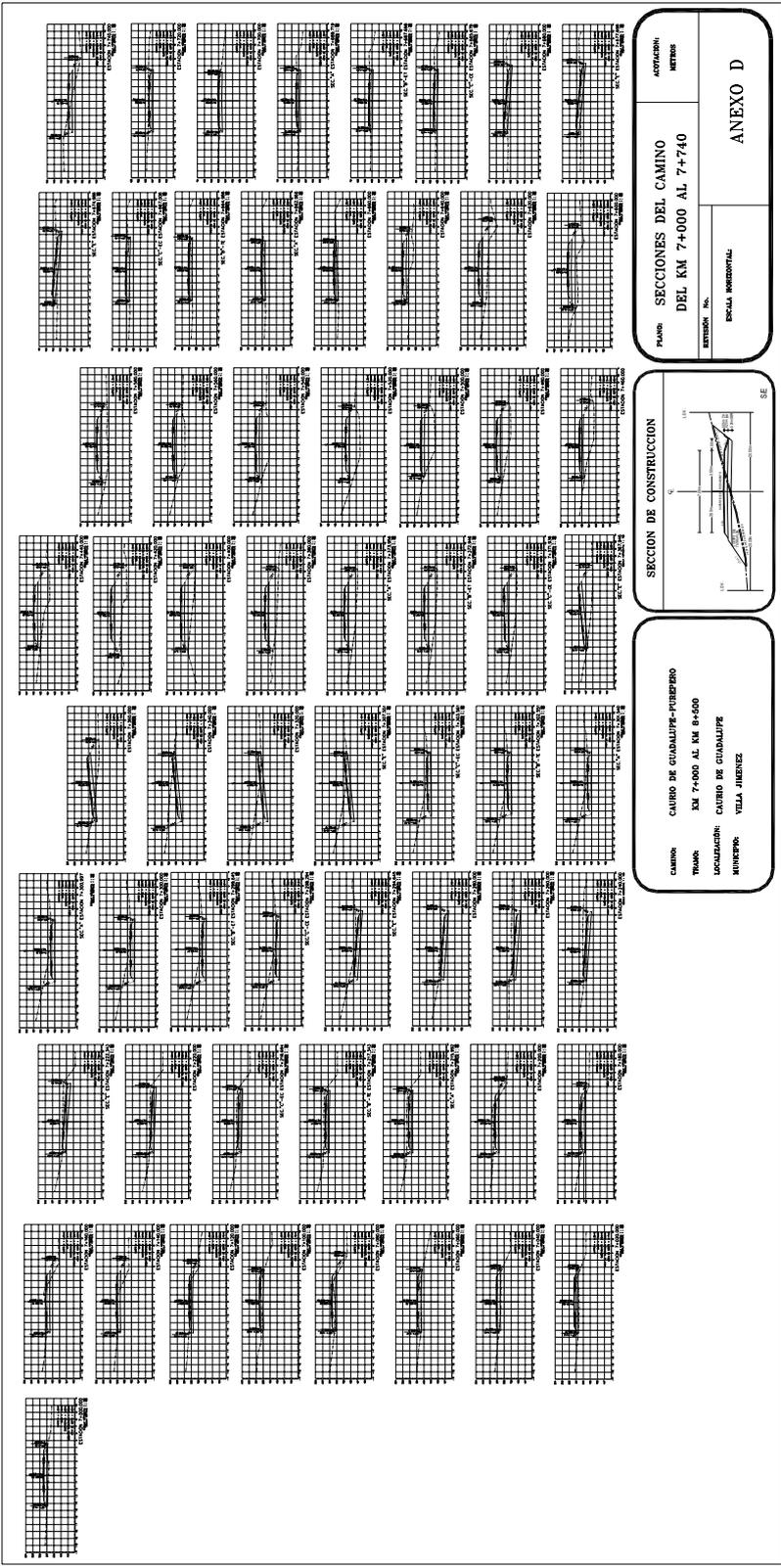
- I. Suelo granular grueso sin finos.
- II. Suelo granular grueso, con finos limosos.
- III. Suelo residual, con cantos, bloques de piedra, gravas, arenas finas y finas arcillosas en cantidades apreciables.
- IV. Arcillas plásticas blandas, limos orgánicos o arcillas medias.
- V. Fragmentos de arcilla 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 toma 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.

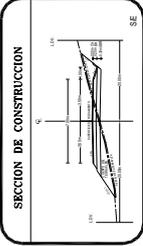




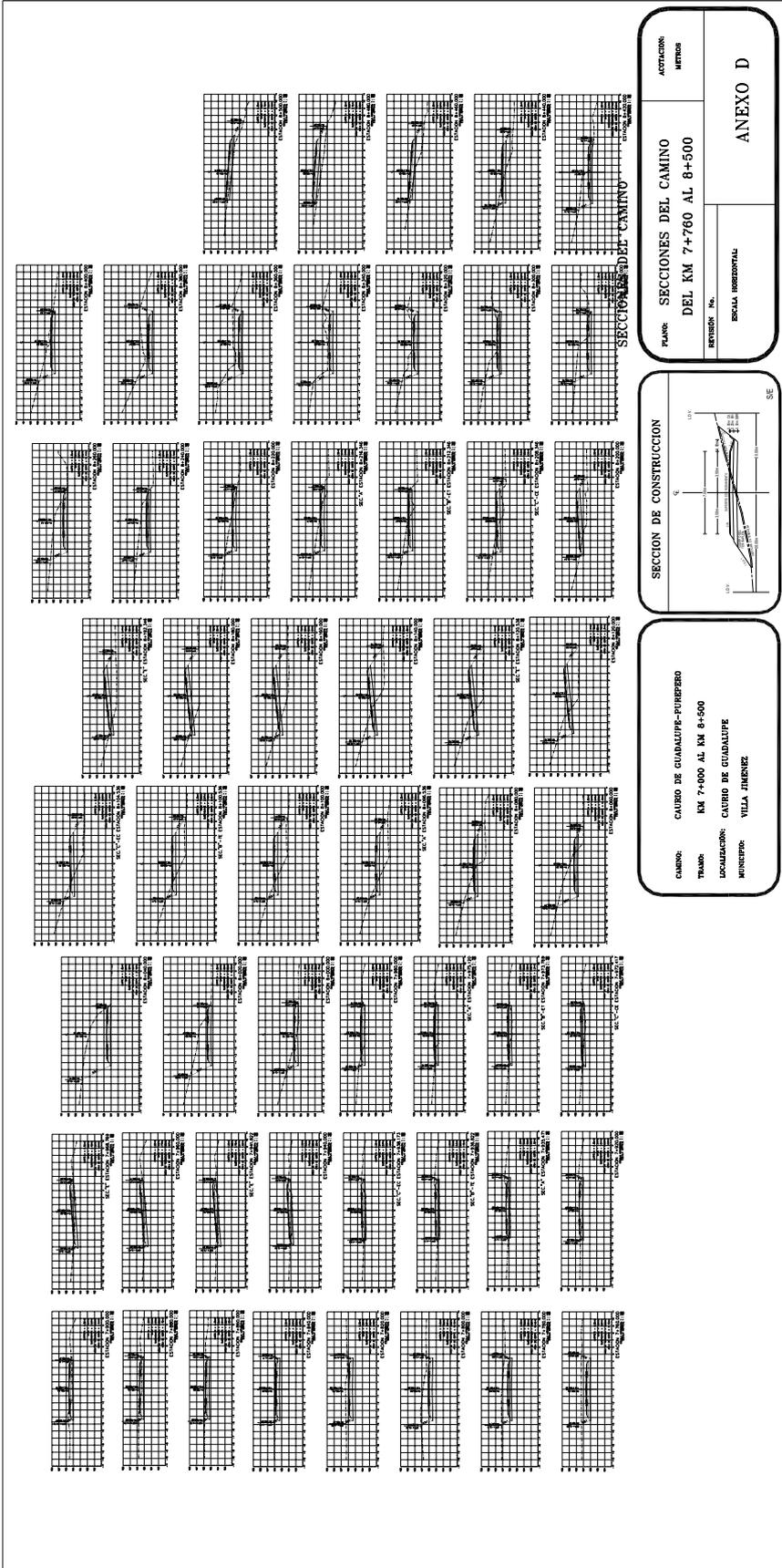


PLANO: SECCIONES DEL CAMINO DEL KM 7+000 AL 7+740  
 ACCIONES: METROS  
 ESCALA: HORIZONTAL

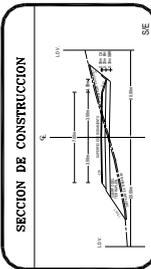
ANEXO D



CAMINO: CAJERO DE CUZALUPA-FIERREBO  
 TRAMO: KM 7+400 AL KM 8+000  
 LOCALIDAD: CAJERO DE CUZALUPA  
 MUNICIPIO: VILLA JIMENEZ



PLAN: SECCIONES DEL CAMINO  
 DEL KM 7+760 AL 8+500  
 ESCALA: HORIZONTAL

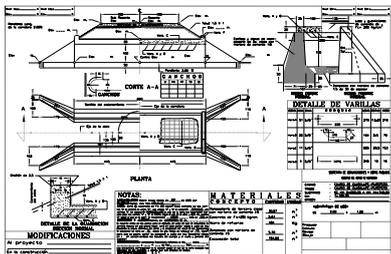


CAMINO: CAURO DE GUADALUPE-PURISBERTO  
 TRAMO: KM 7+000 AL KM 8+500  
 LOCALIDAD: CAURO DE GUADALUPE  
 MUNICIPIO: VILLA JIMENEZ

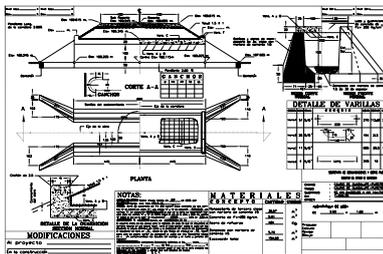
SECCIONES DEL CAMINO  
 ESCALA: VERTICAL

ANEXO D

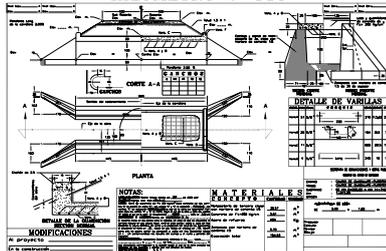
**DETALLE DE LA ALCANTARILLA  
KILOMETRO 7+180**



**DETALLE DE LA ALCANTARILLA  
KILOMETRO 7+606**



**DETALLE DE LA ALCANTARILLA  
KILOMETRO 7+815**



CANTON: CANTON DE GUANALIEPE-PROYECTO  
 TAMAÑO: DE 3+000 AL KM 8+000  
 MUNICIPIO: CANTON DE GUANALIEPE  
 MUNICIPIO: TULLA-AMERICAS

PLANO: DETALLE DE LAS ALCANTARILLAS  
 DEL KM 7+180, 7+606, 7+815