



**UNIVERSIDAD
DON VASCO**
INTEGRACIÓN Y SUPERACIÓN

UNIVERSIDAD DON VASCO, A.C.

Incorporación No. 8727 – 15 a la
Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela de Ingeniería Civil

**REVISIÓN DEL DRENAJE DE LA CARRETERA PATAMBAN – LA
CANTERA DEL KM 5+000 AL 9+700.**

Tesis

Que para obtener el título de
Ingeniero Civil

Presenta:

Jaime Manuel Mújica Dávalos

Asesor:

Ing. Sandra Natalia Parra Macías

Uruapan, Michoacán, 09 de Octubre del 2013



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.

ÍNDICE

Introducción.

Antecedentes.	1
Planteamiento del Problema.	3
Objetivo.	4
Pregunta de Investigación.	5
Justificación.	6
Marco de referencia.	6

Capítulo 1. Vías Terrestres.

1.1 Antecedentes de los caminos.	15
1.1.1 Origen de los caminos en México.	16
1.2 Clases de caminos.	17
1.3 Inventario de caminos.	18
1.3.1 Aplicación del inventario de caminos.	19
1.4 Elementos de ingeniería de tránsito usados para el proyecto.	19
1.4.1 El problema de tránsito.	19

1.4.2 Soluciones para el problema de tránsito.	20
1.4.2 Elementos del tránsito.	21
1.5 Velocidad.	33
1.5.1 Velocidad de proyecto.	34
1.5.2 Velocidad de operación.	34
1.6 Volumen de tránsito.	34
1.6.1 Cuento de tránsito.	35
1.6.2 Estudios de origen y destino.	36
1.7 Densidad de tránsito.	37
1.8 Derecho de vía.	38
1.9 Capacidad y nivel de servicio.	38
1.10 Capacidad de un camino.	38
1.11 Volumen de servicio.	39
1.12 Distancia de visibilidad.	40
1.13 Mecánica de suelos.	43
1.13.1 Origen y formación de los suelos	44
1.13.2 Granulometría de los suelos.	45

Capítulo 2. El drenaje.

2.1 Antecedentes del drenaje.	50
2.2 Objetivo del drenaje.	51
2.3 La cuenca hidrológica.	51
2.3.1 Área de la cuenca.	52
2.4 Precipitación.	52
2.4.1 Tipos de precipitación.	53
2.4.2 Intensidad de la precipitación.	53
2.4.3 Elementos de hidrometrología.	54
2.4.4 Medida de la precipitación.	54
2.4.5 Aparatos para la medición y el registro.	55
2.4.6 Cálculos para la precipitación media sobre un área.	56
2.5 Escurrimiento e infiltración.	60
2.5.1 Tipos de escurrimientos.	60
2.5.2 Hidrogramas.	61
2.5.3 Infiltración.	63
2.5.4 Capacidad de infiltración.	64

2.5.5 Factores que afectan la capacidad de infiltración.	64
2.6 Agua subterránea.	65
2.6.1 Distribución del agua subterránea.	66
2.6.2 Factores que afectan las condiciones del agua subterránea.	70
2.7 Drenaje en vías terrestres.	71
2.8 Drenaje superficial.	73
2.8.1 Cunetas.	73
2.8.2 Contracunetas.	75
2.8.3 Bombeo del camino.	76
2.8.4 Vados.	77
2.8.5 Lavaderos y Vertedores.	77
2.8.6 Obras de cruce: Alcantarillas.	78
2.9 Drenaje subterráneo.	81
2.10 Área hidráulica de las alcantarillas..	84
2.11 Puentes.	86

Capítulo 3. Resumen ejecutivo de macro y microlocalización.

3.1 Generalidades.	89
3.2 Resumen ejecutivo.	89
3.3 Entorno geográfico.	90
3.4 Macro y Microlocalización.	90
3.4.1 Municipio de Tangancícuaro.	91
3.5 Topografía regional y de la zona.	95
3.6 Hidrografía.	95
3.7 Actividad económica de la zona.	95

Capítulo 4. Metodología de la investigación.

4.1 Método empleado.	98
4.1.1 Método matemático.	98
4.2 Enfoque de la Investigación.	99
4.2.1 Alcance.	99
4.3 Diseño de la investigación.	100
4.4 Instrumentos de recopilación de datos.	100

4.5 Descripción del proceso de investigación.	101
---	-----

Capítulo 5. Cálculo, análisis e interpretación de resultados.

5.1 Sistema de drenaje existente.	103
---	-----

5.2 Obtención del área y la pendiente de la cuenca.	104
---	-----

5.3 Revisión de las cunetas.	106
--------------------------------------	-----

5.4 Bombeo del camino.	110
--------------------------------	-----

Conclusión	112
-----------------------------	------------

Bibliografía.. . . .	114
-----------------------------	------------

Otras Fuentes de investigación.	117
--	------------

Anexos.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

En la historia de las carreteras, según Olivera Bustamante (1986), los primeros caminos que surgieron fueron de tipo peatonal, estos se formaban por la deambulación de las tribus nómadas de esa época, debido a que se trasladaban de un lugar a otro para buscar alimento.

Con la aparición de la rueda, surgieron diferentes tipos de transporte formados por ruedas, tal es el caso de las primeras carretas que utilizaban ruedas de madera, por tal motivo fue necesario acondicionar los caminos ya existentes para la circulación de estos vehículos. Los romanos y fenicios fueron las primeras civilizaciones que construyeron caminos de este tipo, dado que los caminos peatonales tenían un terreno muy blando en su consistencia, al adaptarlos para el paso de vehículos se procedió a colocar piedras para que sus vehículos no se atoraran entre los caminos lodosos, así se les dio un tipo de revestimiento de piedras.

De acuerdo con Crespo (2007) los diferentes medios de comunicación tales como automóvil, los barcos y aviones, son mencionados y catalogados como elementos detonadores en la vida social, e importantes para la civilización.

En una carretera se tienen que tomar en cuenta muchos aspectos, como el ancho de calzada, ancho de corona, rasante y subrasante entre otros, además se

tiene que tomar en cuenta las obras de drenaje que también forman parte de una carretera.

En la Universidad Don Vasco A.C. se encontraron varias tesis sobre el tema del drenaje carretero, las cuales son recientes, pues fueron elaboradas en el año 2008.

Cabe mencionar que una de ellas es la que lleva por título: Revisión de obras de drenaje de la carretera Tarecuato-Los Hucuares del kilómetro 5+172 al 6+660, elaborada por Juan Antonio Ramírez Heredia, en el año 2008. El objetivo principal de esta investigación fue la de revisar el sistema de drenaje del tramo carretero ya mencionado para determinar si funciona correctamente y si es o no el adecuado, y en base a los resultados obtenidos se pudo determinar que el sistema de drenaje cumple correctamente con su cometido, funcionando a la perfección.

También se tiene la tesis de Jorge Valencia Aburto que tiene como tema, Revisión de drenaje del tramo carretero denominado “La Curva Del Diablo” en la carretera Playa Azul – Carapan del km. 65+000 al 66+000, del año 2008; teniendo como objetivo el sistema de drenaje existente de dicho tramo, quien obtuvo como resultado que una obra de drenaje bien ejecutada proporciona un aspecto importante, ya que ayuda a la conservación de los caminos además que se realizó una construcción adecuada en el arroyo y cunetas.

Por último, se consultó la tesis de Ricardo Acosta Espinosa, del 2008, que lleva como título; Revisión de proyecto de drenaje de la carretera Los Reyes-Chorros del Varal, del tramo “3+300 al 6+100”, que tiene por objetivo revisar de

manera física y visual las condiciones actuales que presentan la obras de drenaje de dicho tramo, llegando a la conclusión de que el mal funcionamiento de dichas obras se debe a su mala proyección.

Planteamiento del problema.

Las obras de drenaje en las vías de comunicación son de gran importancia, ya que éstas las protege del principal enemigo de las carreteras: el agua. Las obras de drenaje permiten que el agua se mantenga alejada de la superficie de rodamiento, evitando así un rápido deterioro de la misma. Si en una carretera las obras de drenaje no funcionan correctamente, la superficie se deteriorará más rápidamente acortando así su vida útil.

Sotelo (1973) menciona que el correcto diseño y colocación de obras de drenaje en una carretera es suficiente para mantener el agua alejada de ésta. Menciona también que las alcantarillas y zanjas deben de ser diseñadas dependiendo del tipo de lugar y región donde se colocarán.

Por tal motivo, en el presente trabajo de investigación se pretende hacer la revisión del drenaje de la carretera Patamban – La Cantera, del kilómetro 5+000 al 9+700 en el municipio de Tangancícuaro, Michoacán, para determinar si el drenaje existente es o no el adecuado para dicho tramo en estudio.

Objetivo.

Los objetivos que se quieren cumplir en la siguiente investigación son los siguientes:

Objetivo General:

Revisar el sistema de drenaje del tramo carretero Patamban – La Cantera, del kilómetro 5+000 al 9+700, para determinar si éste es el adecuado para dicho tramo, y si funciona de acuerdo para lo que fue diseñado.

Objetivos particulares:

- 1.- Definir el concepto de vía terrestre.
- 2.- Definir el concepto de drenaje.
- 3.- Dar a conocer los elementos que conforman un sistema de drenaje.
- 4.- Dar a conocer los diferentes tipos de drenaje pluvial para una carretera.
- 5.- Dar a conocer las causas por las cuales los drenajes no llegan a funcionar correctamente.
- 6.- Dar a conocer los principales problemas en los drenajes pluviales.

Pregunta de investigación:

La principal interrogante a la cual se quiere dar respuesta con esta investigación es la siguiente:

¿El sistema de drenaje del tramo la carretera Patamban – La Cantera, del kilómetro 5+000 al 9+700 es el adecuado para dicho tramo?

Sin embargo, para contestar dicha pregunta de investigación es necesario encontrar respuestas a las siguientes preguntas que se derivan de la pregunta principal, las cuales son:

¿Qué es una vía terrestre?

¿Qué es un sistema de drenaje?

¿Cuál es el objetivo de un sistema de drenaje?

¿Cuáles son los beneficios que se les da a los usuarios al contar con un adecuado sistema de drenaje?

¿Qué elementos forman un sistema de drenaje?

Justificación:

La ingeniería civil sería beneficiada por contar con nuevas investigaciones con problemas de este tipo que son muy frecuentes en ciudades con un crecimiento desmedido y mal planificado.

Los lectores de este trabajo se pueden beneficiar al conocer más sobre este tema de gran relevancia, ya que pueden conocer más acerca del tema y conocer las causas del problema.

La Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C. sería beneficiada al contar con nuevas investigaciones para futuros proyectos que se quieran llevar a cabo, además de contar con más información para el lector interesado en el tema.

Los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C. contarían con fuentes necesarias que les ayudarían a estudiar y plantear problemas en el transcurso de sus estudios y para posibles investigaciones de tesis.

El investigador de este trabajo, se verá beneficiado al responder la interrogante que dio pie a su investigación.

Marco de referencia.

El estudio se llevó a cabo en el tramo de la carretera Patamban – La Cantera, del kilómetro 5+000 al 9+700, ubicado en el municipio de Tangancícuaro, Michoacán.

Esta localidad se localiza al noroeste del Estado, en las coordenadas 19°53' de latitud norte y 102°12' de longitud oeste, a una altura de 1,700 metros sobre el nivel del mar.

Limita al norte con Zamora, Jacona y Tlazazalca, al este con Purépero, y Chilchota, al sur con Charapan, Los Reyes y Tingüindin, al oeste con Tangamandapio. Su distancia a la capital del Estado es de 134 Kms.

Su superficie es de 387.95 Km² y representa el 0.65 por ciento del total del Estado. Patamban a su vez está ubicado a 20 Kms. de la cabecera municipal que es Tangancícuaro.

Población.

Los datos arrojados por el Segundo Censo de Población y Vivienda de 2005, la localidad de Patamban cuenta con una población de alrededor de 3280 habitantes.

Orografía

Su relieve está constituido por el sistema volcánico transversal, Sierra de Patamban y los cerros Patamban y Tangancícuaro.

Hidrografía

Su hidrografía la constituyen el río Duero y los ojos de agua de Junguarán, Camécuaro y Cupatziro.

Clima

Su clima es templado con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 800 milímetros y temperaturas que oscilan entre 8.0 a 35° centígrados.

Principales Ecosistemas

En el municipio domina el bosque de coníferas con oyamel y pino y el bosque mixto con encino, aile, fresno y pino.

Recursos Naturales

La superficie forestal maderable está ocupada por pino y encino, la no maderable, por matorrales diversos.

Características y Uso del Suelo

Los suelos datan de los períodos cenozoico, terciario, cuaternario y mioceno, corresponden principalmente a los del tipo chernozem y de montaña. Su uso es primordialmente ganadero y en menor proporción agrícola y forestal.

Grupos Étnicos

Según el Censo General Población y Vivienda 1990, en el municipio habitan 1033 personas que hablan alguna lengua indígena, y de las cuales 475 son hombres y 558 son mujeres.

Dentro de las principales lenguas indígenas se puede mencionar el Purépecha y el Zapoteco.

El II Censo de Población y Vivienda del 2005 señala que en el municipio habitan 630 personas que hablan alguna lengua indígena.

Evolución Demográfica

En el municipio de Tangancícuaro en 1990, la población representaba el 0.95 por ciento del total del Estado. Para 1996, se tiene una población de 33,815 habitantes, su tasa de crecimiento es del -0.01 por ciento anual la tasa de crecimiento negativa se debe a factores tales como la emigración al interior y

exterior del país principalmente y la densidad de población es de 87.16 habitantes por kilómetro cuadrado. El número de mujeres es relativamente mayor al de los hombres. Para el año de 1994, se han dado 1107 nacimientos y 182 defunciones, también así la migración e inmigración en el municipio ha sido considerable.

En el año 2000 el municipio contaba con 32,821 habitantes y de acuerdo al II Censo de Población y Vivienda del 2005 el municipio cuenta con un total de 30,052 habitantes

INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y DE COMUNICACIONES

Educación

En el municipio existen planteles de enseñanza inicial como son. Preescolar, primarias, secundarias, secundarias técnicas, telesecundaria y para el nivel medio superior preparatoria o colegio de bachilleres.

Salud

La demanda de servicios médicos de la población del municipio es atendida por organismos oficiales y privados en los medios rural y urbanos como son Consultorios rurales, servicios de medicina preventiva, consulta externa, medicina

general, centros de salud y materno infantil, laboratorios de análisis clínicos, rayos x y hospitales, clínicas y consultorios particulares.

Deporte

En el municipio se encuentran unidades deportivas, campos de fútbol, canchas de basquetbol, volibol, campos de atletismo y centros recreativos distribuidos en las localidades del municipio así como en su cabecera municipal.

Vivienda

El II Censo de Población y Vivienda del 2005 señala que el municipio cuenta aproximadamente con 7,497 viviendas edificadas de las cuales predomina la construcción de materiales, de tabique, block, losa de concreto seguida por la de láminas de cartón, teja y adobe.

Servicios Públicos

La cobertura de servicios públicos de acuerdo a las apreciaciones del Ayuntamiento es:

Agua potable 90%
Drenaje 90%
Electrificación 95%
Pavimentación 80%
Alumbrado Público 95%
Recolección de Basura 80%
Mercado 40%
Rastro 90%
Panteón 100%
Cloración del Agua 100%
Seguridad Pública 90%
Parques y Jardines 40%
Edificios Públicos 20%

Medios de Comunicación

El municipio cuenta con los siguientes medios de comunicación: Periódicos regionales, estaciones de radio, canales de televisión señal por cable ó antena parabólica.

Vías de Comunicación

Se comunica por la carretera Morelia - Quiroga - Zacapu - Tangancícuaro, Zamora. Además de autobuses foráneos y locales, transporte público, taxis, transporte de carga ligera y de materiales, teléfono, casetas telefónicas, oficinas de telégrafos, correos, cobertura de telefonía celular

ACTIVIDAD ECONÓMICA

Agricultura

La actividad agrícola es de suma importancia para el municipio siendo sus principales cultivos: el maíz, trigo, sorgo, fresa, cebolla, calabacita, jitomate, tomate, frijol, alfalfa, garbanzo, cebada, chile verde, papa y brocoli.

Ganadería

Las principales crías son: bovino, caprino, porcino. ovino, aves de corral y colmenas.

Industria

El municipio cuenta con una industria establecida como son Fabricas congeladoras, descremadores, empacadoras, plantas forrajeras, molino de trigo,,

curtidoras, fabrica de mosaicos, tabique, tubos y aserraderos siendo está la principal actividad económica del municipio.

Turismo

Por sus condiciones naturales el municipio cuenta con lugares propios para el desarrollo turístico, el cual constituye una actividad de vital importancia, para el desarrollo económico. Cuenta con el Lago de Camécuaro, el Parque Nacional, una Zona Arqueológica y manantiales.

Comercio

Este municipio cuenta con plazas comerciales, tiendas de ropa, muebles, calzado, alimentos, ferreterías, materiales, farmacias, boticas, papelerías, librerías, bancos. Donde la población adquiere los artículos de primera y segunda necesidad.

Servicios

La capacidad de estos en la cabecera municipal es suficiente para atender la demanda, ofreciéndose: hospedaje y alimentación en los hoteles y restaurantes de la cabecera municipal.

CAPÍTULO 1

VÍAS TERRESTRES

Según Olivera (2006), las vías terrestres en un principio no fueron más que sólo veredas para el paso de las personas, éstas se fueron mejorando con el paso del tiempo con el revestimiento de piedras.

Posteriormente, con la aparición de la rueda se dio lugar a los primeros vehículos formados por ruedas, como lo fueron las primeras carretas, al aparecer este tipo de vehículos se tuvieron que adecuar caminos para estos tipos de vehículos.

Con la aparición del automóvil a finales del siglo XIX, se tuvieron que acondicionar caminos para estos vehículos. En 1925 en México se comenzaron a desarrollar caminos y estos fueron ejecutados por ingenieros estadounidenses, fue hasta el año de 1940 que ingenieros mexicanos se dieron a la tarea de construir caminos, es así como surge la red carretera que se conocen hoy en día.

1.1 Antecedentes de los caminos.

De acuerdo con Mier (1987) hace unos 5,000 años aproximadamente en Asia menor se inventó la rueda, con este invento se dio pie a la necesidad de una superficie de rodamiento por el cual pudieran circular libremente las cuatro ruedas de las carretas que en esa época eran utilizadas como transportes. En esta época los

egipcios y los asirios que en ese tiempo eran pueblos muy desarrollados, comenzaron a construir sus primeros caminos. Los cartaginenses fueron los primeros en implementar caminos de piedra en la costa sur en el año 500 A. C, estos caminos posteriormente fueron copiados por los romanos, los cuales lograron el florecimiento de su imperio debido a su red de caminos.

1.1.1 Origen de los caminos en México.

Con la llegada a México de los españoles, encontraron que no se conocía el uso de la rueda en el país, y por lo tanto, no existían vehículos con ruedas jalados por animales, pero aún así, se encontraron que existían diversos caminos, senderos así como calzadas de piedra. Al colonizar la Nueva España se trajo consigo el mejoramiento de los caminos ya existentes así como la creación de muchos más. Los caminos tuvieron su origen en el uso de los animales de tiro y carga, así como el uso de carretas para poder comunicarse con los puertos marítimos y así poder llevar toda la mercancía que llegaban a estos y distribuirla en toda la Nueva España.

Con la aparición de los primeros automóviles en México, aproximadamente en el año de 1906, se revolucionaron los sistemas de transporte terrestre. Entre los años 1918 y 1920 se logró un importante avance en materia de caminos en México, más importante que los cuatrocientos años anteriores.

Con la creación de la Comisión Nacional de Caminos en 1925, decretada por el entonces presidente de la república, el Gral. Plutarco Elías Calles, se inicia la

construcción de nuevos y mejores caminos así como la conservación de los caminos ya existentes.

1.2. Clases de caminos.

Los caminos pueden variar en carácter, desde un camino sucio, en una carretera pavimentada en perfectas condiciones. Las carreteras se clasifican de acuerdo con su funcionalidad.

“Estas características se basan en el lugar en que se encuentra el camino, sea rural o urbano; en su ancho, ya sea de un sólo carril o de carriles múltiples, así como del tipo de servicio al que se destinan, sean caminos locales o de tránsito entre ciudades”. (Manual del ingeniero civil; 2008: 16.1)

Los caminos se agrupan de acuerdo con el tipo de servicio que proporciona, es decir el tipo de tránsito que circula por éstos.

Los caminos se agrupan en; arterias, colectores y caminos locales. Las arterias son caminos que proporcionan servicio directo a los centros principales de población, éstas son mejor conocidas como carreteras o autopistas.

Los colectores son caminos que proporcionan servicio directo a pueblos y estos a su vez se enlazan con las arterias, estos son mejor conocidos como caminos vecinales.

Los caminos locales conectan varias regiones municipales y estos a su vez se enlazan a los colectores, los caminos locales son todos los conocidos como libramientos o calzadas.

1.3 Inventario de caminos.

De acuerdo con Mier (1987) existen algunos métodos con el fin de obtener un inventario de los caminos, desde el más sencillo que es recorrer con automóvil todos los caminos e ir tomando el kilometraje con el odómetro e ir tomando nota de la información obtenida a simple vista, hasta el uso de equipos topográficos que puedan dar una información sobre los caminos.

Estos dos métodos tienen pequeños inconvenientes, el primero de ellos tiene como inconveniente el que no llenaría los requisitos que se necesitan para un inventario de caminos, y el segundo tiene el inconveniente que esta operación resultaría muy costosa además de lenta.

Los datos que se deben obtener al hacer el inventario de un camino son: planta y perfil del camino, itinerario, configuración del terreno por el que se cruza, características de la superficie de rodadura, visibilidad. Obras de drenaje, obras de cruce, entronques con vías de comunicación, características de los poblados por los que atraviesa el camino, uso de la tierra a los lados del camino además de algunos otros datos que se consideran importantes.

1.3.1. Aplicación del inventario de caminos.

Uno de los objetivos del inventario de caminos, es la obtención de la capacidad de un camino.

“La capacidad de un camino queda determinada por muy diversos factores (+) que comprenden las características geométricas del camino en sí mismo y las características del tránsito que circula por el.” (Mier; 1987: 7)

Otras de las aplicaciones de los inventarios de camino, consiste en señalar las obras necesarias y su prioridad en los programas de reconstrucción, conservación y reconstrucción de los caminos. Al terminar el inventario de un camino, es importante mantenerlo al día, registrando todas las modificaciones que puede sufrir el camino después de hacer el inventario.

1.4 Elementos de ingeniería de tránsito usados para el proyecto.

Es la rama de la Ingeniería que se enfoca al estudio del movimiento de personas y vehículos en las calles y los caminos, el propósito de esta rama es hacerlo más eficaz, libre, rápido y seguro.

1.4.1 El problema de tránsito.

De acuerdo con Mier (1987), el problema de tránsito radica fundamentalmente en la diferencia que existe entre los vehículos nuevos con los caminos construidos,

ya que en las ciudades se siguen construyendo en cuadrícula, esto ocasiona que los vehículos no puedan moverse fluidamente, ya que estos están diseñados para moverse en curvas amplias. Muchos de los caminos ya existentes son sólo mejoramiento de rutas que ya existían desde unos 40 años aproximadamente, por lo que no cumplen con las nuevas especificaciones y necesidades de los nuevos automóviles, y si tomamos en cuenta que los vehículos han sufrido una transformación extraordinaria en los últimos 50 años, se puede decir que algunos caminos son obsoletos para el paso de vehículos.

Otros de los grandes problemas de tránsito son: la circulación de diversos tipos de automóviles por el mismo camino, como los son, automóviles, camiones, motocicletas y otros tipos de vehículos, también es un problema el trazo de los caminos, como se mencionó anteriormente, algunos caminos fueron trazados hace mucho tiempo y fueron diseñados para los vehículos que en esa época existían, naturalmente los vehículos han ido evolucionando y son inadecuados para algunos caminos, además si le suma ha esto la falta de educación vial por parte del usuario y en ocasiones la falta de señalamientos.

1.4.3 Soluciones para el problema de tránsito.

Es importante proponer soluciones inmediatamente a los problemas de tránsito que afectan actualmente, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos económicos con que se cuente. Existen tres tipos de soluciones para este problema:

Solución integral: Construir un tipo de camino para los nuevos vehículos, tomando en cuenta que en un futuro los vehículos se desarrollarán más y por esto deben de servir para ese tipo de vehículos también.

Solución parcial de alto costo: Realizar mejoras a los caminos ya existentes, esto requiere de una gran inversión, tal es el caso como el ensanchamiento de las calles, construcción de intersecciones, arterias de acceso controlado, sobre ancho del camino si en necesario, estacionamientos y mejor educación vial.

Solución parcial de bajo costo: Se trata de aprovechar al máximo la infraestructura ya creada, además de incluir la educación vial a todos los usuarios y respetar los reglamentos de tránsito existentes.

1.4.4 Elementos del tránsito.

Los tres elementos que constituyen el tránsito son: el usuario, el vehículo y los caminos.

El usuario.

Está conformado por toda la población en general que utiliza los caminos calles y carreteras, tanto cuando éste es conductor o peatón.

a) El peatón: Es aquel sujeto que circula por las calles caminando, siendo por esta causa que están más expuesto a sufrir algún accidente, se dice que alrededor de un

80% de los peatones que sufren un accidente no saben conducir un vehículo motorizado, así se puede ver que están desconectado a la nueva era de los vehículos motorizados.

b) El conductor: Es aquel que controla o maneja el vehículo, esto le otorga una enorme responsabilidad, ya que es el responsable del buen manejo del vehículo.

El vehículo.

Características geométricas de los vehículos.

De acuerdo con Mier (1987) se dice que las características geométricas de los vehículos están determinadas por sus dimensiones particulares de cada vehículo, así como por su radio de giro.

1.- Dimensiones.

Debido a que en la actualidad existen gran variedad de vehículos circulando por todas las vías terrestres, y debido al cambio que han sufrido estos con el paso del tiempo es difícil tomar para el proyecto de los caminos un vehículo en especial por lo que se toman las características promedio de los vehículos que existen hoy en día, tomando en cuenta las tendencias futuras para que los caminos sigan funcionando correctamente. En los siguientes datos se da a conocer las características físicas de los vehículos que circulan por las carreteras y estas características son tomadas en cuenta para la construcción de los caminos.

SEPARACIÓN MÍNIMA

Tipo de vehículo autorizado	Distancia en ejes (metros)	Peso total (Kilogramos)
C-2	---	15,500
C-3	5.00	22,000
C-3 Rueda de doble ancho	5.00	26,000
C-4	5.00	25,000
T2-S1	6.67	23,000
T2-S2	10.50	30,000
T2-S3	10.50	34,000
T3-S1	10.50	30,000
T3-S2	14.40	37,000
T3-S3	14.40	41,000
C2-R2(remol. C/rueda sencilla)	12.38	25,500
C2-R2(remol. C/rueda sencilla y rueda doble)	12.38	27,500
C2-R2 (remol. C/rueda doble)	12.38	29,500
C3-R2(remol. C/rueda sencilla)	14.40	32,000
C3-R2(remol. C/rueda sencilla y rueda doble)	14.40	34,000
C3-R2(remol. C/rueda doble)	14.40	36,000
C3-R3(remol. C/rueda sencilla)	14.40	37,000
C3-R3(remol. C/rueda sencilla y rueda doble)	16.00	39,000
T2-S1-R2(remol. C/rueda sencilla)	16.00	32,000
T2-S1-R2(remol. C/rueda sencilla y rueda doble)	16.00	35,500
T2-S1-R2(remol. C/rueda doble)	16.00	38,000
T3-S1-R2(remol. C/rueda sencilla)	16.00	40,000
T3-S1-R2(remol. C/rueda sencilla y rueda doble)	16.00	42,500
T3-S1-R2 (remol. C/rueda doble)	16.00	45,000
T3-S1-R4 (remol. C/ejes tándem)	16.00	50,000
T3-S2-R2 (remol. C/rueda sencilla)	16.00	47,000
T3-S2-R2(remol. C/rueda sencilla y rueda doble)	16.00	49,500
T3-S2-R2 (remol. C/rueda doble)	16.00	52,000
T3-S2-R4 (remol. C/ejes tándem)	16.00	57,000

Tabla 1.1 Características de los vehículos del proyecto.

Fuente: www.imt.mx

PESOS MAXIMOS AUTORIZADOS POR EJE PARA REMOLQUES:

Combinados con Vehículos Tipo C2 y C3

- a) Eje sencillo rueda simple 5,000 kilogramos
- b) Eje sencillo rueda doble 7,000 kilogramos
- c) Eje tándem 10,000 kilogramos

Combinados con Vehículos Tipo T-S-R

- d) Eje sencillo rueda simple 5,000 kilogramos
- e) Eje sencillo rueda doble 7,000 kilogramos
- f) Ejes Tándem 10,000 kilogramos
- g) Eje de rueda de doble ancho 10,000 kilogramos

- a) El vehículo o combinación de vehículos cuyas separaciones entre ejes sea menor que la indicaba en el inciso b), su peso máximo permisible se calculará por medio de la fórmula:

$$W = 1,000 \frac{(LN + 2.5N + 5.5)}{N^1}$$

En donde:

L= Separación entre ejes más distantes, en metros

N= Número de ejes simples, (para vehículos de más de 5 ejes se usará N=5).

La fórmula anterior, también se aplicará para determinar el peso máximo permisible de cualquier grupo de dos o más ejes consecutivos, salvo lo ya previsto para el eje doble (tándem) y el eje triple.

- b) No se permitirá la circulación de vehículos o combinaciones de vehículos, cuya separación entre ejes más distantes sea inferior a las siguientes:

TIPO DE VEHICULOS	LONGITUD PERMISIBLE P/CIRCULACIÓN (METROS)
C-2	2.40
C-3	3.00
C-4	3.50
T2-S1	6.00
T2-S2	8.00
T2-S3	8.50
T3-S1	8.00
T3-S2	9.00
T3-S3	9.50
C2-R2	10.50
C3-R2	12.50
C3-R3	14.00
T2-S1-R2	14.00
T3-S1-R2	14.00
T3-S2-R2	14.00
T3-S2-R4	14.00
T3-S1-R4	14.00

Tabla 1.2 Características de vehículo
Fuente: www.imt.mx

c) Dimensiones máximas permitidas:

TIPO DE VEHICULO	LONGITUD TOTAL MAXIMA (METROS)
C-2	12.00
C-3	12.00
C-4	16.75
T2-S1	16.75
T2-S2	17.50
T2-S3	17.50

T3-S1	.	.	.	.	.	.	.	.	17.50
T3-S2	.	.	.	.	.	.	.	.	18.45
T3-S3	.	.	.	.	.	.	.	.	18.45
C2-R2	.	.	.	.	.	.	.	.	18.30
C3-R2	.	.	.	.	.	.	.	.	18.30
C3-R3.	.	.	.	.	.	.	.	.	18.30
T2-S1-R2	.	.	.	.	.	.	.	.	23.00
T3-S1-R2	.	.	.	.	.	.	.	.	23.00
T3-S1-R4	.	.	.	.	.	.	.	.	23.00
T3-S2-R2	.	.	.	.	.	.	.	.	23.00
T3-S2-R4	.	.	.	.	.	.	.	.	23.00
Otras Combinaciones	.	.	.	.	.	.	.	.	18.30

Tabla 1.3 Dimensiones permitidas

Fuente: www.imt.mx

2.- Radios de giro.

Es el radio de la circunferencia que traza la rueda externa delantera del vehículo al realizar su giro. El radio de giro mínimo es producido cuando el vehículo gira a una velocidad muy lenta y con la rueda a su máximo torque en los vehículos modernos es hasta de 50°.

En las siguientes figuras se muestran los diferentes radios de giro para vehículos de modelos diferentes:

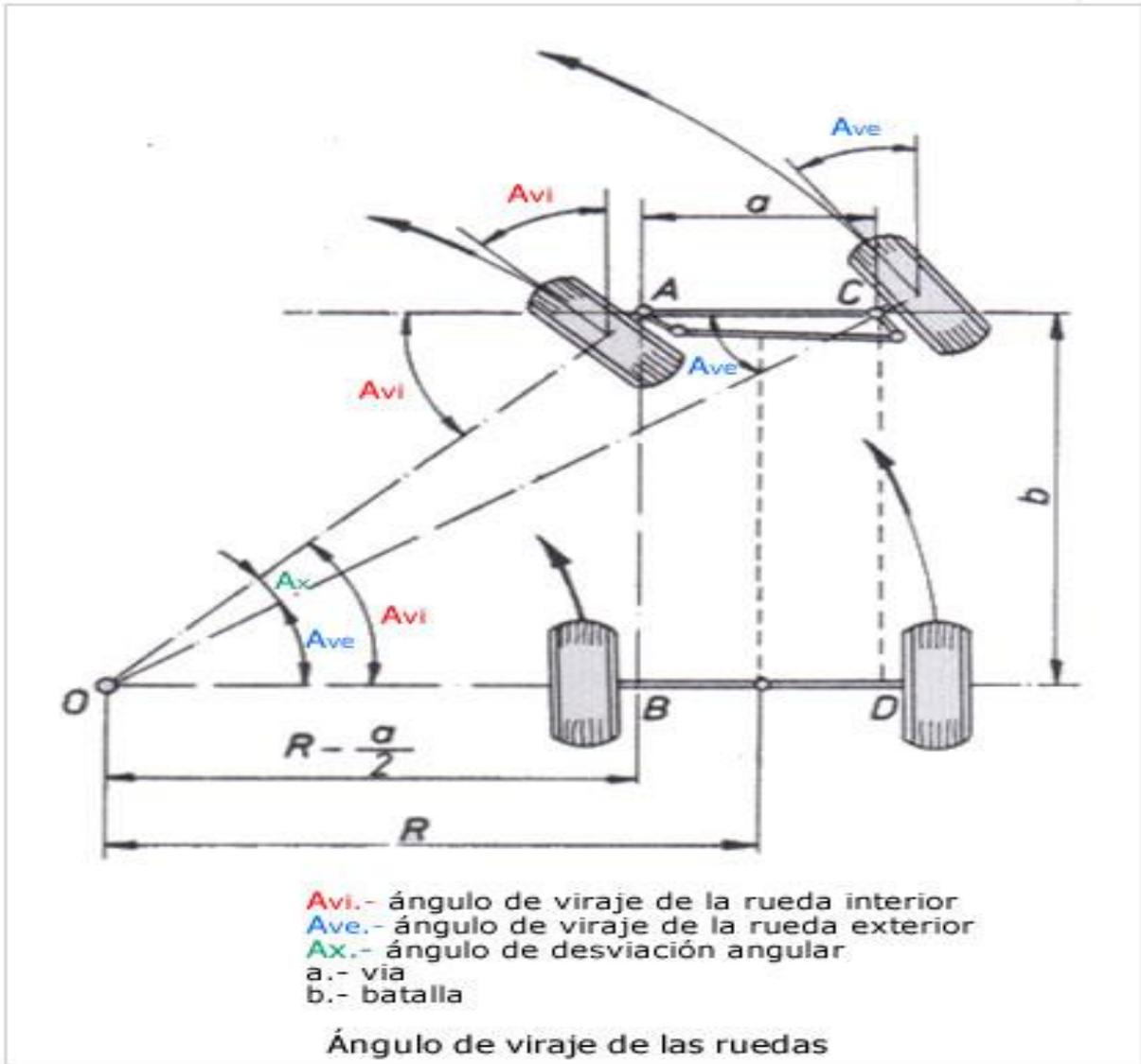


Fig. 1.1 Vehículo Ap.

Fuente: www.aficionadosalamecanica.com

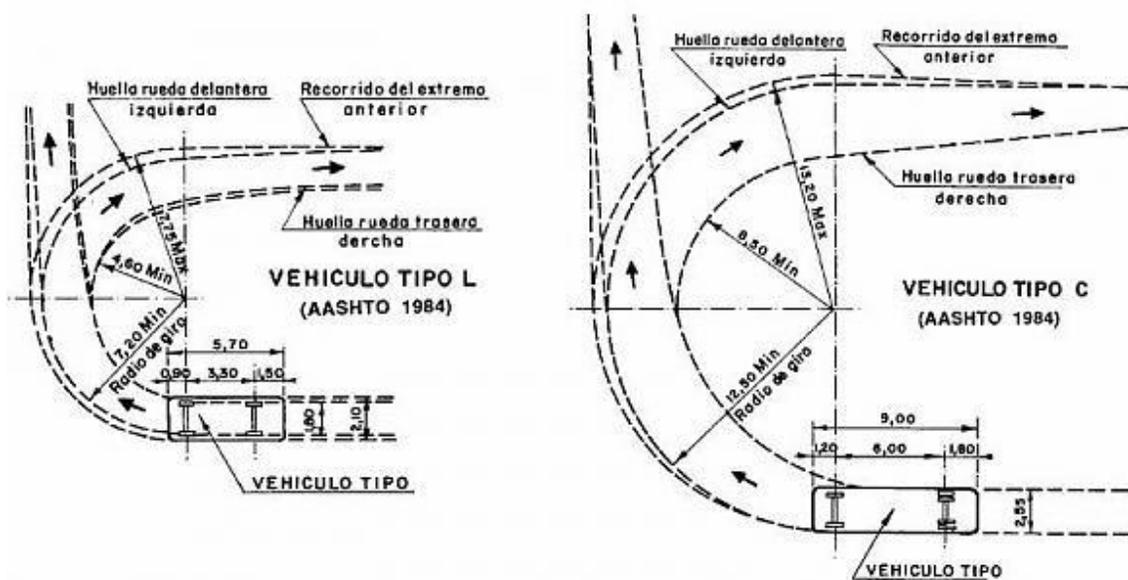


Fig. 1.2 Vehículo tipo L y C

Fuente: www.arquinauta.com

3.- Tipos de vehículos.

Los vehículos se clasifican básicamente en dos tipos, vehículos ligeros y vehículos pesados, aunque puede existir otro grupo que se le clasifica como vehículos especiales.

Vehículos ligeros.

Los vehículos ligeros (tipo A) son todos aquellos que tienen dos ejes y solamente cuatro ruedas, pueden ser el caso de automóviles, camionetas y algunos vehículos de carga ligera.

Vehículos pesados.

Son aquellos camiones de carga (tipo C) y autobuses (tipo B), caben dentro de esta clasificación los vehículos de dos o más ejes y que cuenten con más de seis llantas. Tal es el caso de camionetas de carga, autobuses para pasajeros, camiones de carga y los camiones utilizados para la construcción, mejor conocidos como “volteos” entre otros.

Vehículos especiales.

Se consideran a estos las motocicletas, bicicletas, tractores, maquinaria agrícola y para la construcción, así como algunos remolques para maquinaria pesada, etc.

d) Características de operación.

De acuerdo con Mier (1987) las características de un vehículo están dadas por el peso de la unidad estando cargadas, así como también la potencia del motor con el que cuentan.

De la relación de peso/potencia de un vehículo que se le mide en Kg/Hp. Esto influye en la capacidad con la que puedan acelerar y desacelerar a una velocidad considerable, esto interviene en el proyecto del camino para el alineamiento de la capacidad de los caminos.

El camino.

“Se considera que un camino es un conducto que lleva tráfico de vehículos de un lugar a otro”. (Manual del ingeniero civil; 2008: 16.1)

Los caminos se pueden clasificar desde distintos tipos de vista.

a) Clasificación por su transitabilidad.

Caminos pavimentados: Se construye sobre la subrasante un pavimento flexible de buena calidad y este permite y facilita el tránsito de todo tipo de vehículos que se desee.

Caminos revestidos: Es cuando sobre la subrasante se ha colocado una o diversas capas de material granular que permite que el camino sea transitable todo el tiempo.

Camino de terracería: es cuando solo se ha construido la sección del proyecto hasta la subrasante, esto ocasiona que el camino sea solamente transitable en tiempo de secas ya que no cuenta con un sistema de drenaje que le permita sacar toda el agua que llega a él y conservarlo en buen estado.

b) Clasificación según SCT (Secretaria de Comunicaciones y Transportes).

La SCT clasifica los diferentes caminos de acuerdo con su tipo, uso, velocidades máximas permisibles. Para poder entender más esta clasificación, a continuación se presenta una tabla que expresa lo anterior.

CONCEPTO	UNIDAD	TIPO DE CARRETERA												
		E		D		C		B		A				
TDPA en el horizonte de proyecto	Vel/día	Hasta 100		100 a 500		500 a 1500		1500 a 3000		Mas de 3000				
TERRENO	Montañoso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Lomoso	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
	Plano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Velocidad de proyecto	Km/hr	30	40	50	60	70	80	90	100	60	70	80	90	100
Distancia de visibilidad de parada	m	30	40	55	75	95	115	135	155	75	95	115	135	155
Distancia de visibilidad de rebase	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grado máximo de curvatura	°	60	30	17	11	7.5	5.5	4.25	3.25	11	7.5	5.5	4.25	3.25
CURVAS VERTICALES	K	Cresta	m / %	4	7	12	23	36	57	14	20	31	43	57
		Columpio	m / %	4	7	10	15	20	37	10	15	20	25	37
	Longitud mínima	m	20	30	36	46	60	80	100	30	40	50	60	80
Pendiente gobernadora	%	9	7	-	-	-	-	-	-	7	6	-	-	-
Pendiente máxima	%	13	10	7	6	5	5	4	4	12	9	7	6	5
Longitud crítica	m	Ver tabla long. crítica												
Ancho de calzada	m	4.0	6.0	6.0	6.0	7.0	7.0	7.0	7.0	A2 7.0 20m	A4 7x7.5 40m	A4S 7x7.5 40m	A4S 7x7.5 40m	A4S 7x7.5 40m
Ancho de corona	m	4.0	6.0	6.0	6.0	7.0	7.0	7.0	7.0	1.0 m c/curv	2.0 m c/curv	2.0 m c/curv	2.0 m c/curv	2.0 m c/curv
Ancho de acotamientos	m	-	-	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Ancho de faja separadora central	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bombeo	%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Sobreelevación máxima	%	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Sobre elevaciones para grados menores al máximo	%	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla
Ampliaciones y longitudes mínimas de transiciones	m	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla	Ver tabla

Tabla 1.3 Clasificación y especificación de los caminos SCT.

Fuente: www.construaprende.com

c) Clasificación por capacidad.

Los caminos se pueden clasificar de acuerdo con la capacidad de tránsito que tienen, pueden ser: autopistas (cuatro carriles o más), carreteras (dos carriles o menos), caminos vecinales, brechas y terracerías.

d) Clasificación administrativa.

Por el aspecto administrativo las carreteras se clasifican en:

1) Federales: Cuando son costeadas por la federación y se encuentran por lo tanto a su cargo.

2) Estatales: Cuando son construidas por el sistema de cooperación al 50% aportado por el estado donde se construye y el otro 50% por la federación, estos caminos quedan a cargo de los estados a través de la “comisión estatal de caminos” en nuestro caso.

3) Vecinales: Cuando son construidas por la cooperación de vecinos beneficiados pagando una tercera parte de su valor, otra tercera la federación y el tercer restante el estado, su construcción y conservación se hace a través del estado (comisión estatal de caminos).

4) Cuota: Estas quedan a cargo de la dependencia descentralizada caminos y puentes federales de ingresos siendo la inversión recupera a través de las “cuotas” de paso.

e) Clasificación técnica oficial.

Esta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino.

1) Tipo especial: Para tránsito promedio diario anual superior a 3000 vehículos equivalentes a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más.

2) Tipo A: Para un tránsito promedio diario anual de 1500 a 3000 vehículos, equivalente a un tránsito horario anual de 180 vehículos a 360.

3) Tipo B: Para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1500 vehículos equivalentes a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos.

4) Tipo C: Para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos.

1.5 Velocidad.

De acuerdo con Mier (1987), la velocidad es un factor de suma importancia en el diseño de un camino, ya que para que un camino sea funcional y útil se debe tomar en cuenta la rapidez y la seguridad con la que el usuario puede transitar por éste.

1.5.1 Velocidad de proyecto.

“Es la máxima velocidad sostenida que ofrece seguridad en un tramo a lo largo de un camino y que gobierna las características de proyecto del mismo”. (Mier; 1987:39)

La velocidad está influenciada por la topografía del terreno, por el tipo de camino, el volumen de tránsito y por el uso de tierra.

1.5.2 Velocidad de operación.

Es la velocidad que mantiene un vehículo a lo largo de un tramo de camino, es la velocidad real con la que transitan los vehículos y ésta representa un índice de eficiencia que el camino proporciona a los usuarios.

1.6 Volumen de tránsito.

Es el número de vehículos que se mueven en una dirección sobre un carril o carriles dados y pasan por un punto determinado del camino durante un cierto periodo de tiempo, los periodos más usados son la hora y el día.

(VPDA) Volumen Promedio Diario Anual: Es el número de vehículos que pasan por un determinado punto del camino en un año y dividido entre los días de este (365).

(VMHA) Volumen Máximo Horario Anual: Es el volumen horario que sucede para un cierto año. Aunque se acerca más a las condiciones de operaciones del camino, su capacidad en el proyecto resulta sobrado.

1.6.1 conteos de tránsito.

Normalmente los conteos de tránsito son tomados directamente en el lugar que se requiere.

Los conteos de tránsito pueden hacerse de dos formas, ya sea manual o mecánico.

a) Conteos manuales.

La forma más económica de hacer los conteos llamados manuales es realizar un conteo continuo durante un cierto lapso de tiempo determinado, ya sea durante 5 a 10 días continuos. Si se decide hacer el conteo de 5 días se debe procurar incluir el fin de semana, la duración de estos conteos es de 24 horas.

En caso de tomar el conteo de 10 días, los primeros 5 días en que se tome la muestra deben ser tomados las 24 horas y los 5 días restantes, solamente se debe tomar los datos desde las 7:00 hasta las 19:00.

b) Conteos de forma mecánica.

Se realiza mediante un aparato llamado contador neumático, que consta de un tubo de goma flexible que es instalado de manera transversal en el lugar donde se requiere el conteo. La forma en que funciona este contador neumático es, al pasar un vehículo sobre el tubo, el aire que se encuentra dentro de este es presionado lo que hace que se impulse una membrana que activa el contador mediante un circuito eléctrico.

1.6.2 Estudios de origen y destino.

Se considera a este el estudio más completo para el aforo de vehículos ya que éste permite conocer los tipos de vehículos que circulan por el lugar, el volumen de tránsito, así como su clasificación por direcciones, origen y destino del viaje, tonelaje, tipo de carga, número de pasajeros, dificultades encontradas durante el viaje, productos transportados, así como marcas y modelos de los vehículos.

Las aplicaciones para este tipo de estudios son: la demanda que existe en una ciudad para aumentar o disminuir gradualmente una ruta, trazar rutas por las ciudades para desviar a los turistas como al tráfico pesado, justificar la construcción de un nuevo camino, el mejoramiento de los caminos ya existentes o la localización de nuevos caminos.

Existen cuatro maneras de realizar los estudios de origen y destino, los cuales son:

- 1.- Consta en entrevistar directamente a los usuarios, para saber su opinión al respecto y comentarios para el mejoramiento de las vías.
- 2.- Entregar al usuario un breve cuestionario, el cual le será entregado en una estación de aforo y éste será devuelto en la siguiente estación, teniendo que llenarlo en el lapso de las dos estaciones.
- 3.- Por medio de un muestrario estadístico con entrevistas personales a los usuarios en sus domicilios.
- 4.- Mediante la observación de placas de los vehículos en distintos puntos.

En las zonas rurales, el método más efectivo es el de realizar encuestas a los usuarios de la carretera. En cambio en las zonas urbanas, debido a que el gran número de vehículos dificulta esta labor, entonces se recomienda el uso de entrevistas en el domicilio de los usuarios.

El método más utilizado y exacto es el de las entrevistas directas a los usuarios. El método más verídico y exacto de todos es el de las entrevistas directas al conductor.

1.7 Densidad de tránsito.

Se entiende por densidad de tránsito, el número de vehículos que se encuentran en una cierta longitud del camino en un instante dado.

1.8 Derecho de vía.

“Es toda el área necesaria para la construcción, drenaje y mantenimiento de una carretera, así como para tener acceso a ella o salir de la misma”. (Manual del ingeniero civil; 2008: 16.11)

Para caminos en México se ha establecido un ancho mínimo del derecho de vía de 40 metros, 20 metros a cada lado del eje.

1.9 Capacidad y nivel de servicio.

De acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1974), la capacidad es una medida de la eficiencia con que una carretera o calle presta servicio a la demanda de tránsito.

1.9 Capacidad de un camino.

Es el número máximo de vehículos que pueden circular por el, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y del camino, en un periodo dado de tiempo.

La capacidad práctica de un camino es el número de vehículos que pueden transitar por el antes de congestionarse y de perder la velocidad de proyecto.

La capacidad de un camino, se mide generalmente en vehículos por hora en ambos carriles, en caso de caminos con 2 carriles.

La capacidad teórica de un camino ha sido determinada tomando en cuenta la velocidad promedio, que es de entre 70 y 80 km/hrs. Y la separación de los vehículos de 50 ms. aproximadamente.

1.11 Volumen de servicio.

Se define como el número máximo de vehículos por unidad de tiempo que pueden pasar por una sección de un camino, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y del camino. Normalmente se expresa como un volumen horario, cuyo valor no se puede sobrepasar a no ser que las condiciones prevalecientes cambien.

Como valores de referencia se cita a continuación la "Capacidad en Condiciones Ideales".

Sentido de Tránsito	Clase de Vía		Capacidad Ideal
Unidireccional	Autopista	2 carriles por sentido	2200 V.L./hrs/carril
		3 ó más carriles por sentido	2300 V.L./hrs/carril
	Multicarril		2200 V.L./hrs/carril
Bidireccional	Dos carriles		2800 V.L./hrs/ambos sentidos

Tabla 1.4 Capacidad en Condiciones Ideales

Fuente: www.imt.mx

Como puede observarse, la unidireccionalidad del tránsito, que evita tener que compartir los carriles para efectos de adelantamiento, tiene una importancia capital en la capacidad de una carretera. Las cifras mencionadas representan valores medios determinados mediante procesos de medición directa y son actualmente aceptadas como válidas internacionalmente.

1.12 Distancia de visibilidad.

Según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (1974), se le llama distancia de visibilidad a la longitud de carretera que el conductor ve delante de él, en condiciones atmosféricas y de tránsito favorables.

Distancia de visibilidad de parada.- La distancia de visibilidad de parada se obtiene con la expresión:

$$D_p = \frac{V^2}{254 f}$$

Donde:

Velocidad de proyecto Km/h	Velocidad de marcha Km/h	Reacción		Coeficiente de fricción longitudinal	Distancia de frenado m	Distancia de visibilidad	
		Tiempo seg	Distancia mt			Calculada m	Para proyecto m
30	28	2.5	19.44	0.400	7.72	27.16	30
40	37	2.5	25.69	0.380	14.18	39.87	40
50	46	2.5	31.94	0.360	23.14	55.08	55
60	55	2.5	38.19	0.340	35.03	73.22	75
70	63	2.5	43.75	0.325	48.08	91.83	95
80	71	2.5	49.30	0.310	64.02	113.32	115
90	79	2.5	54.86	0.305	80.56	135.42	135
100	86	2.5	59.72	0.300	97.06	156.78	155
110	92	2.5	63.89	0.295	112.96	176.85	175

D_p = Distancia de visibilidad de parada en metros

V = Velocidad de marcha, en Km/h

t = Tiempo de reacción, en segundos

f = Coeficiente de fricción longitudinal

En la siguiente tabla se muestran los valores para proyecto de la distancia de visibilidad de parada que corresponden a velocidades de proyecto de treinta a ciento diez Km/h.

Velocidades de diseño V_d (km/h)	Distancia durante la percepción y reacción (m)	Coeficiente de fricción Longitudinal f_i	Distancia durante el frenado (m)	Distancia de visibilidad de parada D_p (m)	
				Calculada	Redondeada
30	16.68	0.440	8.05	24.73	25
40	22.24	0.400	15.75	37.99	40
50	27.80	0.370	26.60	54.40	55
60	33.36	0.350	40.49	73.85	75
70	38.92	0.330	58.46	97.38	95
80	44.48	0.320	78.74	123.22	125
90	50.04	0.315	101.24	151.28	150
100	55.60	0.310	127.00	182.60	180
110	61.16	0.305	156.19	217.35	215
120	66.72	0.300	188.98	255.70	255

Tabla 1.5 Distancia de visibilidad.

Fuente: www.imt.mx

Distancia de visibilidad de rebase.- La distancia de visibilidad de rebase se obtiene con la expresión

$$D_r = 4.5 v$$

Donde:

D_r = distancia de visibilidad de rebase, en metros

V = velocidad de proyecto, en km/h

Distancia de visibilidad de encuentro.- La distancia de visibilidad de encuentro se obtiene con la expresión:

$$D_e = 2 D_p$$

En donde:

D_e = Distancia de visibilidad de encuentro, en metros

D_p = Distancia de visibilidad de parada, en metros.

1.12 Mecánica de suelos.

De acuerdo con Arias (1986), la Mecánica de Suelos es la rama de la Ingeniería Civil que estudia la aplicación de la Mecánica e Hidráulica a los problemas de Ingeniería relacionados con los sedimentos y otras acumulaciones no consideradas de partículas sólidas; producto de la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas.

1.13.1 Origen y formación de los suelos.

Se entiende como suelo, el material que está formado por partículas minerales producto de la desintegración de las rocas y vacíos, los cuales pueden estar o no ocupados por agua.

Desintegración Mecánica.

La desintegración mecánica de las rocas es debida a los siguientes fenómenos:

- Congelación del agua (efecto de cuña que aumenta el volumen del agua)
- Cambios de temperatura.
- Efectos de algunos organismos como roedores, raíces, etc.
- Esfuerzos tectónicos.
- Esfuerzos de abrasión producidos por aguas o vientos.
- Efectos telúricos (debido a temblores o terremotos.)
- Efectos e gravedad debido a derrumbes de taludes.

Descomposición Química.

La descomposición química ocurre por acción del agua y otras sustancias naturales y cuyas reacciones generan en general suelos finos.

Tipos de suelos.

a) Suelos residuales.

Son todos aquellos suelos que han permanecido siempre en el lugar donde fueron creados.

b) Suelos transportados.

Son todos aquellos suelo producto de la desintegración de las rocas removidas y que se han ido depositando en diferentes lugares a los que fueron creados, producto del agua, el viento, los glaciales, la gravedad, entre otros.

1.13.2 Granulometría de los suelos.

La granulometría estudia o trata lo referente a la forma y distribución de las gravas o partículas que constituyen el suelo.

Suelos gruesos.

De acuerdo con Arias (1986), el análisis granulométrico se recomienda solo hacerlo a los suelos gruesos, cuyos tamaños de las partículas varía entre los 0.074 y 76.2 mm. La medición de estas partículas se puede realizar mediante un análisis directo o con la ayuda de mallas graduadas.

El análisis directo se recomienda solo a partículas mayores a las 3 pulgadas y este análisis se realiza con la ayuda de un aparato de precisión manual, llamado Vernier.

La medición con la ayuda de mallas es un análisis usado principalmente para suelos gruesos, esta medición consiste en colocar una muestra de material en un juego de mallas que están acomodados de forma descendente a los tamaños, el suelo debe estar previamente seco, posteriormente se agita de forma vertical y horizontal durante un lapso de tiempo de entre 5 a 10 minutos. Luego se calcula el porcentaje de suelo retenido en cada malla respecto al peso total de la muestra, así se obtiene la Curva de Distribución Granulométrica.

Suelos finos.

De acuerdo con Arias (1986) para obtener la granulometría de los suelos finos (menores a 0.074) se usa el método del hidrómetro: este consiste en realizar una mezcla homogénea de suelo y agua, esto permitirá que las partículas de suelo más grandes se vayan sedimentando.

Estados de consistencia.

Los estados de límites de consistencia son los siguientes:

- a) Límite líquido (L.L). Es el contenido de agua de un suelo fino para el cual este tiene una resistencia al esfuerzo cortante de 25gr/cm^2 . Su valor se determina en el laboratorio utilizando el método de la copa de Casagrande.
- b) Límite plástico (LP). Es el contenido de agua según el cual el suelo comienza a perder sus propiedades plásticas para pasar a un estado semisólido. Su determinación se lleva a cabo en el laboratorio colocando aproximadamente 1cm^3 de mezcla agua-suelo sobre un vidrio pulido y formando rollitos de 3mm hasta que se empiecen a agrietar.
- c) Límite de contracción. Cuando un suelo pierde agua, normalmente su volumen disminuye y esto se debe a las fuerzas de tensión capilar que son producidas por el agua.

Clasificación de suelos SUCS.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) nos ayuda a clasificar los suelos mediante sus propiedades mecánicas y que distingue a los suelos finos de los gruesos.

Dentro de la carta SUCS se agrupan los suelos y se les da un símbolo a cada uno de estos grupos.

Símbolo	Significado.
M	Limos Inorgánicos.
C	Arcillas inorgánicas.
O	Limos y Arcillas orgánicas.

A su vez estos suelos se subdividen: de acuerdo a su Límite Líquido en dos grupos.

Si el L.L. es $< 50\%$ son suelos de baja a mediana compresibilidad “L” (Low compresibility).

Si el L.L. es $> 50\%$ son de alta compresibilidad “H” (high compresibility).€

DIVISION MAYOR		SIMBOLO	NOMBRES TIPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @	ARENAS No. 4 Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	GRAVA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	
			GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	
			GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla	
			ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	
			ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	
			ARENA CON FINOS Cantidad apreciable	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	
	SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 @	LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido Menor de 50	LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido Mayor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	
				CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres	
				OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	
		SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido Mayor de 50	LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido Mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos
					CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.
					OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos o de media plasticidad.
P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.					

PARA CLASIFICACION VISUAL PUEDE USARSE % en COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	
GRAVA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW
GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GM
GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GC
ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SP
ARENA CON FINOS Cantidad apreciable	SM

DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LAS CURVAS GRANULOMETRICAS, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos de 5%: GW, GP, SW, SP; más de 12%: GM, GC, SM, SC. Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u : mayor de 4.
COEFICIENTE DE CURVATURA C_c : entre 1 y 3.
 $C_u = D_{60}/D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} D_{60})$

NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA GW.

LIMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4.

LIMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.

Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles

$C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor de 6; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} D_{60})$ entre 1 y 3

No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW

LIMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4.

LIMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.

Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.

Fig. 1.3 Clasificación de suelos (SUCS)

Fuente: www.dof.gob.mx

CAPÍTULO 2

EL DRENAJE

En el presente capítulo se hará referencia todo lo que tiene que ver con el drenaje en las carreteras, porque como se ha mencionado éste es de gran importancia para la buena conservación de la misma y para los usuarios, ya que un buen drenaje permite expulsar de manera eficaz toda o una gran parte del agua que llega al camino sin que esta afecte a la estructura del camino.

2.1 Antecedentes del drenaje.

Se han encontrado rastros de drenaje en civilizaciones tan antiguas como en las del Valle del Indo; pero cabe señalar que estos drenajes eran superficiales y no subterráneos como se conocen hoy en día.

Se dice que en el imperio Romano el sistema de drenaje era eficiente pero pestilente, debido a que éste iba superficialmente. Un ejemplo de esto es la llamada Cloaca Máxima que en la actualidad se han encontrado esto habla de la notable ingeniería romana de esos tiempos, ésta se utilizaba para descargar las aguas pantanosas del subsuelo.

La primera red de drenaje que se construyó fue en París, Francia, en el siglo XIX. Muchas ciudades de Europa Central ubicadas al lado de grandes ríos han

tenido que construir grandes obras hidráulicas para el drenaje de aguas negras o fecales; un caso muy conocido es el de Viena, donde se canalizó una parte del Danubio para que sirviera como parte de puerto fluvial y se construyó una extensa red de drenaje subterráneo.

2.2 Objetivos del drenaje.

“El drenaje es una consideración muy importante de una carretera. Las instalaciones inadecuadas para el drenaje pueden conducir al deterioro prematuro de la carretera y al desarrollo de condiciones adversas de seguridad.” (Manual del ingeniero civil; 2008: 16.27)

El objetivo del drenaje de un camino es el de reducir a un máximo la cantidad de agua que llega al mismo, así como el de dar una salida rápida del agua que llega al camino.

En esencia, su función es extraer toda el agua del camino de una manera rápida y eficiente.

2.3 La cuenca hidrológica.

En esencia una cuenca es una parte de superficie terrestre en donde las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a escurrir a través de las corrientes hacia un mismo punto de salida.

De acuerdo con la forma de salida del agua, existen dos tipos de cuencas, las cuales son: las exorreicas son aquellas en las que el punto de expulsión del agua está dentro de los límites de la cuenca y ésta a su vez en otra corriente o en el mar.

El otro tipo de cuenca que existe son las endorreicas, en éstas el punto de salida no existe y por tal motivo aparece un lago en su superficie más baja.

2.3.1 Área de la cuenca.

El área de la cuenca es la superficie delimitada por el parteaguas, el parteaguas es una línea imaginaria que delimita una cuenca de la otra, el área de una cuenca generalmente se expresa en km².

Por su tamaño las cuencas se clasifican en:

Cuencas grandes > 250km².

Cuencas pequeñas < 250km².

Cuencas muy pequeñas < 10km².

2.4 Precipitación.

De acuerdo con Monsalve (1999), la precipitación es un agregado de partículas acuosas, líquidas o sólidas, cristalizadas o amorfas que caen de una nube o grupo de nubes y alcanzan la superficie terrestre.

La precipitación compone una parte del ciclo hidrológico y se toma como el inicio del análisis de los demás componentes del ciclo hidrológico.

2.4.1 Tipos de precipitación.

En general, las nubes se crean debido al enfriamiento por debajo del punto de saturación del aire que las conforma. La intensidad y cantidad de precipitación depende del contenido de humedad del aire y de la velocidad vertical del mismo.

Debido a esto se derivan los siguientes tipos de precipitación:

1.- Precipitación ciclónica. Es la que está asociada al paso de una perturbación ciclónica. Se presenta de dos formas; frontal y no frontal.

2.- Precipitación conectiva. Tiene su origen en la inestabilidad de una masa de aire más caliente que las circundantes. La masa de aire caliente asciende, se enfría, se condensa y se forma la nubosidad de tipo cumuliforme, origina precipitaciones en forma de chubasco o tormentas.

3.- Precipitación orográfica. Es aquella que tiene su origen en el ascenso de una masa de aire, forzado por una barrera montañosa.

2.4.2 Intensidad de la precipitación.

La intensidad de la precipitación generalmente suele medirse en milímetros por hora, es decir, precipitación por unidad de tiempo. Cuando las precipitaciones

son muy intensas se suelen medir en milímetros por minuto, si se analizan las lluvias fuertes que han caído, se descubrirá que las de mayor intensidad son las más breves, la mayor intensidad sólo dura un período de tiempo muy corto, a medida que el tiempo aumenta la intensidad media de la precipitación va disminuyendo.

2.4.3 Elementos de hidrometrología.

Se puede señalar que la hidrometrología es la ciencia que se encarga de estudiar los fenómenos que ocurren en la atmósfera, el comportamiento de esos fenómenos en un determinado lugar y por un cierto lapso de tiempo.

La hidrometrología es la ciencia que se encarga de estudiar los fenómenos relacionados con el agua atmosférica que son los que interesan a la ingeniería hidrológica.

2.4.4 Medida de la precipitación.

La precipitación se mide por la altura en milímetros que alcanzaría en una superficie plana y horizontal donde no se perdiera por filtración o evaporación. Un milímetro de agua equivale a un litro de agua por metro cuadrado.

2.4.5 Aparatos para la medición y el registro.

Para la medida y el registro de las precipitaciones se emplea un material de observación básico muy sencillo. A continuación se describen algunos aparatos que son utilizados para la medición de las precipitaciones.

a) Pluviómetros.

Están formados por un recipiente cilíndrico graduado de área transversal. Este aparato sirve para medir la precipitación.

b) Pluviógrafos.

Son semejantes a los pluviómetros con la diferencia de que estos cuentan con un aparato de relojería que permite llevar a cabo un registro continuo de precipitación.

c) Nivómetros.

Con estos aparatos es posible medir el nivel de nieve que cae. Estos aparatos son necesarios cuando la cantidad de nieve que cae es considerable y su función es más difícil.

d) Totalizadores.

Tiene por objetivo obtener en una sola medida la precipitación total caída en un cierto punto durante un largo período (una año hidrológico, un verano, un periodo de lluvias, etc.); existen diversos modelos de este aparato, pero todos coinciden en los detalles generales de construcción y funcionamiento. Son instalados en lugares que sólo pueden visitarse con escasa frecuencia, normalmente una vez al año.

2.4.6 Cálculo de la precipitación media sobre un área.

Para el cálculo de la precipitación media en una cuenca o un área, a partir de los datos de las estaciones

Meteorológicas (pluviométricas), pueden utilizarse varios procedimientos.

El primero y más simple es tomar como precipitación media la media aritmética de los valores observados en las distintas estaciones meteorológicas localizadas dentro de la cuenca. Esto sólo es aconsejable cuando la distribución de las estaciones en la cuenca sea bastante uniforme en las zonas bajas y convenientemente elegidas en zonas de montaña. Estas dos condiciones normalmente no se dan en la mayoría de las cuencas de México, por lo que este procedimiento resulta poco aproximado.

Para determinar la precipitación media de la cuenca con este método se aplica la expresión matemática siguiente:

$$P = \frac{\sum p_n}{n}$$

Donde:

P: precipitación media de la cuenca.

p_n : precipitación media de cada estación meteorológica localizada dentro de la cuenca.

n: número de estaciones meteorológicas localizadas dentro de la cuenca.

Un segundo procedimiento es el de los polígonos de *Thiessen*. La red poligonal se traza formando los polígonos mediante las perpendiculares en el punto medio a los segmentos que unen cada dos estaciones. Se supone que cada estación es representativa del área del polígono que la encierra, de manera que la precipitación media de la superficie limitada por cada polígono es la que se registra en la estación meteorológica correspondiente.

Así, la precipitación media de la cuenca se obtiene sumando los productos de las precipitaciones de cada estación por el área del polígono correspondiente y dividiendo la suma entre el área total de la misma cuenca:

$$P = \frac{(p_1 a_1) + (p_2 a_2) + (p_3 a_3) \dots + (p_n a_n)}{A}$$

$$P = \frac{\sum p_n a_n}{A}$$

Donde:

P: precipitación media de la cuenca,

P: precipitación media de cada polígono (corresponde a la precipitación media de la estación limitada por cada polígono),

a: área correspondiente a cada polígono.

A: Área total de la cuenca.

3.- Un tercer procedimiento es el método de las isoyetas, que es el más preciso. Consiste en trazar isolíneas de igual precipitación (isoyetas).

La precipitación media de la cuenca se calcula sumando los productos de las áreas comprendidas entre cada dos isoyetas, por su correspondiente precipitación media, y dividiendo la suma entre el área total de la cuenca. Cuando las isoyetas discurren paralelas, la precipitación media del área comprendida entre cada dos es la semisuma de los valores de éstas.

Para determinar la precipitación media se emplea la siguiente expresión:

$$P = \frac{(p_1 a_1) + (p_2 a_2) + (p_3 a_3) \dots + (p_n a_n)}{A}$$

$$P = \frac{\sum p_n a_n}{A}$$

En donde:

P: precipitación media de la cuenca,

p: precipitación media correspondiente al área comprendida entre cada dos isoyetas.

a: área comprendida entre cada dos isoyetas.

A: Área total de la cuenca.

El área comprendida entre cada dos isoyetas se calcula mediante el empleo de papel milimétrico, del planímetro o de sistemas de información geográfica.

2.5 Escurrimiento e Infiltración.

De acuerdo con Aparicio (1993) el escurrimiento es el agua que proviene de la precipitación, y que circula a través de la superficie terrestre o debajo de esta, posteriormente esta se une a una corriente para ser drenada hasta la salida de la cuenca.

2.5.1 Tipos de escurrimientos.

Una vez que el agua llega a la superficie de la tierra tiende a seguir diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca; estos escurrimientos se clasifican en: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo.

El agua que fluye a través de la superficie en su camino hacia la corriente más próxima se sigue infiltrando e incluso se evapora en cantidades pequeñas. Una vez que llega a un cauce más definido se convierte en escurrimiento en corrientes.

Los escurrimientos que van por tierra a su vez se dividen en diferentes tipos de corrientes, estos son:

- a) Corrientes perenes: Son aquellas que llevan en su cauce agua todo el año sin importa si es temporada de lluvias o no.
- b) Corrientes intermitentes: Estas corrientes llevan agua solo un aparte del año.

c) Corrientes efímeras: Estas corrientes llevan agua solo en temporada de lluvias y una vez que se termina la temporada de lluvias sus cauces se secan.

Una vez que ocurre la precipitación una parte del agua se infiltra en el subsuelo, este flujo de agua va cerca de la superficie del suelo y más o menos paralelo a él. A esta parte del escurrimiento se le llama escurrimiento subsuperficial. A la otra parte del flujo que se infiltra más abajo del nivel freático se le llama escurrimiento subterráneo.

2.5.2 Hidrogramas.

Un hidrograma es la representación gráfica de un escurrimiento, en donde las abscisas (eje x) representan el tiempo y las coordenadas (eje y) representan el caudal o gasto del escurrimiento.

Aunque los hidrogramas producidos por las tormentas varían de una cuenca a otra y también dependiendo de la tormenta se pueden distinguir las siguientes partes de un hidrograma.

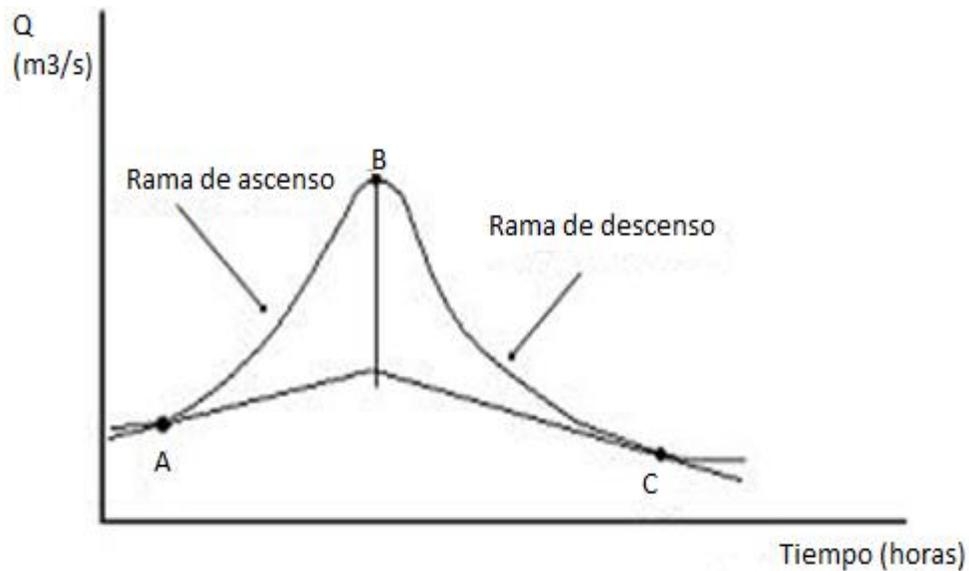


Fig. 2.1 Hidrograma con Separación de gastos.

Fuente: www.ing.unne.edu

Donde:

A: Punto de levantamiento. En este punto es cuando el agua producida por la tormenta comienza a llegar a la salida de la cuenca y se produce inmediatamente después de iniciada la tormenta, durante esta o incluso aun cuando a transcurrido algún tiempo desde que dejó de llover.

B: Pico. Es el punto donde la tormenta toma su punto más alto y por lo general es el punto más importante de un hidrograma para fines de diseño.

C: Final del escurrimiento directo. Es donde prácticamente termina el flujo sobre el terreno y el resto del agua que queda en la cuenca escurre por canales y como agua subterránea.

D: Final del escurrimiento directo. En este punto termina el escurrimiento directo y continuo solamente en forma subterránea.

Rama ascendente. Esta parte es la que va desde el punto de levantamiento hasta el pico del hidrograma.

Rama descendente. Es la parte del hidrograma que va desde el pico del hidrograma hasta el final del escurrimiento directo; si se toma sólo a partir del punto de inflexión se llama curva de vaciado de la cuenca.

2.5.3 Infiltración.

La infiltración es de importancia básica en la relación entre la precipitación y el escurrimiento, por lo que a continuación se introducen los conceptos que la definen, los factores que la afectan, los métodos que se usan para medirla y el cálculo de dicha componentes en grandes cuencas.

Definición:

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra en los estratos del suelo y se mueve hacia el manto friático.

Proceso de infiltración:

El agua satisface la diferencia de humedad del suelo y después cualquier exceso pasa a formar parte del agua subterránea.

2.5.4 Capacidad de infiltración.

Se denomina capacidad de infiltración a la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, este valor es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y al mayor o menor compactación que tiene el mismo.

2.5.5 Factores que afectan la capacidad de infiltración.

La infiltración puede considerarse como la secuencia de tres pasos para que se logre la misma.

a) Entrada a la superficie del suelo.

La entrada a la superficie del suelo se puede ver obstruida por el lavado de finos y el impacto de las gotas de agua de la lluvia, lo cual evita la entrada del agua al suelo. Por esto un suelo con una buena capacidad de red de drenaje puede tener baja capacidad de infiltración.

b) Transmisión a través del suelo.

La velocidad con la que el agua penetra en el suelo depende de la capacidad de transmisión, la cual varía por los diferentes horizontes del perfil del suelo. Una vez

que este se ha saturado, la capacidad de infiltración está limitada por la menor transmisión del agua infiltrada que tenga el suelo.

c) Agotamiento de la capacidad de almacenamiento del suelo.

El almacenaje disponible del suelo en cualquier horizonte depende de la porosidad (relación de vacíos) espesor y contenido de humedad. La magnitud de la porosidad del suelo depende de la textura, estructura, contenido de material orgánico y de diversos factores más que el ingeniero estudia en la mecánica de suelos.

La infiltración que ocurre en el inicio de la tormenta está controlada por el volumen, tamaño y continuidad de los poros no capilares ya que proporcionan fáciles trayectorias para el movimiento de agua.

La capacidad de almacenaje afecta directamente a la capacidad de infiltración durante la tormenta, cuando la cantidad de infiltración está controlada por su transición a través de dos estratos del suelo esta irá disminuyendo conforme se agote el almacenaje en los estratos superiores al estrato que tiene menor transmisión.

2.6 Agua subterránea.

El agua subterránea es la que se encuentra dentro de la litósfera. A la parte de la hidrología que se ocupa del agua subterránea se le da el nombre de hidrogeología, y aunque algunos autores también la llaman geohidrología, cabe mencionar que ésta se dedica exclusivamente a la hidráulica subterránea.

La hidrogeología estudia al agua subterránea, desde su origen, su movimiento, su distribución debajo de la superficie de la Tierra y su conservación.

Por lo que se refiere a la presencia del agua en el subsuelo, se ha comprobado que la mayor parte del agua subterránea se debe a la infiltración de agua de lluvia, aunque también hay agua subterránea debida a otros fenómenos como el magmatismo y el volcanismo (aguas juveniles) y las que resultan al quedar atrapadas en los intersticios de rocas sedimentarias en el momento en que se depositan éstas (aguas fósiles), pero su cantidad no es considerable en relación con las que provienen de la infiltración.

2.6.1 Distribución del agua en el subsuelo.

En condiciones normales, la distribución de agua en el subsuelo ha sido dividida en dos zonas: la de aireación, también conocida como zona vadosa o no saturada y la de saturación

a) Zona de aireación

La zona de aireación comprende a su vez tres franjas: la del agua del suelo, la intermedia y la capilar. En la franja del agua del suelo se encuentran tres tipos de agua:

Agua higroscópica. Es la que el suelo absorbe y pasa a formar películas muy delgadas alrededor de las partículas que lo forman.

Agua capilar. Es la que existe en los intersticios del suelo debido a fenómenos de capilaridad. Esta es el agua que aprovechan muchas plantas para satisfacer sus necesidades.

Agua libre o de gravedad. Es la que se mueve bajo la influencia de la gravedad, una vez satisfecha la humedad del suelo.

Hay ocasiones en que esta primera franja no existe. En la franja intermedia el espesor varía desde cero hasta varios metros; es la que comunica a la franja del agua del suelo con la capilar. El agua aquí existente se debe a fuerzas higroscópicas, capilares y de gravedad.

La franja capilar es una capa humedecida por el agua que asciende de la zona de saturación debido a fenómenos capilares.

Al agua contenida en la zona de aeración se le conoce con el nombre de agua suspendida, ésta es el agua vadosa, es decir, agua infiltrada que se dirige hacia el manto freático.

b) Zona de saturación

En la zona de saturación se encuentra el agua subterránea propiamente dicha. En esta región el movimiento del agua es más lento debido a que todos los poros e

intersticios se encuentran ocupados por ella, y es de aquí de donde se extrae el agua para los diversos usos que le da el hombre.

La capa saturada es el manto freático, y la parte superior de ésta, es decir, el límite de la zona libre del agua que ocupa esta región, es la superficie freática que, por lo general, sigue débilmente las ondulaciones del terreno. Al agua que llega a esta zona se le llama agua freática.

La parte inferior de la zona de saturación está compuesta por una capa impermeable, la cual impide que el agua siga descendiendo.

Puede suceder que haya otras zonas de saturación de menor extensión sobre la principal, en cuyo caso se les llama zonas de saturación colgadas.

El agua se mueve hacia el manto freático por filtración, una vez en él, el movimiento lento que adquiere al llegar a la zona de saturación se llama percolación.

El movimiento del agua subterránea está controlado por tres fuerzas principales, la de gravedad, la de atracción molecular y la de diferencias de densidad, producto de variaciones importantes de temperatura que existen al interior del subsuelo, interviniendo de manera especial la estructura de las formaciones geológicas.

Las formaciones geológicas según su aptitud para contener y dejar pasar el agua a través de su masa reciben distintos nombres:

Acuíferos. Son formaciones, partes de una formación o conjunto de formaciones geológicas, que permiten al agua moverse a través de ellas bajo condiciones

ordinarias y son capaces de suministrarla por gravedad, o por bombeo en la calidad requerida.

Acuicierres o acuitardos. Son formaciones capaces de contener agua, pero incapaces de transmitirla en cantidades suficientes como para su captación o formación de manantiales importantes.

Acuífugos. Son formaciones impermeables que no absorben ni transmiten agua. Los acuíferos pueden ser libres y confinados.

Los primeros se conocen también como acuíferos no confinados, abiertos, freáticos o no artesianos y son los que se presentan cuando el manto freático no está limitado, en la parte superior, por un estrato impermeable. Los acuíferos confinados, también conocidos como artesianos, ocluidos o de presión, se tienen cuando el agua subterránea está limitada en su parte superior por un estrato impermeable. El agua que alimenta a este tipo de acuíferos proviene de un manto en el que el estrato limitante superior o ambos estratos ascienden hasta la superficie o terminan bajo ella.

El agua confinada o artesianiana tiene una presión que la hace subir a un cierto nivel cuando alguna fractura o perforación llega hasta el acuífero confinado. La presión causante de este ascenso es la presión hidrostática y el nivel al cual llega esta agua sin ser bombeada se llama superficie piezométrica o superficie de presión. El nivel de un punto cualquiera de las superficies freáticas y piezométrica sin haber bombeado el agua, da el nivel estático. Cuando la superficie piezométrica queda

debajo del terreno se dice que el agua es ascendente y cuando queda arriba de la superficie, el agua es brotante.

2.6.2 Factores que afectan las condiciones del agua subterránea.

La presencia y el movimiento del agua subterránea están condicionados por ciertos factores, entre los que se cuentan como más importantes la precipitación, la forma del terreno, la geología y la presencia o ausencia de vegetación.

Precipitación.

Es importante considerar a la precipitación, si se toma en cuenta que la mayor parte del agua del subsuelo proviene de la infiltración de la lluvia.

Las zonas lluviosas constituyen, en mayor o menor grado, zonas de alimentación del agua subterránea, por lo que en las zonas secas el agua subterránea no proviene de la infiltración directa, procede de regiones lejanas o cercanas, en donde la lluvia se infiltra y llega lentamente hasta ellas. La precipitación es muy importante en dos aspectos, en su cantidad y en su duración.

Forma del terreno.

Este aspecto interesa a la hidrología tanto superficial como subterránea, ya que el relieve da lugar a la formación de las cuencas hidrográficas, indicando así el camino que seguirá el agua al caer a la superficie.

Geología.

El aspecto geológico desempeña un papel muy importante en la hidrogeología, ya que la velocidad de movimiento depende de la estructura y composición litológica de las formaciones, para que el agua pueda transitar por el subsuelo. Las diferentes formaciones poseen ciertas propiedades que son definitivas para poder constituir buenos acuíferos. Estas propiedades son la porosidad y la permeabilidad.

2.7 Drenaje en vías terrestres.

“El objetivo del drenaje en los caminos, es en primer término, el reducir al máximo posible la cantidad de agua que de una u otra forma llega al mismo; y en segundo término dar salida al agua que llegue al camino”. (Crespo; 1996: 140)

Uno de los elementos que mayores daños causan a los caminos, sino el que más causa, es el agua, provoca grandes daños y la disminución de la resistencia de los suelos, por tal motivo es de suma importancia expulsar al máximo toda el agua que llegue al los caminos.

Se considera como drenaje artificial al conjunto de obras que sirven para captar, conducir y alejar del camino toda el agua que pueda representar un daño para la estructura.

Para que una camino se considere que tiene buen drenaje debe evitarse que el agua circule en cantidades excesivas por el camino, destruyendo el pavimento y ocasionando baches, así como también debe evitarse que el agua entre a las terracerías para evitar que el agua reblandezca la estructura originando perdidas de estabilidad de la misma.

De acuerdo con Crespo (1996), se debe evitar que los cortes, formados por materiales de mala calidad se saturen de agua para evitar el riesgo de derrumbes o deslizamientos del material, también se debe evitar que el agua subterránea reblandezca la subrasante con sus consiguientes problemas que esto ocasiona.

Se recomienda que los caminos sean trazados sobre suelos que sean estables y naturalmente drenados; sin embargo no siempre se puede elegir la ruta que se desee, por lo que el camino tiene que atravesar por diferentes tipos de suelos, algunos permeables y otros no, esto obliga a construir diferentes obras de drenaje que se adapten a las condiciones.

Los drenajes se dividen en dos partes, los cuales son; drenajes superficiales y drenajes subterráneos.

2.8 Drenaje superficial.

El drenaje superficial tiene por objetivo la reducción del agua que fluye por el camino, mediante la captación de la misma y también dar rápida salida al agua que entra al camino inevitablemente.

El drenaje superficial se clasifica, según la posición que las obras guardan con respecto al eje del camino, en paralelo y transversal.

El drenaje longitudinal es aquel que tiene por objetivo captar los escurrimientos para evitar que lleguen al camino o que permanezcan en el, de tal manera que no le causen daños a la estructura, en esta clasificación entra los; bordillos, cunetas, contracunetas y canales de cruzamiento.

El drenaje transversal es aquel que tiene por objetivo dar paso al agua que cruza de un lado a otro del camino, dentro de este tipo de drenajes se encuentra; los tubos, losas, cajones, bóveda, lavaderos, vados, sifones invertidos y puentes, entre otros.

2.8.1 Cunetas.

De acuerdo con Olivera (1991), las cunetas son canales que se hacen a los lados de la superficie del camino en cortes y tienen como función interceptar el agua que se escurre por el camino y en ocasiones por los terraplenes. Debido a que el área a drenar por las cunetas es relativamente pequeña, generalmente se proyectan para que den capacidad a fuertes aguaceros de 10 a 20 minutos de duración.

La sección transversal de las cunetas es generalmente triangular o trapecial, las dimensiones, la pendiente y otras características de las cunetas se determinan mediante el flujo que escurrirá por ellas y su diseño se basa en los principios de flujo en los canales abiertos. Es conveniente usar una sola sección de cunetas en todo el camino, no solo por apariencia si no también porque es más fácil de construir. Las cunetas generalmente se construyen en forma de V o trapecial; su tirante generalmente se construye de 30cm a 45cm: el talud del lado del camino es de 2:1 y el del lado opuesto 1.5:1.

Según Olivera (1991) el desnivel mínimo bajo la subrasante del camino en cualquier caso es de 30cm y el máximo de 90cm a fin de que ésta no sea muy peligrosa.

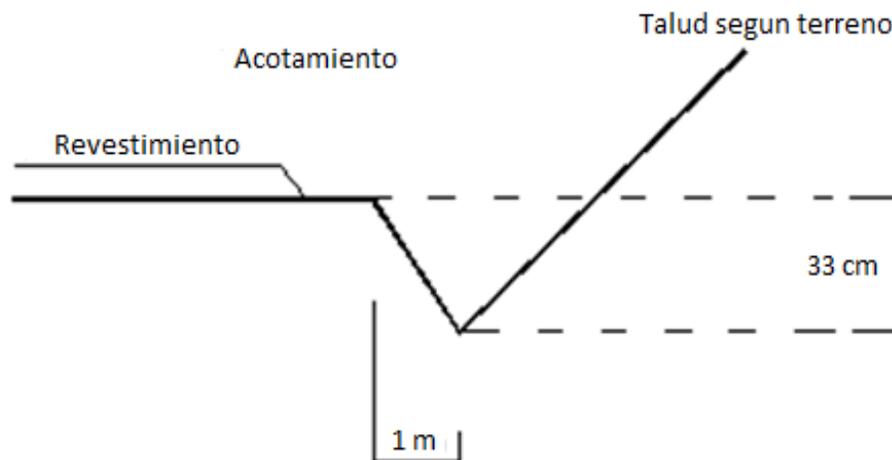


Fig. 2.2 Cuneta tipo

Fuente: www.imt.mx

De acuerdo con Crespo (1996) para que una cuneta se conserve en buen estado y cumpla con su objetivo principal, es necesario que la velocidad del agua que escurre no pase de ciertos valores. En la siguiente tabla se dan unos valores aproximados de la velocidad a que comienza a deslavarse el material.

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

2.8.2 Contracunetas.

De acuerdo con Crespo (1996), las contracunetas son zanjas que se construyen en ciertos lugares convenientes con el fin de evitar que llegue a las cunetas más agua que aquella para la que están proyectadas. La función de las contracunetas es la de recoger el agua que se dirige al camino proveniente de zonas más lejanas.

Las contracunetas son colocadas a una distancia aproximada de 5 m del talud de corte, transversalmente a la pendiente del terreno para interceptar el agua y alejarla a los terraplenes y cortes.

Las contracunetas se calculan igual que las cunetas, y generalmente se construyen de sección trapezoidal de 50cm de plantilla y taludes 1:1 en materiales suficientemente compactos, pudiendo llegar a hacerse paredes verticales. En todos los casos el tamaño y forma deberá sujetarse a las necesidades hidráulicas y a las condiciones del terreno.

2.8.3 Bombeo del camino.

Según Crespo (1996) se denomina bombeo de un camino a la forma de la sección transversal del mismo, que tiene por objetivo el expulsar hacia los lados en forma total toda el agua que llega a la corona o superficie del terreno y evitar que esta penetre a las terracerías.

El bombeo que se debe utilizar depende de la superficie, facilidad de los vehículos para circular y de los aspectos de un camino. En nuestro país el bombeo que más se utiliza es el de emplear un bombeo del 2% para los caminos que cuenten con asfalto y de 1.5% para los caminos que sean de concreto hidráulico.

2.8.4 Vados.

De acuerdo con Olivera (1991) los vados son estructuras superficiales de los caminos, en el cruce con un escurrimiento pequeño. Su aplicación es frecuente cuando se tiene corrientes de régimen torrencial que permitan el paso de los vehículos la mayor parte del año y donde la interrupción del tránsito no sea mayor a 2 hrs. La configuración de un vado debe acercarse a la del terreno natural para que este no altere la configuración del terreno.

2.8.5 Lavaderos o Vertedores.

Los lavadero o vertedores son estructuras hechas de mampostería de concreto o de piedra acomodada simplemente, su función es la de encauzar el agua de los taludes o terraplenes o en terrenos muy erosionables, hasta llevarla a lugares donde el agua no pueda causar daño a la estructura del camino. Cuando se construyen en terrenos muy inclinados, es necesario anclarlos al terreno con dentellones para evitar que resbalen.

Las dimensiones de construcción de los lavaderos o vertedores queda a consideración del constructor tomando en cuenta la cantidad de agua que llega al camino.

2.8.6 Obras de cruce: Alcantarillas.

“Las obras de cruce, que son llamadas también de drenaje transversal, tiene por objetivo dar paso al agua que, por no poder desviarse en otra forma, tenga que cruzar de un lado a otro del camino.” (Crespo; 1996; 148)

En estas obras de cruce son contempladas las alcantarillas y los puentes, la diferencia entre las alcantarillas y los puentes, es, que las alcantarillas llevan encima de ellas un colchón de arena y los puentes por su parte no lo llevan.

Una alcantarilla consta de dos partes que son: el cañón y los muros de cabeza. El cañón es el que forma el canal de la alcantarilla y se considera que es la parte principal de la estructura. Los muros de cabeza tienen la función de evitar la erosión alrededor del cañón, para guiar la corriente y para evitar que el terraplén invada el canal.

Las alcantarillas se colocan por lo general en el fondo del cauce que desaguan, aunque hay ocasiones que esta ubicación puede ser cambiada. Al localizar una alcantarilla, se debe evitar de cualquier forma que esta force el cauce natural de la corriente, además no se debe de tratar de reducir el número de alcantarillas concentrando en una sola el agua de todas, se debe de colocar todas las alcantarillas que sean necesarias para un eficiente drenaje.

Cuando el esviajamiento de una corriente sea menos a 5 grados es preferible construir la estructura perpendicular al camino anulando es esviajamiento ligeramente.

En aquellos casos en los que la dirección de la corriente con la normal al eje del camino formen un ángulo mayor de 5 grados, es preferible alinear la alcantarilla con el fondo del arroyo aun a expensas de que resulte una obra más larga y costosa que la construida normal, ya que ésta requeriría canalizar el cauce con codos más o menos forzados que son poco resistentes al embate del agua en los aguaceros fuertes produciéndose deslaves en los lugares de máxima velocidad y azolves en aquellos de velocidad mínima.

Tipos de alcantarillas.

Dependiendo de su forma y material, las alcantarillas se clasifican en:

1. Alcantarillas de Tubo: Pueden ser de concreto reforzado, de lámina corrugada, de barro vitrificado y de fierro fundido.

2. Alcantarillas de Cajón: Son de concreto reforzado, sencillas o múltiples.

3. Alcantarillas de Bóveda: Estas pueden ser de mampostería o de concreto simple, sencillas o múltiples.

4. Alcantarillas de Losa: de concreto reforzado. En cuanto al tipo de cimentación se puede decir que cuando la cimentación es en el suelo firme y seco, cualquiera de los tipos anteriores es satisfactorio. Si se colocan tubos de concreto o de barro se debe hacer sobre un material más resistente que el suelo donde se desplantaran. Cuando se deban colocar en terrenos muy inestables, tal es el caso de

lodazales o arenas movedizos, el más adecuado es el de lamina corrugada o el tipo cajón.

Pendiente de la alcantarilla.

Es recomendable que la pendiente en las alcantarillas sea la misma que la del lecho de la corriente. Si la pendiente de la alcantarilla es mayor, el extremo de la misma tiende a azolverse, y por el contrario si la pendiente es menor que la del cauce es el extremo superior el que se obstruye. Sin embargo, cuando se trata de una alcantarilla sobre un talweg en terreno montañoso de fuerte pendiente, si se hace la alcantarilla tarilla con la pendiente del cauce resultaría que la intersección de la alcantarilla con el talud del lado de aguas abajo del terraplén, quedaría muy alejada del centro del camino provocando con ello una estructura muy larga y muy costosa. En estos casos es preferible dar a la alcantarilla una pendiente bastante menor y construir en su salida, sobre el talud del terraplén, un lavadero o sea un canal de mampostería o de concreto por el que escurra el agua hasta llegar al terreno natural.

Longitud de una alcantarilla.

La longitud de una alcantarilla debe de ser lo suficientemente larga en el cañón de modo que los deslaves que puedan ocurrir en el terraplén producidos por las lluvias no lleguen a tapanla. La longitud de una alcantarilla depende del ancho de

la corona de un camino, la altura del terraplén, de su mismo talud y del ángulo de esviajamiento.

2.9 Drenaje subterráneo.

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

Cada lugar que requiera drenaje subterráneo, o subdrenaje como también se le llama, es un problema individual y diferente, y por lo tanto deben aplicarse los principios de ingeniería en su solución adecuada. Al drenaje subterráneo debe dársele toda la atención que se merece ya que de él depende gran parte de la seguridad y estabilidad del camino.

A continuación se describen las obras de drenaje subterráneo que se utilizan para evitar que el agua llegue al camino y para desalojar la que llega a este.

Zanjas.

Para hacer el drenaje subterráneo, frecuentemente se han usado, en los caminos construidos en zonas bajas, zanjas localizadas a unos cuantos metros fuera

del mismo y paralelas a él. Estas zanjas son usualmente de 0.60 m en la base y de 0.90 m a 1.20 m de profundidad. Si se les hace suficientemente profunda pueden mantener el nivel freático bajo el nivel deseado.

El uso de zanjas como subdrenaje debe decidirse con cuidado estudiando los materiales y la conservación de la misma durante los años que va a funcionar, además de no elegirlos en todas partes, pues cuando se usan cerca del camino son peligrosas para los vehículos que puedan salir del acotamiento, y además, son de mal aspecto.

Drenajes ciegos.

Los drenes ciegos son zanjas rellenas de piedra quebrada o grava. Estos drenes han sido muy empleados, y cuando se les ha construido en forma correcta, han dado resultados satisfactorios durante mucho tiempo.

Cuando se usan drenes ciegos paralelos al camino, la práctica común es el de colocar uno en cada lado del camino, precisamente bajo las cunetas. Los drenes ciegos son de 0.45 m de ancho y de 0.60 m a 0.90 m de profundidad.

Para que sean efectivos deben tener una pendiente uniforme e ir a desfogar a una salida adecuada. Estos drenes deben construirse en forma cuidadosa, pues mal contruidos sólo agravan la situación ya que recogen y retienen el agua donde precisamente se desea eliminarla. Además, debe tenerse cuidado en graduar el

material con que se rellena la zanja, ya que existe una marcada tendencia, en todos los aguaceros fuertes, a que las cepas rellenas de piedra se inundan de agua cargada de lodo y que se azolven.

Drenaje en tubo.

En general, para el drenaje subterráneo en caminos, los drenes con tubo de barro o de concreto son muy superiores a los formados por zanjas abiertas y a los drenes ciegos. Los tubos para subdrenaje deben satisfacer una serie de requisitos para que funcionen en forma efectiva durante un período largo. Estos requisitos se refieren al aplastamiento, flexión, presión hidráulica, capacidad de infiltración y durabilidad.

1. Aplastamiento. Cuando los tubos se coloquen dentro de la zona de tránsito, es imprescindible usar tubos que no se rompan, ya que un tubo agrietado o roto puede ser la causa de que falle todo un sistema de subdrenaje.

2. Flexión. La misma naturaleza y fin de la mayoría de los drenes subterráneos involucra que los tubos vayan colocados en un suelo muy húmedo e inestable, por lo tanto es necesario que dichos tubos presenten juntas apropiadas con el fin de que flexiones un poco y puedan amoldarse a las desigualdades de la plantilla.

3. Presión hidráulica. En algunas ocasiones el tubo de drenaje subterráneo puede trabajar a presión con lo que se producen altas velocidades que pueden ser

destructivas. Por lo tanto es necesario que las juntas estén fuertemente unidas para evitar las posibilidades de socavación por el agua que pueda salir.

4. Capacidad de infiltración. Esto depende de si el tubo es o no perforado. El tubo perforado está diseñado para permitir la máxima infiltración y las perforaciones se localizan de modo de excluir la entrada del lodo y material de relleno todo lo que sea posible.

5. Durabilidad. Para la duración de los tubos es necesario que ellos sean resistentes a la desintegración, erosión y corrosión.

2.10 Área hidráulica de las alcantarillas.

De acuerdo con Crespo (1966) el cálculo del área hidráulica de una alcantarilla es muy parecida al cálculo que se utiliza para calcular la de los puentes, esto consiste en permitir dar paso al máximo caudal de agua que haya en cada caso, de tal forma que este no cause daño alguno a la estructura ni al camino.

Existen cinco procedimientos para proyectar hidráulicamente una alcantarilla, estos procedimientos son los siguientes:

a) Procedimiento por comparación: Este procedimiento aplica cuando, se trata de construir una nueva alcantarilla en un lugar donde ya exista otra, o cerca de alguna alcantarilla ya existente en el mismo arroyo. Este procedimiento es aplicable cuando

las marcas de las altas aguas son fácilmente apreciables o cuando se puedan obtener datos verídicos del nivel más alto alcanzado de lluvias de por lo menos 10 años.

b) Procedimiento empírico. Este procedimiento es utilizado cuando no ha existido ninguna alcantarilla en el lugar y cuando tampoco se tiene datos acerca del gasto máximo existido en el lugar. Este método consiste en el empleo de formulas empíricas para calcular el área hidráulica en función del área drenada y de las características topográficas de la cuenca a drenar. En este método se utilizan formulas como la de Talbot, la cual es la siguiente.

$$a = C * A^{3/4}$$

Donde:

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

A= Superficie a drenar, en hectáreas.

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 ondulados

C= 0.40 para terrenos poco ondulados.

C= 0.30 para terrenos casi planos.

C= 0.20 para terrenos planos.

c) Procedimiento de sección y pendiente. Este procedimiento consiste en proyectar las alcantarillas para el paso a una cantidad de agua determinada por el escurrimiento probable de la agua de lluvia. Para esto es necesario conocer la precipitación pluvial, topografía y tipo de suelo.

2.11 Puentes.

Un puente es una estructura destinada a salvar obstáculos naturales, como ríos, valles, lagos o brazos de mar; y obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, con el fin de unir caminos de viajeros, animales y mercancías.

La infraestructura de un puente está formada por los estribos o pilares extremos, las pilas o apoyos centrales y los cimientos, que forman la base de ambos.

La superestructura consiste en el tablero o parte que soporta directamente las cargas y las armaduras, constituidas por vigas, cables, o bóvedas y arcos que transmiten las cargas del tablero a las pilas y los estribos.

Para designar su función de un puente se dividen en: puente para carretera, puente para ferrocarril, puente móvil.

Un puente se divide en tramos, separados por las pilas y que terminan en los estribos.

Las partes que forman un puente son:

Elementos portantes (Generalmente vigas).

En la Superestructura Diafragmas.

Sistemas de piso (Losas).

Pilas y estribos.

En la subestructura Sistemas de apoyo.

Otros elementos de soporte de la superestructura.

Pilotes.

En la cimentación Zapatas de cimentación.

Pilastrones.

Juntas de dilatación.

Sistemas de drenaje.

En el equipamiento Parapetos.

Señalizaciones.

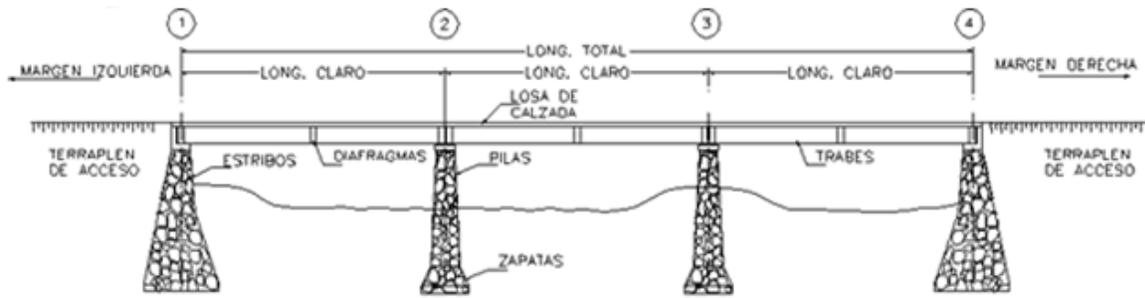


Fig. 2.3 Componentes de un puente.

Fuente: www.ingenieria-civil.nireblog.com

CAPÍTULO 3

RESUMEN DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN.

En el presente capítulo se hablará de las características del lugar donde se encuentra ubicado el tramo carretero en estudio, señalando su localización, estado actual, entorno geográfico, así como el tipo de tránsito que circula por el lugar.

3.1 Generalidades.

En este tema se hablará del Estado y el municipio donde se encuentra ubicado el tramo, señalando la ubicación, extensión y colindantes del Estado de Michoacán y el municipio de Patamban localizada en el municipio de Tangancícuaro.

3.2 Resumen ejecutivo.

El diseño del drenaje de el tramo carretero antes mencionado forma parte de la alternativa del mejoramiento de la vialidad, el mejoramiento comprende varias estudios, pero la presente investigación se enfoca básicamente al drenaje superficial (dimensionamiento y localización) ya que este debe funcionar de manera adecuada para que la funcionalidad del camino sea optima y así prolongar su vida útil del camino.

3.3 Entorno geográfico.

La localidad de Patamban (Patambam) está situado en el Municipio de Tangancícuaro (en el Estado de Michoacán de Ocampo). Tiene 3280 habitantes. Patamban (Patambam) está a 2140 metros de altitud. Su principal actividad es la alfarería, agricultura y el comercio. Se localiza a 20 Kms. de la cabecera municipal que es Tangancícuaro.

3.4 Macro y Micro localización.

El Estado de Michoacán se localiza en la parte centro occidente de la República Mexicana, sobre la costa meridional del Océano Pacífico, entre los 17°54'34" y 20°23'37" de latitud Norte y los 100°03'23" y 103°44'09" de longitud Oeste.

El Estado de Michoacán cubre una extensión de 5, 986,400 hectáreas (59,864 km²) que representa alrededor del 3% de la superficie total del territorio nacional, con un litoral que se extiende a lo largo de 210.5 Km. sobre el Océano Pacífico.



Fig. 3.1 Ubicación del estado.

Fuente: www.michoacan.gob.mx

Michoacán de Ocampo colinda al norte con Jalisco, Guanajuato y Querétaro de Arteaga; al este con Querétaro de Arteaga, México y Guerrero; al sur con Guerrero y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico, Colima y Jalisco.

3.4.1 Municipio de Tangancícuaro.

Tangancícuaro es uno de los municipios del Estado de Michoacán, en México. El municipio está localizado al norte del estado de Michoacán, colindante con las ciudades de Zamora y Jacona. La cabecera municipal es Tangancícuaro de Arista.

Se localiza al noroeste del Estado, en las coordenadas 19°53' de latitud norte y 102°12' de longitud oeste, a una altura de 1,700 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Zamora, Jacona y Tlazazalca, al este con Purépero, y Chilchota, al sur con Charapan, Los Reyes y Tingüindin, al oeste con Tangamandapio. Su distancia a la capital del Estado es de 134 Kms. Su superficie es de 387.95 Km² y representa el 0.65 por ciento del total del Estado.



Fig. 3.2 Ubicación del municipio de Tangancícuaro Michoacán.

Fuente: www.inafed.gob.mx

La población de Patamban, pertenece al municipio de Tangancícuaro, Michoacán y esta localizada en el norte del estado y por las coordenadas de latitud norte $19^{\circ}48'$ y longitud en el norte oeste $102^{\circ} 17'$, a una altura sobre el nivel del mar de 2140 m.s.n.m (metros sobre nivel de mar).

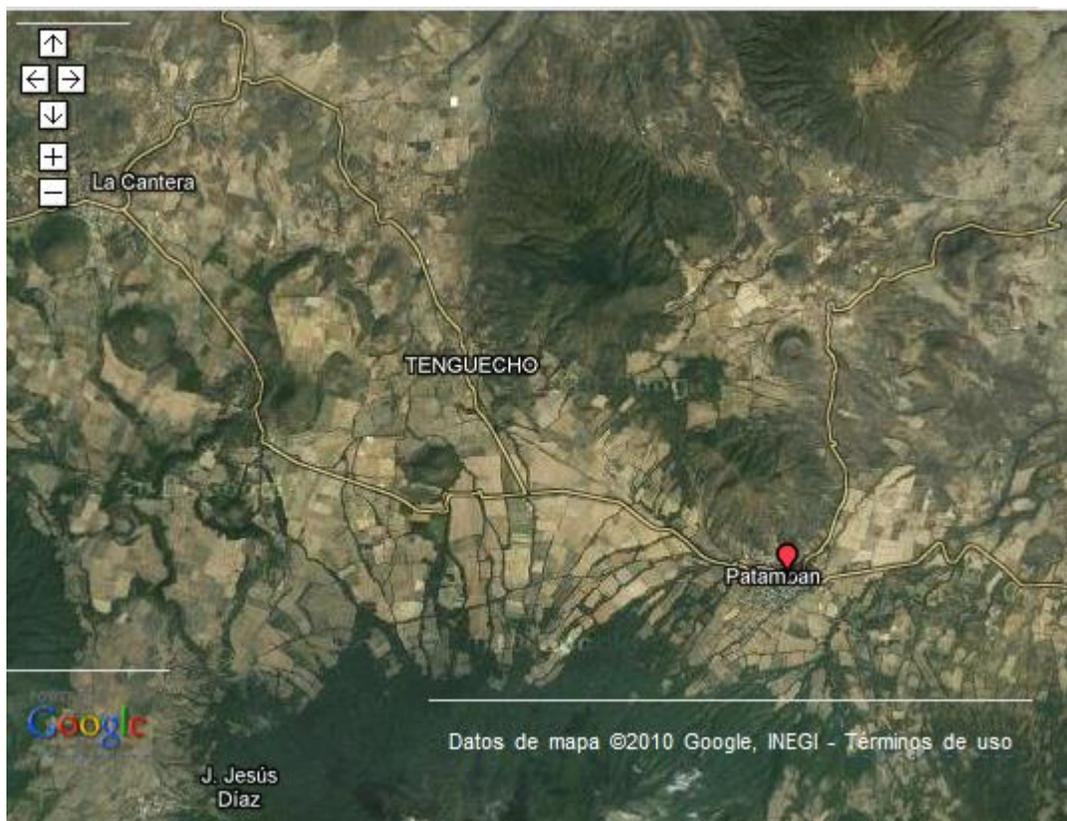


Fig., 3.3. Macro localización de Patamban, Michoacán.

Fuente: www.mexico.pueblosamerica.com

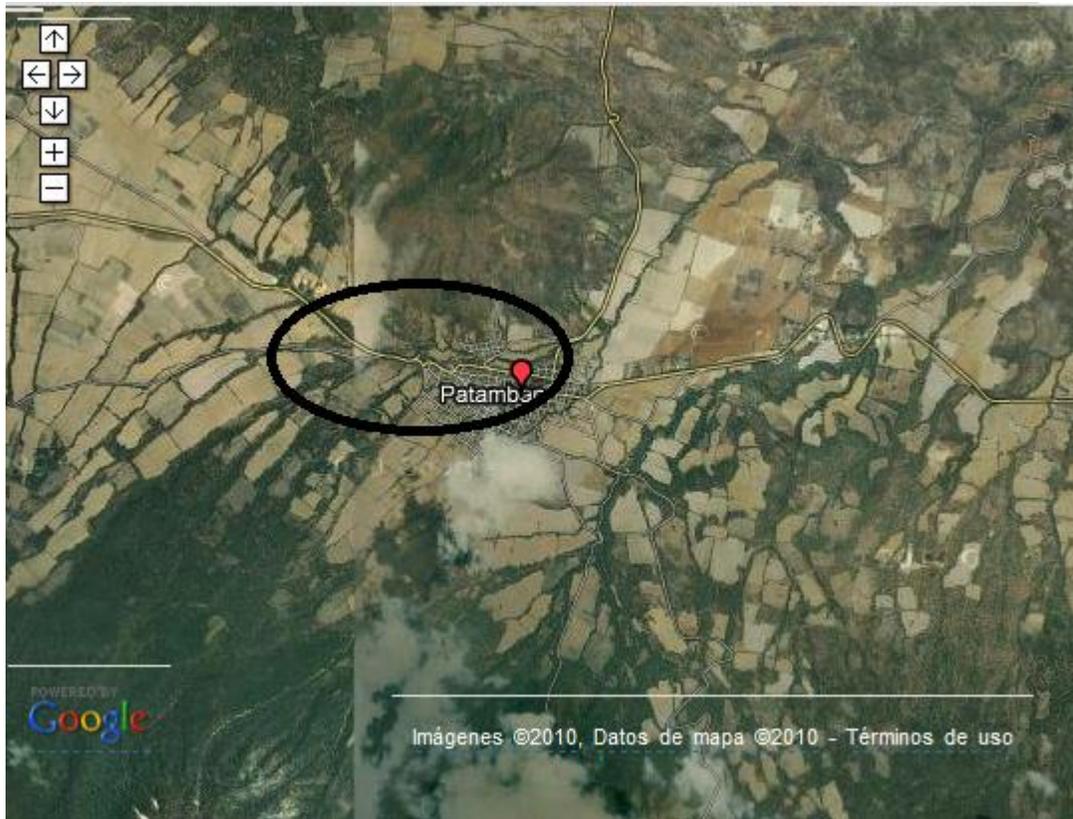


Fig. 3.4 Micro localización del tramo carretero Patamban- La Cantera, km 5+000 al 9+700

Fuente: www.mexico.pueblosamerica.com

La zona en estudio es un tramo carretero, entre la población de Patamban y la población de La Cantera y que da comunicación a Patamban y otras pequeñas comunidades como: Guarachillo, Aranza y Santa clara con la carretera Periban - Zamora, de aquí su gran importancia.

3.5 Topografía regional y de la zona.

La configuración topográfica del estado de Michoacán se encuentra dominada por la Sierra Madre del sur y la Cordillera Tarasco-Náhuatl, que son los sistemas más importantes del Estado. Ambos cuentan con una gran cantidad de ramificaciones y derivaciones que determinan que ésta sea una de las regiones más montañosas de la República Mexicana.

3.6 Hidrografía.

Su hidrografía la constituyen el río Duero y los ojos de agua de Junguarán, Camécuaro y Cupatziro.

3.7 Actividad económica de la zona.

Agricultura:

La actividad agrícola es de suma importancia para el municipio siendo sus principales cultivos: el maíz, trigo, sorgo, fresa, cebolla, calabacita, jitomate, tomate, frijol, alfalfa, garbanzo, cebada, chile verde, papa y brócoli.

Ganadería

Las principales crías son: bovino, caprino, porcino. Ovino, aves de corral y colmenas.

Industria:

El municipio cuenta con una industria establecida como son Fabricas congeladoras, descremadores, empacadoras, plantas forrajeras, molino de trigo,, curtidoras, fabrica de mosaicos, tabique, tubos y aserraderos siendo está la principal actividad económica del municipio.

Turismo:

Por sus condiciones naturales el municipio cuenta con lugares propios para el desarrollo turístico, el cual constituye una actividad de vital importancia, para el desarrollo económico. Cuenta con el Lago de Camécuaro, el Parque Nacional, una Zona Arqueológica y manantiales.

Comercio:

Este municipio cuenta con plazas comerciales, tiendas de ropa, muebles, calzado, alimentos, ferreterías, materiales, farmacias, boticas, papelerías, librerías, bancos. Donde la población adquiere los artículos de primera y segunda necesidad.

Servicios:

La capacidad de estos en la cabecera municipal es suficiente para atender la demanda, ofreciéndose: hospedaje y alimentación en los hoteles y restaurantes de la cabecera municipal.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

En el presente capítulo se hablará de la metodología empleada para la presente investigación, así como el enfoque de la investigación, el alcance de misma, además del diseño de la investigación, instrumentos de recopilación y por último la descripción del proceso de investigación.

4.1 Método empleado.

Para la presente investigación el método que se empleó fue el método científico, que se puede decir que es un procedimiento para descubrir las condiciones en que se presentan sucesos específicos, se caracteriza generalmente por ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica. Este método es el más recomendable para la revisión de drenaje carretero, ya que en este trabajo se involucran una serie de cálculos para el diseño de las diferentes tipos de obras que constituyen el drenaje carretero.

4.1.1 Método Matemático.

Este método involucra el uso de números y cálculos para obtener un resultado; así mismo sin darnos cuenta de que se aplica un procedimiento científico, se comparan cantidades para obtener nociones derivadas de importancia, valor

económico y capacidad. El método en la matemáticas indica el origen del objetivo en que el número entero es originado por la adición indefinida de la unidad así misma.

4.2 Enfoque de la investigación.

En el presente trabajo se cuenta con un enfoque cuantitativo ya que éste método es más usado por ciencias exactas ya que se recolectan y analizan datos sobre las variables. La investigación cuantitativa es aquella que nos da la posibilidad de generalizar los resultados más ampliamente, da un control sobre los fenómenos y nos otorga un punto de vista de conteo y de magnitudes de estos.

De acuerdo con Hernández y Cols. (2005) este método brinda una gran posibilidad de réplica y un enfoque sobre puntos específicos de tales fenómenos, además de que nos facilita la comparación entre estudios similares.

4.2.1 Alcance.

Una vez que se ha definido el enfoque que llevará la investigación, es necesario tener en cuenta el alcance que ésta tendrá. En este caso, la investigación tendrá un alcance descriptivo, que es en el que se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta al análisis.

“Los estudios descriptivos pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a los que se refieren”. (Hernández y Cols; 2005: 119)

Los estudios descriptivos miden, evalúan o recolectan datos sobre diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar.

4.3 Diseño de la investigación.

Debido a que en esta investigación no se llevan a cabo experimentos de ningún tipo, entonces la presente investigación se toma como investigación no experimental. Existen dos tipos diferentes de investigaciones, la cuales son: transeccional y longitudinal.

La investigación transeccional, que es la que se utiliza en la presente investigación, ya que se ubica en un solo momento o tiempo único. La investigación transeccional tiene el propósito de describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento determinado.

4.4 Instrumentos de recopilación de datos.

Hernández y Cols. (2005) 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 una serie de pasos.

Primero se elige un 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 realice el pase de cálculos o de mediciones exactas.

La recopilación cuantitativa, se refiere a realizar mediciones, las cuales relacionan conceptos abstractos como empíricos mediante cuantificaciones o clasificación, para dicha recopilación deberá cumplir con los requisitos que son valides y confiabilidad.

Para realizar una recolección de datos, son necesarios dos fases las cuales 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 carretero que se deseaba estudiar, una vez que se tiene identificado el tramo, que tiene por objetivo el tema de tesis, se analizó visualmente y se recopilaron los datos importantes como son la localización de los

sistemas de drenaje existentes, así como la medición de las mismas, para posteriormente llegar a la obtención de datos, los cuales se recopilaron con alguna dependencia o particular. Una vez obtenida 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 del tramo en estudio.

Una vez que se obtuvieron los datos de campo, necesarios para los cálculos correspondientes, se procedió a realizar el análisis que determinará si realmente son adecuadas o no las instalaciones de drenaje que se encontraron en el lugar de estudio, y así 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 caso de ser requerida.

CAPÍTULO 5

CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se hará la revisión del sistema de drenaje del tramo en estudio, para lo cual se realizarán los cálculos necesarios para determinar dimensiones geométricas y estructurales de las obras de drenaje que se requieren en el tramo.

5.1 Sistema de drenaje existente.

Actualmente en el tramo en estudio, cuenta con un drenaje formado por cunetas y lavaderos, la ubicación de las cunetas es la siguiente:

No.	TRAMO		LADO		LONGITUD M
	DE KM	A KM	IZQUIERDO	DERECHO	
1	5+060	5+280	*		220
2	5+160	5+260		*	100
3	5+400	5+440		*	40
4	5+440	5+500	*		60
5	6+460	6+480		*	20
6	6+740	6+800		*	20
7	7+220	7+240		*	20
8	7+360	7+440		*	80
9	7+520	7+680		*	160
10	8+180	8+260		*	80
11	8+220	8+300	*		80
12	8+640	8+800	*		160
13	8+660	8+800		*	140
14	8+900	9+140		*	240
15	9+360	9+440		*	80
16	9+600	9+640	*		40

5.2 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 las cartas topográficas E13B18 y E13B19 del estado de Michoacán que son las cartas correspondientes al municipio de Zamora y el de Tarecuato del estado de Michoacán, y con la ayuda de el programa AutoCAD, se trazó la cuenca y se obtuvo el área correspondiente.

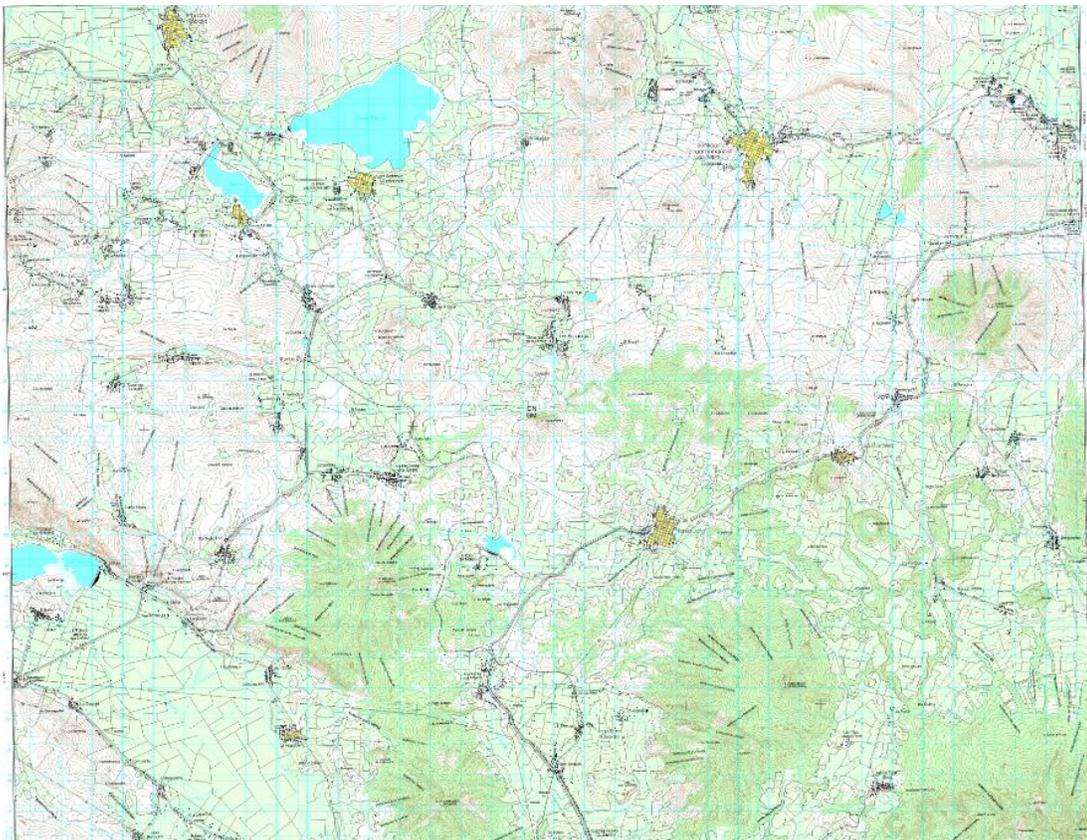


Fig. 5.1 Carta topográfica Tarecuato (E13B18)

Fuente: www.inegi.org.mx

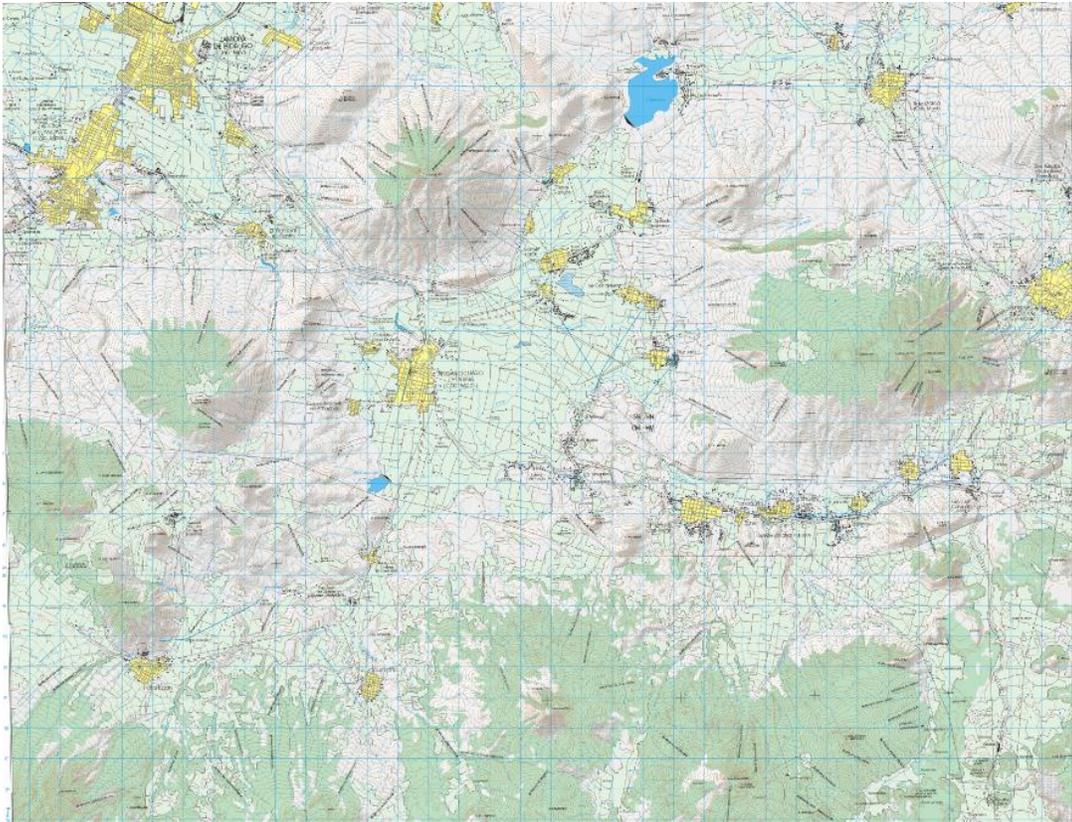


Fig. 5.2 Carta topográfica de Zamora (E13B19)

Fuente: www.inegi.org.mx

El área de la cuenca se obtuvo mediante el uso del programa AutoCAD, en el cual se insertaron las cartas topográficas necesarias para trazar la cuenca, después se ajustaron a una escala específica y mediante el programa se obtuvo que la cuenca tiene un área de $A= 2986.24$ hectáreas.

$$S_c = (3300 - 2700) / 11016.65 = 0.054 = 5\%$$

La cuenca tiene una pendiente del 5%

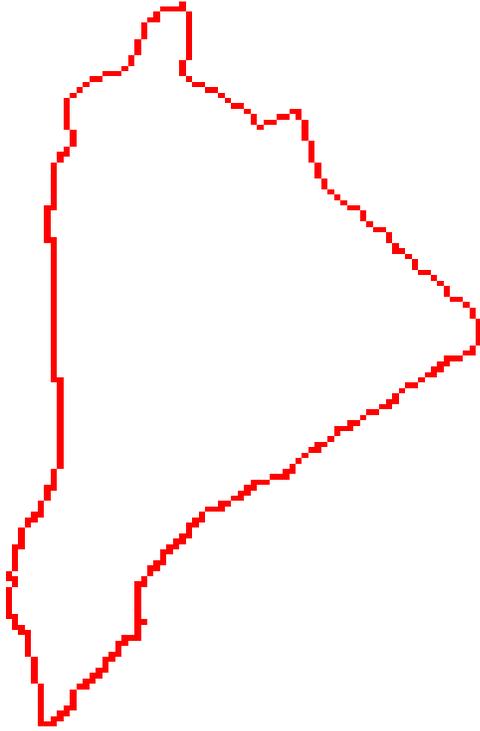


FIG. 5.3 Área de la cuenca establecida.

5.3 Revisión e las cunetas.

Para el cálculo de las cunetas se revisará que sea capaz de desalojar el siguiente gasto.

$$Q_t = Q_1 + Q_2$$

Donde:

Q_t = Gasto total que pasará por la cuneta

Q1= Gasto originado por la precipitación que cae sobre el pavimento.

Q2= Gasto originado por la precipitación que cae sobre el área tributaria.

A continuación se revisará la capacidad de la cuneta de proyecto número 14 que va del kilometro 8+900 al 9+140, lado derecho por ser la mas desfavorable para el diseño se usará la fórmula de Burkli – Ziegler.

$$Q = 0.22 CAh (S/A)^{1/4}$$

Calculo de Q1

$$Q = 0.22 CAh (S/A)^{1/4}$$

$$C= 0.75 \text{ (Calles pavimentadas)}$$

$$A= (240) (4) / (1000) = 0.096 \text{ Has.}$$

h= 150 mm/hr. Tomando el mapa de isoyetas del estado de Michoacán.

$$S=20$$

$$Q1= (0.022)(0.75)(0.096)(15)(20/0.096)^{1/4}$$

$$Q1= 0.090 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Calculo de Q2.

$$Q = 0.22 CAh (S/A)^{1/4}$$

$$C= 0.18 \text{ (Terreno montañoso)}$$

$$A= (240) (100) / (10000) = 2.40 \text{ hs.}$$

$h = 150 \text{ mm/hr}$. Tomando el mapa de isoyetas del estado de Michoacán.

$S = 0.05$ (Pendiente de la cuenca)

$Q_2 = Q = 0.22 \text{ CAh} (S/A)^{1/4} = (0.022)(0.18)(2.40)(15)(.05/2.40)^{1/4} = 0.054 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Por lo tanto Q_t

$Q_t = Q_1 + Q_2$

$Q_t = (0.090) + (0.054)$

$Q_t = 0.144 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Se propone usar la cuneta tipo. La cual se revisará para saber si es capaz de desalojar este gasto y así usarla en el proyecto.

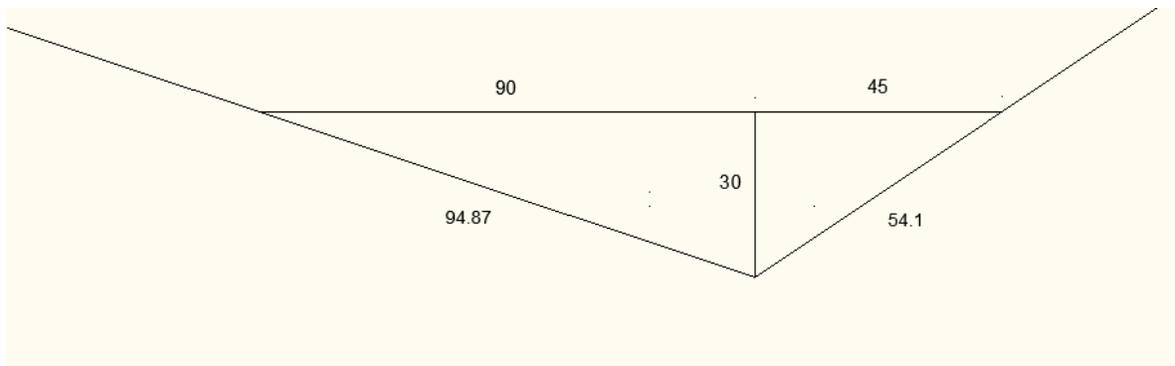


Fig. 5.4 Dimensiones de cuneta tipo.

Fuente: www.imt.com.mx

No.	TRAMO		LADO		LONGITU D M	SECCION TIPO M2	PERIMETR O MOJADO	RADIO HIDRAULIC O
	DE KM	A KM	IZQUIERD O	DERECH O				
1	5+060	5+280	*		220	0.12	2.84	0.0711
2	5+160	5+260		*	100	0.12	2.84	0.0711
3	5+400	5+440		*	40	0.12	2.84	0.0711
4	5+440	5+500	*		60	0.12	2.84	0.0711
5	6+460	6+480		*	20	0.12	2.84	0.0711
6	6+740	6+800		*	20	0.12	2.84	0.0711
7	7+220	7+240		*	20	0.12	2.84	0.0711
8	7+360	7+440		*	80	0.12	2.84	0.0711
9	7+520	7+680		*	160	0.12	2.84	0.0711
10	8+180	8+260		*	80	0.12	2.84	0.0711
11	8+220	8+300	*		80	0.12	2.84	0.0711
12	8+640	8+800	*		160	0.12	2.84	0.0711
13	8+660	8+800		*	140	0.12	2.84	0.0711
14	8+900	9+140		*	240	0.12	2.84	0.0711
15	9+360	9+440		*	80	0.12	2.84	0.0711
16	9+600	9+640	*		40	0.12	2.84	0.0711

Para saber el gasto que es capaz de conducir la cuneta tipo, se usara la formula de Chezy – Manning.

$$Q(h) = \frac{1}{n} AR(h)^{2/3} \sqrt{S}$$

Donde:

R = radio hidráulico, en m, función del tirante hidráulico h.

$n= 0.02$ (Coeficiente de Manning).

S = la pendiente de la línea de agua en m/m.

A = área de la sección del flujo de agua.

Q = Caudal del agua en m^3/s .

Calculo del gasto de la cuneta tipo:

$$\text{Área hidráulica} = (0.90 \times 0.30) / (2) + (0.45 \times 0.30) / (2) = 0.202 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro mojado} = 2.84 \text{ m}$$

$$\text{Radio hidráulico} = 0.202 / 2.84 = 0.071 \text{ m}$$

$$n = 0.02 \text{ (Coeficiente de Manning).}$$

$$s = 0.057$$

Según Manning:

$$Q = (1/0.02) (0.071)^{2/3} (0.057)^{1/2} (0.202)$$

$$Q = 0.412 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q = 0.412 \text{ m}^3/\text{seg.} > Q_t = 0.144 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Como se puede observar en el cálculo anterior, el gasto que es capaz de conducir la cuneta tipo es suficiente para desalojar toda el agua que cae dentro del camino, POR LO TANTO SE ADOPTA LA CUNETAS TIPO PARA USARSE EN EL PROYECTO.

5.4 Bombeo del camino.

Para cumplir el bombeo del camino para caminos revestidos de concreto asfáltico, como tal es el caso en estudio, es necesario que las tangentes cumplan como mínimo con el 2% del centro hacia los hombros del camino, estas revisiones se pueden apreciar en los Anexos (01, 02, 03). Cabe mencionar que todas las secciones cumplieron satisfactoriamente con el 2%, como se aprecia en los anexos 1, 2, 3 y 4.

A continuación se muestra una imagen de una sección que cumple satisfactoriamente con el bombeo.

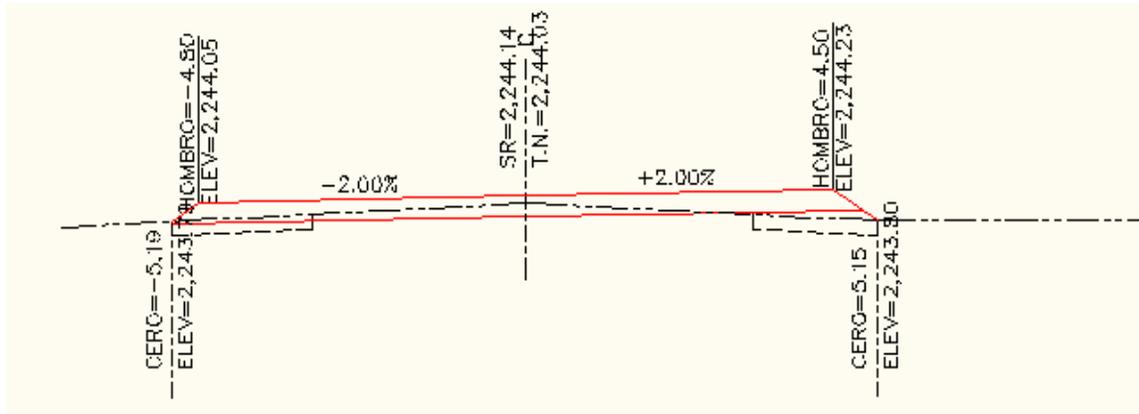


Fig.

5.5 Bombeo del camino.

Fuente: Proyecto de actualización Patamban – La Cantera.

CONCLUSIÓN

El objetivo de la presente investigación era revisar si el diseño del sistema de drenaje del tramo carretero Patamban – La Cantera del kilómetro 5+000 al 9+700 en el municipio de Tangancícuaro Michoacán, era el adecuado, dicho objetivo se cumplió satisfactoriamente ya que pudo establecerse que el drenaje existente es suficiente para dicho tramo en estudio.

A lo largo de la investigación se lograron recopilar los datos necesarios que permitieran llevar a cabo los cálculos, y así determinar las características que se requerían para el drenaje del tramo carretero antes mencionado.

La investigación documental consistió en averiguar lo referente a los antecedentes y condiciones actuales de las vías terrestres, en particular de las carreteras o caminos: señalando las características con las que debe contar un buen sistema de drenaje, lo anterior sirvió para dar respuesta a la mayoría de las preguntas de investigación planteadas al inicio de esta.

Cabe mencionar, que gracias a la presente investigación, se permitió conocer más a detalle los conceptos básicos de una carretera, así como también las características principales de los drenajes en los caminos.

Con la información recopilada se llevaron a cabo los cálculos necesarios para determinar si la ubicación y dimensiones de las distintas obras de drenaje que componen el sistema de drenaje del camino.

Por medio de los cálculos realizados, se encontró que las obras de drenaje para el tramo carretero Patamban – La Cantera del kilómetro 5+000 al 9+700 son suficientes para el rápido desalojo del agua que llega al camino, ya que las cunetas con las que cuenta dicho tramo son suficientes para conducir el gasto, y los bombeos de las secciones cumplen con lo requerido del 2%.

Con los argumentos antes mencionados, se llegó a la conclusión de que el sistema de drenaje actual para el tramo Patamban – La Cantera del kilómetro 5+000 al 9+700 en el municipio de Tangancícuaro, Michoacán, es adecuado, dando así respuesta a la pregunta de investigación planteada en un principio donde se cuestionaba si era o no suficiente el sistema de drenaje para el tramo en estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta Espinoza, Ricardo. (2008)

Revisión del proyecto de drenaje de la carretera los Reyes – Chorros del Varal, del tramo 3+300 al 6+100.

Tesis inédita de la Esc. De Ing. Civil de la Universidad Don Vasco A.C.

Uruapan Michoacán.

Aparicio Mijares, Francisco J. (1993)

Fundamentos de Hidrología de la Superficie.

Ed. Limusa. México.

Arias Rivera, Carlos. (1984)

Cuaderno de Trabajo de Comportamientos de suelos.

Ed. Universidad Nacional Autónoma de México UNAM Facultad de Ingeniería.

México.

Crespo Villalaz, Carlos. (2005).

Vías de Comunicación.

Ed. Limusa. México.

Hernández Sampieri Roberto y Cols. (2005)

Metodología de la Investigación.

Ed. Mc. Graw Hill. México

Mier S, José Alfonso. (1987)

Introducción a la Ingeniería de Caminos.

Ed. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). México

Monsalve Sáenz, Germán. (1999)

Hidrología de la Ingeniería.

Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia

Olivera Bustamante, Fernando. (2006)

Estructuración de Vías Terrestres.

Ed. Continental. México.

Ramírez Grycuk y Cols Eduardo. (2008)

Manual del Ingeniero Civil.

Ed. Mc. Graw Hill. México

Ramírez Heredia, Juan Antonio. (2008)

Revisión de obras de drenaje de la carretera Tarecuato – La Huacanca del kilómetro
5+172 al 6+660.

Tesis inédita de la Esc. De Ing. Civil de la Universidad Don Vasco A.C.

Uruapan Michoacán.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (1974)

Manual de Proyecto geométrico de Carreteras.

México.

Tamayo y Tamayo, Mario. (2000)

El proceso de la Investigación Científica.

Ed. Limusa. México.

Valencia Aburto, Jorge. (2008)

Revisión de drenaje del tramo carretero denominado la curva del diablo, carretera

Uruapan – Carapan del kilometro 65+000 al 66+000.

Tesis inédita de la Esc. De Ing. Civil de la Universidad Don Vasco A.C.

Uruapan Michoacán.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

<http://construaprende.com/>

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

<http://www.ingenieria-civil.org/>

<http://mexico.pueblosamerica.com/i/patamban-patambam/>

<http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/michoacan/>

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

<http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt244.pdf>

<http://www.aficionadosalamecanica.com/direccion-geometria.htm>

<http://www.arquonauta.com/foros/showthread.php?t=802>

<http://es.scribd.com/doc/39497401/SISTEMA-UNIFICADO-DE-CLASIFICACION-DE-SUELOS-S>

<http://ing.unne.edu.ar/pub/TEMA%20VII.pdf>

http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5184475&fecha=01/04/2011

ANEXOS

