UNIVERSIDAD DON VASCO A. C.

Incorporación No. 8727 – 15

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil.

REVISIÓN DE OBRAS DE DRENAJE DE LA CARRETERA TARECUATO-LOS HÚCUARES DEL KILÓMETRO 5+172 AL 6+660

Tesis

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Juan Antonio Ramírez Heredia.

Asesor:

Ing. Sandra Natalia Parra Macías

Uruapan, Michoacán, 2008.

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Este trabajo de tesis representa el cumplimiento de uno de los objetivos que me propuse al iniciar la carrera de Ingeniería Civil; sin embargo, dicho trabajo de tesis no podría hacer sido realizado sin el apoyo de ciertas personas.

Dicho lo anterior, quiero agradecer a mis padres por su apoyo, porque siempre tuvieron unas palabras de aliento para sortear los momentos difíciles que se presentaron durante mi proceso educativo.

Así mismo, esta tesis la dedico a ellos, porque siempre confiaron en que podría lograr lo que hoy es una realidad. Quiero que sepan que es por ellos, y gracias a ellos, que he terminado la carrera de Ingeniería Civil.

Por último quiero agradecer a familiares, amigos, profesores y toda aquella persona que de una u otra manera contribuyeron a que este trabajo de tesis sea hoy una realidad.

ÍNDICE

Introducción.

Antecedentes. 1

Planteamiento del problema. 3

Objetivos. 3

Pregunta de Investigación. 4

Justificación. 5

Delimitación. 5

Marco de referencia. 7

Capítulo 1.- Vías Terrestres.

1.1. Antecedentes de los caminos. 8

1.2. Inventario de caminos. 10

1.2.1. Método odógrafo-giroscópico-barométrico. 11

1.2.2. Aplicaciones del inventario de caminos. 12

1.3. Elementos de la ingeniería de tránsito usados para el proyecto. . 13

1.3.1. Elementos de tránsito. 14

1.3.1.1. El usuario. 14

1.3.1.2. El vehículo. 16

1.3.1.3. El camino. 19

1.4. Velocidad. 20

1.4.1. Velocidad de proyecto. 21

1.4.2. Velocidad de operación. 21

1.4.3. Velocidad de punto. 22

1.4.4. Velocidad efectiva o global. 22

1.4.5. Velocidad de marcha. 23

1.4.6. Velocidad de proyecto ponderada. 23

1.5. Volumen de tránsito. 23
1.5.1. Determinación del volumen de tránsito. 25
1.6. Densidad de tránsito. 26
1.7. Derecho de vía. 27
1.8. Capacidad y nivel de servicio. 27
1.8.1. Objetivo de la capacidad. 28
1.9. Distancia de visibilidad. 29
1.9.1. Distancia de visibilidad de parada. 29
1.9.2. Distancia de visibilidad de rebase. 30
1.9.3. Aplicaciones de la distancia de visibilidad. 32
1.10. Mecánica de suelos. 32
1.10.1. Suelos, origen y formación. 33
1.10.2. Relaciones volumétricas y gravimétricas. 34
1.10.3. Granulometría en los suelos. 35
1.10.4. Plasticidad. 37
1.10.5. Consolidación. 37
1.10.6. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). . . 38
1.10.7. Círculos de Mohr. 39
1.10.8. Pruebas de laboratorio. 40
1.10.8.1. Importancia del estudio de mecánica de suelos. . . . 40
1.10.9. Diferentes tipos de muestreo. 41
1.10.10. Procedimientos para tomar muestras. 42
1.10.11. Límites de consistencia o de Atterberg. 42
1.10.11.1. Carta de plasticidad. 45
1.10.12. Compactación. 46
1.10.12.1. Prueba Proctor. 46
1.10.12.2. Prueba Porter. 48

Capítulo 2.- Drenaje.

2.1. Antecedentes. 50

2.2. Objetivo de una obra de drenaje. 50

2.3. Hidrología. 51

2.3.1. Historia de la hidrología. 52

2.3.2. Ciclo del agua. 53

2.3.2.1. Evaporación. 54

2.3.2.2. Precipitación. 54

2.3.2.3. Infiltración. 54

2.3.2.4. Escurrimiento. 55

2.3.2.5. Agua subterránea. 55

2.3.2.6. Conceptos adicionales. 55

2.3.3. Ecuación fundamental de la hidrología. 56

2.3.4. Cuenca hidrológica. 58

2.4. Avenida de diseño. 61

2.4.1. Cálculo de la avenida de diseño. 61

2.5. Tipos de drenaje. 62

2.5.1. Drenaje subterráneo. 63

2.5.1.1. Secuela en el proyecto de drenaje subterráneo. . . . 66

2.5.1.2. Estudios de mecánica de suelos. 67

2.5.2. Drenaje superficial. 68

2.5.2.1. Obras de captación y defensa. 68

2.5.2.2. Obras de cruce. 71

2.6. Alcantarillas. 74

2.6.1. Área hidráulica de las alcantarillas. 75

2.6.2. Pendiente de una alcantarilla. 78

2.6.3. Tipos de alcantarillas. 79
2.6.4. Longitud de las alcantarillas. 80
2.6.5. Muros de cabeza. 81
2.7. Puentes.. 82
2.7.1. Definición y objetivo. 82
2.7.2. Antecedentes de los puentes. 83
2.7.3. Elementos de un puente. 83
2.7.4. Estudios preliminares para el diseño de puentes. . . . 84
2.7.4.1. Estudios topográficos. 84
2.7.4.2. Estudios hidráulicos. 85
2.7.4.3. Estudios geológicos. 86
2.7.4.4. Estudios comerciales. 86
2.7.4.5. Datos complementarios. 87
2.7.5. Tipos de cargas. 87
2.7.6. Pilas para puentes. 88
2.7.7. Estribos para puentes. 88

Capítulo 3.- Resumen ejecutivo de macro y microlocalización.

3.1. Generalidades.. 89
3.1.1. Sobre el estado. 89
3.1.2. Sobre el camino. 90
3.1.3. Sobre el municipio. 90
3.2. Resumen ejecutivo. 90
3.3. Entorno geográfico. 91
3.3.1. Macro y microlocalización. 91
3.3.2. Topografía regional y de la zona en estudio. 93
3.3.3. Geología regional y de la zona en estudio. 93

3.3.4. Hidrología regional y de la zona en estudio. 95
3.3.5. Uso del suelo regional y de la zona en estudio. 97
3.4. Informe fotográfico. 98
3.4.1. Tipo de terreno y cobertura vegetal. 98
3.4.2. Problemas de drenaje superficial. 99
3.4.3. Estado físico actual. 102
3.4.4. Vehículos que circulan por la vía. 102
3.4.5. Obstáculos especiales. 102
3.5. Estudios de tránsito. 102
3.5.1. Tipo y clasificación de los vehículos. 103
3.5.2. Aforo vehicular. 103
3.6. Alternativas de solución. 103
3.6.1. Planteamiento de alternativas. 103
3.6.2. Alternativa a usar. 104

Capítulo 4.- Metodología.

4.1. El método científico. 105
4.1.1. Elementos del método científico. 106
4.1.2. Etapas del método científico. 107
4.1.3. Características del método científico. 108
4.1.4. Método matemático. 109
4.2. Enfoque de la investigación. 109
4.2.1. Alcance. 110
4.3. Diseño de la investigación. 110
4.3.1. Investigación transeccional o transversal. 110
4.4. Instrumentos de recopilación de datos. 111
4.5. Descripción del procedimiento de investigación. 112

Capítulo 5.- Análisis e interpretación de resultados.

5.1. Determinación del área y pendiente de la cuenca. . . . 114

5.2. Cálculo de la cuneta. 116

5.3. Cálculo de las alcantarillas. 118

5.4. Lavaderos para alcantarillas.. 128

5.5. Análisis de resultados. 130

Conclusiones. 132

Bibliografía. 134

Anexos.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se realizó con el objetivo de efectuar una revisión de las obras de drenaje del camino Tarecuato-Los Húcuares para determinar si cumplen con la función para la cual fueron diseñadas. Se definió primeramente que es un camino, sus características y tipos, así como su conformación, dichos conceptos son tratados en el capítulo 1. También fue necesario definir que es un drenaje, su función, sus tipos, sus características y los factores que lo afectan, siendo en este caso el agua. Lo anterior se menciona en el capítulo 2.

El capítulo 3 ofrece datos geográficos de la zona en estudio, entre los que destacan la ubicación, características del terreno, información hidrográfica, uso del suelo en la zona y tipos de vehículos que circulan por el camino. El informe fotográfico complementa dicho capítulo, obtenido mediante una visita a la zona en estudio. El capítulo 4 señala que el método científico es esencial para el desarrollo de cualquier trabajo de investigación, definiendo además el enfoque y alcance de la presente tesis.

En el capítulo 5 se hace la revisión de las obras de drenaje existentes y el rediseño de aquellas que resultaron con deficiencias para cumplir con la función para la que fueron creadas, cumpliéndose así el objetivo principal, que era revisar el sistema de drenaje. Finalmente en las conclusiones se establece que dicho sistema de drenaje no es del todo adecuado, con lo que se da respuesta a la pregunta de investigación planteada al inicio de la presente tesis.

Esta investigación beneficiará a la comunidad estudiantil de la carrera de ingeniería civil, así como a toda aquella persona que tenga dudas sobre el proceso de diseño de un drenaje carretero. Por último se beneficia a los usuarios del tramo en estudio al brindarles información sobre las condiciones y efectividad de las obras de drenaje.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

Con el paso del tiempo las civilizaciones antiguas fueron evolucionando, desarrollando cada vez más su estructura política, económica y social. Entonces hubo un momento en que tuvieron la necesidad de ampliar dicha estructura y se dieron cuenta de la importancia de contar con vías de comunicación. Al inicio de la historia sólo se podía transportar de un lugar a otro a pie de acuerdo con Wright (1993) quien también menciona que el siguiente paso de la humanidad fue la domesticación de animales que dieron solución parcial al problema del transporte. Posteriormente al aumentar la demanda se incorporó el uso de los primeros vehículos con ruedas tirados por animales, hasta evolucionar en los modernos vehículos con motores de combustión interna.

Así mismo, evolucionaron los métodos de construcción de caminos, desde los caminos a base de piedra y aglomerante hasta la época actual con métodos que se basan en la experiencia y llevan a grandes autopistas de pavimento flexible o rígido. Durante este proceso se observó que el agua de lluvia o de flujos al hacer contacto con el camino aceleraba en gran medida su deterioro.

Entonces se vio la urgente necesidad de dotar al camino de un sistema de drenaje, que de acuerdo a William W. Hay (1961) el objetivo principal de un sistema de drenaje es reducir al mínimo el contacto del agua con la estructura de la carretera, reduciendo así el riesgo de erosión.

En la actualidad, la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C. existen varias investigaciones sobre el tema del drenaje carretero, las cuales son recientes, pues fueron elaboradas en el año 2007.

Una de ellas trata sobre el diseño del sistema de drenaje del tramo carretero El Papayo-Meza de Cázares-La Ciénega del km 6+500 al km 9+500 en el Mpio. de Taretan, Michoacán, de Apolo Godínez Arredondo. Por otro lado está la investigación realizada por Jorge Valencia Aburto, sobre la revisión de drenaje del tramo carretero denominado “La Curva del Diablo”, carretera Uruapan-Carapan del km 65+000 al 66+000. Por último, está la Tesis de Gabriel Chávez Álvarez, misma que trata sobre la revisión de obras de drenaje del tramo 0+100 al 2+000 de la carretera Ziracuaretiro-La Ciénega.

Planteamiento del problema.

La incorporación de un sistema de drenaje en las vías de comunicación es de suma importancia porque garantiza que el principal enemigo de las carreteras, el agua, se mantenga alejado de la estructura principal, evitando con ello un rápido desgaste de la misma. Caso contrario la carretera se deslava por acción del agua, reduciendo la vida útil y la seguridad del camino, aumentando con ellos los costos de mantenimiento.

Sotelo (1973) dice que el correcto diseño y ubicación de zanjas y alcantarillas en una carretera es suficiente para mantener lejos el agua. También dice que estas alcantarillas y zanjas deben ser diseñadas de acuerdo a las condiciones del lugar.

Haciendo caso a lo anterior, en el presente trabajo de investigación se pretende hacer una revisión del sistema de drenaje en la carretera Tarecuato-Los Húcuares, del kilómetro 5+172 al 6+660, en el Municipio de Tangamandapio, Michoacán.

Objetivos.

Los objetivos del presente trabajo de investigación son los siguientes:

Objetivo general:

Revisar el sistema de drenaje de la carretera Tarecuato-Los Húcuares del kilometro 5+172 al 6+660, para determinar si su diseño es el adecuado.

Objetivos específicos:

1.-Definir que es una vía terrestre.

2.-Determinar que es un sistema de drenaje.

3.-Dar a conocer los elementos que componen un sistema de drenaje.

Pregunta de investigación.

La principal interrogante a la cual se tratará de dar respuesta es la siguiente:

¿Es adecuado el diseño del actual sistema de drenaje de la carretera Tarecuato-Los Húcuares, entre el kilómetro 5+172 al 6+660?

Sin embargo, para responder la pregunta principal es necesario encontrar respuestas satisfactorias a las siguientes interrogantes de orden secundario:

¿Qué es una vía terrestre?

¿Qué es un sistema de drenaje?

¿Cuál es el objetivo de un sistema de drenaje?

¿Qué beneficios a los usuarios trae un buen sistema de drenaje?

¿Cuáles son los beneficios económicos de emplear un buen sistema de drenaje?

¿En qué consiste el mejor diseño de un sistema de drenaje para una carretera?

¿Qué elementos forman parte de un sistema de drenaje?

Justificación.

La revisión del sistema de drenaje en la carretera Tarecuato-Los Húcuares, es muy importante, porque de ésta manera se tendrá la plena seguridad de que el diseño realizado fue el adecuado.

El principal beneficiado con el presente trabajo es el propio investigador, al ayudarle a despejar las dudas que originaron dicho trabajo de investigación. También se beneficia toda aquella persona que tenga dudas sobre el adecuado diseño del actual sistema de drenaje en ese tramo carretero.

Por otra parte se benefician los estudiantes de Ingeniería Civil y la misma carrera de Ingeniería Civil porque el presente estudio es un aporte a la comunidad universitaria, mismo que podrá ser consultado para futuras investigaciones.

Delimitación.

El diseño de un sistema de drenaje sigue un mismo proceso y metodología; pero contrario a lo que se pudiera pensar, los resultados para cada situación son diferentes, y nunca se debe tomar un mismo diseño para dos o más lugares aunque las condiciones climatológicas, topográficas, hidrológicas, etc. sean similares.

Así mismo, es igualmente importante efectuar una revisión al sistema de drenaje por terceras personas, para corroborar si dicho diseño es adecuado para cualquier tramo carretero. Por lo tanto la presente investigación comprende únicamente la revisión del sistema de drenaje de la carretera Tarecuato-Los

Húcuares del kilometro 5+172 al 6+660, en el municipio de Tangamandapio, Michoacán.

Consecuentemente esta Tesis solo es aplicable para las condiciones climatológicas y geográficas en el momento en que se realizó, buscando un beneficio para toda persona que tenga relación con la vía de comunicación en mención.

Marco de referencia.

El tramo en estudio para la presente tesis involucra a dos poblaciones rurales, Tarecuato y Los Húcuares, ambas situadas en el Municipio de Tangamandapio, en el Estado de Michoacán de Ocampo. De acuerdo con la página de internet http://www.emexico.gob.mx/work/EMM_1/Michoacan/Mpios/16084a.htm, el Municipio de Tangamandapio está localizado en la parte noroeste de México, en el Estado de Michoacán, a 165km de Morelia, la capital del estado, con coordenadas geográficas de: 19º57' de latitud norte y 102º26' longitud occidental.

Según el censo del año 2000, Tangamandapio cuenta con una población de 26 245 habitantes y una altura de 1670 m sobre el nivel del mar, limitando al norte con Chavinda, al este con Zamora, Jacona y Tangancícuaro, al sur con Tangancícuaro y al oeste con Tingüindin y Villamar.

El municipio fue fundado desde antes de la conformación del imperio tarasco, por descendientes de los tecos o xanuchas. Posteriormente se convirtió en un pueblo dominado por el imperio tarasco.

Tiene una superficie de 315.68 km^2 y una orografía consistente en el sistema neo-volcánico transversal, los cerros Blanco, Huanúmera, Prieto, Cuate, La Loca, Guayabo y la sierra Tarécuaro. Por otro lado, su configuración hidrográfica consiste en arroyos, como el colorado y prieto, manantiales de agua fría y algunas presas. El clima del lugar es templado, con una precipitación anual de 700mm y temperaturas que oscilan entre 2.6º y 38º centígrados.

CAPÍTULO 1

VÍAS TERRESTRES

En el presente capítulo se abordará el tema de las vías terrestres, su definición, sus orígenes, los elementos que forman un camino y conceptos necesarios para la correcta elaboración de un proyecto carretero.

1.1.- Antecedentes de los caminos.

De acuerdo con Olivera (2006), los primeros caminos que utilizó el ser humano fueron las veredas, en las que se movían a pie y las usaban las tribus nómadas para ir en busca de alimento. También dice que cuando estas tribus se volvieron sedentarias por la aparición de la agricultura, los caminos existentes tuvieron fines religiosos, comerciales y de conquista.

Con la invención de la rueda, aparecieron los vehículos tirados por personas o animales, lo que originó que los caminos fueran acondicionados para que la circulación fuera lo más rápido y cómodo posible, según Olivera (2006). En este mismo aspecto Mier (1987) comenta que el invento de la rueda en Asia Menor, hace 5000 años, creó la necesidad de contar con superficies de rodamiento para alojar los vehículos con ruedas.

El desarrollo de los caminos fue iniciado por los egipcios y los asirios, con la construcción de los primeros caminos entre Egipto y Asia; sin embargo, fue en la

época del Imperio Romano cuando la construcción de caminos se hizo de forma científica, de acuerdo con Mier (1987).

El surgimiento del feudalismo, después de la caída del Imperio Romano, hizo que la construcción de caminos se convirtiera en un arte perdido, y fueron los religiosos que, con sus peregrinaciones mantenían comunicación entre Francia, Inglaterra y España.

Cuando los españoles llegaron a México, dice Mier (1987), encontraron que los pobladores desconocían el uso de la rueda en vehículos de transporte, además de que carecían de animales de tiro y carga; sin embargo, contaban con calzadas de piedra, caminos, veredas y senderos. Mismos que eran ampliamente usados por pueblos como los aztecas y los mayas, debido a sus actividades religiosas, comerciales y bélicas.

Los españoles introdujeron la carreta, y la construcción de las primeras brechas estuvo a cargo de fray Sebastián de Aparicio, mismo que logró que los puertos de Acapulco y Veracruz se comunicaran con la ciudad de Puebla de acuerdo a Olivera (2006).

La construcción de vías férreas se inició durante la segunda mitad del siglo XIX, teniendo un auge significativo la actividad ferroviaria durante el gobierno de Porfirio Díaz, dicha actividad está actualmente en decadencia por el desconocimiento gubernamental sobre el ferrocarril como medio de transporte.

El automóvil se introdujo en México a principios del siglo XX y, según Mier (1987), la coincidencia en el tiempo de la aparición del automóvil con el movimiento

revolucionario, impidió el desarrollo de los caminos. Así, al terminar el movimiento de revolución, los caminos quedaron totalmente obsoletos para el automóvil de la época. De esta forma, se considera el desarrollo de los caminos en México a partir de 1925, con la creación de la Comisión Nacional de Caminos, durante el mandato del entonces presidente Gral. Plutarco Elías Calles. A partir de 1982 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) se encarga de los asuntos relacionados con los caminos.

1.2.- Inventario de caminos.

Un inventario de caminos consiste en la obtención de información sobre cada uno de los caminos que componen un área, para la posterior presentación de la información, con detalles como la ubicación, longitud, y destino, así como su representación grafica. Dice Mier (1987) que hay varios métodos para la elaboración de un inventario de caminos, desde el más fácil, que consiste en seguir un camino en vehículo, tomando la información que se ve a simple vista y anotando los kilometrajes con el odómetro del propio vehículo, hasta los métodos topográficos más precisos.

Los métodos anteriores se descartan por ser muy pobre en información el primero, y muy costoso y lento el último.

Tomando en cuenta lo anterior se tiene otro método que cumple de manera satisfactoria los requisitos de rapidez, precisión y economía, el cual es el método odógrafo-giroscópico-barométrico, mismo que se definirá a continuación.

1.2.1.- Método odógrafo-giroscópico-barométrico.

Como ya se mencionó, es el método que cumple ampliamente los conceptos requeridos de rapidez, precisión y economía en el inventario de caminos. Y consiste en el levantamiento odógrafo-giroscópico de la planta del camino, completando el dibujo del perfil por medio de un sistema barométrico y con el anexo del levantamiento directo de las características del camino que se considera importante.

“Los datos por obtener para hacer el inventario son: planta del camino, perfil, itinerario, configuración del terreno por el que se cruza, características de la superficie de rodamiento, sección transversal, alineamiento horizontal, alineamiento vertical, visibilidad, señalamiento, obras de drenaje, cruces y entronques con otras vías de comunicación, características de los poblados por los que pasa el camino, uso de la tierra a los lados del camino y demás datos que se consideren de importancia” (Mier; 1987: 5).

El equipo necesario para realizar el inventario de un camino está conformado por un vehículo, en el cual se instala el sistema odométrico, además del odógrafo-giróscopo, un sistema de orientación y una grabadora magnética.

El dibujo del trazo del camino lo hace el odógrafo de manera automática, usando los datos de la distancia y la dirección. El perfil del camino se obtiene con el barómetro, también llamado altímetro, con el que se determina el alineamiento vertical del camino. Luego el alineamiento horizontal se obtiene con los datos tomados en el registro de curvatura.

Los datos obtenidos se analizan en la computadora, misma que genera los datos de las coordenadas y la curvatura del camino. Al final se compara con el dibujo obtenido por medio del odógrafo para corregir posibles errores.

1.2.2.- Aplicaciones del inventario de caminos.

La principal aplicación de un inventario de caminos, dice Mier (1987), es la obtención de la capacidad de los caminos que integran la red. También comenta que la capacidad de un camino depende tanto de las características geométricas y del tránsito que circula por el camino.

Hay varios detalles que influyen en la capacidad de un camino, siendo las principales la sección transversal, distancia a obstáculos laterales, ancho y estado de los acotamientos, alineamiento horizontal, alineamiento vertical y distancia de visibilidad de rebase. Incluso se puede determinar las condiciones en que trabajará un camino mediante el cálculo de los volúmenes de tránsito en un determinado periodo de tiempo.

Otra de sus aplicaciones de gran importancia es en el mantenimiento y desarrollo de caminos, porque señala las obras necesarias y su prioridad en el programa de reconstrucción, conservación y construcción, como señala de la misma manera Mier (1987). De la misma manera señala otros usos, como son: la obtención del itinerario de caminos, datos sobre las poblaciones vecinas del camino, datos sobre las obras de drenaje, condiciones superficiales de los caminos, etc.

El inventario, una vez terminado, debe mantenerse actualizado, recabando información sobre las modificaciones posteriores que se hagan a dicho inventario.

1.3.- Elementos de la ingeniería de tránsito usados para el proyecto.

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

Actualmente se tiene el llamado problema de tránsito, el cual se origina por la enorme diferencia que hay entre el desarrollo de los caminos con respecto a los vehículos modernos. Los diferentes tipos de vehículos en un mismo camino es otro factor importante en el problema de tránsito, además de las vías de comunicación inadecuadas con trazos obsoletos para la época actual, calles y caminos angostos y con fuertes pendientes, incluso las banquetas forman parte de este problema.

En este mismo aspecto comenta Mier (1987), otros factores son el diseño de caminos, puentes y cruces con especificaciones obsoletas, ignorando por completo la necesidad de estacionamiento. Por otro lado, el problema de tránsito se ve agravado por la falta de educación vial, de leyes y reglamentos de tránsito adecuados a las necesidades del usuario.

Es necesario dar una solución a dicho problema, tomando en cuenta los recursos económicos con que se cuenta. Existen tres tipos de soluciones que se le pueden dar al problema de tránsito, mismas que se definen a continuación.

Solución integral. Consiste en la creación de un nuevo tipo de camino, calle y trazo de una ciudad, que sirva al vehículo moderno durante un tiempo razonable. Es la solución más costosa, pero la de mayor efectividad.

Solución parcial de alto costo. Consiste en obtener el mayor beneficio de los caminos existentes, haciendo cambios como el ensanchamiento de calles, construcción de cruces adecuados, incremento en el área de estacionamiento, etc., cambios que requieren una gran inversión de recursos.

Solución parcial de bajo costo. Consiste, de acuerdo con Mier (1987) en obtener el mejor aprovechamiento de las condiciones existentes en un camino con el mínimo de obras adicionales. Incluye la regulación del tránsito, creación de leyes y reglamentos acordes a los requerimientos de tránsito, de igual manera conlleva promover la educación vial, hacer cambios en el sentido de la circulación de algunas calles, señales, semáforos, estacionamientos con limitación del tiempo, etc.

Independientemente de la solución que se aplique, existen en común tres elementos que deben trabajar al mismo tiempo para lograr un tránsito seguro y eficiente. Estos elementos son: La Ingeniería de Transito, la Educación Vial y la Legislación y Vigilancia Policiaca.

1.3.1.- Elementos del tránsito.

Los elementos que constituyen el tránsito son tres: el usuario, el vehículo y el camino, mismos que se definen en los subtemas siguientes.

1.3.1.1.- El usuario.

Este elemento lo forma la población en general, indiferentemente si se considera como peatón o como conductor. Se deben estudiar cada uno por separado, debido a que sus características en el tránsito son diferentes.

- El peatón. Se caracteriza por su facilidad de movimiento y por su capacidad de adaptación a las condiciones existentes, y es el más expuesto a sufrir las consecuencias de los accidentes. En este punto Mier (1987) considera al peatón anacrónico a la era motorizada, pues éste desconoce las características de los vehículos y las limitaciones del conductor, por lo que para mejorar la situación se debe concientizar al peatón sobre su responsabilidad en el aspecto de la circulación vial.

- El conductor. Es el medio humano responsable del adecuado manejo del vehículo; sin embargo, la carencia de educación vial para los conductores contemporáneos ocasiona que el automóvil sea considerado también como un objeto peligroso.

Existen además, dos limitantes de gran relevancia para todos los usuarios: la visibilidad y el tiempo de reacción.

La visibilidad es un factor determinante para la adecuada conducción de un vehículo. En este punto dice Mier (1987) que la visibilidad del conductor se rige por la capacidad de sus ojos y en la realización de un proyecto deben tomarse en cuenta detalles como la agudeza visual, la percepción de los colores, la visión periférica, la recuperación al deslumbramiento y la profundidad de percepción.

Algunos de los defectos en la visión que limitan el correcto manejo de un vehículo son: la hipermetropía, la presbicia, el astigmatismo y el estrabismo, el daltonismo, la miopía y la visión del túnel.

De acuerdo con la página de internet http://es.wikipedia.org el tiempo que transcurre entre la estimulación de un órgano sensorial y el inicio de una respuesta se conoce como tiempo de reacción. Este es un factor determinante en una situación de riesgo, porque de la rapidez de respuesta depende evitar una tragedia o la ocurrencia de la misma. Las reacciones del individuo pueden ser, según Mier (1987), condicionadas o psicológicas, y también dice que debe educarse a los conductores a tener sólo reacciones condicionadas, porque estas se efectúan de manera inconsciente, sin necesidad de un juicio mental sobre la decisión a tomar, cosa que ocurre con las reacciones psicológicas. Condicionar las reacciones del conductor se logra con la experiencia, con la cual se crean hábitos de conducción.

Por otro lado, cuando se efectúen modificaciones en los caminos se debe avisar previamente a los usuarios para evitar un conflicto con los hábitos de conducción de los conductores.

1.3.1.2.- El vehículo.

Es el medio que permite el traslado de personas o de carga de un lugar a otro, y de acuerdo con Mier (1987), los países más desarrollados se caracterizan por contar en su economía con una gran cantidad de vehículos. De igual manera, dice que el desarrollo del vehículo se enfoca más al aspecto del aumento de la velocidad y capacidad de carga. A continuación se presenta la clasificación general de vehículos de acuerdo a la SCT (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Clasificación general de los vehículos.

Fuente: SCT; 1974, 69

En el desarrollo de un proyecto de camino se tiene que tomar en cuenta las características geométricas del vehículo, mismas que están determinadas por las dimensiones y por el radio de giro.

No es posible seleccionar un tipo especial de vehículo para el proyecto, debido a la gran variedad de modelos existentes, por lo que se debe tomar un promedio de las características de los vehículos construidos y observar la tendencia de desarrollo a futuro para que los caminos sirvan también a las siguientes generaciones, lo anterior de acuerdo con Mier (1987).

Se conoce como radio de giro a la circunferencia trazada por la rueda exterior delantera del vehículo al girar. Este radio de giro se toma en cuenta al trazar las curvas de un proyecto de camino.

CARACTERISTICAS			VEHÍCULO DE PROYECTO				
			DE-335	DE-450	DE-610	DE-1220	DE-1525
DIMENSIONES EN CM.	Longitud total del vehículo	L	580	730	915	1525	1678
	Distancia entre ejes extremos del vehículo	DE	335	450	610	1220	1525
	Distancia entre ejes extremos del tractor	DET	—	—	—	397	915
	Distancia entre ejes del semirremolque	DES	—	—	—	761	610
	Vuelo delantero	Vd	92	100	122	122	92
	Vuelo trasero	Vt	153	180	183	183	61
	Distancia entre ejes tándem tractor	Tt	—	—	—	—	122
	Distancia entre ejes tándem semirremolque	Ts	—	—	—	122	122
	Distancia entre ejes interiores tractor	Dt	—	—	—	397	488
	Dist. entre ejes interiores tractor y semirremolque	Ds	—	—	—	701	793
	Ancho total del vehículo	a	214	244	259	259	259
	Entrevía del vehículo	EV	183	244	259	259	259
	Altura total del vehículo	Ht	167	214-413	214-413	214-413	214-413
	Altura de los ojos del coductor	Hc	114	114	114	114	114
	Altura de los faros delanteros	Hf	61	61	N	61	61
	Altura de los faros traseros	Hf'	61	61	61	61	61
Angulo de desviación del haz de luz de los faros		α	1°	1°	1°	1°	1°
Radio de giro mínimo (cm)		RG	732	1040	1281	1220*	1372*
Peso total (Kg)	Vehículo vacío	Wv	2500	4000	7000	11000	14000
	Vehículo cargado	Wc	5000	10000	17000	25000	30000
Relación peso/potencia (Kg/HP)		Wc/P	45	90	120	180	180
VEHÍCULOS REPRESENTADOS POR EL DE PROYECTO			A_2 y A_c	C2	B.-C3	T2-S1 T2-S2	T3-S2 OTROS
PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA DISTANCIA ENTRE EJES EXTREMOS (DE) ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DE PROYECTO		A_2 y A_c	99	100	100	100	100
		C2	30	90	99	100	100
		C3	10	75	99	100	100
		T2-S1	0	0	1	80	99
		T2-S2	0	0	1	95 78	100 98
		T3-S2	0	0	1	18	90
PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA RELACION PESO/POTENCIA ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DE PROYECTO		A_2 y A_c	98	100	100	100	100
		C2	62	98	100	100	100
		C3	20	82	100	100	100
		T2-S1	6	85	100	100	100
		T2-S2	6	42	98	98	98
		T3-S2	2	35	80	80	80

Tabla 1.2 Características de los vehículos de proyecto.

Fuente: SCT; 1974, 88

De acuerdo con la SCT (1974), un vehículo de proyecto es un vehículo hipotético, cuyas características se usarán para establecer los lineamientos que regirán el proyecto geométrico de caminos e intersecciones. Este vehículo debe

seleccionarse de forma que represente un porcentaje significativo del tránsito que circulará por el camino. En la tabla 1.2 se aprecian las características de los vehículos de proyecto

1.3.1.3.- El camino.

Se conoce como camino a la franja de terreno que ha sido acondicionada para permitir la circulación de vehículos. Mier (1987) cita que existen varias formas de clasificar a los caminos:

Clasificación de acuerdo a su transitabilidad. La página de internet http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_r_se/capitulo2.pdf señala que en esta clasificación se toma en cuenta la etapa de construcción en que se encuentra el camino.

a) Camino de terracería. Este se construye hasta el nivel de subrasante, y es transitable solo en época de estiaje.

b) Camino revestido. Camino en el cual se han colocado una o varias capas de material granular, y es transitable durante todo el año.

c) Camino pavimentado. En este tipo de camino se ha colocado pavimento sobre la capa subrasante. Y es transitable durante todo el año.

Clasificación SOP o SCT. Mier (1987) cita que esta clasificación incluye detalles como el tipo de terreno, la velocidad de proyecto, la curvatura del camino, la pendiente, la sección transversal y el bombeo, entre otros.

Clasificación por capacidad. Consiste en diferenciar los caminos de acuerdo al número de carriles que lo forman, Autopistas para cuatro o más carriles, caminos de dos carriles y las brechas.

Clasificación administrativa. De acuerdo a la página de internet http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_r_se/capitulo2.pdf esta clasificación se debe al aspecto administrativo del camino. Los cuales son:

a) Caminos Federales. Costeados y a cargo de la federación.

b) Caminos estatales (cooperación bipartita). El estado donde se construye el camino aporta el 50% de los recursos y la federación aporta el otro 50%, quedando a cargo de las Juntas Locales de Caminos.

c) Caminos vecinales (cooperación tripartita). Los recursos para la construcción del camino los aportan los vecinos, la federación y el estado en partes iguales.

d) Caminos de cuota. Los recursos los aporta Caminos y Puentes Federales (CAPUFE), siendo la inversión recuperable.

1.4.- Velocidad.

De acuerdo con Mier (1987), el adecuado funcionamiento de un camino depende de la rapidez y seguridad con la que circulan por el camino personas y mercancías. Estos dos elementos forman el factor llamado velocidad, determinante en el desarrollo de proyectos de caminos.

De la misma forma, Mier (1987), cita cuatro tipos de velocidad: de proyecto, de operación, de punto y efectiva o global. Y de acuerdo con la SCT (1974), se deben tomar en cuenta también otros dos tipos de velocidad: de marcha y de proyecto ponderada.

1.4.1.- Velocidad de proyecto.

Se conoce así a la máxima velocidad con la que se puede transitar a lo largo de un camino con seguridad, además que es la que determina las características del propio proyecto. Algunos factores que determinan la velocidad de proyecto son: la topografía de la zona, el tipo de camino, el volumen de tránsito y el uso de la tierra.

Después de haber definido la velocidad de proyecto, dice Mier (1987), se debe condicionar las características geométricas del camino para lograr un estado de equilibrio en el proyecto. También cita que se debe procurar una misma velocidad de proyecto para todo el camino, excepto aquellas veces en que situaciones como la topografía no lo permitan, en este caso, dice, se debe usar diferentes velocidades de proyecto, creando transiciones entre cada una de ellas para que el conducto ajuste su velocidad de manera gradual.

Por último, dice Mier (1987), que las velocidades de proyecto deben acoplarse a los deseos y hábitos de circulación de los conductores.

1.4.2.- Velocidad de operación.

Como ya se mencionó, la velocidad de proyecto es la velocidad a la cual se supone que transitarán los vehículos; sin embargo, en la realidad no sucede de esta

forma. En base a lo anterior se dice que la velocidad de operación es la velocidad real a la que circulan los vehículos por un camino, de acuerdo con Mier (1987). También se define como la velocidad mantenida en un tramo a lo largo de un camino y se obtiene dividiendo la distancia recorrida entre el tiempo efectuado para tal acción, aclarando que no se toma en cuenta el tiempo durante el cual el vehículo no presenta movimiento. La SCT (1974), especifica que el vehículo debe circular bajo las condiciones prevalecientes de tránsito y bajo condiciones atmosféricas favorables.

Cuando la circulación en un camino es continua, dice Mier (1987), la velocidad de operación se puede determinar usando la “velocidad de punto”, misma que se definirá más adelante. Por otra parte, el volumen de tránsito afecta en forma directa a la velocidad de operación, porque a mayor volumen de vehículos, la velocidad de proyecto es menor.

1.4.3.- Velocidad de punto.

Es la que registra un vehículo al pasar por un determinado punto del camino. En tramos cortos la velocidad de punto se puede considerar como la velocidad de operación, caso contrario a los tramos largos, en los cuales se deben tomar varias velocidades de punto y obtener la media aritmética, que representa la velocidad de operación.

1.4.4.- Velocidad efectiva o global.

Se conoce de esta forma al promedio de la velocidad mantenida por un vehículo a lo largo de un camino, dividida entre el tiempo empleado en recorrer dicho

camino, incluyendo las variaciones de velocidad y los tiempos en que el vehículo no presentaba movimiento. Dice Mier (1987), que esta velocidad sirve para comparar la fluidez entre varias rutas hacia un mismo destino, o una misma ruta cuando se han hecho modificaciones y se quiere medir los efectos.

1.4.5.- Velocidad de marcha.

La SCT (1974), cita que la velocidad de marcha es la que se obtiene de dividir la distancia recorrida entre el tiempo en el cual el vehículo estuvo en movimiento

1.4.6.- Velocidad de proyecto ponderada.

Sucede cuando en un tramo existen diferentes velocidades de proyecto, por lo tanto la velocidad representativa es el promedio de las diferentes velocidades de proyecto del tramo en estudio.

1.5.- Volumen de tránsito.

En conformidad con la SCT (1974), el volumen de tránsito determina en gran medida el tipo de carretera a proyectar, así como sus intersecciones, los accesos y los servicios con los que deberá contar dicha carretera. Cita, además, que un error en la determinación del volumen de tránsito puede ocasionar que la carretera funcione con niveles de tránsito inferiores a los que se proyectó, o en caso contrario, que se presenten congestionamientos.

Volumen de tránsito. “Es el número de vehículos que pasan por un tramo de la carretera en un intervalo de tiempo dado” (SCT; 1974: 97).

Tránsito promedio diario. Es el resultado de promediar los volúmenes diarios en un determinado periodo de tiempo, siendo los más comunes el Transito Promedio Diario Semanal (TPDS) y el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

Tránsito máximo horario. Es la máxima cantidad de vehículos que pasan durante una hora, en un tramo de camino, en un lapso de tiempo generalmente de un año.

Volumen horario de proyecto. Es el volumen de tránsito que determina las características geométricas del camino (VHP).

Tránsito generado. Es el volumen originado por la construcción o mejoramiento de una carretera, con el consecuente desarrollo de la zona por donde cruza.

Tránsito desviado o inducido. Es la parte del volumen de tránsito que anteriormente circulaba por otra carretera, pero que actualmente circula por la carretera construida o mejorada.

Volumen promedio diario anual. De acuerdo con Mier (1987), es la cantidad de vehículos que pasan por un punto dado del camino, durante un periodo de un año, dividido entre los días que lo forman (VPDA).

Volumen máximo horario anual. Dice Mier (1987), que es el volumen horario más alto que sucede en un periodo de un año (VMHA).

1.5.1.- Determinación del volumen de tránsito.

En conformidad con la SCT (1974), para determinar los volúmenes de tránsito de un camino se deben utilizar los datos que se obtengan de los estudios de origen y destino, de los aforos por muestreo y de los aforos continuos en estaciones permanentes.

A continuación se definen cada uno de los estudios empleados para determinar el volumen de tránsito.

Estudios de origen y destino. El principal objetivo de este tipo de estudio es conocer el punto de partida y de término del tránsito; obteniendo de manera indirecta datos sobre su comportamiento, en los aspectos de magnitud, composición y tipo de productos transportados. La forma más común de llevar a cabo este tipo de estudio es mediante las entrevistas directas a los conductores de vehículos, conociendo de manera rápida el origen y destino, así como un punto intermedio del viaje, conocido como estación (SCT, 1974).

De acuerdo con Mier (1987), aparte de las entrevistas directas al conductor, están las entrevistas a los domicilios de los usuarios, observando las placas de los vehículos en diferentes puntos, o simplemente, entregando al usuario un cuestionario en la primera estación para que lo llene durante el recorrido, entregándolo en la siguiente estación.

Muestreo del tránsito. Este método, especifica la SCT (1974), surgió debido al crecimiento del volumen de tránsito y a la variación en la composición del tránsito. Consiste en la instalación de estaciones de aforo en los diferentes tramos de una

carretera, procurando que capten el volumen representativo de cada uno de los tramos. Se utilizan tanto contadores manuales como electromecánicos, registrando volúmenes cada hora y clasificando los vehículos en ligeros (A), autobuses (B) y pesados (C).

Estaciones maestras. Es un complemento de los estudios de origen y destino, así como del muestreo del tránsito, y consiste en la instalación de estaciones permanentes a lo largo del camino, equipadas con contadores automáticos, que registran las variaciones y el comportamiento de las corrientes de tránsito durante todo el año.

La aplicación de los anteriores estudios permite conocer el tránsito actual, así como el tránsito desviado o inducido y el tránsito generado (SCT, 1974).

1.6.- Densidad de tránsito.

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

También señala Mier (1987) que es importante no confundir la densidad con el volumen de tránsito, porque el volumen representa la cantidad de vehículos que pasan por un punto en una unidad de tiempo.

1.7.- Derecho de vía.

Se le llama así a la franja de terreno aledaño al camino y que sirve para satisfacer las condiciones de seguridad, utilidad especial y eficiencia del servicio de la vía de comunicación. Comenta Mier (1987), que en México, la anchura del derecho de vía es de veinte metros a cada lado del eje del camino, aumentando o disminuyendo según el tipo de camino.

1.8.- Capacidad y nivel de servicio.

De acuerdo a la SCT (1974), la capacidad es una medida de la eficiencia con la que una calle o una carretera presta servicio a la demanda del tránsito. También cita que para determinar la capacidad se requiere tener conocimientos tanto de la corriente de tránsito, así como de sus volúmenes, considerando diferentes condiciones físicas y de operación.

Mier (1987), dice que la capacidad de un camino es el número máximo de vehículos que pueden circular por dicho camino, bajo condiciones prevalecientes de tránsito en un periodo determinado de tiempo. De igual manera, dice que diferentes condiciones ambientales como claridad, frio, tormenta, calor, lluvia, etc. pueden afectar la capacidad de un camino.

Por otra parte, dice Mier (1987), que la variación en las características geométricas de los caminos afectan directamente la operación de los vehículos

pesados, lo que se traduce en variaciones de la capacidad de un camino, de la forma siguiente:

Caminos en terreno plano. Los vehículos pesados circulan a una velocidad similar a la de los ligeros.

Caminos en lomerío. En algunos tramos del camino, los vehículos pesados circulan a velocidades por debajo de la de los ligeros.

Caminos en montaña. Los vehículos pesados circulan a velocidades muy reducidas en grandes distancias y con bastante frecuencia.

El nivel de servicio es una medida cualitativa del efecto de diversos factores, tales como la velocidad, el tiempo de recorrido, la seguridad, la comodidad y libertad de manejo, etc., los cuales determinan las diferentes condiciones de operación de un camino, con diferentes volúmenes de tránsito (Mier, 1987). Por último, dice que los diferentes volúmenes y composición del tránsito y la variación en las velocidades ocasionan que un camino opere a muchos niveles de servicio.

1.8.1.- Objetivo de la capacidad.

La obtención de la capacidad de un camino sirve principalmente a dos propósitos, de acuerdo a la SCT (1974), los cuales son los siguientes.

a) En una obra nueva, la capacidad influye en la determinación de las características geométricas del camino, mismas que dependerán en parte del volumen horario de proyecto considerado en el análisis.

b) Para conocer las condiciones de operación de un camino existente. En este caso se hace una comparación entre el volumen de tránsito y el volumen de servicio del mismo. Considerando además sus características geométricas y el tránsito permite conocer el nivel de servicio a que opera y la probable fecha en que quedará saturado.

De igual manera, la SCT (1974), dice que el conocimiento de los niveles de servicio actual y futuro de un camino, permite determinar las necesidades viales del mismo.

1.9.- Distancia de visibilidad.

De acuerdo con la SCT (1974), se conoce como distancia de visibilidad a la longitud de carretera que el conductor ve continuamente delante de él mientras las condiciones atmosféricas y de tránsito sean favorables. Existen dos tipos de distancia de visibilidad: la distancia de visibilidad de parada y la distancia de visibilidad de rebase.

1.9.1.- Distancia de visibilidad de parada.

Es la distancia mínima que necesita un conductor que circula a la velocidad de proyecto para ver un objeto en la línea del camino y detener el movimiento del vehículo antes de llegar a él. Esta distancia es la suma de la distancia de reacción, que inicia en el momento en que el conductor ve al objeto, y la distancia de frenado, que es la que se recorre durante la aplicación de los frenos. En la tabla 1.3 se

muestra la distancia de velocidad de parada para las distintas velocidades de proyecto de un camino, así como la velocidad de marcha y el coeficiente de fricción.

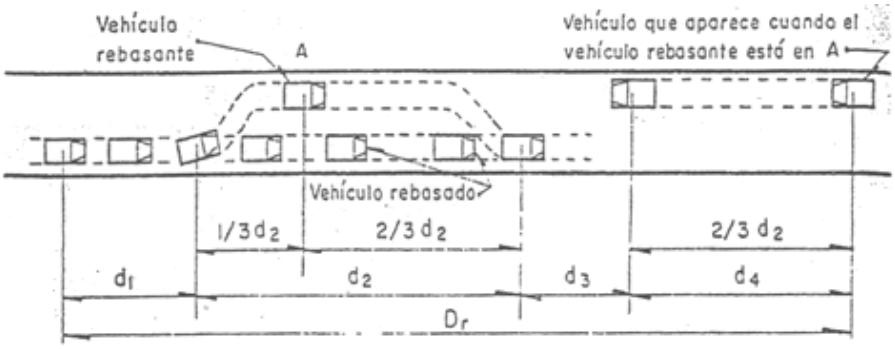
VEL. DE PROYECTO km/h	VEL. DE MARCHA km/h	REACCION		COEFI-CIENTE DE FRICCION	DIST. DE FRENADO m	DISTANCIA DE VISIBILIDAD	
		Tiempo seg	Distancia m			Calculada m	Redondeada m
30	28	2.5	19.44	0.400	7.72	27.16	25
40	37	2.5	25.69	0.380	14.18	39.87	40
50	46	2.5	31.94	0.360	23.14	55.08	55
60	55	2.5	38.19	0.340	35.03	73.22	75
70	63	2.5	43.75	0.325	48.08	91.83	90
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	63.88	0.295	112.95	176.83	175

Tabla 1.3 Distancia de velocidad de parada

Fuente: SCT; 1974, 114

1.9.2.- Distancia de visibilidad de rebase.

Es la distancia que necesita un vehículo para adelantar a otro que circula en su mismo carril, sin que haya peligro de accidente con otro que aparezca en sentido contrario (Mier, 1987). Y conforme con lo que dice la SCT (1974), la distancia de rebase se aplica solamente a caminos de dos carriles, pues en caminos de 4 o más carriles la maniobra de rebase se realiza en carriles con la misma dirección, y considera que se debe prohibir toda maniobra de rebase que implique cruzar el eje de un camino con cuatro o más carriles. En La fig. 1.1 se muestra la maniobra de rebase, de acuerdo a la AASHO.



d_1 — Distancia recorrida durante el tiempo de reacción y durante la aceleración inicial hasta el punto en donde el vehículo rebasante invade el carril izquierdo.

d_2 — Distancia recorrida por el vehículo rebasante desde que invade el carril izquierdo hasta que regresa a su carril.

d_3 — Distancia entre el vehículo rebasante al terminar su maniobra y el vehículo que viene en sentido opuesto.

d_4 — Distancia recorrida por el vehículo que viene en sentido opuesto.

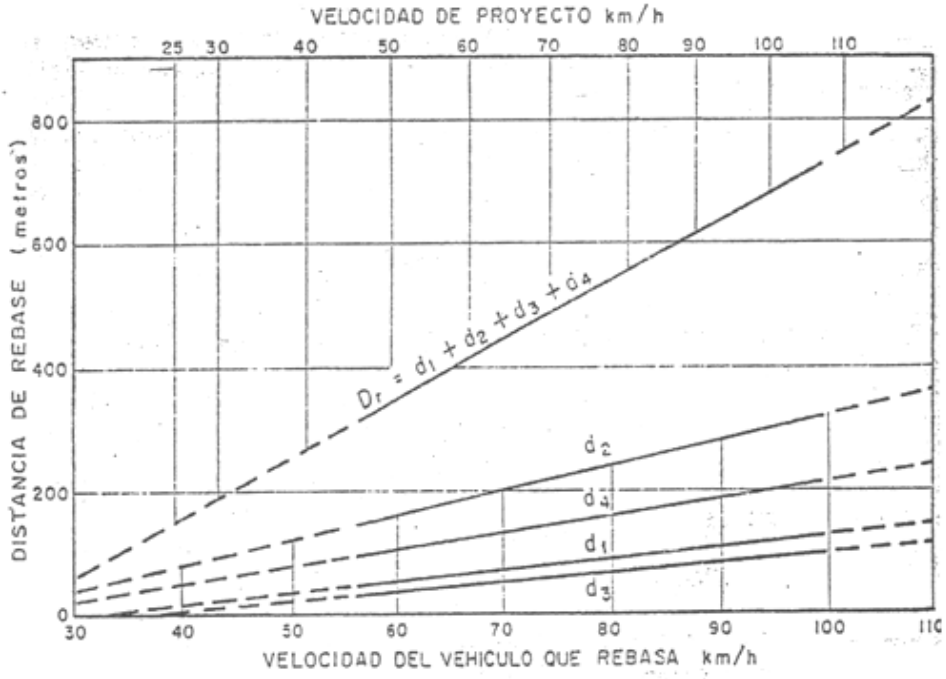


Fig. 1.1 Maniobra de rebase según la AASHO

Fuente: SCT; 1974, 118

1.9.3.- Aplicaciones de la distancia de visibilidad.

De acuerdo a la SCT (1974), la distancia de visibilidad de un camino debe ser mayor o igual a la distancia de visibilidad de parada, y si se desea incrementar el nivel de servicio, se tienen que proyectar suficientes tramos con visibilidad de rebase.

Por lo tanto, en base a lo anterior, es necesario que los elementos geométricos de un camino se proyecten cumpliendo los requisitos de visibilidad establecidos.

Uno de los principales objetivos de aplicar la distancia de visibilidad a un proyecto es determinar la longitud de las curvas verticales y la distancia a objetos laterales en el cálculo de curvas horizontales.

1.10.- Mecánica de suelos.

“La Mecánica de Suelos, es la rama de la Ingeniería Civil que estudia la aplicación de las leyes de la Mecánica e Hidráulica a los problemas de Ingeniería que trata con sedimentos y otras acumulaciones no consideradas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan contenido de materia orgánica” (Arias; 1984: 1).

Otra definición es la de la página de internet http://es.wikipedia.org que señala que la Mecánica de Suelos es la aplicación de las leyes de la Física y las Ciencias Naturales en los problemas que involucran las cargas impuestas a la capa superficial de la corteza terrestre.

1.10.1.- Suelos, origen y formación.

De acuerdo con Arias (1984), se define como suelo al material formado por partículas minerales, producto de la descomposición de las rocas, y vacíos, mismos que pueden o no estar ocupados por agua.

Los procesos que causan la alteración de las rocas son la desintegración mecánica y la descomposición química.

Desintegración mecánica. Ocurre ante la presencia uno o varios de los siguientes fenómenos:

-Congelamiento del agua.

-Cambios en la temperatura.

-Efectos de los organismos.

-Esfuerzos tectónicos.

-Efectos abrasivos del agua y el viento.

-Efectos telúricos.

-Efectos de la gravedad.

Descomposición química. Es la que ocurre en presencia de agua o de otras sustancias naturales, lo que genera suelos finos. Como ya se mencionó, la descomposición de las rocas origina la formación de varios tipos de suelos, según su origen, los cuales son los siguientes, de acuerdo con Arias (1984):

a) Suelos residuales. Son aquellos que permanecen en el sitio donde fueron formados. Estos suelos son buenos para las cimentaciones superficiales.

b) Suelos transportados. Son los que están colocados en lugares diferentes al de su origen, por causa del agua, el viento, los glaciares, la gravedad, etc., y de acuerdo a su forma de transporte, estos suelos se clasifican de la siguiente forma:

- Suelos aluviales. Son los que se forman por acarreo del agua, formando depósitos de suelos gruesos como la grava, canto rodado o arenas cuando el agua tiene velocidad alta y suelos finos como las arcillas y los limos cuando ésta pierde velocidad.

- Suelos lacustres. Son los que se forman en los depósitos de agua como los lagos. El suelo resultante está constituido por partículas finísimas.

- Suelos eólicos. Son aquellos que han sido transportados y depositados por el viento, dando origen a las dunas o médanos, los loess, etc.

- Depósitos de pie de monte. Son los que se forman por acción de la gravedad, estando constituidos por fragmentos de roca, limos, arcillas, gravas, arenas y en ocasiones materia orgánica. Se encuentran en estado suelto y tienen poca compacidad.

1.10.2.- Relaciones volumétricas y gravimétricas.

En conformidad con Arias (1984), un suelo puede ser considerado como un sistema de partículas, en el cual los espacios entre partículas pueden estar parcial o

totalmente llenos de agua, resultando tres estados en el sistema: la parte solida, la líquida y la gaseosa.

De lo anterior se desprende que hay tres tipos de suelos, dependiendo de los estados o fases por los que esté compuesto.

- Suelo saturado. Es aquel que está formado por la fase sólida y por la fase líquida.

- Suelo seco. Está compuesto por la fase sólida y por la fase gaseosa.

- Suelo parcialmente saturado. Es el que está formado por las tres fases, la sólida, la liquida y la gaseosa.

1.10.3.- Granulometría en los suelos.

Citando nuevamente a Arias (1984), la Granulometría es la parte de la Mecánica de Suelos que se encarga de estudiar lo relacionado a la forma y distribución de tamaño de las gravas o partículas que forman un suelo.

Las formas más comunes de las partículas de un suelo son las equidimensionales, placas y tubulares. Las primeras, señala Arias (1984), las presentan los suelos gruesos, las segundas son propias de las arcillas y micas; las formas tubulares son las menos comunes y se presentan en algunas arcillas, a partir de placas enrolladas.

Los suelos se clasifican, de acuerdo al tamaño de las partículas que lo forman, en gruesos y finos. A continuación se define cada uno de ellos:

- Suelos gruesos. Son aquellos que están constituidos por partículas de tamaño mayor a 0.074 mm y menor a 76.2 mm.

- Suelos finos. Se considera así a aquellos que están formados por partículas de tamaño menor a 0.074 mm.

De acuerdo a Arias (1984), un suelo que cuenta con una gran variedad de tamaños de sus partículas (suelo bien graduado), presenta un mejor comportamiento mecánico e hidráulico que un suelo con granulometría uniforme. Lo anterior se puede comprobar cuando se aplica una carga a dos suelos, uno bien graduado y otro uniforme, en el primer tipo de suelo hay menor concentración de esfuerzos porque los huecos entre las partículas de mayor tamaño son ocupados por partículas de menor tamaño, ayudando distribuir mejor la carga, cosa que no sucede en el segundo tipo de suelo.

Los datos obtenidos al analizar un suelo se representan gráficamente en la llamada “Curva granulométrica”, (Fig. 1.2).

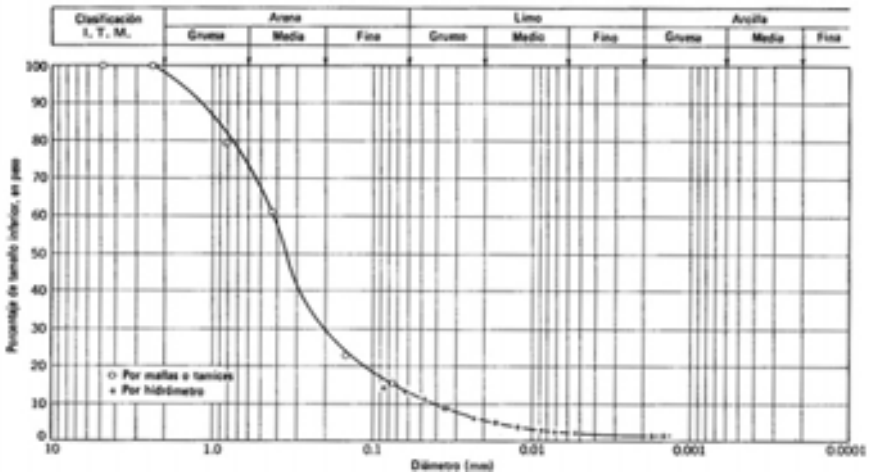


Fig. 1.2 Curva granulométrica.

Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1c/Granulometr%C3%ADa.JPG

1.10.4.- Plasticidad.

Se considera que todo material de la naturaleza es deformable, existiendo cuerpos con comportamiento elástico, que al aplicarles una carga tienden a recuperar su forma, y cuerpos con comportamiento plástico, que son aquellos que ante la presencia de una carga no tienden a recuperar su forma original.

Por lo tanto, de acuerdo a lo anterior, según Arias (1984), se conoce como plasticidad de un cuerpo a la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones sin experimentar el rebote elástico, sin variar su volumen de manera apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

1.10.5.- Consolidación.

Se conoce como consolidación al proceso de disminución de volumen de un suelo, por efecto del aumento de las cargas sobre éste, en un lapso de tiempo.

Cuando el movimiento de las partículas de un suelo puede ser solo en forma vertical, se dice que la consolidación es unidireccional o unidimensional.

Consolidación primaria. Tiene lugar en los suelos finos plásticos de baja permeabilidad en los que el tiempo que tarda para que se produzca la consolidación depende del tiempo que tarda en expulsar el agua que los satura.

Consolidación secundaria. Se presenta sobre todo en arcillas de alta compresibilidad y en suelos con gran contenido de materia orgánica, que después de la consolidación primaria continúan deformándose.

1.10.6.- Sistema Unificado de Clasificación se Suelos (SUCS).

Debido a la necesidad de contar con un sistema que clasifique los suelos de acuerdo a sus cualidades y propiedades mecánicas, se creó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), en base a los estudios realizados por A. Casagrande (Fig. 1.3), señala Arias (1984).

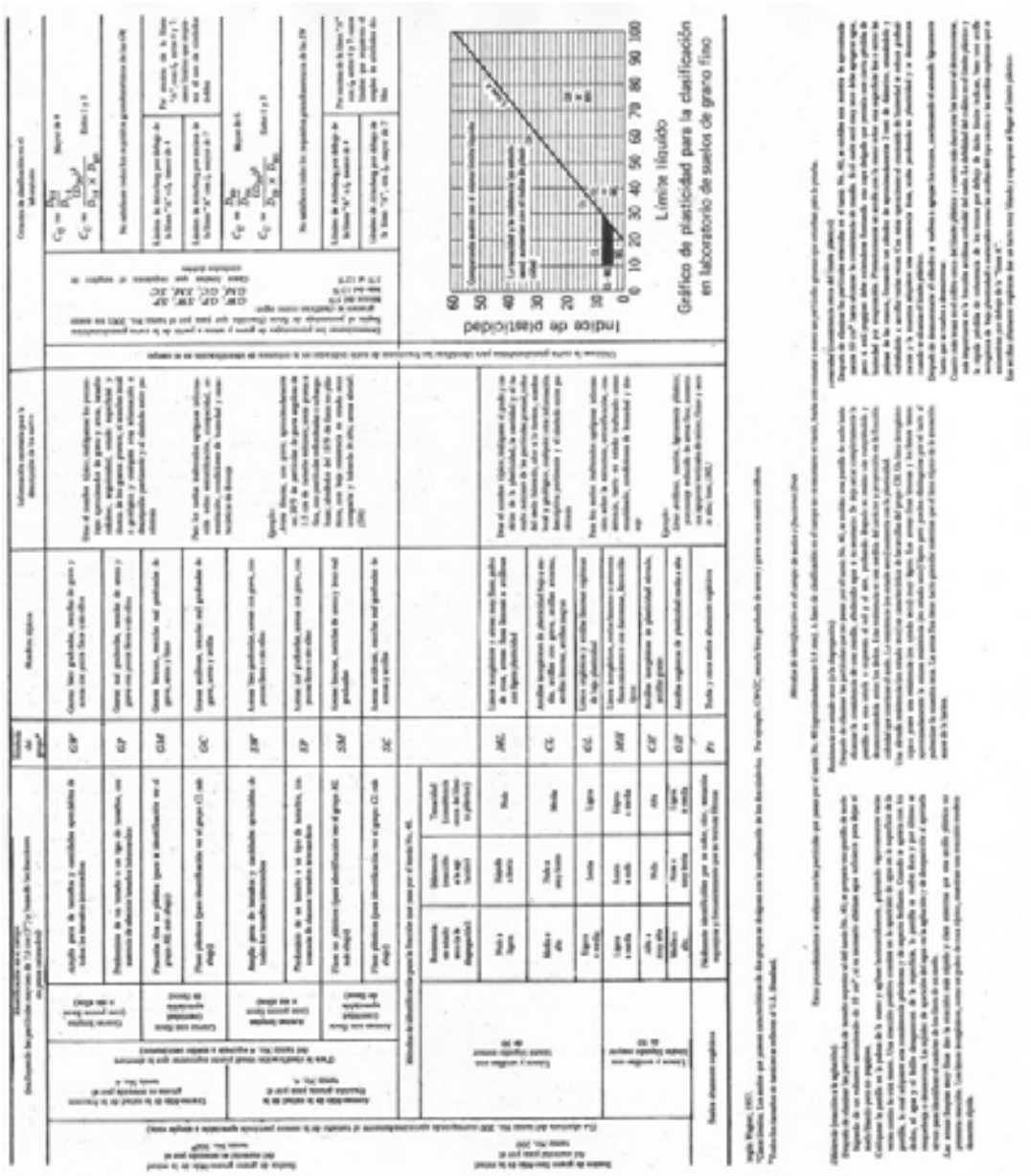


Fig. 1.3 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Este sistema distingue a los suelos finos de los gruesos de acuerdo a la cantidad de partículas que pasan por la malla No. 200 (0.074mm).

Por lo tanto, de acuerdo a lo anterior, un suelo es fino si mas del 50% de sus partículas en peso pasa por la malla No. 200. De la misma manera un suelo es grueso cuando más del 50% de sus partículas es retenida en la malla No. 200.

1.10.7.- Círculos de Mohr.

De acuerdo con la página de internet http://es.wikipedia.org, el círculo de Mohr es una técnica que sirve para calcular la inercia, deformación y tensiones en un tensor simétrico, formado por los esfuerzos normales principales (σ1 y σ3). Se considera además que los esfuerzos tangenciales son nulos (Fig. 1.5).

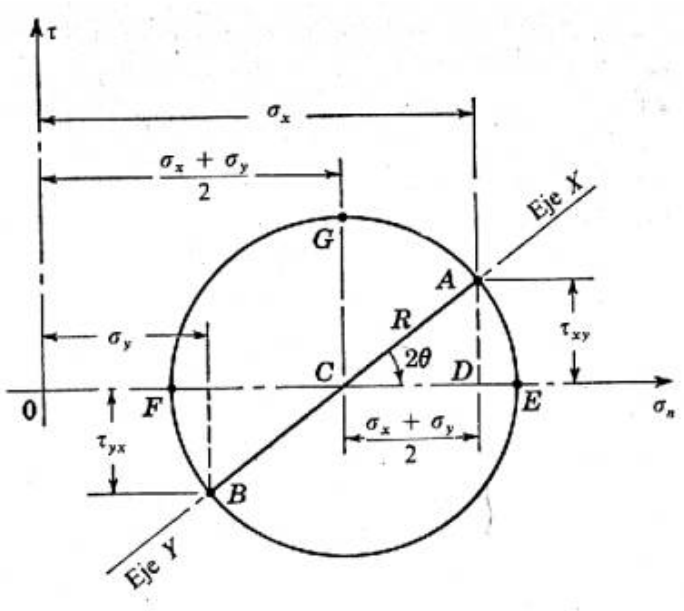


Fig. 1.5 Forma común del círculo de Mohr en Mecánica de Suelos.

Fuente: http://www.alipso.com/monografias/circulo_de_mohr/index_image004.jpg

1.10.8.- Pruebas de laboratorio.

En el presente apartado se describirán algunas pruebas de laboratorio a que son sometidos los materiales para la construcción de caminos, de acuerdo a la página de internet www.imt.com.mx.

a) Contenido de agua. Consiste en determinar el porcentaje de humedad que contiene un suelo. En dicha prueba se obtiene el peso de la muestra recién obtenida, posteriormente se elimina la humedad metiendo la muestra en un horno hasta secarla completamente, Como último paso se pesa la muestra seca y se obtiene el porcentaje de humedad en dicho suelo.

b) Límites de consistencia. También llamados “Límites de Atterberg” y que se definirán más adelante, se realizan para determinar las características plásticas de las muestras de suelos**.**

c) Compactación AASHTO. En esta prueba se determina la curva de compactación de un material. Consiste en compactar un material agregando diferentes contenidos de agua, mediante la aplicación de una misma energía de compactación en prueba dinámica.

1.10.8.1.- Importancia del estudio de mecánica se suelos.

La aplicación de un estudio de mecánica de suelos es de suma importancia, porque aporta datos confiables del tipo de material o materiales de que está constituido dicho suelo, así como la humedad adecuada a la cual se logra una compactación óptima para evitar futuros asentamientos en el camino. De igual

manera ayuda a prevenir problemas de inestabilidad en taludes y la conformación de terraplenes.

1.10.9.- Diferentes tipos de muestreo.

Se le llama muestreo en la mecánica de suelos al procedimiento por el cual se extrae una muestra representativa de un suelo, ya sea de manera inalterada o alterada, con el fin de realizar pruebas que permitan determinar las características de plasticidad, compactación, granulometría, etc.

Existen diferentes tipos de muestreo, según la página de internet del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), www.imt.com.mx, mismas que se describen a continuación:

a) Muestra inalterada. Se llama así a las muestras que se extraen de manera que su estructura física y sus propiedades permanecen prácticamente inalteradas en relación a su estado original. Consiste en una muestra de forma cúbica, que se protege de tal manera que no pierda su contenido de humedad y la estructura de la misma.

b) Muestras representativas. Son muestras que conservan su contenido de humedad, no así su estructura o forma original. Se extraen generalmente al mismo tiempo que la muestra cúbica inalterada.

c) Muestras integrales. Al extraer una muestra inalterada, se extraen también muestras del material disgregado que conforma cada uno de los estratos visibles del suelo, a estas muestras se les conoce como integrales.

1.10.10.- Procedimientos para tomar muestras.

Los métodos o procedimientos para la toma de muestras en campo son los siguientes:

- Pozos a cielo abierto, con muestra alterada o inalterada.

- Perforaciones con posteadores y barrenos.

- Métodos de lavado con muestras alteradas.

- Método de penetración estándar.

- Método de penetración cónica.

- Perforación en boleos y gravas.

- Método de perforación con tubo de pared delgada.

- Métodos rotatorios para excavación en roca.

1.10.11.- Límites de consistencia o de Atterberg.

Como se mencionó anteriormente, la plasticidad le permite a un suelo (arcillas) deformarse sin presentar rebote elástico, cambios apreciables de volumen y grietas.

Arias (1984), señala que se ha desarrollado varios métodos para medir la plasticidad de las arcillas; sin embargo el más utilizado es el de Atterberg, quien hizo la observación que la plasticidad no es permanente en las arcillas, sino que depende del contenido de agua de las mismas. De igual manera agrega que existen varios

estados de los suelos finos en función del contenido de agua, llamados Estados de Consistencia, como se muestra en la tabla 1.4.

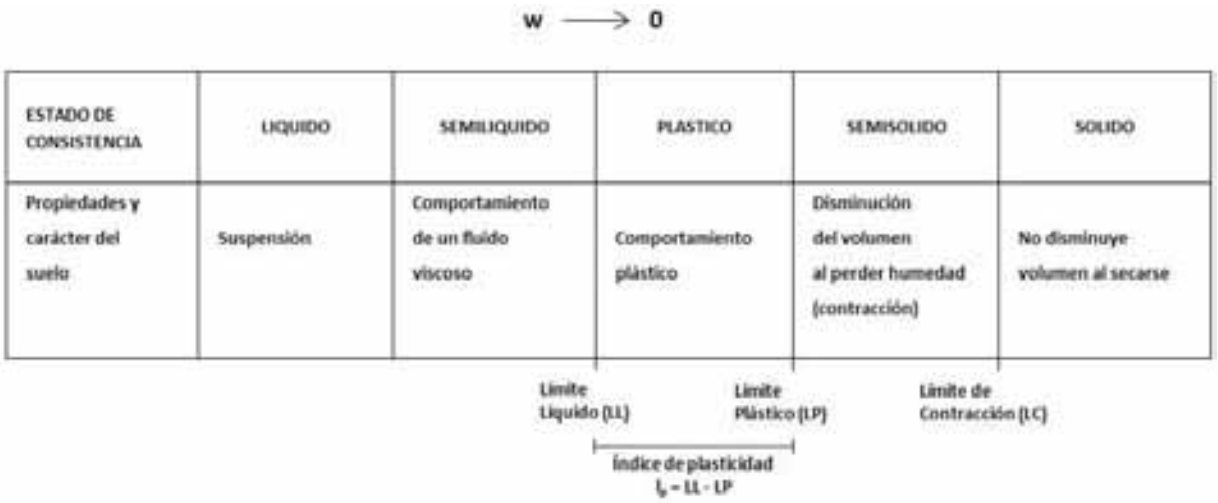


Tabla 1.4 Límites de Atterberg.

Fuente: Arias; 1984: 50

En referencia a Arias (1984), los estados de consistencia son fases por las que pasa un suelo al irse secando. Para definir las fronteras entre los diferentes estados Atterberg estableció lo que actualmente se conoce como “Límites de Atterberg”, de los cuales los más importantes son:

a) Límite Líquido (LL). Es el contenido de agua para el cual el suelo presenta una resistencia de 25 gr/cm^2. El valor del límite líquido se determina en el laboratorio mediante el método empírico de Casagrande, “que consiste en colocar una mezcla homogénea del suelo que se desea clasificar, dentro de la copa y enrasarlo, haciendo seguidamente con un ranurador una pequeña ranura y después, mediante una pequeña leva, la copa se levanta y cae repentinamente, repitiendo el procedimiento varias veces hasta que se cierra la ranura” (Arias; 1984: 50).

Debido a que el método de Casagrande es empírico, la determinación de dicho límite se hace mediante tanteos, es decir, se repite la prueba varias veces hasta que el número de golpes necesarios para que se cierre la ranura sea de 25, entonces se puede decir que se ha hallado el límite líquido. En la realidad se repite la prueba sólo cuatro veces, de manera que dos pruebas necesiten más de 25 golpes y las otras dos, menos de dicho número. Luego los resultados se representan de manera gráfica, con lo que se determina el límite líquido.

b) Límite Plástico (LP). Representa al contenido de agua en el cual el suelo empieza a perder sus propiedades plásticas, pasando a un estado semisólido. Su determinación se hace en el laboratorio, colocando $1cm^3$ de la mezcla agua-suelo y formando rollitos de ella con los dedos, de aproximadamente 3 mm de diámetro. Cuando al estar formando los rollitos, estos se empiezan a agrietar, se dice que se ha llegado al límite plástico, obteniendo rápidamente el contenido de agua.

c) Límite de Contracción (LC). Dice Arias (1984), que cuando un suelo pierde humedad, disminuye su volumen, debido principalmente a las fuerzas capilares producidas por el agua. En base a lo anterior, se conoce como límite plástico al contenido de humedad de un suelo que le permite mantener un volumen constante, aunque la humedad disminuya.

Los límites anteriormente mencionados son importantes, señala Arias (1984), para describir la plasticidad de una arcilla. Al rango de contenidos de agua para los cuales una arcilla se encuentra en el estado plástico se le conoce como Índice de

Plasticidad (I), el cual se obtiene de la diferencia entre el Límite Líquido y el Plástico (Ver tabla 1.4).

$$I_p = LL - LP$$

1.10.11.1.- Carta de plasticidad.

De acuerdo con lo que señala Arias (1984), Casagrande creó la Carta de Plasticidad, en base al Límite Líquido y al Índice de Plasticidad. Dicha carta sirve para obtener características cualitativas del comportamiento de un suelo. A continuación se muestra la Carta de Plasticidad, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS):

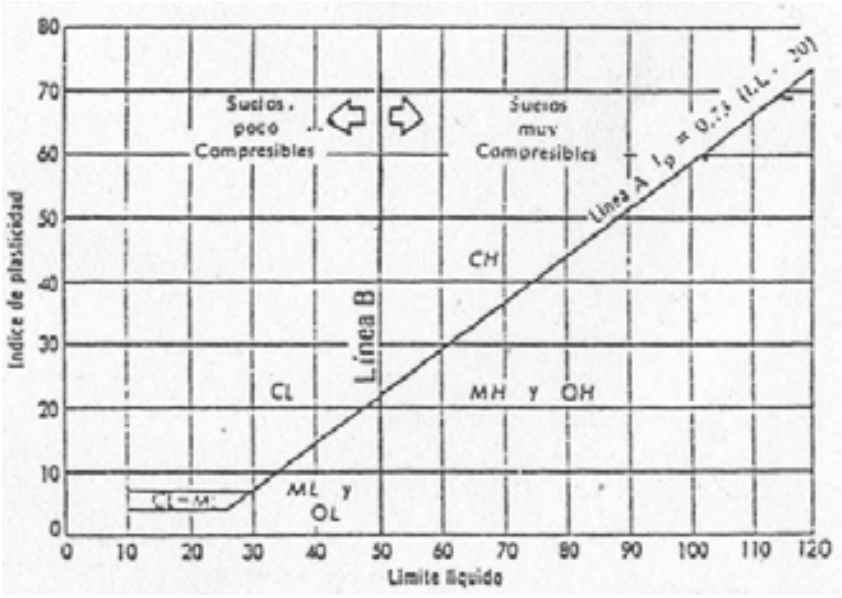


Fig. 1.4 Carta de plasticidad, creada por Atterberg.

Fuente: Arias; 1984: 53

Los suelos se dividen de acuerdo a su límite líquido en dos grupos, los que tienen un límite menor a 50 son suelos de baja compresibilidad y se identifican con la letra L (low compresibility). Los suelos con índice de plasticidad mayor a 50 son de

alta compresibilidad y llevan el símbolo H (high compresibility). De manera que aumenta el límite líquido, aumenta la compresibilidad de un suelo arcilloso, como puede verse en la carta de plasticidad (Fig. 1.4).

1.10.12.- Compactación.

Según la página de internet www.ucn.cl, la compactación es el proceso artificial mediante el cual se obliga a las partículas de un suelo a permanecer más en contacto unas con las otras, reduciendo la relación de vacíos, lo que trae como consecuencia un mejoramiento en las propiedades de dicho suelo.

Algunos beneficios de la compactación son los siguientes:

a) Aumento en la capacidad de carga de un suelo.

b) Reducción de los asentamientos del suelo.

c) Reducción del escurrimiento y filtraciones de agua.

d) Reducción del esponjamiento y contracción del suelo.

e) Se evitan los daños que producen las temperaturas bajas en los suelos.

Para determinar la compactación ideal de un suelo se someten las muestras extraídas en campo a pruebas de laboratorio, siendo las más comunes la prueba Proctor y la prueba Porter, mismas que se definen a continuación.

1.10.12.1.- Prueba Proctor.

De acuerdo con la página de internet www.construaprende.com/, la prueba Proctor consiste en compactar el suelo en tres capas dentro de un molde de

dimensiones y formas predefinidas, mediante golpes de un pisón, que se deja caer libremente de una altura definida. Este procedimiento fue ideado por R. R. Proctor, método que también es conocido como “Prueba Proctor Estándar”.

El objetivo de ésta prueba consiste en encontrar la humedad óptima de compactación de un suelo. R. R. Proctor observó que a contenidos de humedad crecientes, a partir de valores pequeños, se obtenían valores de pesos específicos altos, logrando cada vez una mejor compactación del suelo; sin embargo, también se dio cuenta que al sobrepasar la humedad cierto límite, los valores de los pesos específicos tendían a bajar, ocasionando unas peores compactaciones. En base a lo anterior, R. R. Proctor dedujo que existe una humedad llamada “óptima”, que produce el máximo valor del peso específico seco que puede lograrse con este procedimiento de compactación.

El equipo empleado para llevar a cabo la prueba Proctor Estándar es el siguiente:

- Molde de acero de 4" de diámetro y aprox. 12 cm de altura.
- Martillo de compactación con guía.
- Base y extensión para el molde.
- W del martillo (prueba estándar).
- W del martillo (prueba modificada).
- Malla del No. 4.
- Cucharón.
- Enrazador.

- Probeta de 100ml.
- Cápsulas de aluminio.
- Desarmador plano.
- Charola cuadrada.
- Balanza con aproximación de un gramo.
- Balanza electrónica.
- Vernier o flexo-metro.
- Bases para compactar.

1.10.12.2.- Prueba Porter.

Ésta prueba fue introducida por O. J. Porter, y tiene como objetivo determinar el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima. Se usa para suelos friccionantes y consiste en compactar el suelo en tres capas colocándolo dentro de un molde cilíndrico mediante golpes de una varilla con forma de bala.

La compactación se logra al aplicar a las tres capas, una presión de 140.6 Kg/cm^2, la cual se mantiene durante un periodo de tiempo de un minuto.

Como ya se mencionó anteriormente, este método sirve para determinar el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima en suelos con partículas gruesas que se emplean en la construcción de terracerías. También es empleado en arenas y en materiales finos con índice plástico menor a 6. El equipo usado para esta prueba es el siguiente:

- Molde con base y extensión de 6" de diámetro y 5" de altura.

- Varilla con punta de bala.
- Probeta de 500 ml.
- Cápsula de aluminio.
- Charola cuadrada.
- Balanza con capacidad de 20 kg y otros con aproximación de 1gr.
- Horno.
- Máquina para aplicar carga o presión con capacidad de 30 toneladas.

CAPÍTULO 2

DRENAJE

De acuerdo con Crespo (2005), se conoce como drenaje a la obra que permite que el agua acumulada en cierta zona, fluya por la superficie o por infiltraciones en el terreno. En este capítulo se tratará lo concerniente al drenaje en carreteras, así como los aspectos más relevantes para este tipo de obras. De igual manera se definirán las características necesarias y el proceso de cálculo que lleva al diseño de un sistema de drenaje.

2.1.- Antecedentes.

Se puede considerar como antecedente de los drenajes de caminos a las obras de canalización realizadas por los romanos, mismas que servían para desalojar el agua de los edificios y calles hacia lugares alejados de la población.

2.2.- Objetivo de una obra de drenaje.

De acuerdo a lo que señala Crespo (2005), el objetivo de una obra de drenaje, es principalmente, reducir al máximo la cantidad de agua que de una u otra forma llega a un camino, y cuyo segundo objetivo consiste en dar una salida rápida al agua que llegue al camino.

También menciona que un camino con buen drenaje es aquel que evita que el agua circule en cantidades grandes por el propio camino, así como también que el agua se estanque en las cunetas.

2.3.- Hidrología.

De acuerdo con Aparicio (1993), la Hidrología es la ciencia que estudia al agua, su existencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, así como las propiedades físicas y químicas. De igual manera la influencia sobre el medio ambiente y la relación con los seres vivos.

Aplicando la hidrología a la ingeniería, se tiene la Ingeniería Hidrológica o Hidrología aplicada, que según Aparicio (1993), es la rama que se encarga de estudiar aquellos aspectos de la hidrología que involucren el diseño y operación de proyectos de ingeniería para el control y aprovechamiento del agua.

Entre las obras de ingeniería que requieren análisis hidrológicos se encuentran: puentes, estructuras para el control de avenidas, presas, vertedores, sistemas de drenaje para poblaciones, carreteras, aeropistas y sistemas de abastecimiento de agua.

La hidrología mantiene estrechas relaciones con otras ciencias, como la climatología, la geología, la meteorología, la hidráulica, la oceanografía y la estadística.

Dada la importancia de la hidrología, es necesaria la existencia de organismos dedicados a recolectar y difundir los datos hidrológicos de las regiones. En México los organismos que se encargan de dicha tarea son la Comisión Nacional del Agua (CNA), la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).

2.3.1 Historia de la hidrología.

En este aspecto, Aparicio (1993), señala que los inicios de la hidrología se remontan a la construcción de las primeras obras de ingeniería de la antigüedad que se utilizaban para abastecer de agua a las ciudades, para regar campos de cultivo y para comprender el medio físico que rodea a la humanidad.

Por otro lado, Monsalve (1999), describe la historia de la hidrología en relación a personajes o fechas importantes, de la siguiente forma:

- Platón y Aristóteles hablaron del ciclo del agua, equivocándose al señalar que las aguas que escurren son mayores a las que se precipitan en forma de lluvia.

- En 1500, Leonardo Da Vinci habla por vez primera del ciclo del agua.

- En 1650, Perrault efectúo estudios hidrológicos en el rio Sena, estableciendo que el caudal del rio representaba una sexta parte del total de la precipitación.

- En 1700, el astrónomo Edmund Halley estableció una relación entre evaporación, precipitación y caudal, al señalar que la evaporación sirve para alimentar el caudal de todos los ríos.

- En 1930, inicia el desarrollo cuantitativo de la hidrología.

2.3.2.- Ciclo del agua.

En referencia a la página de internet http://es.wikipedia.org, se le llama así al proceso de circulación de agua entre los diversos compartimientos de la hidrósfera, en el cual hay una mínima intervención de reacciones químicas, lo que significa que el agua solamente es transportada de un lugar a otro y que cambia de estado físico (Fig. 2.1).

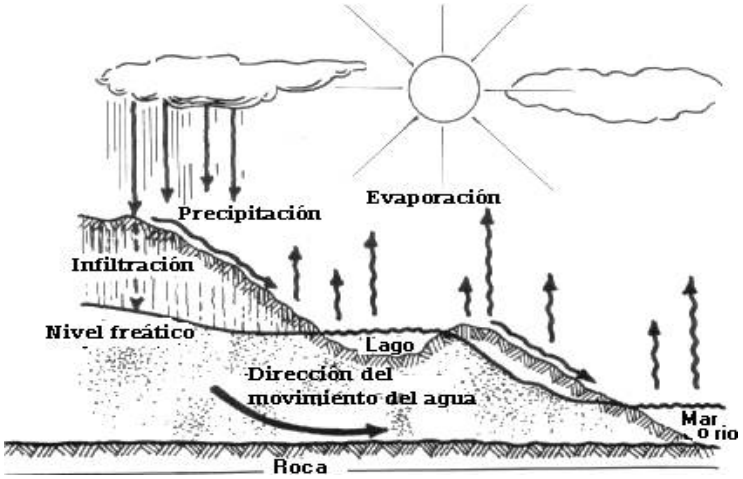


Fig. 2.1 El ciclo hidrológico.

Fuente: http://www.jmarcano.com/nociones/ciclo1.html

En la naturaleza, el agua se encuentra en tres estados:

- Sólido.
- Líquido.
- Gas.

La distribución del agua en la tierra de acuerdo con su naturaleza es:

Agua de mar	97.000%
Glaciales	2.400%
Agua subterránea	0.540%
Agua superficial	0.059%
Agua atmosférica	0.001%

Los distintos procesos que tienen lugar en el ciclo del agua son los siguientes: evaporación, precipitación, infiltración, escurrimiento y circulación subterránea, conceptos que se definen a continuación.

2.3.2.1- Evaporación.

Es la transformación física que experimenta el agua en una superficie libre a una temperatura menor a la de su punto de ebullición. Este proceso se inicia desde el momento es que se presenta la precipitación y ocurre en cada una de las etapas del ciclo hidrológico.

2.3.2.2- Precipitación.

Es la caída de agua en forma de partículas acuosas, líquidas o sólidas, en forma de cristales o amorfas. Dichas partículas caen desde una nube o grupo de nubes hasta alcanzar el suelo.

2.3.2.3- Infiltración.

Este fenómeno ocurre cuando el agua que alcanza el suelo penetra por el mismo a través de sus poros y pasa a ser subterránea. La cantidad de agua que se infiltra depende de la permeabilidad del suelo, de la pendiente y de la vegetación. Parte del agua infiltrada se evapora o es extraída por las raíces de las plantas, la

restante se incorpora en forma de agua subterránea a los acuíferos, que contienen agua estancada o circulante.

2.3.2.4- Escurrimiento.

Es la porción de la precipitación que escurre por la superficie o por debajo del terreno. Denominándose escorrentía superficial y escorrentía subterránea respectivamente.

2.3.2.5- Agua subterránea.

Es el agua que circula por debajo del terreno, a causa de la gravedad, de la misma manera que la escorrentía superficial, pudiendo formar depósitos subterráneos o corrientes de agua. El agua subterránea alcanza los acuíferos superficiales cuando las características topográficas del terreno crean una intersección entre el nivel freático y la superficie del terreno.

2.3.2.6- Conceptos adicionales.

Los procesos definidos anteriormente son los más importantes en el ciclo del agua; sin embargo Monsalve (1999), hace señalamiento a otros conceptos que es conveniente definir. Aunque de menor importancia que los anteriores, también influyen en el ciclo del agua.

- *Transpiración*. Es el proceso por el cual el agua de las plantas pasa a la atmósfera en forma de vapor.

- *Evapotranspiración*. Es la cantidad de agua que pasa del suelo a la atmósfera por evaporación y por la transpiración de las plantas.

- *Condensación*. Es el proceso por el cual el agua en estado de vapor pasa al estado líquido en la atmosfera.

- *Intercepción*. Es el proceso por el que la precipitación es detenida y retenida por la vegetación y estructuras, convirtiéndose en vapor antes de penetrar en el suelo.

- *Almacenamiento por depresiones*. Es el almacenamiento de agua que se presenta en zonas bajas del terreno.

- *Percolación*. Es el flujo de agua a través de un medio poroso, como el agua a través del suelo en presencia de gradientes hidráulicos bajos.

- *Agua capilar*. Es un aspecto importante cuando se trata con medios porosos, como el suelo. Se presenta cuando la fuerza de adhesión del agua con el suelo es mayor a la fuerza de cohesión del propio líquido.

- *Derretimiento*. Es el proceso por el cual, en presencia de calor, el agua pasa el estado sólido al estado líquido.

- *Filtración*. Se le llama así al movimiento del agua a través de estructuras.

2.3.3. Ecuación fundamental de la hidrología

Esta ecuación especifica que “Lo que entra menos lo que sale es igual al cambio de almacenamiento” (Monsalve; 1999, 25).

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Donde:

Entradas (I):

- Precipitación.

- Importaciones de agua.

- Escurrimiento superficial de otras cuencas.

- Aguas subterráneas desde otras cuencas.

Salidas (O):

- Evaporación.

- Transpiración.

- Escurrimiento superficial hacia otras cuencas.

- Exportaciones de agua.

- Aguas subterráneas hacia otras cuencas.

- Infiltración.

Cambio de almacenamiento (ΔS):

- Almacenamiento de aguas subterráneas.

- Almacenamiento por cambio de humedad del suelo.

- Almacenamiento superficial en embalses, en canales y en el propio escurrimiento superficial.

2.3.4.- Cuenca hidrológica.

Una cuenca hidrológica, también llamada hoya hidrográfica, es una zona de la superficie terrestre, en donde el caudal de la precipitación que cae sobre ella es drenada por las corrientes hacia un mismo punto de salida (Aparicio, 1993).

La anterior definición se aplica para una cuenca superficial; sin embargo, para cada una de estas cuencas existe una cuenca subterránea. De acuerdo con el tipo de salida del agua, existen dos tipos de cuencas:

a) Cuenca endorreica. El punto de salida del agua se encuentra dentro de los límites de la cuenca, por lo general se forma un lago en dicho punto.

b) Cuenca exorreica. El punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y se ubica en otra corriente, o en el mar.

Al hacer el análisis de una cuenca se pueden definir tres partes principales:

a) El parteaguas es una línea imaginaria que marca las fronteras de la cuenca con otras cuencas vecinas y está definida por los puntos de mayor elevación topográfica.

b).- El área de la cuenca es la parte interior que queda delimitada por el parteaguas, siendo la zona que recibe la precipitación pluvial.

c) La corriente principal de una cuenca es la corriente que pasa por la salida de la misma, para una cuenca exorreica. A toda corriente aparte de la principal se le conoce como corriente tributaria. De la misma manera, Aparicio (1993), señala que todo punto de una corriente consta de una cuenca de aportación, también que toda

cuenca tiene una, y sólo una corriente principal. Las cuencas que corresponden a las corrientes tributarias y a los puntos de salida se conocen como cuencas tributarias o subcuencas.

Una cuenca con gran número de corrientes tributarias, en otras palabras, mientras mayor sea el grado de bifurcación de una cuenca, esta tendrá una respuesta más rápida a la precipitación.

En base a lo anterior, se ha determinado clasificar las corrientes de una cuenca, de acuerdo a sus ramificaciones o corrientes tributarias, de la forma siguiente:

Una corriente de orden 1, es aquella que no tiene corrientes tributarias que descargan en ella, una corriente de orden 2 tiene sólo tributarios de primer orden. Dos corrientes de orden 1 dan lugar a una corriente de orden 2, dos corrientes de orden 3 crean una de orden 4.

Siguiendo el procedimiento anterior se dice que el orden final de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal de la misma.

El grado de bifurcación de una cuenca se puede determinar también en base a la densidad de corrientes (D_s), que se define como el número de corrientes intermitentes y perennes por unidad de área, y a la densidad de drenaje (D_d), definida como la longitud de corrientes por unidad de área.

$$D_s = \frac{Ns}{A} \quad (Ec. 2.1)$$

$$D_d = \frac{Ls}{A} \quad (Ec. 2.2)$$

Donde:

Ns = Número de corrientes perennes e intermitentes.

Ls = Longitud total de las corrientes.

A = Área total de la cuenca.

En este aspecto, un valor alto en el orden o densidad de corrientes significa que la cuenca en estudio está altamente disectada y que responde rápidamente a la precipitación de una tormenta. Aparicio (1993), comenta que los valores bajos en el orden o densidad de las corrientes se dan en lugares donde el suelo es muy resistente a la erosión o muy permeables. Por el contrario, en suelos altamente erosionables o impermeables, con pendientes altas y con poca vegetación, dichos valores son altos.

La pendiente del cauce principal de una cuenca es un indicador importante que señala el grado de respuesta a una tormenta. Dado que la pendiente no es uniforme a lo largo del cauce, se hace necesario definir una pendiente media usando diversos métodos. Aparicio (1993), describe tres métodos, los cuales se explican dos a continuación.

a) La pendiente es igual al desnivel que existe entre los extremos de la corriente, dividido entre su longitud media en planta (Fig. 2.2).

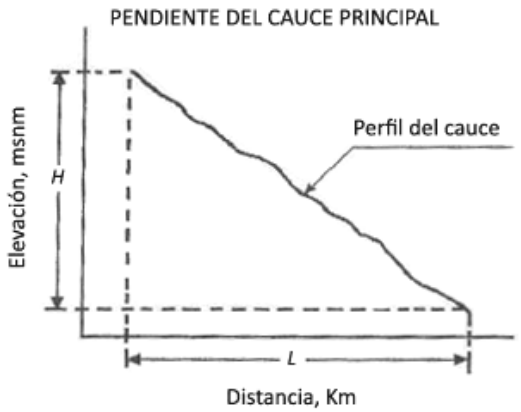


Fig. 2.2 Pendiente del cauce principal

Fuente: Aparicio; 1993, 22

b) “La pendiente media es la de una línea recta que, apoyándose en el extremo de aguas debajo de la corriente, hace que se tengan áreas iguales entre el perfil del cauce y arriba y debajo de dicha línea” (Aparicio; 1993, 23).

2.4.- Avenida de diseño.

Se le llama así a la avenida que se usa para calcular una obra hidráulica o de drenaje. Para tal fin es necesario conocer la avenida máxima que cae sobre el sitio donde se va a construir la obra, esto con el objetivo de obtener el diseño adecuado para dicha obra, dependiendo de las necesidades existentes y del criterio propio del calculista.

2.4.1.- Cálculo de la avenida de diseño.

Existen varios métodos para obtener la avenida de diseño, mismos que se dividen en empíricos, como el de Creager, y probabilísticos, como el de Gumbel.

Método de Gumbel.

$$Qd = Qm - \left(\frac{\sigma Qmax}{\sigma n}\right)(Yn + Ln\ln\left(\frac{Tr}{Tr-1}\right))$$

Donde:

Qd = Gasto de diseño en m^3/s.

Qm = Gasto medio de la muestra.

σQmax = Desviación estándar de los gastos máximos.

σn, Yn = Parámetros = F(tamaño de la muestra).

Tr = Periodo de retorno

Para el periodo de retorno:

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

Donde:

n = Años de registro.

m = Número de orden el evento.

2.5.- Tipos de drenaje.

Existen dos tipos de drenaje en carretera, de acuerdo con Crespo (2005), drenaje subterráneo y drenaje superficial, los cuales se definen a continuación.

2.5.1.- Drenaje subterráneo.

Crespo (2005), menciona que el drenaje subterráneo, o subdrenaje, consiste en colocar ductos que controlen el escurrimiento entre las capas impermeables o vasos de almacenamiento en la zona por la que pasa un camino.

Toda zona que requiera de drenaje subterráneo se debe tratar como un caso individual y diferente, aplicando los principios de ingeniería en su solución.

Aunque este tipo de drenaje es menos importante que el drenaje superficial, se tiene que tomar en cuenta que, por el tipo de terreno, hay lugares donde es imprescindible el drenaje subterráneo, menciona Crespo (2005). Agrega que un sistema de drenaje subterráneo y superficial bien proyectado e instalado correctamente ocasiona grandes ahorros en el costo de mantenimiento.

A continuación se describen los tipos más comunes de obras de drenaje subterráneo, usadas para impedir que el agua llegue al camino y para remover la que haya llegado.

a) Zanjas. Se construyen paralelas al camino, alejadas una distancia razonable del mismo y se usan principalmente en zonas bajas. El objetivo de este tipo de drenaje es mantener el nivel freático en un nivel que no afecte a la constitución del camino. Las dimensiones comunes de estas zanjas, señala Crespo (2005), es de 0.60m en la base y de 0.90m a 1.20m de profundidad. De igual manera menciona que el uso de este tipo de subdrenaje debe decidirse con cuidado, de acuerdo a los materiales de la zanja y la conservación de la misma, además de no colocarlas de manera indiscriminada, pues cuando se usan cerca del camino son

muy peligrosas para los vehículos que salgan del acotamiento y generan un mal aspecto.

b) Drenes ciegos. Son zanjas rellenas de piedra quebrada o grava, que funciona a manera de filtro, dando buenos resultados cuando se construyen en forma adecuada. Se colocan paralelos al camino, uno a cada lado y debajo de las cunetas. Las dimensiones de los drenes ciegos son de 0.45m de ancho y de 0.60m a 0.90m de profundidad. Crespo (2005), dice que la efectividad de los drenes ciegos depende de conservar una pendiente uniforme y de desfogar a una salida adecuada. Se deben construir de manera cuidadosa, porque de lo contrario solo agravan el problema, reteniendo agua donde se desea eliminarla. Por último, se debe tener especial cuidado en graduar el material con que se rellena la zanja, porque se puede azolvar con lodo al presentarse una lluvia fuerte.

c) Drenes de tubo. Este tipo de drenaje consiste en colocar tubos de barro o de concreto en una zanja previamente excavada. Este sistema es mucho más efectivo que el formado por zanjas abiertas o drenes ciegos. Crespo (2005), marca que un correcto funcionamiento de este subdrenaje depende de la satisfacción de tres requisitos. Estos requisitos se refieren al aplastamiento, flexión, presión hidráulica, capacidad de infiltración y durabilidad.

1.- Aplastamiento. La tubería colocada debe ser resistente, para soportar el peso del relleno, sobre todo cuando se colocan en la zona de tránsito. Porque una falla en la tubería puede causar la falla de todo el sistema de subdrenaje.

2.- Flexión. Es necesaria la colocación de juntas adecuadas con el fin de permitir que los tubos se flexionen un poco, permitiendo el amoldamiento a las irregularidades de la plantilla.

3.- Presión hidráulica. Las juntas además de permitir cierta flexión en la tubería, deben evitar el escape de agua cuando el tubo de drenaje trabaje a presión, evitando con ello la socavación que se pudiera presentar al salir el agua.

4.- Capacidad de infiltración. Aquí menciona Crespo (2005), que este requisito depende de si el tubo es o no perforado, señalando que las perforaciones son para permitir la máxima infiltración, evitando la entrada de lodo y material de relleno lo mejor posible.

5.- Durabilidad. Una tubería durable debe ser resistente a la desintegración, erosión y corrosión.

El tamaño de los tubos para este tipo de drenaje depende del tipo de terreno por drenar, del tipo de tubo, de la precipitación y de la pendiente de la tubería. Si se quiere conocer la cantidad de agua que llega al subdrenaje, señala Crespo (2005), de manera teórica, basta con calcular la diferencia entre la precipitación y el escurrimiento superficial.

Por otro lado, para conocer el área que un tubo subdrenaje drenará, es necesario determinar la distancia a cada lado del tubo que influenciará este para abatir en nivel freático. En suelos de arena suelta se supone, de acuerdo con Crespo (2005), que para un tubo a 1.20m de profundidad la distancia es de 30m a cada lado. En terrenos formados por arcillas compactas la distancia es de apenas 9m y en

zonas donde el terreno es muy suelto la distancia puede llegar a 60m a cada lado del tubo. Adicionalmente, se considera una distancia de 15m para la mayoría de los suelos que requieren drenaje subterráneo y para las condiciones ordinarias encontradas en los caminos, basta con un tubo de 4” de diámetro, y rara vez el de 6”. Evitando a toda costa los diámetros menores a 4”, debido a que se azolvan con facilidad.

2.5.1.1.- Secuela en el proyecto de drenaje subterráneo.

El primer paso para el proyecto de un sistema de drenaje subterráneo consiste en localizar el agua subterránea que afecta o afectará al camino, determinando de donde nace y hacia donde se inclina la capa freática.

Lo anterior se logra con el muestreo del terreno en diferentes lugares, levantando secciones transversales y perfiles, anotando los resultados de los muestreos de cada sondeo señalando la clasificación de los suelos y le humedad en diferentes niveles.

Los siguientes datos de campo, marca Crespo (2005), son esenciales para el proyecto de drenaje subterráneo.

a) Plano del lugar a escala, indicando:

1.- La distancia de la línea del centro del camino al pie del talud del terraplén, a la cima del talud del corte y el eje de las cunetas.

2.- Localización, así como las dimensiones de las obras de drenaje existentes.

3.- Localización de banquetas, zonas impermeables, entradas a las propiedades adyacentes, cercas, etc.

4.- Localización de los sondeos.

b) Perfiles de:

1.- Línea del centro del camino.

2.- Nivel de agua en las cunetas tanto en creciente como normalmente.

3.- Nivel de agua en creciente y normal en obras de drenaje superficial.

c) Secciones transversales indicando:

1.- Curvas de nivel de los estratos superficiales y subterráneos.

2.- Elevación del nivel freático y del fondo del estrato acuífero.

3.- Clasificación de los estratos que componen el terreno.

4.- Ancho del pavimento del camino.

5.- Ancho del terraplén en la corona.

2.5.1.2.- Estudios de mecánica de suelos.

Las muestras que se obtienen durante el reconocimiento de la zona, son enviadas a un laboratorio de mecánica de suelos. Dichas muestras son inspeccionadas realizándoles pruebas de clasificación petrográfica, granulometría, características plásticas, humedad en el lugar, etc. lo que permite trazar un perfil geológico aproximado de las diversas rutas probables de la localización.

Finalmente, con todos los datos obtenidos se puede determinar la alternativa más estable y económica, menciona Crespo (2005).

2.5.2.- Drenaje superficial.

Es el que se construye sobre la superficie del camino o terreno, mismo que cumple funciones de captación, defensa y cruce.

2.5.2.1.- Obras de captación y defensa.

Son aquellas que tienen como fin recibir el agua que llega al camino y darle una rápida y adecuada salida para evitar daños en el propio camino. Entre las obras de captación y defensa se tienen las cunetas, las contracunetas, el bombeo y los lavaderos, también llamados vertederos.

a) Cunetas. Son zanjas que se construyen en uno o ambos lados del camino, con el propósito de conducir el agua pluvial que cae sobre la corona, sobre los cortes y lugares adyacentes hacia un lugar determinado, donde no provoque daños, de acuerdo con Crespo (2005). Una cuneta está diseñada para captar el agua de la mitad del camino, en tramos rectos, y de todo el camino en las curvas.

Las cunetas se construyen de sección transversal triangular o trapecial y su diseño se basa en los principios usados para canales abiertos. Comenta Crespo (2005), que para un flujo uniforme en una cuneta se usa la fórmula de Manning:

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

Donde:

V = Velocidad promedio en metros por segundo.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

R = Radio hidráulico en metros (Área de la sección entre el perímetro mojado).

S = Pendiente del canal en metros por metro.

A continuación se definen los valores de la fórmula de Manning para distintos tipos de materiales.

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

Incluyendo la fórmula del gasto en la fórmula de Manning, se tiene que:

$$Q = A\frac{1}{n}R^{2/3}S^{1/2}$$

En donde:

Q = Descarga en metros cúbicos por segundo.

A = Área de la sección transversal del flujo en metros cuadrados.

El objetivo que se busca en la construcción de cunetas, menciona Crespo (2005), es que sean se sección transversal adecuada y que sean fáciles de construir

y de mantener. También menciona que el Ingeniero debe determinar las dimensiones de las cunetas de acuerdo a su juicio, tomando en cuenta las condiciones climatológicas, topográficas y geológicas del lugar; pero de preferencia determinar las dimensiones por comparación de lugares semejantes donde se haya experimentado el funcionamiento de cunetas.

La tendencia en la actualidad se enfoca a la construcción de cunetas con las menores dimensiones posibles, con el fin de aumentar la seguridad para el usuario, así como la economía en la construcción y el mantenimiento de las mismas.

Como detalle adicional, señala Crespo (2005), en la construcción de cunetas se debe emplear una sección transversal constante para garantizar los aspectos de seguridad y conservación, así como facilitar la construcción y lograr una buena apariencia.

b) Contracunetas. Son zanjas que se construyen en lugares convenientes, cuyo fin es evitar que llegue a las cunetas una mayor cantidad de agua para la cual fueron proyectadas. Estas zanjas se construyen de manera transversal a la pendiente del terreno, captando el agua y alejándola de los terraplenes y cortes.

Este tipo de drenaje superficial es recomendable para terreno montañoso, o en lomerío, observando la naturaleza geológica del terreno. Se calculan igual que las cunetas, siendo la sección común de 50cm de plantilla y taludes de 1:1, con material compactado adecuadamente. Crespo /2005), dice que las cunetas se deben colocar a una distancia de cinco metros del talud del corte, y la longitud de las mismas deberá ser la necesaria para llevar el agua hasta una zona que no afecte el camino.

c) Bombeo del camino. Se denomina así a la forma de la sección transversal de un camino, cuyo objetivo es drenar hacia los lados el agua que cae en el propio camino. Dicho bombeo depende del tipo de superficie, la facilidad de circulación de los vehículos y el aspecto del camino. También señala Crespo (2005), que en México se usa un bombeo de 2% para caminos asfaltados y de 1.5% para los de concreto hidráulico.

d) Lavaderos o vertederos. Se llama así a la obra de mampostería de concreto o de piedra, que sirve para conducir el agua de los taludes, terraplenes o de terreno erosionable, hasta lugares donde no pueda afectar el camino en cualquier forma. Las dimensiones y forma de los lavaderos son totalmente a criterio del ingeniero drenajista.

2.5.2.2.- Obras de cruce.

Denominadas también como de drenaje transversal, son obras cuyo objetivo es permitir el paso del agua a través del camino, de manera rápida. Se utilizan cuando la corriente de agua no se puede desviar con otros métodos. Crespo (2005), menciona que las obras de cruce están conformadas por las alcantarillas y los puentes, incluyendo además los vados y los puentes-vados.

A continuación se proporcionará información relacionada a los vados y puentes-vados, el tema de las alcantarillas y los puentes, dada su importancia, se definirá más adelante.

a) Vados. Se le llama así a un tramo del camino por donde es permitido que el agua cruce de un lado al otro, invadiendo la superficie de rodamiento. Se construyen

generalmente en zonas donde llega a escurrir agua de manera esporádica, de tal manera que no es necesaria la construcción de una alcantarilla. Consiste en pavimentar con concreto el tramo por donde cruza el agua, asegurando que el concreto no sea dañado por el paso eventual de una corriente, indicando a los usuarios el tirante de agua para que ellos mismos decidan si pueden o no cruzar el vado (Fig. 2.3).

De igual manera, Crespo (2005) dice que un vado bien hecho debe cumplir con los siguientes requisitos:

1) La superficie de rodamiento no se debe erosionar al pasar el agua.

2) Debe evitarse la erosión y la socavación aguas arriba y aguas abajo.

3) Debe facilitar el escurrimiento para evitar regímenes turbulentos.

4) Debe tener señales visibles que indiquen cuando no debe pasarse porque el tirante del agua es demasiado alto y peligroso.

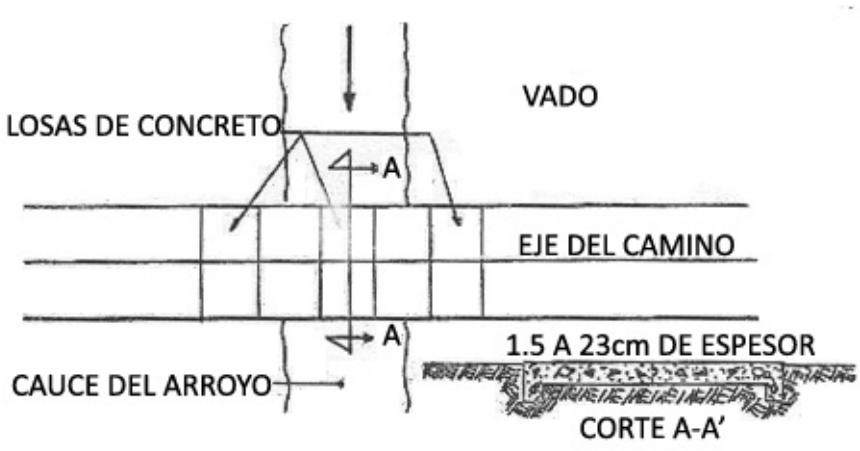


Fig. 2.3 Los vados se construyen en zonas con escurrimientos esporádicos.

Fuente: Crespo; 2005, 185

b) Puente-vado. En referencia a Crespo (2005), un puente vado, también llamado puente bajo es una estructura en forma de puente que permite el paso del agua por abajo en presencia del gasto máximo ordinario. Al presentarse el gasto máximo extraordinario el puente asume la función de vado, permitiendo el paso del agua por la superficie de rodamiento (Fig. 2.4). Se recomienda para caminos vecinales, siempre y cuando cumpla con los siguientes requisitos:

1) Contar con una altura y longitud tal que permita el paso del gasto de avenidas ordinarias.

2) Tener una superestructura con las mínimas dimensiones para garantizar una menor obstrucción al paso del agua.

3) Que la altura de la superestructura este abajo del nivel de las aguas máximas extraordinarias, tanto, que permita el paso de los obstáculos que arrastre la corriente por encima de la estructura sin dañarle.

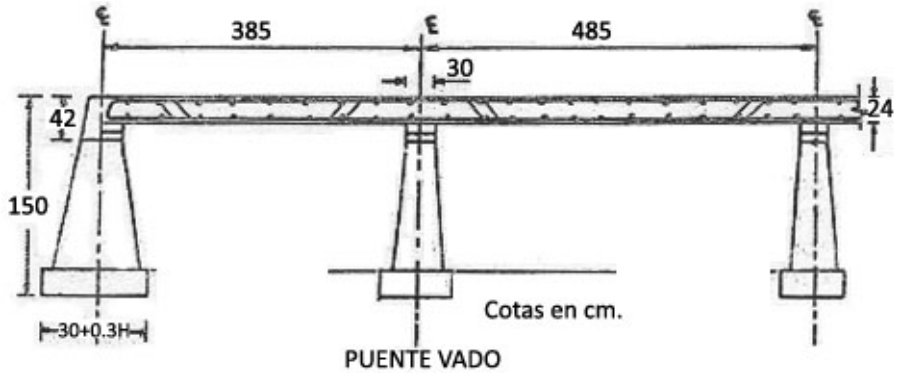


Fig. 2.4 Puente vado.

Fuente: Crespo; 2005, 186

2.6.- Alcantarillas.

De acuerdo con Crespo (2005), las alcantarillas son estructuras transversales al camino, que permiten el paso del agua por debajo del camino. Para que una alcantarilla sea considerada como tal, debe medir menos de seis metros, pudiendo ser de forma rectangular, cuadrada, en arco o tubular. Están construidas de concreto, lámina, piedra o madera.

Se distinguen dos partes fundamentales en la estructura de una alcantarilla: el cañón y los muros de cabeza.

El cañón es la parte por donde circula el agua que atraviesa el camino, los muros de cabeza se utilizan para impedir la erosión alrededor del cañón en la entrada y salida del agua, sirviendo además para guiar la corriente hacia el cañón y para evitar que el terraplén invada el canal. La complementación con muros o aleros en la entrada es una buena opción para ayudar a canalizar el agua hacia el cañón.

En el diseño y construcción de alcantarillas se recomienda mantener la pendiente de la corriente, pudiendo presentarse problemas de socavación o azolve en caso de una pendiente mayor o menor, respectivamente. Crespo (2005), también señala que se deben construir tantas alcantarillas como sea necesario.

El ángulo que forma el cauce en la entrada determina el ángulo de la alcantarilla, si el cauce presenta en la entrada y salida un ángulo menor a 5º la alcantarilla se puede colocar transversal al camino. Para los casos en que el cauce supere los 5º, la alcantarilla se debe alinear con el fondo del arroyo, sin importar que resulte en una obra más larga. De no hacerse así, se tendría que colocar codos a la

entrada y salida del agua con el fin de alinear el cauce con una alcantarilla transversal, con el inconveniente de que los codos no resisten la fuerza del agua en tormentas fuertes, presentando socavación en las zonas de mayor velocidad del agua y azolve en las zonas de menor velocidad.

2.6.1.- Área hidráulica de las alcantarillas.

El objetivo de calcular el área hidráulica consiste en permitir el paso al máximo caudal de agua en cada uno de los casos, de manera que no cause trastornos ni al camino ni a la estructura del mismo.

De acuerdo con Crespo (2005), existen 5 métodos para el cálculo del área hidráulica:

a) Procedimiento por comparación. Consiste en construir una alcantarilla en un lugar donde ya existía otra, o cerca de otra alcantarilla en el mismo arroyo. De igual manera, este método es aplicable cuando las marcas de las aguas máximas en las alcantarillas existentes sean claras, o cuando se puedan obtener datos confiables de los vecinos del lugar durante un periodo no menor de 10 años en ambos casos.

b) Procedimiento empírico. Este procedimiento es usado cuando en el lugar no ha existido antes una alcantarilla y cuando se carece de datos respecto al gasto máximo del arroyo y de precipitación. En este método se emplean fórmulas empíricas para el cálculo del área hidráulica en función del área drenada y de las características de la topografía de la cuenca a drenar.

La fórmula más aceptada en el procedimiento empírico es la de Talbot, la cual es la siguiente:

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

Donde:

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

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 muy 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. Consiste en determinar el gasto del cauce por medio de secciones hidráulicas definidas y de la pendiente del arroyo. Este método se apoya en observar las huellas de las aguas máximas en el sitio donde se construirá la alcantarilla. Sin embargo, menciona Crespo (2005), es muy común que las huellas no sean visibles, a pesar de tratarse de cauces bien definidos, por lo que se tiene que usar el procedimiento de la precipitación pluvial.

d) Procedimiento de la precipitación pluvial. Consiste en diseñar la alcantarilla para un escurrimiento probable del agua de lluvia. En este caso se requiere conocer

el valor de la precipitación pluvial, del área a drenar, de la topografía y del tipo de suelo dicha área.

e) Procedimiento racional. Parte del hecho de que el gasto es igual a un porcentaje de la precipitación pluvial multiplicada por el área tributaria, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Q = 27.52\ C\ I\ A$$

Donde:

Q = Gasto en litros por segundo.

C = Coeficiente de escorrentía.

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

A = Área a drenar en hectáreas.

El método racional se basa en las siguientes hipótesis:

a) La proporción del escurrimiento resultante, cualquiera que sea la intensidad de lluvia, es un máximo cuando dicha intensidad de lluvia dura tanto como el tiempo de concentración.

b) El máximo escurrimiento resultante de una intensidad de lluvia con duración igual o mayor que el tiempo de concentración es una fracción de esa precipitación.

c) El coeficiente de escorrentía es igual para todas las lluvias en una misma cuenca y para lluvias de diversas frecuencias.

d) La relación entre máxima descarga y tamaño del área de drenaje es la misma que la relación entre duración e intensidad de precipitación.

Crespo (2005), hace la aclaración que el método racional ignora por completo las variaciones de la intensidad de la lluvia en el área durante el tiempo de concentración, así como el efecto de almacenamiento en la cuenca a drenar, porque supone que la descarga es igual a la precipitación pluvial, menos la retención de la cuenca. Este método sobrestima el escurrimiento, generando errores apreciables al aumentar el área a drenar. Por lo anterior se recomienda el uso de este método para cuencas menores a 404.69 hectáreas.

Los valores de C para la fórmula son los siguientes:

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

Con este método lo que se obtiene es el gasto que llega a la alcantarilla, debiéndose calcular el área hidráulica que dará salida a dicho caudal.

2.6.2.- Pendiente de una alcantarilla.

En este aspecto, Crespo (2005), señala que la pendiente de una alcantarilla debe ser igual que la del lecho de la corriente, para evitar problemas de azolve y socavación en las mismas. Señala también que en algunos casos no es recomendable darle a la alcantarilla la misma pendiente del cauce, sobre todo en

terreno montañoso, porque de hacerlo así se obtendría una estructura demasiado larga y costosa. Para estos casos es recomendable darle a la alcantarilla una pendiente bastante menor y construir en la salida un lavadero que conduzca el agua hasta el terreno natural.

2.6.3.- Tipos de alcantarillas.

La elección de un tipo de alcantarilla depende, según Crespo (2005), de:

a) Del suelo de cimentación.

b) De las dimensiones de la alcantarilla y de la topografía del lugar.

c) De la economía de las diferentes alternativas de estructuras.

Las alcantarillas se clasifican de la siguiente forma, en base a su forma y material con que están construidas:

1.- Alcantarillas de tubo. Son de concreto reforzado, de lámina corrugada, de barro vitrificado y de hierro fundido.

2.- Alcantarillas de cajón. Son de concreto reforzado, sencillas o múltiples.

3.- Alcantarillas de bóveda. Son de mampostería o de concreto simple, sencillas o múltiples.

4.- Alcantarillas de losa. Son de concreto reforzado.

Para suelos firmes y secos, cualquiera de los tipos anteriores satisface los requerimientos solicitados. En el caso de suelos húmedos, el tipo de alcantarilla recomendable es el de cajón, porque la carga se transmite verticalmente en

direcciones definidas. Si se colocan tubos de barro o de concreto en este tipo de suelos, estos deben ir sobre una cama de material más resistente que el terreno.

Si el terreno donde se va a construir una alcantarilla, señala Crespo (2005), es lodazal o arena suelta, el tipo recomendable es el de lámina acanalada o de cajón con un área grande de sustentación, construyendo en tramos que no estén unidos entre sí, para permitir el acomodo a los movimientos del terreno.

2.6.4.- Longitud de las alcantarillas.

La longitud depende del ancho de la corona del camino, de la altura y talud del terraplén, así como del ángulo de esviajamiento. El cañón debe ser largo para evitar obstrucciones en el extremo con material del terraplén.

La manera más adecuada de calcular la longitud de una alcantarilla es dibujar el perfil del camino. Posteriormente se dibuja la línea que representa la plantilla de la alcantarilla, quedando de esta manera determinada la pendiente de la misma. Se dibuja también la sección del camino con los espesores que le corresponden en la zona donde se construirá la alcantarilla (Fig. 2.5).

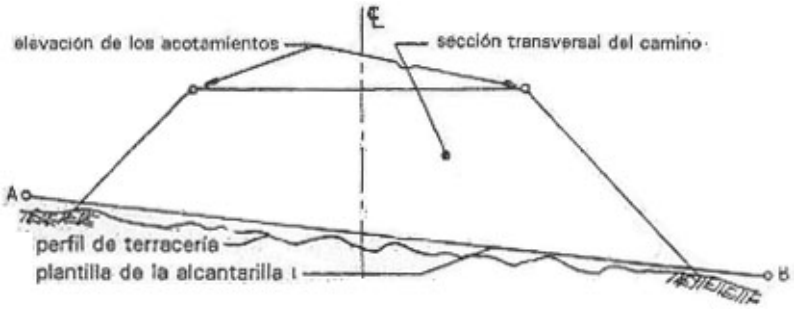


Fig. 2.5 Perfil del camino en donde se construirá la alcantarilla.

Fuente: Crespo; 2005, 159

Teniendo dibujado el perfil del camino, se procede a calcular la longitud de la alcantarilla, dando los valores correspondientes a cada una de las variables, de acuerdo a la fig. 2.6.

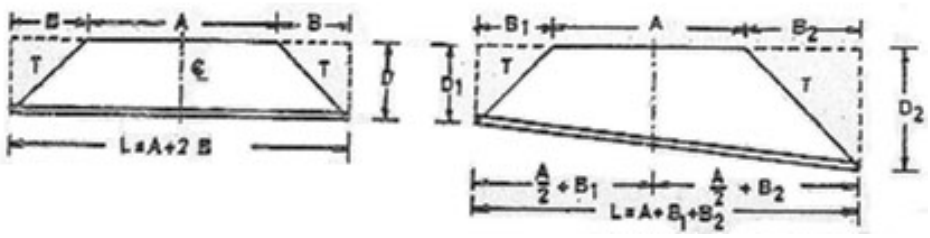


Fig. 2.6 Cálculo de la longitud de la alcantarilla.

Fuente: Crespo; 2005, 160

2.6.5.- Muros de cabeza.

El objetivo de estos muros es impedir la erosión alrededor del cañón, servir como guía de la corriente y para evitar que el terraplén invada el canal. Se construyen generalmente de mampostería o de concreto, aunque también es permitido que estén hechos de piedra suelta. En opinión de Crespo (2005), los de concreto son los más adecuados y deben preferirse hasta donde sea posible.

La altura de los muros de cabeza debe estar por arriba de sus intersecciones con los taludes, y debe prolongarse por lo menos 60 cm por debajo de la plantilla formando un dentellón que sirva de anclaje y proteja de la erosión a la plantilla.

La longitud de este tipo de muros depende de la longitud y altura de la alcantarilla, así como del talud del terraplén (Fig. 2.7).

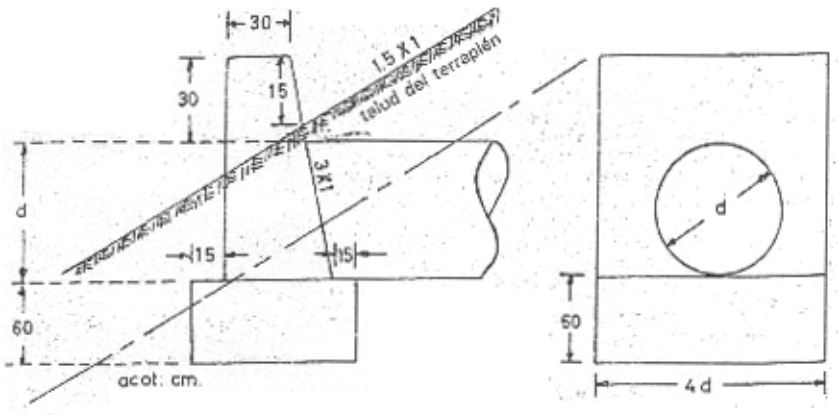


Fig. 2.7 Alcantarilla con muro de cabeza.

Fuente: Crespo; 2005, 161

2.7.- Puentes.

Como ya se mencionó, los puentes forman parte de las obras de cruce, por lo tanto, en este subcapítulo se abordará la información concerniente a este tipo de estructuras; sin embargo, debido a que en el presente proyecto de investigación no se cuenta con estructuras de este tipo, sólo se definirán brevemente las características más importantes de los puentes.

2.7.1.- Definición y objetivo.

De acuerdo con Crespo (2005), un puente se define como una estructura que puede estar construida de piedra, ladrillo, concreto o fierro, cuyo objetivo es permitir que un camino pueda salvar un río, una depresión u otra vía de comunicación.

Para que un puente sea considerado como tal, debe tener más de seis metros de largo y sin colchón de tierra sobre ellos.

2.7.2.- Antecedentes de los puentes.

De acuerdo con Crespo (2005), el tronco caído de un árbol sobre un río o sobre una depresión, se puede considerar el primer antecedente directo de los puentes. Posteriormente los egipcios, bajo el gobierno del Rey Menis, son considerados los primeros en construir un puente. Más adelante, los romanos construyeron infinidad de estructuras, entre ellas muchos puentes de madera y arcos de mampostería. Con el paso del tiempo se empezó a usar el metal para construir los puentes, siendo los ingleses los primeros en incorporar dicho material en la construcción de puentes. Una variante más, son los puentes colgantes utilizados en China. Como un antecedente más reciente, los pieles rojas, de los Estados Unidos de América, utilizaban los llamados cantiliver.

2.7.3.- Elementos de un puente.

Para su estudio, la estructura de los puentes se divide en tres partes principales: la superestructura, la subestructura y la infraestructura, mismas que se definen a continuación.

a) Superestructura. Se le llama así a la parte de un puente que esta sobre las columnas o elementos de apoyo. Esta parte es la que transmite las cargas muertas y vivas a los apoyos, pudiendo estar construida de diferentes materiales: madera, concreto armado, fierro estructural, mampostería, incluyendo estructuras en forma de arco, armaduras, colgantes, levadizos, basculantes, giratorios, etc.

b) Subestructura. Es la parte de un puente que soporta a la superestructura, dicho de otra forma, son los elementos de apoyo que transmiten las cargas de la

parte superior hacia la cimentación del puente. Puede estar construida de madera, concreto, fierro o mampostería, incluyendo estructuras entre las que se encuentran las pilas, estribos o caballetes.

c) Infraestructura. Es la cimentación, propiamente dicha y se encarga de transmitir las cargas de toda la estructura al suelo, pudiendo estar formada por pedestales, pilotes, cilindros de fricción, etc. de mampostería o de concreto.

2.7.4.- Estudios preliminares para el diseño de puentes.

Para llevar a cabo el proyecto de un puente, es necesario realizar ciertos estudios de campo preliminares. Crespo (2005), señala que dichos estudios se pueden dividir en cuatro grandes partes: Estudios topográficos, hidráulicos, geológicos y comerciales.

2.7.4.1.- Estudios topográficos.

Están constituidos por el levantamiento topográfico de la zona donde se planea construir el puente. Al entregar el informe se debe dar el nombre del río o barranca, camino correspondiente, tramos del camino donde se encuentra, etc., agregando los siguientes datos sumamente importantes:

a) Origen del kilometraje.

b) Plano en planta, a escala 1:200, señalando el eje del camino, curvas de nivel, dirección del cauce, construcciones cercanas y datos importantes.

c) Angulo que forma el camino con el eje de la corriente.

d) Elevación y descripción del banco de nivel más próximo.

e) Planos de localización correspondientes a un kilómetro a cada lado de la obra.

f) Elevación de la subrasante más adecuada.

g) Importe de las indemnizaciones a realizarse en caso de llevarse a cabo la obra.

2.7.4.2.- Estudios hidráulicos.

Crespo (2005), en este apartado señala que los estudios hidráulicos deben contar de lo siguiente:

a) Una sección en el cruce y dos secciones auxiliares aguas arriba y aguas abajo a escala 1:200 considerando el nivel de aguas mínimas, nivel de aguas máximas ordinarias, nivel de aguas máximas extraordinarias, pendiente del fondo del cauce o superficie del agua en una extensión de 200m a cada lado del eje del puente.

b) Coeficiente de rugosidad del cauce, velocidad superficial indicando el proceso utilizado.

c) Frecuencia y duración de las crecientes máximas extraordinarias, así como la época del año en que suceden y las dimensiones aproximadas del material de arrastre.

d) Especificar si el cauce es estable o divagante o si tiene tendencias a divagar. De igual manera si la corriente deposita material o socava, si hay que canalizar el agua, así como especificar si el remando afectará propiedades vecinas.

e) Claro mínimo de los tramos y espacio libre vertical para el paso de los cuerpos flotantes.

f) Datos sobre puentes existentes aguas abajo y aguas arriba próximos al cruce, especificando su longitud, longitud mínima de tramo, altura de la subrasante sobre el fondo, área hidráulica, si es o no suficiente el puente, separación entre pilas y pendiente del cauce en el cruce.

2.7.4.3.- Estudios geológicos.

Están constituidos por los siguientes datos:

a) Características generales de los materiales que forman el fondo y las márgenes de la corriente.

b) Especificar en un corte geológico los materiales del subsuelo y el nivel de las aguas freáticas, enviando muestras inalteradas y alteradas.

c) Carga admisible aproximada que puede soportar cada uno de los estratos del subsuelo.

2.7.4.4.- Estudios comerciales.

Estos datos deben ser enviados adjuntos al informe de localización del puente y están constituidos por lo siguiente:

a) Jornales medios en la región para diferentes categorías.

b) Precios unitarios de los materiales en la obra.

c) Cubicación de los diferentes bancos de materiales.

d) Vía más próxima de comunicación.

e) Clima dominante en la región.

f) Enfermedades de la región.

2.7.4.5.- Datos complementarios.

De acuerdo con Crespo (2005), es aconsejable que el informe que se rinda vaya acompañado de datos complementarios como fotografías del lugar donde se va a efectuar el cruce, así como de los puentes cercanos y de los sondeos a cielo abierto realizados para analizar el subsuelo.

Posteriormente se pasa a la etapa de anteproyecto, que consiste en analizar diversas alternativas de puente para el cruce, esto con el fin de elegir el más económico y adecuado a la zona.

2.7.5.- Tipos de cargas.

Los puentes se deben diseñar para soportar los siguientes tipos de cargas:

a) Cargas muertas. Está constituido por el peso propio de la estructura, el cual, de acuerdo con Crespo (2005), es factible suponer en base a la experiencia.

b) Cargas vivas. Este tipo de cargas son ocasionadas por los vehículos que transitan sobre el puente, y se considerarán de acuerdo a la clasificación de vehículos.

c) Efectos dinámicos o de impacto sobre la carga viva.

d) Fuerzas laterales.

e) Fuerzas longitudinales, centrífugas y térmicas, en caso de existir.

2.7.6.- Pilas para puentes.

Una pila es aquella parte de la subestructura de un puente que recibe el peso de dos tramos de la superestructura, cuyo objetivo es transmitir las cargas al terreno, repartiéndolas de manera que no excedan la capacidad de carga del terreno (Crespo, 2005). La forma de las pilas deberá causar la menor alteración al paso del agua, por lo que la más empleada es la rectangular con triángulos o segmentos de círculos en los extremos, tanto aguas arriba, como aguas abajo. Dichos extremos, reciben el nombre de “tajamares”, cuyo objetivo es hacer la pila menos fluido-dinámica. Así mismo menciona la igualdad en los tajamares por simetría.

2.7.7.- Estribos para puentes.

Los estribos son estructuras que se colocan en los extremos de un puente con el propósito de transmitir las cargas de la superestructura a la cimentación, dando además un soporte lateral al terraplén. La mayoría de las veces el estribo, menciona Crespo (2005), consiste en una pared frontal y dos muros laterales a manera de ala, mismo que hace la función de pila y muro de contención.

CAPÍTULO 3

RESUMEN EJECUTIVO DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN

En el presente capítulo se abordará todo lo referente al sitio donde se ubica el tramo en estudio, así como algunas generalidades del estado donde se ubica dicho tramo, desde las condiciones geográficas, pasando por una descripción de las características físicas del tramo en la actualidad y detalles geológicos de la zona, hasta lo referente a la hidrología regional y de la zona en estudio. Se anexa también un estudio de tránsito, el cual tiene el fin de muestrear la cantidad y los tipos de vehículos que circulan por dicho tramo.

3.1.- Generalidades.

El tramo en estudio es el correspondiente a la carretera que comunica a la población de Tarecuato con la comunidad de Los Húcuares, del kilómetro 5+172 al 6+660, al cual se le aplicará una revisión de las obras de drenaje existentes para determinar si las obras existentes son adecuadas o insuficientes. A continuación se describen las características principales del estado donde se ubica el tramo en estudio, de igual manera características sobre el camino y el municipio que involucra el ya mencionado tramo.

3.1.1.- Sobre el estado.

El estado de Michoacán de Ocampo se localiza al centro de la República Mexicana, cuenta con una extensión territorial que representa el 3.0% del territorio

nacional, de acuerdo con el INEGI (2008). Las coordenadas extremas de ubicación son 20º24’ al norte, 17º55’ al sur de latitud norte, 100º04’ al oeste y 103º44’ de longitud oeste. Colinda al norte con los estados de Jalisco, Guanajuato y Querétaro de Arteaga; al este colinda con Querétaro de Arteaga, México y Guerrero; al sur con Guerrero y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico, Colima y Jalisco.

3.1.2.- Sobre el camino.

El camino en estudio forma parte de la carretera Tarecuato – Los Húcuares, del kilometraje 5+172 al 6+660, dicho camino es de suma importancia porque es la principal vía que comunica ambas poblaciones de manera directa. En el presente trabajo de investigación de tratará únicamente lo referente a la revisión de las obras de drenaje de dicho tramo.

3.1.3.- Sobre el municipio.

De acuerdo con la página de internet http://www.emexico.gob.mx, el Municipio de Tangamandapio está localizado en la parte noroeste del Estado de Michoacán, con una extensión territorial de 315.68km^2, lo que representa el 0.53% del total del estado. Se ubica a 165km de Morelia, la capital del estado, con coordenadas geográficas extremas de 19º57’ de latitud norte y 102º26’ longitud occidental.

3.2.- Resumen ejecutivo.

Para el estudio del tramo carretero se procede al levantamiento de datos mediante una visita al lugar, observando las condiciones del camino, así como el número y tipo de obras de drenaje de proyecto.

En el siguiente paso se realiza un aforo vehicular para determinar las características y tipo de vehículos que transitan por dicho camino.

Después del levantamiento de datos en la zona de estudio, se procede a delimitar el área de la cuenca hidrológica que influye sobre el camino, determinando las características de infiltración del suelo, la vegetación, etc.

Posteriormente se procede a calcular y diseñar las estructuras de drenaje mediante un análisis matemático. Como último paso se realiza una comparación entre el diseño obtenido y el diseño de proyecto para determinar diferencias y establecer si dichas obras son suficientes o no.

3.3.- Entorno geográfico.

En el presente apartado se delimitarán las condiciones geográficas de la zona en estudio, tanto del Estado donde se ubica, como del Municipio.

3.3.1.- Macro y microlocalización.

La carretera Tarecuato-Los Húcuares se localiza en el estado de Michoacán, al norte del estado, como se muestra en la fig. 3.1. El tramo en estudio se localiza dentro de la carretera ya mencionada, del kilometro 5+172 al 6+660, entre los paralelos 102º28’ y 102º30’ longitud este y entre los meridianos 19º50’ y 19º55’ latitud norte. Con una altura sobre el nivel del mar de 1,670m.

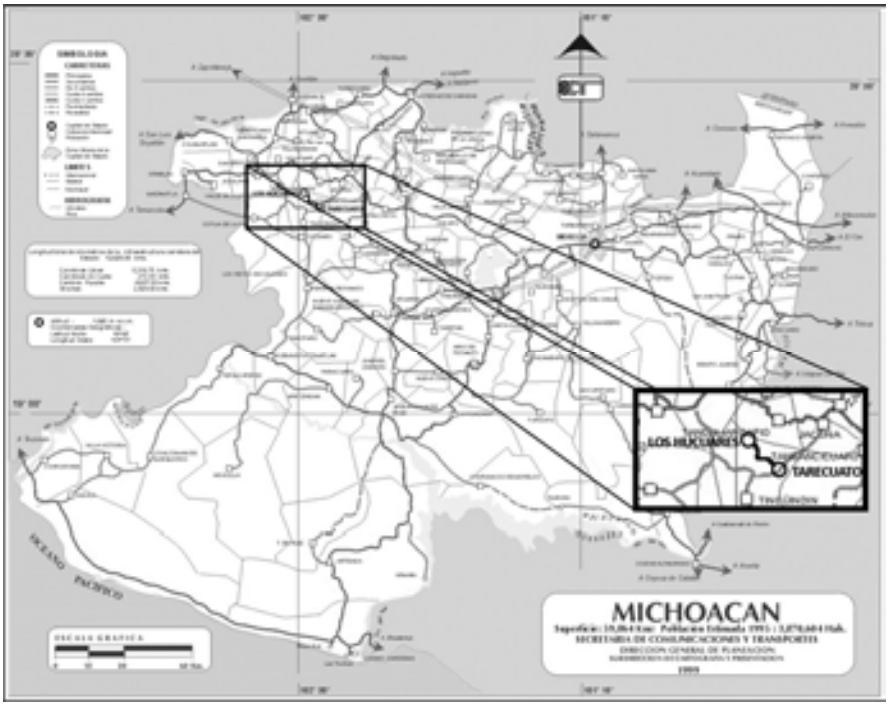


Fig. 3.1 Ubicación geográfica del tramo en estudio y las poblaciones involucradas.

Fuente: http://mexicochannel.net/maps/mexico_maps_michoacan_roads_carreteras_sct.jpg

A continuación se muestra una imagen a menor escala, en la cual se observan las comunidades y poblaciones vecinas, así como detalles relevantes de la zona.

Fig. 3.2 Microlocalización del tramo carretero en estudio.

Fuente: SCT (2008)

Como se puede observar en la fig. 3.2, el tramo carretero es la principal vía de comunicación entre las poblaciones de Tarecuato y Los Húcuares. De igual manera, es una alternativa de comunicación entre las ciudades de Tingüindin y Tangamandapio, beneficiando con ello a todas las poblaciones aledañas a la mencionada carretera.

3.3.2.- Topografía regional y de la zona en estudio.

La topografía regional está constituida por el sistema volcánico transversal y la sierra Madre Occidental, donde se pueden encontrar elevaciones importantes como el pico de Tancítaro, con 3600 msnm y el volcán Paricutín con 2774 msnm. El relieve es accidentado, debido a la presencia de la sierra Madre Occidental, la sierra Madre del Sur y la cordillera Neovolcánica.

En la zona de estudio la topografía es de igual forma, accidentada, pues se encuentra en la cordillera Neovolcánica y la sierra Madre Occidental. En dicha zona se pueden encontrar elevaciones locales importantes, como el Cerro Charapuato, Valerio y Chapandas.

3.3.3.- Geología regional y de la zona en estudio.

El estado de Michoacán forma parte de la provincia geológica denominada “Sierra Madre del Sur” y el “Eje Neovolcánico”. El relieve del Eje Neovolcánico está formado por rocas que datan del Cenozoico Superior. Los eventos tectónicos recientes asociados a fenómenos volcánicos originaron importantes zonas lacustres en el territorio que actualmente es Michoacán (Fig. 3.3).

En la Sierra Madre del Sur la estratigrafía está basada en rocas metamórficas que datan del Paleozoico Superior. También se localizan numerosos yacimientos de hierro, entre los que destacan los de Las Truchas, Aquila y La Guayabera.

Por lo que respecta al Eje Neovolcánico, está formado por una gran variedad de rocas volcánicas que datan del Cenozoico Superior. Las rocas más antiguas corresponden a una secuencia de rocas volcánicas andesíticas, sedimentarias calcáreo-arcillosas y areniscas. Se encuentran algunos depósitos lacustres que datan del Plioceno-Cuaternario en el área de Zacapu, de acuerdo con la página de internet http://mapserver.inegi.gob.mx.

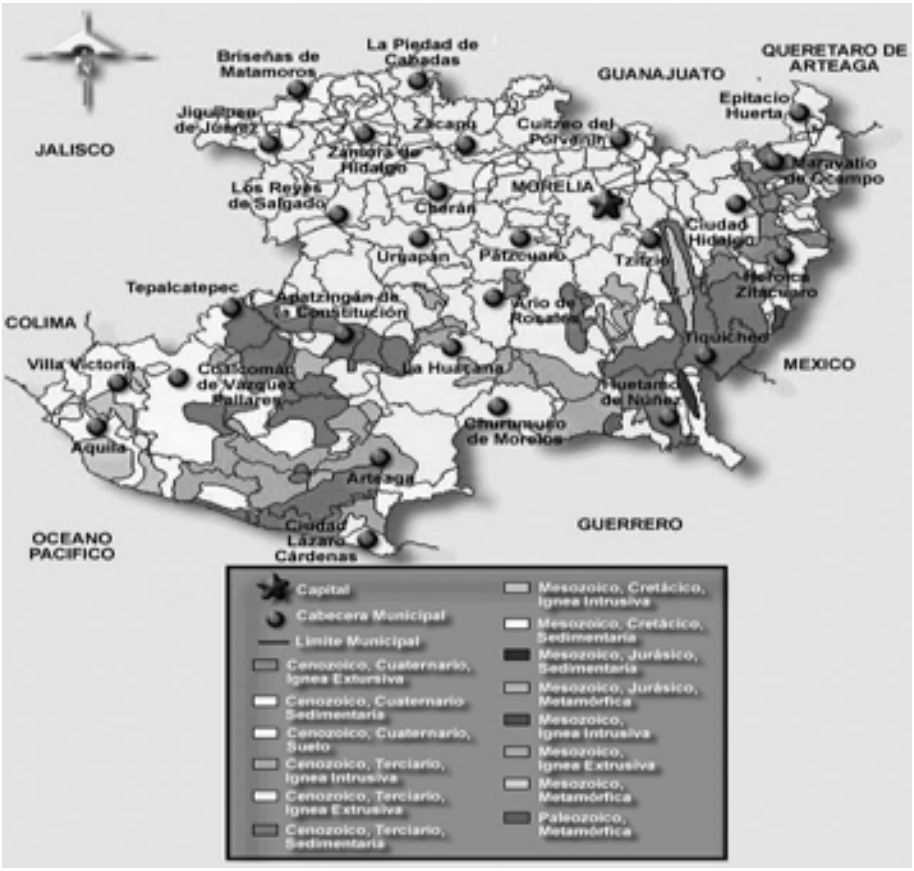


Fig. 3.3 Mapa geológico del Estado de Michoacán.

Fuente: http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/mich/geolo.cfm?c=444&e=12

Como ya se mencionó anteriormente, el tramo en estudio se ubica en el llamado “Eje Neovolcánico”, que atraviesa el territorio de la República Mexicana de este a oeste, pasando por los estados de Veracruz, Puebla, Estado de México, Tlaxcala, Distrito Federal, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, Morelos, Michoacán, Jalisco, Colima y Nayarit.

La zona del tramo en estudio forma parte de la altiplanicie de más de 2000 msnm, sobresaliendo varios cerros de variadas elevaciones, mismos que fueron volcanes activos en las edades del Plioceno tardío. Por lo tanto la composición litológica va desde rocas basálticas a riolíticas. Los suelos que rodean dichos cerros son de origen aluvial y lacustre.

3.3.4.- Hidrología regional y de la zona en estudio.

La Entidad del estado de Michoacán forma parte de cuatro regiones hidrológicas: la región Lerma-Santiago al norte del estado; la región del rio Balsas situada en la parte central; la región Armería-Coahuayana en la parte sur, entre la sierra de Coalcomán y la zona costera, además Ríos de la Costa.

En la zona hidrológica Lerma-Santiago hay importantes cuerpos de aguas naturales, como los lagos de Patzcuaro, Cuitzeo y Chapala, así como cuerpos de agua de tipo artificial, como los formados por las presas Tepuxtepec, Cointzio y Malpaís, que tienen influencia en extensas zonas agrícolas. En la región hidrológica del Balsas se ubica una de las corrientes más importantes del país, conocida como Atoyac, Grande o Mezcala, así como la presa El Infiernillo, que forma uno de los embalses más importantes del país. En la región Armería-Coahuayana la corriente

de mayor importancia es la del rio Coahuayana. En la zona Ríos de la Costa se ubican las corrientes que desembocan en el Océano Pacífico, como las de los ríos Neixpa y Coalcomán. En total en el estado de Michoacán, en las cuatro zonas hidrológicas se ubican 19 cuencas y 57 subcuencas, 138 subcuencas específicas y 688 microcuencas.

De acuerdo con la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (Cofom), la zona donde se ubica el tramo en estudio se encuentra en la cuenca hidrológica forestal conocida como Tepalcatepec, Duero y Chapala, al norte del estado y forma parte de la región hidrológica Lerma-Santiago, como se observa en la fig. 3.4.

Fig. 3.4 Cuencas Hidrológicas Forestales del Estado de Michoacán.

Fuente: http://cofom.michoacan.gob.mx/images/Cuencas.jpg

El clima del estado de Michoacán varía debido al tipo de terreno, en el noroeste el clima es semicálido subhúmedo con una temperatura promedio de 20 ºC y una precipitación también promedio de 800 mm. Por otro lado, en el noreste el

clima que predomina es el templado subhúmedo con precipitaciones de 1,000 mm, con una temperatura de 16 ºC; en el sureste del estado el clima es cálido subhúmedo con una precipitación promedio de 1,000 mm y una temperatura de 26 ºC. Finalmente, en la región centro predomina el clima semiseco con precipitaciones de 600 mm y una temperatura de 27 ºC. Se puede añadir que en las zonas altas el clima es frío. En la fig. 3.5 se observa la precipitación promedio de la región y de la zona en estudio.

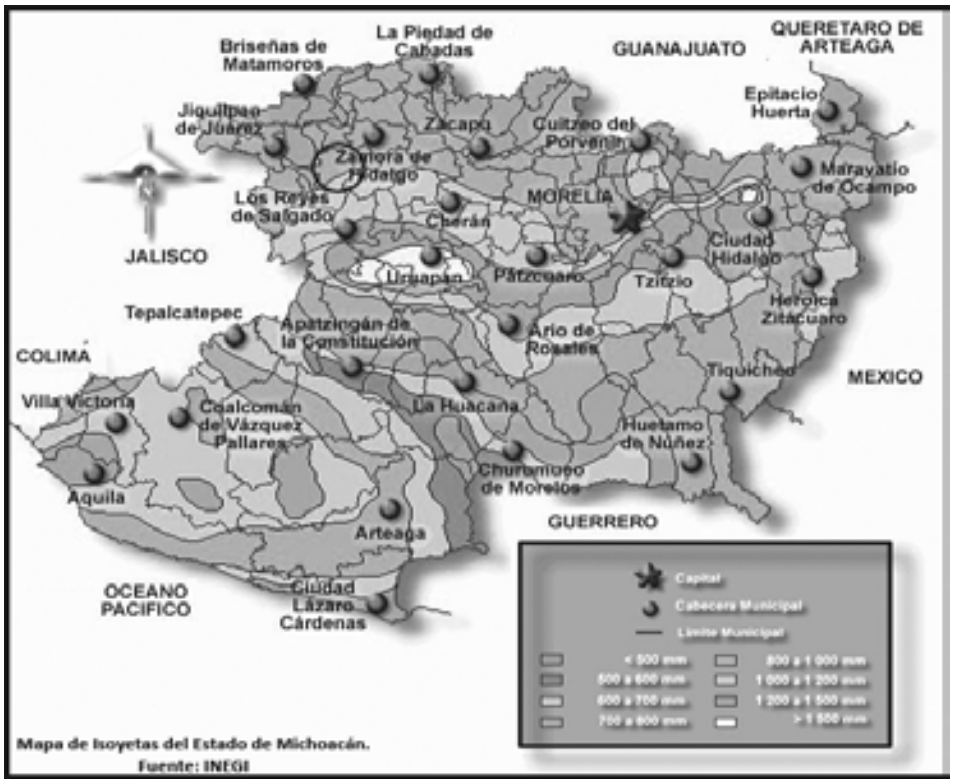


Fig. 3.5 Mapa de Isoyetas y precipitación promedio anual del Estado de Michoacán.

Fuente: INEGI.

3.3.5.- Uso del suelo regional y de la zona en estudio.

De acuerdo con la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (Cofom), las superficies y uso del suelo de la Entidad se clasifican en: 3’314,466 has (56.4%)

como forestal; 1’710,092 has (29.1%) agrícola; 715,571 has (12.2%) pecuario; y 138,645 has (2.3%) corresponden a cuerpos de agua y asentamientos humanos, como se aprecia en la fig. 3.6.

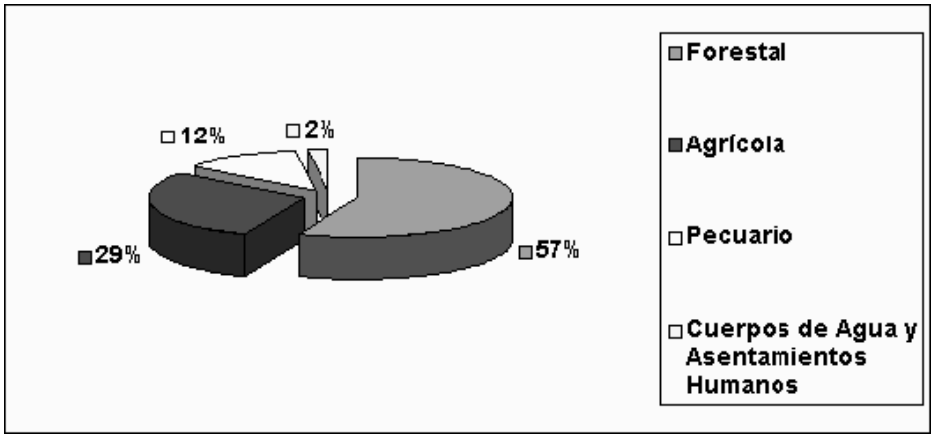


Fig. 3.6 Distribución de la superficie y uso del suelo en el Estado de Michoacán.

Fuente: http://cofom.michoacan.gob.mx/geograficos.htm

En la zona en estudio el uso del suelo es principalmente agrícola, con plantaciones de maíz en las cercanías de la población de Los Húcuares y Tarecuato.

3.4.- Informe fotográfico.

A continuación se muestran de manera gráfica las características de la zona, como el tipo de terreno, vegetación y estado físico actual.

3.4.1.- Tipo de terreno y cobertura vegetal.

El tipo de terreno en la zona de estudio está clasificado como lomerío, lo que no es favorable para el diseño del camino; sin embargo, estas características

favorecen al diseño de drenaje, porque garantizan una pendiente adecuada en el terreno para desalojar con facilidad el agua que cae sobre el camino.

La cobertura vegetal consiste en bosques de pino en los cerros cercanos y matorrales y cultivos en las zonas aledañas al camino (Fotografía 1 y 2).

Fotografía 1. Presencia de bosque de pino en los cerros y plantaciones de maíz en las zonas aledañas al camino.

Fotografía 2. En esta imagen se observa el tipo de terreno por donde cruza el camino, en este caso es lomerío.

3.4.2.- Problemas de drenaje superficial.

Los principales problemas detectados en la visita a lugar, correspondientes al sistema de drenaje son los siguientes:

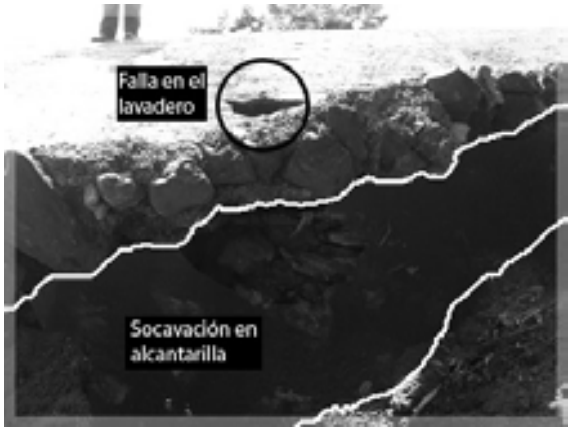
Fotografía 3. Socavación en la cuneta.

Fotografía 4. Presencia de azolve en alcantarilla.

Fotografía 5. Presencia de azolve en cuneta.

Fotografía 6. Ruptura de lavadero y socavación bajo el mismo.

Fotografía 7. Terreno inadecuado para el desfogue de alcantarilla.



Fotografía 8. Socavación en alcantarilla bajo lavadero.

A continuación se hace una descripción de cada uno de los problemas señalados en las imágenes:

1.- Fotografía 3. El desfogue de las cunetas presenta socavación por debajo de las mismas, lo que ocasiona que el agua se filtre por los bordes. Aunado a lo anterior se puede decir que no se realizo una adecuada compactación del material que soporta la cuneta, por lo que el material es arrastrado con facilidad por el agua.

2.- Fotografía 4. Uno de los principales problemas observados en las alcantarillas localizadas, es la presencia de azolve, lo que ocasiona taponamiento de la tubería con el consiguiente estancamiento del agua e invasión de la misma en la estructura del camino

3.- Fotografía 5. Similar al problema anterior, se observó presencia de material sobre las cunetas, siendo material tanto del que conforma el camino, como suelo del área lateral al mismo. Una causa de este problema es el arrastre del material que conforma el camino, debido a la falta de mantenimiento.

4.- Fotografía 6. El problema mostrado en la fotografía número 4 es uno de los más graves que se pueden presentar en un camino. Este problema es originado por una mala compactación del material que sirve de soporte a la cuneta y al camino, lo que ocasiona, que sea arrastrado con facilidad por el agua pluvial. Las consecuencias son elocuentes, el arrastre de material provoca socavación y falta de soporte en la cuneta y en el lavadero. Lo anterior ocasiona que el concreto, material que no resiste esfuerzos de tensión, se agriete y se rompa, colapsando el lavadero.

5.- Fotografía 7. Este problema es sin duda, el más grave que presenta el tramo en estudio. Como se puede observar en la fotografía número 5, el terreno en el cual desfoga la alcantarilla no tiene salida, pues está ubicado en una depresión. Lo anterior genera otros problemas como el estancamiento del agua, depósito de sedimentos en la tubería y la saturación de los estratos que conforman el camino, lo que puede llevar al colapso del mismo.

6.- Fotografía 8. La combinación los anteriores problemas genera otro problema, como lo es la socavación de toda la estructura de la alcantarilla, con el consiguiente colapso de la estructura superior, en este caso el concreto del lavadero, y en un futuro, de la estructura del camino.

3.4.3.- Estado físico actual.

Haciendo a un lado los problemas anteriores, se pudo observar que el estado físico actual del camino va de regular a bueno, haciendo notar que los problemas se ubican únicamente en las obras de drenaje y el los desfogues de las cunetas.

3.4.4.- Vehículos que circulan por la vía.

La mayoría de vehículos que circulan por el camino son de 3.5 toneladas y ligeros, de acuerdo al tipo de poblaciones involucradas; sin embargo, también circulan en un reducido porcentaje vehículos tipo C.

3.4.5.- Obstáculos especiales.

En el tramo en estudio no se observan obstáculos especiales, pues los accesos a propiedades privadas son mínimos, y los existentes están ubicados en zonas donde no hay cunetas, por lo que no se daña el sistema de drenaje.

3.5.- Estudios de tránsito.

En este apartado se mencionan los tipos de vehículos que circulan por el camino y se muestran los resultados del aforo vehicular realizado durante la visita.

3.5.1.- Tipo y clasificación de los vehículos.

Como ya se mencionó anteriormente, la mayoría de vehículos que circulan por el tramo en estudio son tipo A y en menor cantidad los de tipo C.

3.5.2.- Aforo vehicular.

Durante la visita a la zona se realizó un aforo vehicular para determinar tanto la cantidad como la clasificación de los vehículos que circulan por dicha carretera. Los resultados se muestran a continuación:

Lugar:	Carretera Tarecuato-Los Húcuares
Kilometraje:	5+172 al 6+660
Hora inicio:	09:30 hrs
Hora término:	16:30 hrs

Tipo	Cantidad
A	196
C2	28
Total:	224

3.6.- Alternativas de solución.

En este apartado se plantearán las posibles soluciones a los problemas encontrados y se seleccionará la más adecuada al tramo en estudio.

3.6.1.- Planteamiento de alternativas.

Una posible alternativa consiste en realizar una correcta compactación del material que soporta las cunetas y el camino. Hecho lo anterior se evitará el arrastre

de material por las lluvias, eliminando además la socavación de la estructura del camino.

Otra solución consiste en incrementar la longitud del lavadero de desfogue de las cunetas, así como construir un lavadero de desfogue en cada una de las alcantarillas existentes para darle salida a las zonas donde se estanca él agua.

3.6.2.- Alternativa a usar.

Para este tema de tesis en particular, el cual se enfoca en la revisión de las obras de drenaje existentes, se tomará como alternativa a usar la segunda, por considerarla la más afín a los propósitos de dicha tesis.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

En este capítulo se tratará lo relacionado con la metodología utilizada para el presente trabajo de investigación. Se aborda de igual manera el enfoque y alcance de dicho método, los instrumentos de recopilación de datos y el procedimiento de investigación seguido.

De acuerdo con la página de internet http://es.wikipedia.org, la metodología se refiere a los métodos de investigación que se siguen con el fin de alcanzar una gama de objetivos en una ciencia. Para el caso de este trabajo de investigación, se utilizó el método científico, el cual se define a continuación.

4.1.- El método científico.

La elaboración de todo trabajo de investigación se hace necesario utilizar el llamado método científico, esto para garantizar que los resultados obtenidos tengan validez y concuerden con las condiciones originales de estudio.

Primeramente, es menester la definición de método y metodología. De acuerdo con Tamayo (2000), el método es un orden epistemológico que parte de la lógica que nace de la teoría. Por otro lado, la metodología es el instrumento de la investigación que lleva al objeto.

De acuerdo con Tamayo (2000), el método científico es el conjunto de pasos que se siguen para descubrir las condiciones en donde tienen lugar sucesos específicos, y se caracteriza por ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y de observación empírica.

“El método científico es un conjunto de procedimientos por los cuales se plantean los problemas científicos y se ponen a prueba las hipótesis y los instrumentos del trabajo investigativo”. (Tamayo; 2000, 36)

Al aplicar el método científico no quiere decir que siempre se tienen que hallar verdades o leyes**,** lo que en realidad importa es determinar el procedimiento para demostrar que un enunciado es como dice ser. Lo anterior porque cada ciencia plantea y requiere de un método especial, dependiendo del origen de los hechos que estudia; sin embargo el método científico dicta los pasos a seguir en el proceso de investigación (Tamayo, 2000). Al respecto también comenta que dicho método no toma en cuenta la interpretación subjetiva, lo que da lugar a un método objetivo y con credibilidad.

Algunas características generales del método científico es que es independiente del objeto de estudio y elimina todo proceso que intente manipular la realidad.

4.1.1.- Elementos del método científico.

Los elementos principales del método científico son los conceptos y las hipótesis:

a) Conceptos. Son construcciones lógicas que surgen de impresiones de los sentidos o de percepciones y experiencias, son abstractos y tienen significado dentro del marco de referencia en un sistema teórico.

b) Hipótesis. Es una suposición que se puede llevar a prueba para determinar su validez. Es una pregunta en la que se puede prever una cierta respuesta y lleva siempre a una prueba empírica. Una hipótesis señala lo que se busca. Para una hipótesis sea tratada como tal, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Debe tener referentes empíricos, evitando llevar a juicios morales.

- Tiene que ser específica, expresando de manera particular y no general, todas las operaciones y predicciones.

-Tiene que estar relacionada con técnicas disponibles, es decir, el teórico debe conocer cuáles son las técnicas disponibles para poner a prueba su hipótesis.

4.1.2.- Etapas del método científico.

El método científico implica usar el pensamiento reflexivo, es decir, la inducción y la deducción. Lo anterior lleva a las cinco etapas para la resolución de un problema:

1.- Percepción de una dificultad. En este aspecto Tamayo (2000), marca que el individuo encuentra el problema que le interesa, y no cuenta con los medios para explicar el acontecimiento.

2.- Identificación y definición de la dificultad. Consiste en hacer observaciones que permitan definir el problema con mayor exactitud.

3.- Soluciones propuestas o posibles para el problema. En esta etapa se formular posibles soluciones al problema, dicho de otra forma, formula hipótesis.

4.- Deducción de las consecuencias de las soluciones propuestas. Se concluye que cada hipótesis, de resultar verdadera, conllevará ciertas consecuencias.

5.- Verificación de las hipótesis mediante la acción. Consiste en poner a prueba cada una de las hipótesis, observando hechos que confirmen si las consecuencias que deberían seguir ocurren o no.

4.1.3.- Características del método científico.

Tamayo (2000), hace referencia a algunas características del método científico, las cuales son las siguientes:

- Es fáctico, porque tiene relación a los hechos, desde un punto de vista empírico.

- Trasciende los hechos, esto es, el investigador va más allá de lo que indican las apariencias.

- Verificación empírica, porque se formulan respuestas a los problemas planteados para apoyar las afirmaciones del investigador.

- Es autocorrectivo, porque va rechazando o ajustando las propias conclusiones, además es progresivo porque las conclusiones no se toman como exactas, por lo tanto, está abierto a mejoras y a la utilización de nuevos métodos y técnicas.

- Hace formulaciones de tipo general, en este caso, se supone que todo hecho se puede clasificar y es legal.

- Es objetivo, es decir, logra llegar al objeto sin distorsionar el conocimiento que de él tiene el investigador.

4.1.4.- Método matemático.

De acuerdo con Mendieta (2005), el método matemático es el genético que indica el origen del objeto y es aquel que, al usarse en una investigación, maneja números de relaciones constantes, diferentes hipótesis y formas de comprobar el resultado. Dichas formas de comprobación se toman en cuenta para afirmar o negar algo.

4.2.- Enfoque de la investigación.

De acuerdo con Sampieri (2005), un método de investigación puede tener dos enfoques, el cualitativo y el cuantitativo. En el caso del primero se analiza con profundidad los datos, la dispersión, el contexto del entorno, etc. Con el segundo enfoque se puede generalizar los resultados, teniendo mayor control sobre los fenómenos y un punto de vista de conteo de los resultados.

De la misma manera, especifica que el enfoque cuantitativo es el que se utiliza en las llamadas ciencias exactas.

En base a lo anterior, para el presente trabajo de investigación se eligió el enfoque cuantitativo porque al desarrollar el mismo, se plantean preguntas de

investigación e hipótesis que se analizaran para probar su validez, usando formulas ya existentes fundamentadas en esquemas deductivos y lógicos.

4.2.1.- Alcance.

En este aspecto, Sampieri (2005), señala que los estudios en una investigación pueden tener tres tipos de alcance. Alcance exploratorio, correlacional y descriptivo. En el primer caso, el objeto de investigación ha sido poco o nunca estudiado y se tienen muchas dudas acerca de él, en el segundo alcance el objetivo es evaluar la relación entre dos o más conceptos conforme avanza la investigación.

El alcance descriptivo es aquel que describe situaciones, eventos y hechos. Mide evalúa y recolecta datos importantes del fenómeno en estudio. Dicho de otra manera, de acuerdo con Sampieri (2005), una investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se estudie. En base a lo anterior, se considera que el alcance descriptivo es el más adecuado para el presente trabajo de investigación.

4.3.- Diseño de la investigación.

Siguiendo el lineamiento de Sampieri (2005), el diseño adecuado para la presente tesis es el transeccional descriptivo, el cual se define a continuación.

4.3.1.- Investigación transeccional o transversal.

El diseño transeccional descriptivo es aquel cuyo objetivo es averiguar la incidencia y valores en que se manifiestan una o más variables, así mismo intenta

ubicar, categorizar y proporcionar la visión de una comunidad, un evento un contexto, un fenómeno o una situación.

Los estudios transeccionales descriptivos tienen la característica de presentar un panorama del estado de una o más variables en uno o más grupos de objetos en determinado momento, de la misma manera muestran el panorama de una comunidad, un contexto, una situación, un fenómeno o un evento en un punto en un determinado momento.

4.4.- Instrumentos de recopilación de datos.

El desarrollo del presente trabajo de investigación hace necesaria la utilización de los siguientes instrumentos para recopilar datos:

a) Observación. La observación consiste en el registro de manera sistemática, valida y confiable de comportamientos o conductas visibles. De acuerdo con Sampieri (2005), los pasos para construir el sistema de observación son los siguientes:

1.- Definir de manera precisa los eventos a observar.

2.- Extraer una muestra representativa de los eventos a observar.

3.- Establecer y definir las unidades de observación.

4.- Establecer y definir las categorías y subcategorías de observación.

b) Software. Considerando la naturaleza del presente trabajo de tesis, se hace necesario utilizar software para el desarrollo del mismo, siendo los programas AutoCad y Excel, los adecuados para tal propósito.

c) Investigación documental. Consiste en la recopilación de información en libros con temas especializados en obras de drenaje y diseño de caminos, así como el uso de internet.

d) Investigación de campo. Consiste en la visita al tramo en estudio con el fin de obtener datos de obras adicionales al proyecto, de igual manera sirve para evaluar el estado actual del tramo y de las obras de drenaje.

4.5.- Descripción del procedimiento de investigación.

Para llevar a cabo el presente trabajo de investigación, primeramente se obtuvo el proyecto de pavimentación del camino Tarecuato–Los Húcuares, en el Municipio de Tangamandapio, Michoacán. Dicho proyecto comprende del kilómetro 0+000 al 8+000.

Posteriormente de delimitó un tramo del camino para revisar las obras de drenaje construidas en el tramo comprendido entre el kilómetro 5+172 al kilómetro 6+660. El siguiente paso a realizar consistió en hacer un reconocimiento visual del tramo en estudio, mediante una visita al camino Tarecuato–Los Húcuares, donde se observaron las condiciones actuales tanto del camino como de las obras de drenaje

construidas, así como las posibles obras de drenaje adicionales, el tipo de zona, la vegetación existente, el tránsito vehicular y el uso de las tierras aledañas al camino.

Una vez hecho lo anterior se procedió a realizar el diseño de las obras de drenaje con los datos hidrológicos y geológicos obtenidos en la investigación tanto de campo como documental. El siguiente paso consistió en comparar los diseños obtenidos con los existentes para determinar y analizar las diferencias entre ambos diseños.

Todo lo anterior tiene como fin llegar a la elaboración de las conclusiones que especifiquen si se cumplió el objetivo principal y la pregunta de investigación planteados al inicio del presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El desarrollo del siguiente capítulo consistirá en el cálculo de las obras de drenaje necesarias para desalojar el agua que cae tanto en la cuenca como en el pavimento del tramo en estudio. Una vez calculadas dichas obras se procederá a comparar con las ya existentes o de proyecto, para determinar las diferencias y similitudes entre ambos. Posteriormente se hará un análisis donde se mencionará si el sistema de drenaje existente es adecuado o no.

5.1 Determinación del área y pendiente de la cuenca.

El tramo en estudio se encuentra representado en la carta del INEGI de clasificación e13b18, perteneciente a la población de Tarecuato, en el Mpio. de Tangamandapio, Mich. Dicha carta será utilizada para trazar, mediante el programa computacional AutoCad, los límites de la cuenca, obteniendo así el área de la misma.

En la figura 5.1 se observan los límites de la cuenca que afecta directamente al tramo en estudio, trazada en el programa AutoCad, ya mencionado, obteniendo un área de 148.30 hectáreas.

Para obtener la pendiente se recurrirá al criterio de Alvord, con la siguiente fórmula:

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

Donde:

Sc = Pendiente de la cuenca.

D = Desnivel entre curvas de nivel (20 m para las cartas del INEGI).

L = Longitud total, en metros, de las curvas de nivel dentro de la cuenca.

Ac = Área de la cuenca delimitada por el parteaguas.

De acuerdo a lo anterior, para el tramo en estudio se tiene que:

D = 20 m

L = 16838.24 m

Ac = 1541482.4942 m^2

$$Sc = \frac{(20)(16838.24)}{1541482.494} = \ 0.2184$$

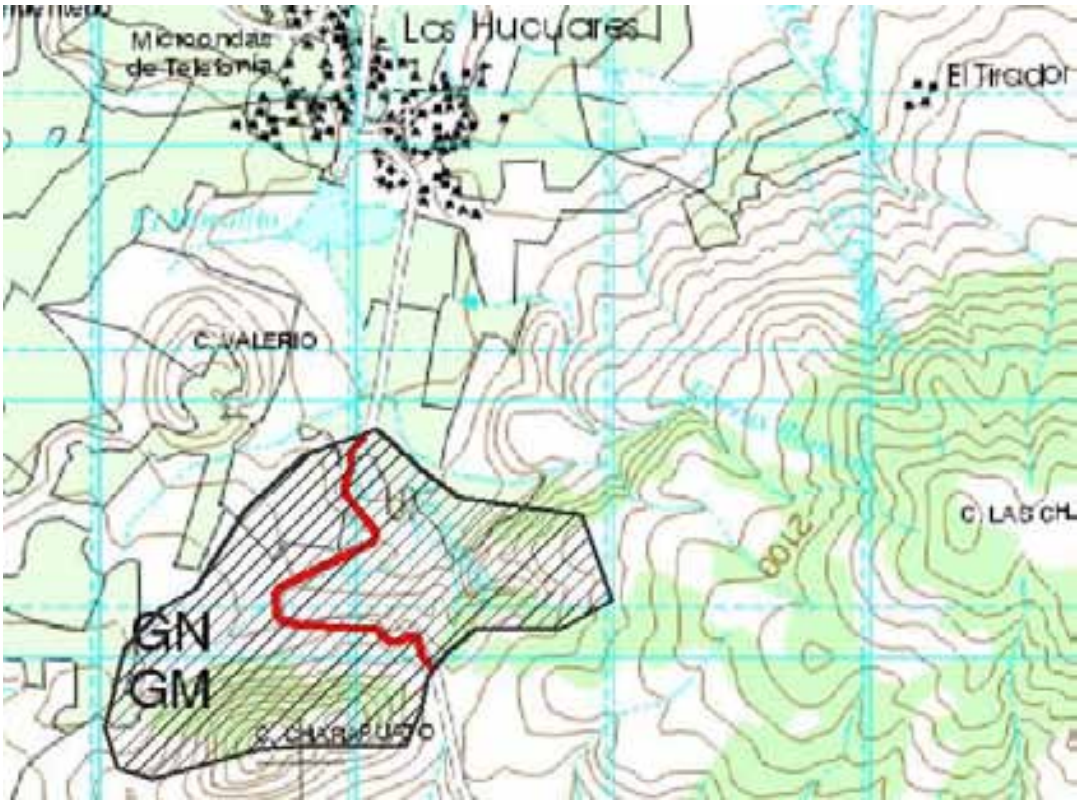


Fig. 5.1 Trazado de la cuenca delimitada por el parteaguas.

5.2 Cálculo de la cuneta.

El primer paso consiste en calcular el gasto que puede desalojar la cuneta existente en el tramo en estudio, haciendo uso de la fórmula de Manning:

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

Como las variables de dicha fórmula ya fueron definidas en el capítulo 2, sólo se colocarán los valores correspondientes a cada una de las variables.

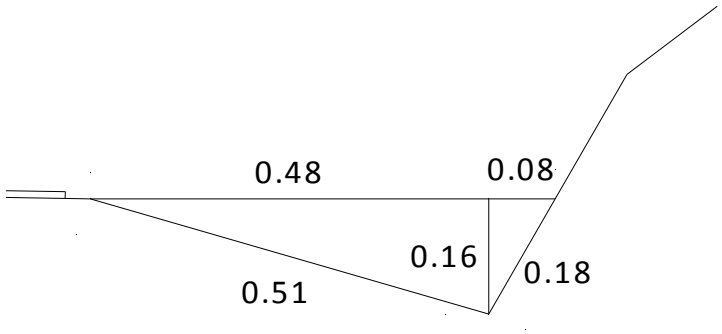


Fig. 5.2 Dimensiones de la cuneta existente.

n = 0.03 (Roca lisa y uniforme).

R = A/P, si A=0.0448 m^2 y P=0.6849 m, entonces R = 0.0654 m

Sustituyendo valores:

$$V = \frac{1}{0.03} 0.0654^{2/3} 0.2184^{1/2} = 2.5289\ m/s$$

- Cálculo del gasto que puede liberar la cuneta existente.

$$Q = A \cdot V = 0.0448\ m^2 * 2.5289\ m/s = 0.1133\ m^3/s$$

- Revisión del gasto que se produce en la cuenca más crítica, de acuerdo al criterio de Burkli-Ziegler, cuya fórmula ya fue explicada en el capítulo 2.

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

C = 0.25 (Terrenos de cultivo).

A = 21.432 Ha (Área de la cuenca más crítica).

I = 2 cm/hr (Intensidad de lluvia).

S = 69.90 m/km (Pendiente del tramo).

Sustituyendo valores:

$$Q = 0.022 * 0.25 * 2 * 21.432 * \sqrt[4]{69.90/21.432} = \ 0.317\ m^3/s$$

El gasto que se genera en la cuenca es mayor al que puede liberar la cuneta existente, por lo que se concluye que dicha cuneta es inadecuada.

El siguiente paso consiste en diseñar una cuneta adecuada para dar salida al gasto generado en la cuenca. Para este caso se utilizará la cuneta tipo que menciona Crespo (2005).

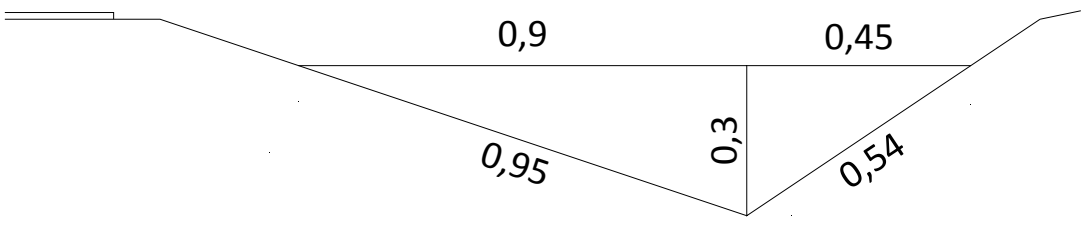


Fig. 5.3 Dimensiones de la cuneta tipo.

n = 0.03 (Roca lisa y uniforme).

R = A/P, si A=0.2025 m^2 y P=1.4897 m, entonces R = 0.1359 m

Sustituyendo valores:

$$V = \frac{1}{0.03} 0.1359^{2/3} 0.2184^{1/2} = 4.117\ m/s$$

Como la velocidad del agua es mayor a 4 m/s se tiene que recubrir con concreto.

- Cálculo del gasto que puede liberar la cuneta tipo.

$$Q = A \cdot V = 0.2025\ m^2 * 4.11\ m/s = 0.8340\ m^3/s$$

Como el gasto que puede desalojar la cuneta tipo es mayor al gasto que se genera en la cuenca, se procede a usar la cuneta tipo en todos los lugares que se requiera.

5.3 Cálculo de las alcantarillas.

La revisión de las alcantarillas incluye las ubicadas en los kilómetros 5+172, 5+780, 6+280 y 6+660.

Se utilizará el criterio de Talbot para obtener el área hidráulica de la alcantarilla, usando para ello el área de cada una de las subcuencas que afectan las alcantarillas ya mencionadas.

Alcantarilla 1 en el kilómetro 5+172

- **Obtención del diámetro necesario de tubo.**

Fórmula de Talbot

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

Si:

C = 0.6 (Terreno con lomerío).

A = 6.99 ha

$$S = 0.1832(0.6)\sqrt[4]{6.99^3} = 0.4725m^2$$

Sumando al área obtenida un 25% por azolve se tiene:

$$S + 25\% = 0.5907\ m^2$$

Lo que significa que:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

Despejando D:

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.5907)}{\pi}} = 0.87m$$

Para la alcantarilla 1 se necesita un tubo de 0.87 m de diámetro, pero la SCT marca 1.07 m como diámetro mínimo, por lo tanto se utilizará un tubo ADS de 1.20 m.

Alcantarilla 3 en el kilómetro 6+280

- **Obtención del diámetro necesario de tubo.**

Fórmula de Talbot

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

Si

C = 0.6 (Terreno con lomerío).

A = 1.352 ha

$$S = 0.1832(0.6)\sqrt[4]{1.352^3} = 0.1378m^2$$

Sumando al área obtenida un 25% por azolve se tiene:

$$S + 25\% = 0.1723\ m^2$$

Lo que significa que:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

Despejando D:

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.1723)}{\pi}} = 0.47m$$

Para la alcantarilla 3 se necesita un tubo de 0.47 m de diámetro, pero la SCT marca 1.07 m como diámetro mínimo, por lo tanto se utilizará un tubo ADS de 1.20 m.

Alcantarilla 4 en el kilómetro 6+660

- **Obtención del diámetro necesario de tubo.**

Fórmula de Talbot

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

Si

C = 0.6 (Terreno con lomerío).

A = 3.417 ha

$$S = 0.1832(0.6)\sqrt[4]{3.417^3} = 0.2762m^2$$

Sumando al área obtenida un 25% por azolve se tiene:

$$S + 25\% = 0.3453\ m^2$$

Lo que significa que:

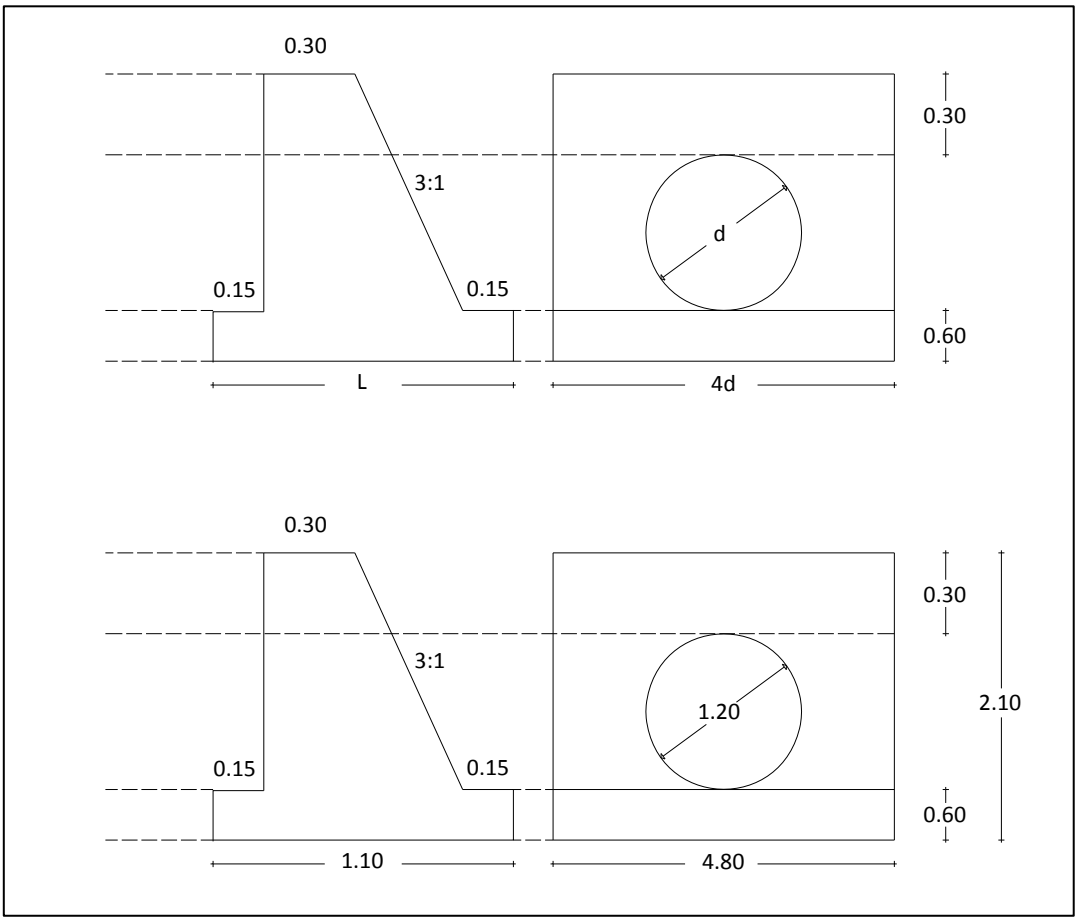
$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

Despejando D:

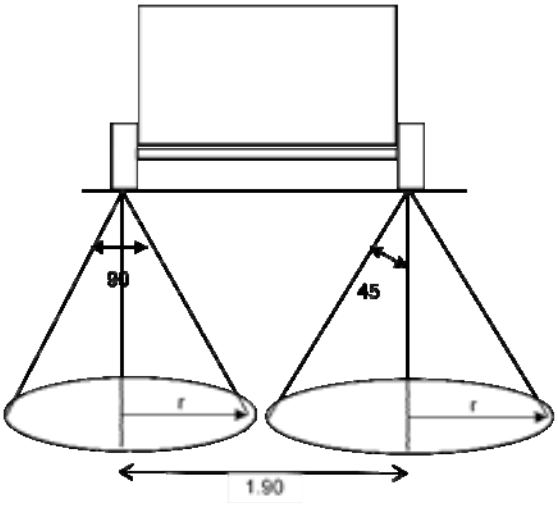
$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.3453)}{\pi}} = 0.66m$$

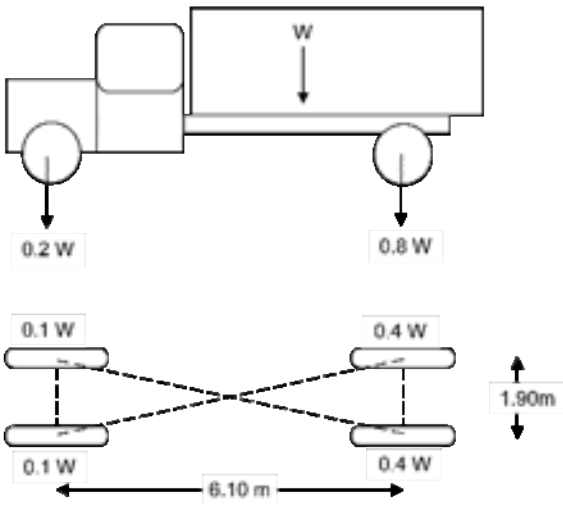
Para la alcantarilla 4 se necesita un tubo de 0.66 m de diámetro, pero la SCT marca 1.07 m como diámetro mínimo, por lo tanto se utilizará un tubo ADS de 1.20 m.

- **Diseño de muros de cabeza para las alcantarillas 1, 3 y 4.**



Análisis de las cargas vivas actuantes en las alcantarillas 1, 3 y 4.





El análisis de cargas se hará con un vehículo C3, de acuerdo a la SCT.

Largo = 6.1 m

Ancho = 1.9 m

Peso = 18000 kg

$$r = \frac{1.9}{2} = 0.95m$$

$$P = 0.4 * 18000 = 7200\ kg$$

$$S = \frac{P}{A} = \frac{7200}{\pi(0.95^2)} = 2540.71 kg/m^2$$

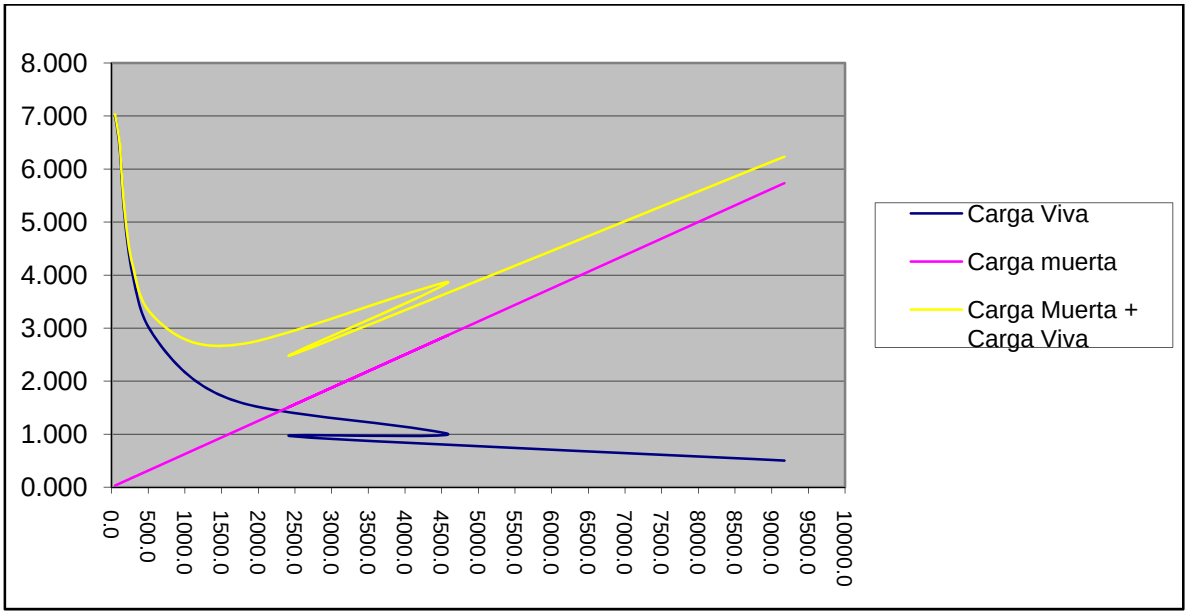
Calculando la distancia a la que se dejan de considerar las cargas como dobles.

$$L = \sqrt{6.1^2 * 1.9^2} = 6.39m$$

El peso volumétrico del suelo en el tramo en estudio es 1600 kg/m^3

h, en metros	S = P/A, en Kg/m2	h´ = S/ γ, en metros.	d = h + h´, en metros
0.500	9172.0	5.73	6.23
0.950	2540.7	1.59	2.54
1.000	4586.0	2.87	3.87
1.500	2038.2	1.27	2.77
2.000	1146.5	0.72	2.72
3.000	509.6	0.32	3.32
4.000	286.6	0.18	4.18
5.000	183.4	0.11	5.11
6.000	127.4	0.08	6.08
6.389	112.3	0.07	6.46
7.000	46.8	0.03	7.03

Graficando los valores de la tabla anterior se obtiene lo siguiente:



Se observa que las curvas de carga viva y muerta se cruzan en h=1.40 m, por lo tanto:

Para 1.40 m se tiene una carga distribuida de 2339.8 kg/m^2, misma que es menor a la carga que puede resistir el tubo ADS, que es de 12550.2 kg/m^2

De acuerdo a lo anterior, se acepta el tubo a flexión con un colchón de 1.40 m para las alcantarillas 1, 3 y 4.

Alcantarilla 2 en el kilómetro 5+780

- **Obtención del diámetro necesario de tubo.**

Fórmula de Talbot

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

Si

C = 0.6 (Terreno con lomerío).

A = 21.432 ha

$$S = 0.1832(0.6)\sqrt[4]{21.432^3} = 1.0948m^2$$

Sumando al área obtenida un 25% por azolve se tiene:

$$S + 25\% = 1.3686\, m^2$$

Lo que significa que:

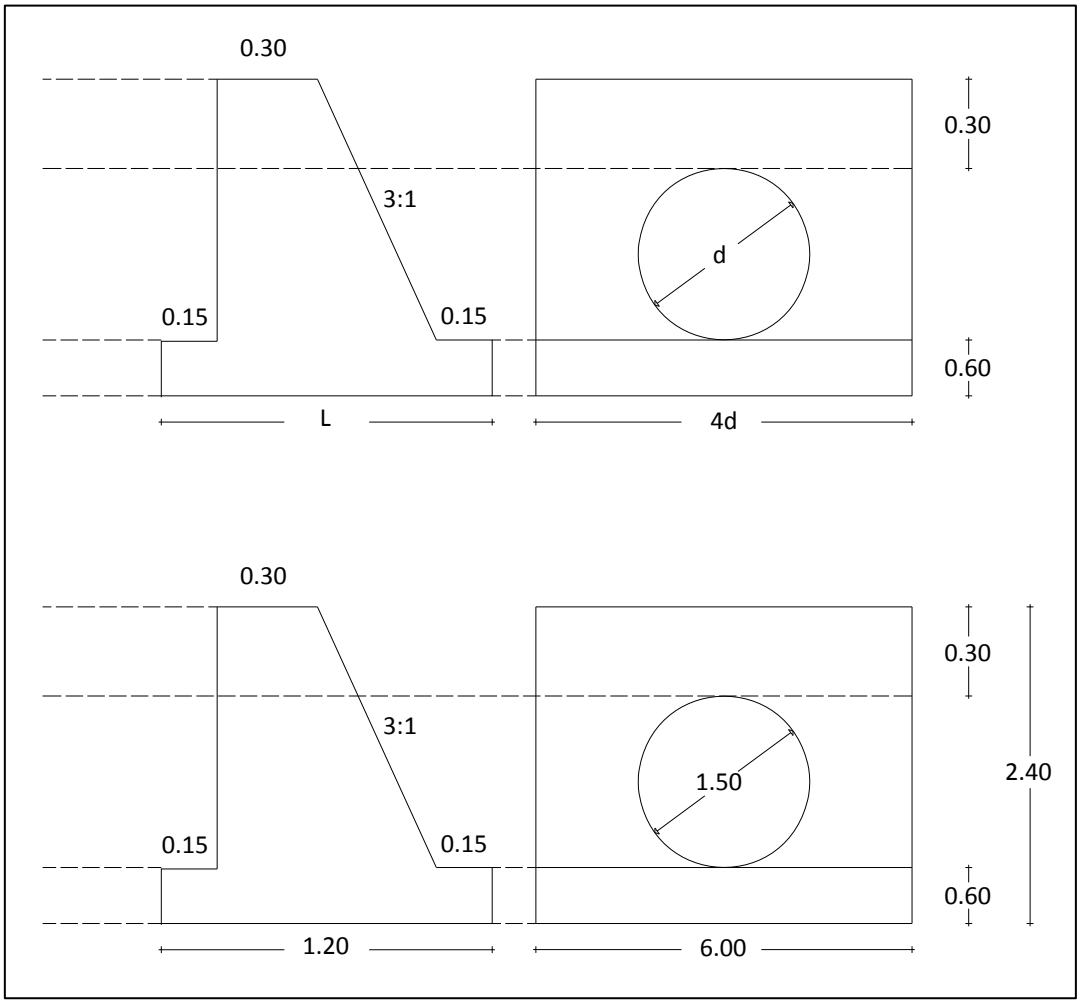
$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

Despejando D:

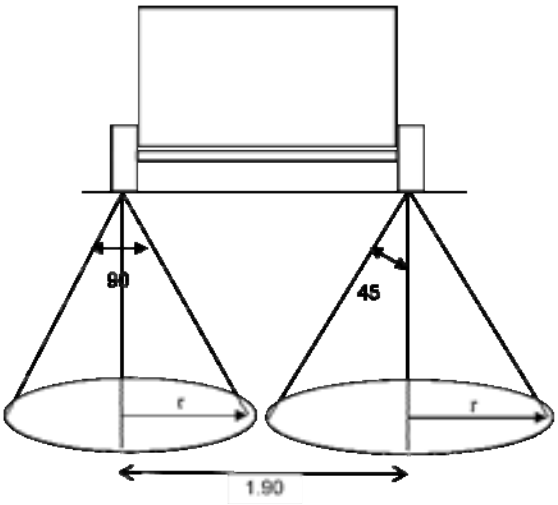
$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(1.3686)}{\pi}} = 1.32m$$

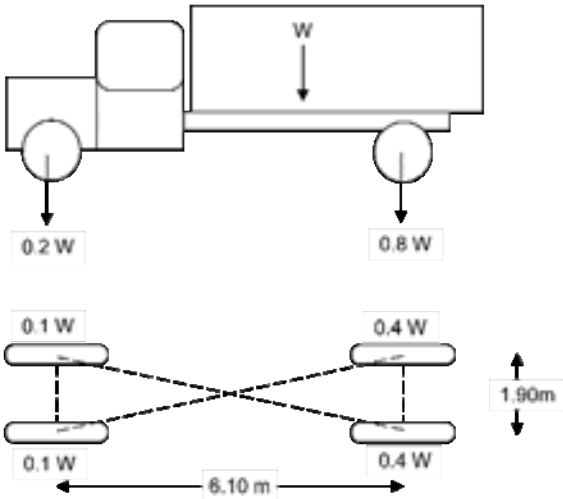
Para la alcantarilla 2 se necesita un tubo de 1.32 m de diámetro, por lo tanto se utilizará un tubo ADS de 1.50 m

- **Diseño de muros de cabeza para la alcantarilla 2**



Análisis de las cargas vivas actuantes en la alcantarilla.





El análisis de cargas se hará con un vehículo C3, de acuerdo a la SCT.

Largo = 6.1 m

Ancho = 1.9 m

Peso = 18000 kg

$$r = \frac{1.9}{2} = 0.95m$$

$$P = 0.4 * 18000 = 7200\ kg$$

$$S = \frac{P}{A} = \frac{7200}{\pi(0.95^2)} = 2540.71 kg/m^2$$

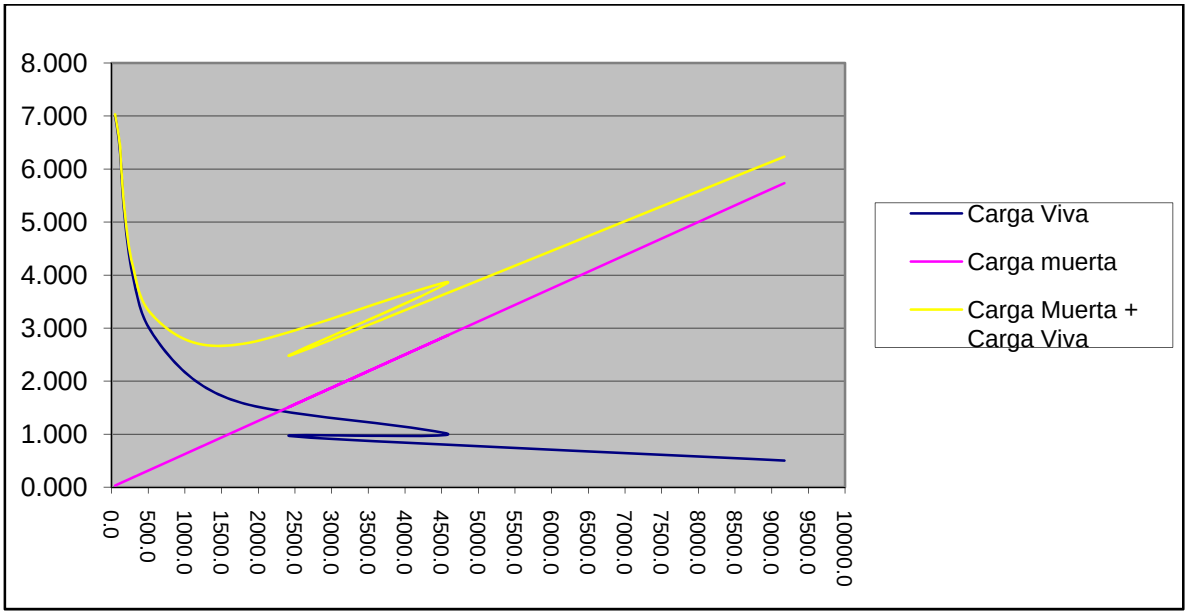
Calculando la distancia a la que se dejan de considerar las cargas como dobles.

$$L = \sqrt{6.1^2 * 1.9^2} = 6.39m$$

El peso volumétrico del suelo en el tramo en estudio es 1600 kg/m^3

h, en metros	S = P/A, en Kg/m2	h´ = S/ γ, en metros.	d = h + h´, en metros
0.500	9172.0	5.73	6.23
0.950	2540.7	1.59	2.54
1.000	4586.0	2.87	3.87
1.500	2038.2	1.27	2.77
2.000	1146.5	0.72	2.72
3.000	509.6	0.32	3.32
4.000	286.6	0.18	4.18
5.000	183.4	0.11	5.11
6.000	127.4	0.08	6.08
6.389	112.3	0.07	6.46
7.000	46.8	0.03	7.03

Graficando los valores de la tabla anterior se obtiene lo siguiente:



Se observa que las curvas de carga viva y muerta se cruzan en h=1.40 m, por lo tanto:

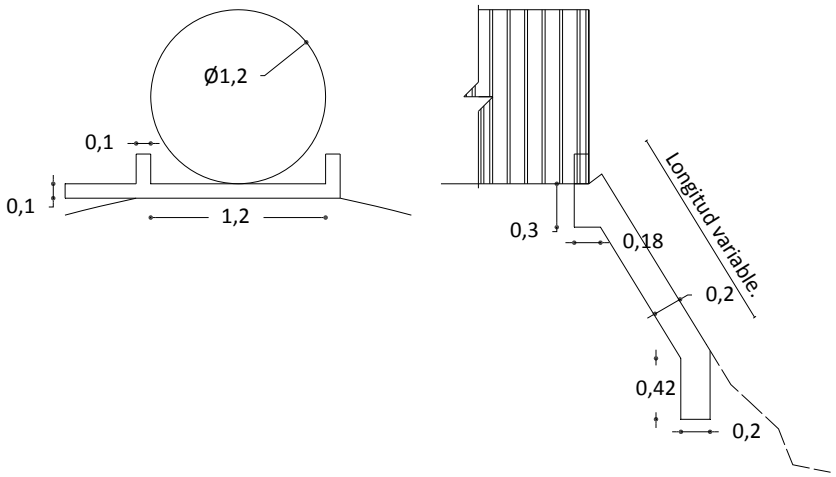
Para 1.40 m se tiene una carga distribuida de 2339.8 kg/m^2, misma que es menor a la carga que puede resistir el tubo ADS, que es de 9534.2 kg/m^2

De acuerdo a lo anterior, se acepta el tubo a flexión con un colchón de 1.40 m.

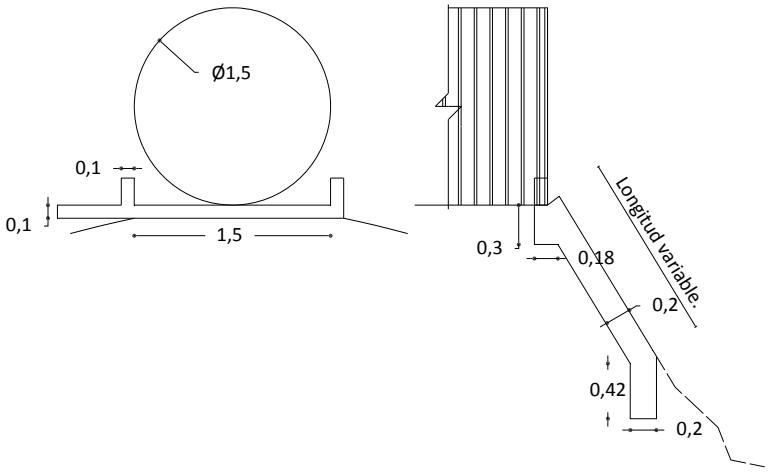
5.4 Lavaderos para alcantarillas.

El diseño de los lavaderos aguas abajo de las alcantarillas será de acuerdo a las condiciones del suelo.

- Para la alcantarilla 1, 3 y 4 ubicadas en los kilómetros 5+172,6+280 y 6+660 respectivamente se diseña un lavadero con las siguientes dimensiones.



- Para la alcantarilla 2 ubicada en el kilómetro 5+780 se diseña un lavadero con las siguientes dimensiones.



El diseño de los lavaderos aguas abajo de las alcantarillas se adecuaran de acuerdo al terreno natural y a criterio del ingeniero drenajista.

En lo que respecta al bombeo del camino se decide que sea del 2%, por ser un camino asfaltado.

5.5 Análisis de resultados.

Un análisis de resultados consiste en la comparación de los datos obtenidos en el proceso de diseño y los datos del proyecto original. Lo anterior tiene como finalidad determinar si las obras del proyecto original son las adecuadas o no, si están sobradas o tienen deficiencias. A continuación se describe el análisis obtenido:

- En el diseño de las cunetas del tramo en estudio se determinó usar la cuneta tipo (ver anexo A) que menciona Crespo (2005), y que establece la SCT, por considerarse adecuada para desalojar el agua que cae en el camino, misma que tiene un área de 0.2025 metros cuadrados, en este aspecto el proyecto a revisar contempla una sección de cuneta con área igual a 0.0448 metros cuadrados.

- El proceso de diseño de las alcantarillas ubicadas en los kilómetros 5+172, 6+280 y 6+660 arrojó que se necesita un diámetro menor al aceptado por la SCT para caminos tipo D, que es de 1.07 metros, por lo que se determinó usar el diámetro nominal de tubería ADS más aproximado al requerido, dicho diámetro es de 1.20 metros. El proyecto en revisión especifica un diámetro para las mencionadas alcantarillas igual a 1.20 metros, pudiendo ser de lámina corrugada o ADS, en este caso se observa que ambos diseños coinciden.

- Para la alcantarilla situada en el kilómetro 5+780, el proceso de diseño determinó que el diámetro necesario es de 1.50 metros (ver anexo B), siendo del material ADS. En dicha obra de drenaje el proyecto a revisar especifica un diámetro de 1.20 metros, pudiendo ser de lámina corrugada o ADS. En base a lo anterior se

observa que el diámetro del proyecto original es insuficiente para que la alcantarilla cumpla su objetivo.

- En lo concerniente a los muros de cabeza se observan diferencias, debido a que el proyecto en revisión contempla muros de cabeza de 2 metros de ancho por 2 metros de alto. Las dimensiones obtenidas en el presente trabajo de investigación marcan muros de cabeza de 4.80 metros de ancho por 2.10 metros de alto para las alcantarillas de los kilómetros 5+172, 6+280 y 6+660; por lo que respecta a la alcantarilla del kilómetro las dimensiones de dichos muros son de 6 metros de ancho por 2.40 metros de alto.

- El proceso de diseño realizado en el presente trabajo de tesis determinó la necesidad de lavaderos en la zona de desfogue de las alcantarillas, de los cuales carece el proyecto en revisión (Ver anexo C).

- En lo que respecta al bombeo se observa que cumple con el requerido en las normas de la SCT, siendo este del 2% (Ver anexo D).

Por último, el anexo E muestra el tramo carretero en estudio visto en planta.

CONCLUSIONES

El objetivo principal del presente trabajo de investigación era revisar el sistema de drenaje de la carretera Tarecuato-Los Húcuares, del kilómetro 5+172 al 6+660 para determinar si es el adecuado. En base a los resultados obtenidos se puede decir que dicho objetivo se ha cumplido, llegando a la conclusión de que el sistema de drenaje en el tramo ya mencionado no es del todo adecuado.

En lo que respecta a las cunetas, la sección de proyecto es muy reducida, lo que no permite un correcto desalojo del agua que cae sobre el camino. Sobre las alcantarillas se observó que el diámetro de tubo para la alcantarilla ubicada en el kilómetro 5+780 es menor al requerido para que dicha obra de drenaje cumpla con su función principal. Sobre las alcantarillas restantes ubicadas en el kilómetro 5+172, 6+280 y 6+660 el diámetro de tubo es adecuado. Así mismo, la revisión de las alcantarillas arrojó como resultado la falta de lavaderos aguas abajo de las mismas, cuya función es evitar la socavación de los muros de cabeza y el estancamiento de agua en la zona de desfogue. Dichos lavaderos no se encuentran considerados en el proyecto original.

Las interrogantes planteadas al inicio de la presente tesis fueron respondidas durante el desarrollo de la misma, siendo las respuestas las siguientes:

Se le llama camino o vía de comunicación a la franja de terreno que ha sido acondicionada para permitir la circulación de vehículos. El drenaje es la obra que permite desalojar el agua que cae sobre el camino, haciendo que fluya por la superficie o por infiltraciones en el terreno. El objetivo de una obra de drenaje es

reducir al máximo la cantidad de agua que llega al camino, dando además una salida rápida al agua que alcanza a llegar a la superficie de rodamiento. El principal beneficio que generan las obras de drenaje para los usuarios es el incremento de la seguridad al transitar por un camino, otro beneficio es el aumento de la vida útil de dicha obra. La principal ventaja en el aspecto económico de un sistema de drenaje es la reducción de los costos de mantenimiento, tanto del camino como de las obras de drenaje. El mejor sistema de drenaje es aquel que con el menor costo de construcción permite un desalojo rápido del agua que cae sobre el camino. Los elementos que forman un sistema de drenaje son las alcantarillas y muros de cabeza, cuyo objetivo es permitir el paso del agua a través de un camino, sin dañar la estructura del mismo, también forman parte del sistema de drenaje las cunetas y contracunetas, cuya función es la de captar el agua que cae sobre el camino y conducirla hacia las alcantarillas. El bombeo es otro elemento de los sistemas de drenaje que tiene como función drenar el agua que cae sobre el camino hacia las cunetas o hacia los terraplenes. Un último elemento de los sistemas de drenaje son los puentes, cuya función es la misma que las alcantarillas, pero se usan cuando los claros entre dos puntos son mayores a seis metros.

Durante el desarrollo de la presente tesis se aprendió a calcular las obras de drenaje necesarias para que un camino funcione adecuadamente, de la misma forma se tuvo conocimiento de los diferentes reglamentos y normas que rigen el diseño de las ya mencionadas obras de drenaje.

BIBLIOGRAFÍA

Aparicio Mijares, Francisco Javier (1993)

Fundamentos de hidrología de superficie

Editorial Limusa, México.

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

Cuaderno de trabajo de comportamiento de suelos

Editorial UNAM, Facultad de Ingeniería Civil, México.

Crespo Villalaz, Carlos (2005)

Vías de comunicación: Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos

Editorial Limusa, 3ª Edición, México.

Hay, William W. (1961)

Ingeniería de transporte

Editorial Limusa, México.

Hernández Sampieri, Roberto (2005)

Metodología de la investigación

Editorial McGraw-Hill, México.

Manual de (1993)

Mantenimiento de obras civiles

CFE

Manual de proyecto (1974)
Geométrico de carreteras
SCT

Mendieta Alatorre, Ángeles (2005)
Métodos de investigación y manual académico
Editorial Porrúa, México.

Mier S., José Alfonso (1987)
Introducción a la ingeniería de caminos
UMNSH

Monsalve Sáenz, Germán (1999)
Hidrología en la Ingeniería
Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería 2ª edición.

Olivera Bustamante, Fernando (2006)
Estructuración de vías terrestres
Editorial continental 2ª edición, México.

Sánchez Arriaga, José Alberto; Arellano Naranjo, José Luis (2002)
Diseño de drenaje pluvial en el sector centro-sur de la ciudad de Uruapan, Mich.
Tesis, licenciatura, Ingeniería Civil, Universidad Don Vasco, Uruapan.

Sotelo A., Gilberto (1973)
Drenaje en carreteras y aeropuertos
Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Tamayo y Tamayo, Mario (2000)
El proceso de la investigación científica
Editorial Limusa, México.

Wright, Paul H. (1993)
Introducción a la Ingeniería
Editorial Limusa, México.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Círculo de Mohr (Fig. 1.5)
http://www.alipso.com/monografias/circulo_de_mohr/index_image004.jpg

Clasificación de caminos.
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_r_se/capitulo2.pdf

Compactación
http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/generalM6.htm

Curva granulométrica (Fig. 1.2)
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1c/Granulometr%C3%ADa.JPG

El ciclo hidrológico (Fig. 2.1)
http://www.jmarcano.com/nociones/ciclo1.html

Gráfica de distribución de la superficie y uso del suelo en Michoacán (Fig. 3.6)
http://cofom.michoacan.gob.mx/geograficos.htm

Información, datos estadísticos y referencias sobre el estado de Michoacán

http://www.inegi.gob.mx

Instituto Mexicano del Transporte.

www.imt.com.mx

Mapa de carreteras de Michoacán (Fig. 3.1)

http://mexicochannel.net/maps/mexico_maps_michoacan_roads_carreteras_sct.jpg

Mapa de cuencas hidrológicas forestales (Fig. 3.4)

http://cofom.michoacan.gob.mx/images/Cuencas.jpg

Mapa de precipitación promedio anual de Michoacán (Fig. 3.5)

http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/mich/precipit.cfm?c=444&e=16

Mapa geológico de Michoacán (Fig. 3.3)

http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/mich/geolo.cfm?c=444&e=12

Prueba Porter.

http://www.construaprende.com/Lab/15/Prac15.html

Prueba Proctor.

http://www.construaprende.com/Lab/5/Prac5_1.html

Referencias sobre el Mpio. de Tangamandapio, Mich.

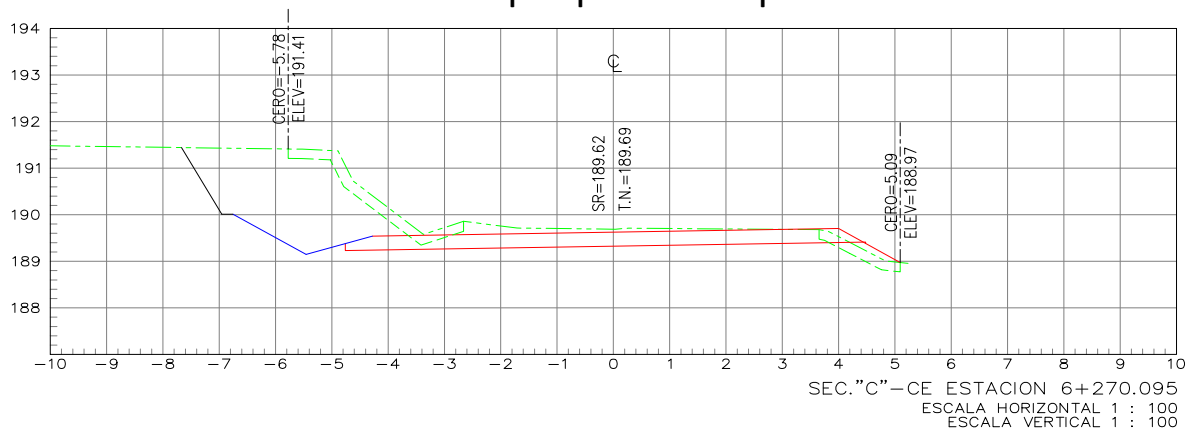
http://www.emexico.gob.mx/work/EMM_1/Michoacan/Mpios/16084a.htm

http://www.emexico.gob.mx

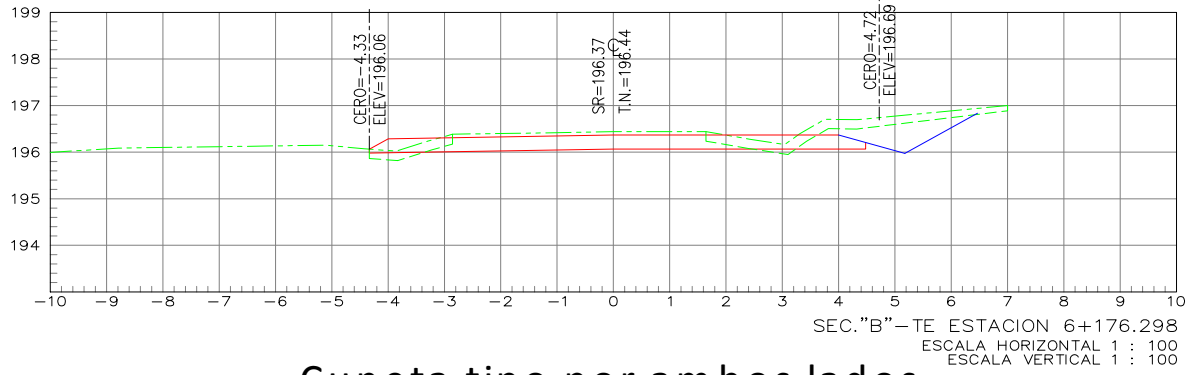
ANEXO A

La siguiente figura muestra como deberán verse los perfiles del camino después de aplicar la cuneta tipo en el tramo en estudio:

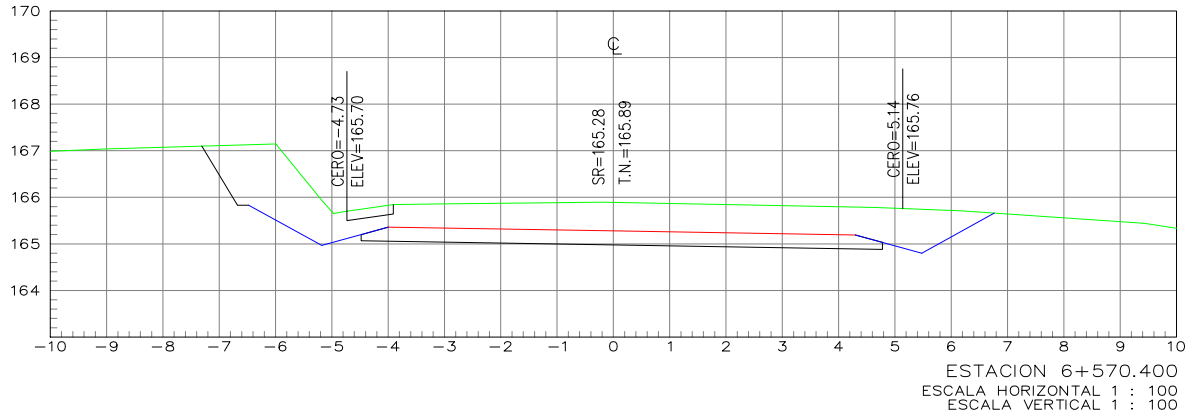
Cuneta tipo por la izquierda



Cuneta tipo por la derecha



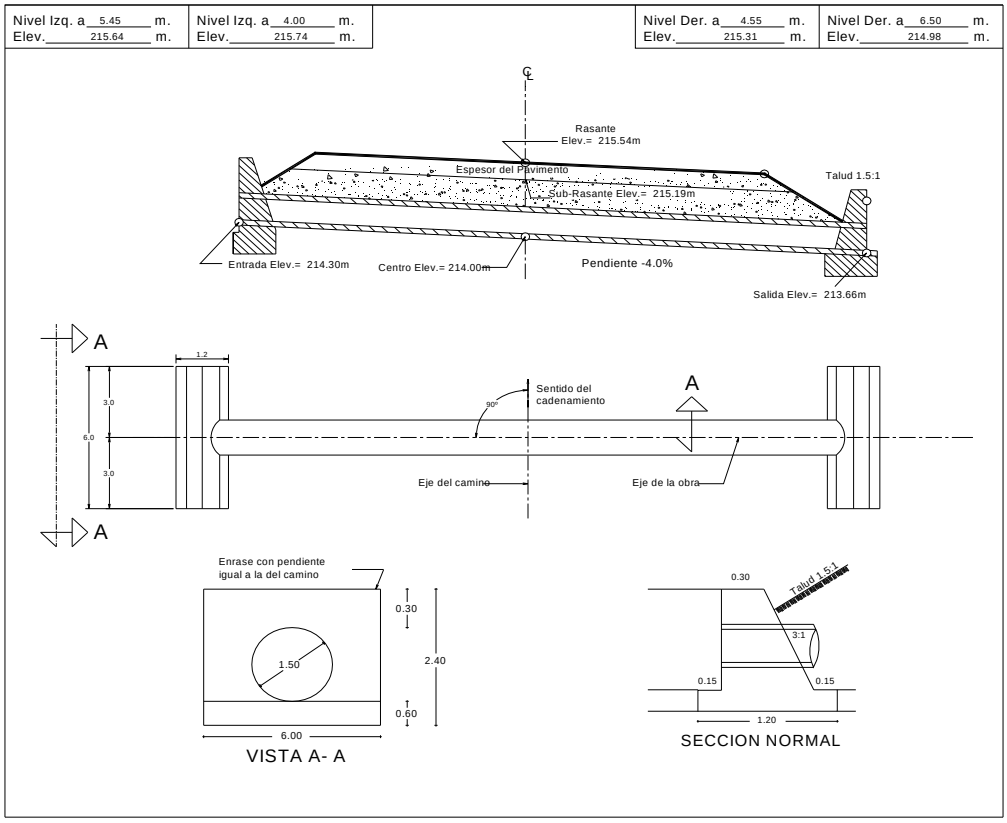
Cuneta tipo por ambos lados

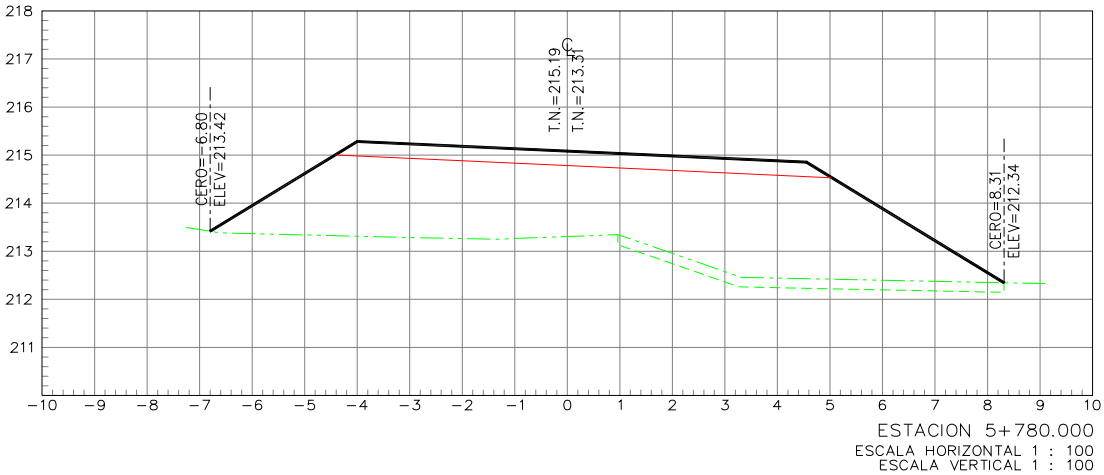


Así mismo se muestran a continuación los tramos de cuneta del camino, la ubicación izquierda (I), o derecha (D) y la longitud que tendrá la cuneta tipo.

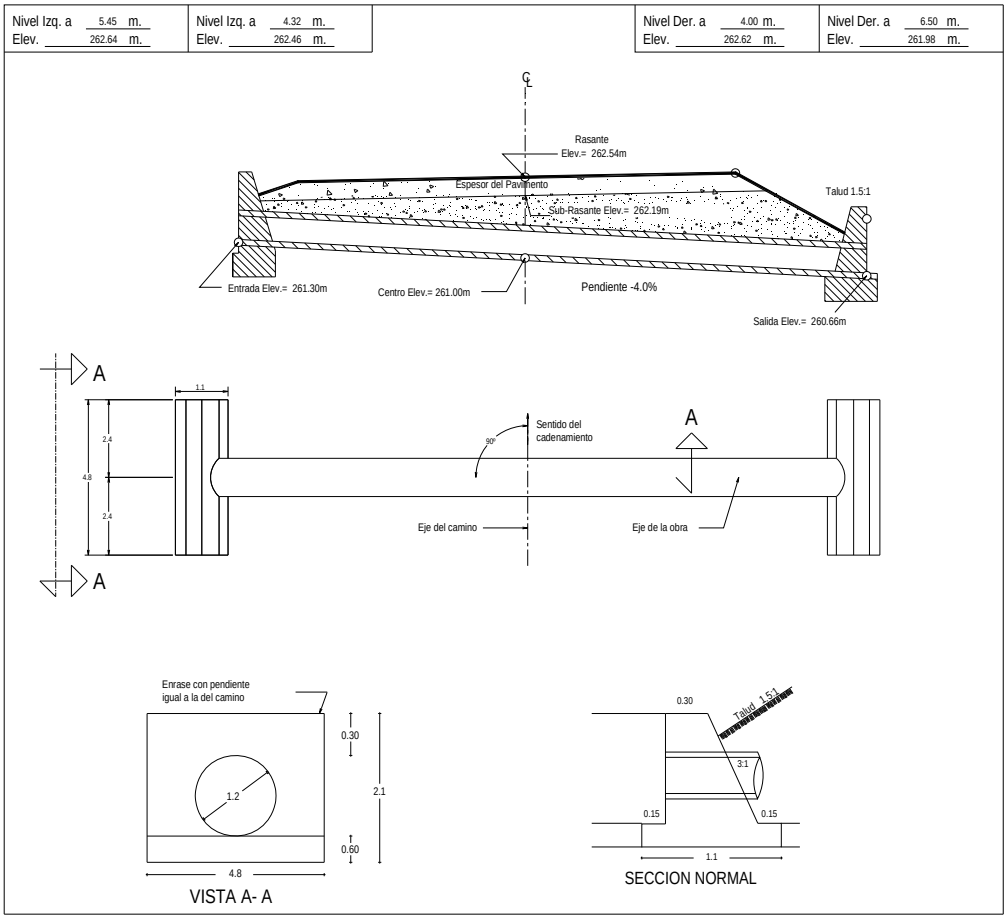
TRAMO		LADO	LONGITUD
INICIO	FIN		
5 + 172.029	5 + 220.000	I	47.971
5 + 285.450	5 + 360.000	I	74.550
5 + 540.000	5 + 571.266	I	31.266
5 + 571.266	5 + 608.271	I	37.005
5 + 571.266	5 + 608.271	D	37.005
5 + 608.271	5 + 640.000	I	31.729
5 + 820.000	5 + 920.000	I	100.000
6 + 000.000	6 + 060.000	I	60.000
6 + 140.000	6 + 200.000	D	60.000
6 + 200.000	6 + 240.000	I	40.000
6 + 240.000	6 + 270.095	I	30.095
6 + 240.000	6 + 270.095	D	30.095
6 + 270.095	6 + 340.000	I	69.905
6 + 360.000	6 + 380.000	I	20.000
6 + 380.000	6 + 440.000	I	60.000
6 + 380.000	6 + 440.000	D	60.000
6 + 460.000	6 + 480.000	I	20.000
6 + 480.000	6 + 529.429	I	49.429
6 + 480.000	6 + 529.429	D	49.429
6 + 529.429	6 + 540.000	I	10.571
6 + 540.000	6 + 600.000	I	60.000
6 + 540.000	6 + 600.000	D	60.000

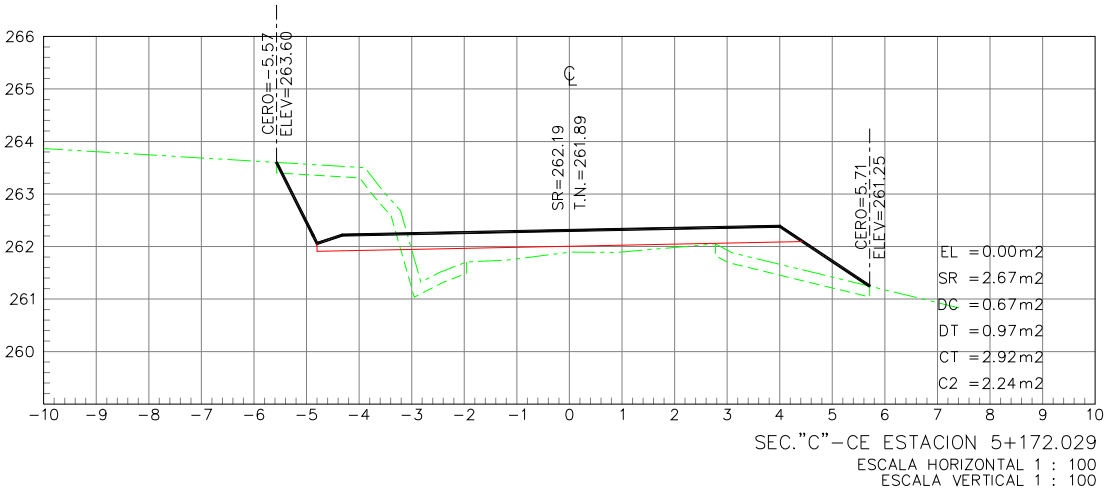
ANEXO B


Nivel Izq. a 5.45 m.
Elev. 215.64 m.
Nivel Izq. a 4.00 m.
Elev. 215.74 m.
Nivel Der. a 4.55 m.
Elev. 215.31 m.
Nivel Der. a 6.50 m.
Elev. 214.98 m.
Rasante
Elev.= 215.54m
Espesor del Pavimento
Sub-Rasante Elev.= 215.19m
Talud 1.5:1
Entrada Elev.= 214.30m
Centro Elev.= 214.00m
Pendiente -4.0%
Salida Elev.= 213.66m
A
1.2
3.0
6.0
3.0
Sentido del cadenamiento
90°
Eje del camino
Eje de la obra
Enrase con pendiente igual a la del camino
0.30
1.50
2.40
0.60
6.00
VISTA A- A
0.30
Talud 1.5:1
3:1
0.15
0.15
1.20
SECCION NORMAL


218
217
216
215
214
213
212
211
CERO=-6.80
ELEV=213.42
T.N.=215.19
T.N.=213.31
CERO=8.31
ELEV=212.34
−10 −9 −8 −7 −6 −5 −4 −3 −2 −1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
ESTACION 5+780.000
ESCALA HORIZONTAL 1 : 100
ESCALA VERTICAL 1 : 100

ANEXO C



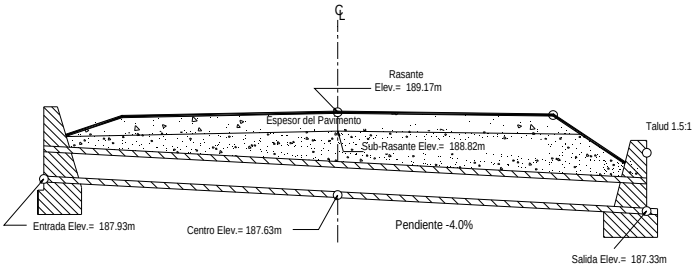


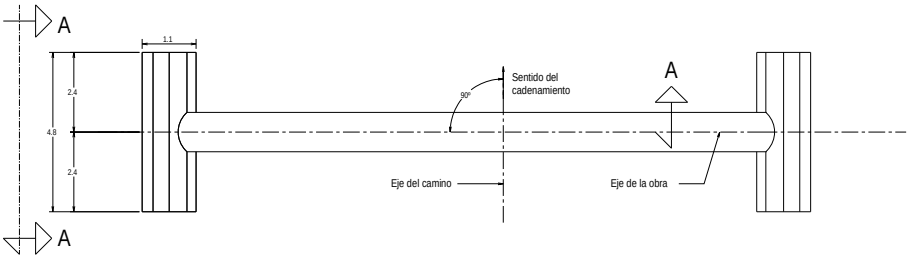
SEC."C"−CE ESTACION 5+172.029

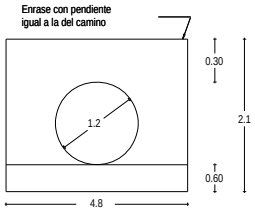
ESCALA HORIZONTAL 1 : 100

ESCALA VERTICAL 1 : 100

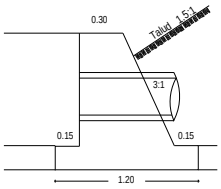
Nivel Izq. a 5.45 m. Elev. 189.27 m.	Nivel Izq. a 4.00 m. Elev. 189.09 m.	Nivel Der. a 4.00 m. Elev. 189.09 m.	Nivel Der. a 5.74 m. Elev. 188.65 m.



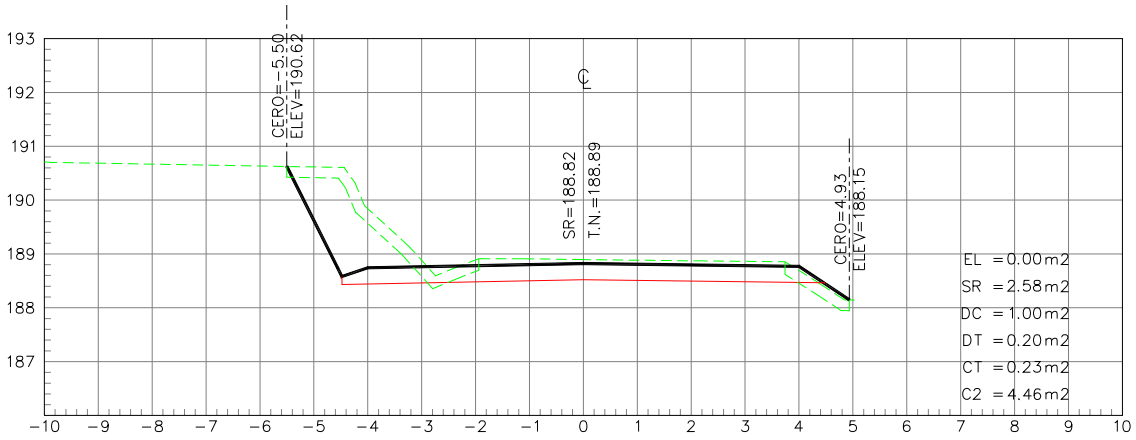




VISTA A- A



SECCION NORMAL

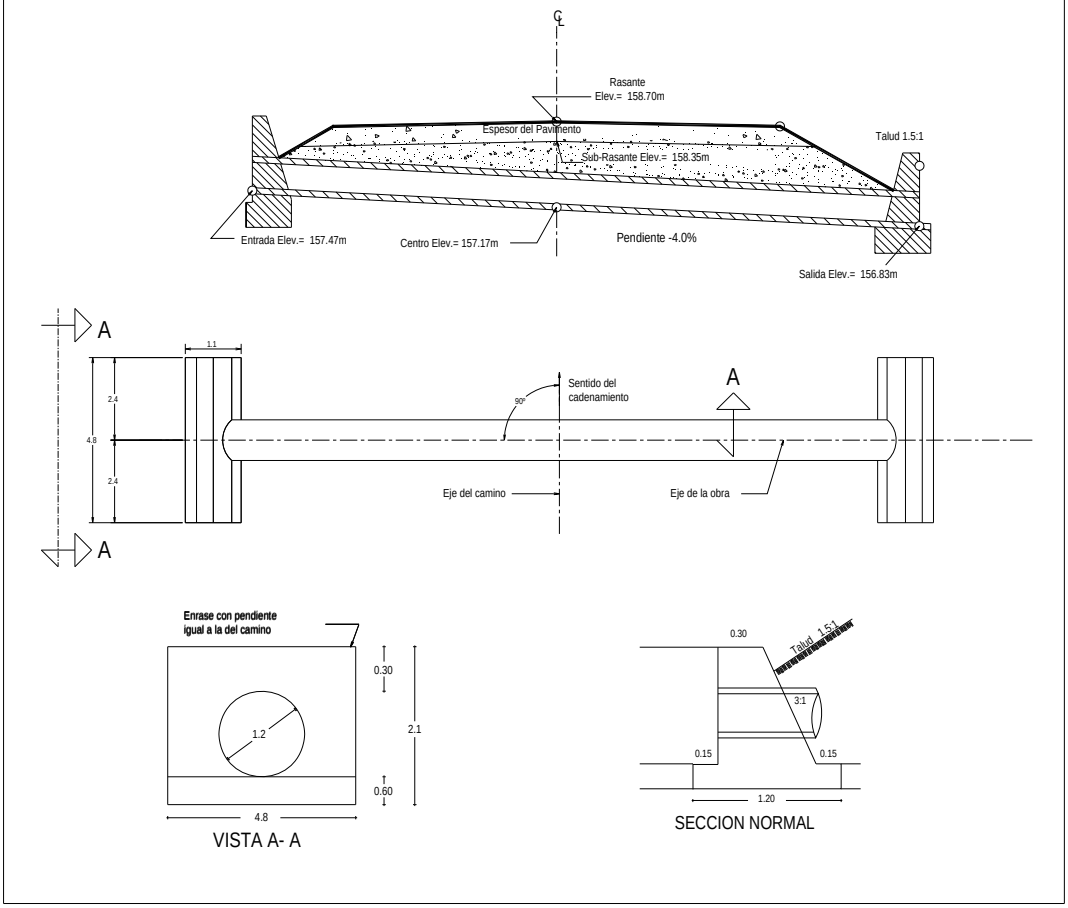


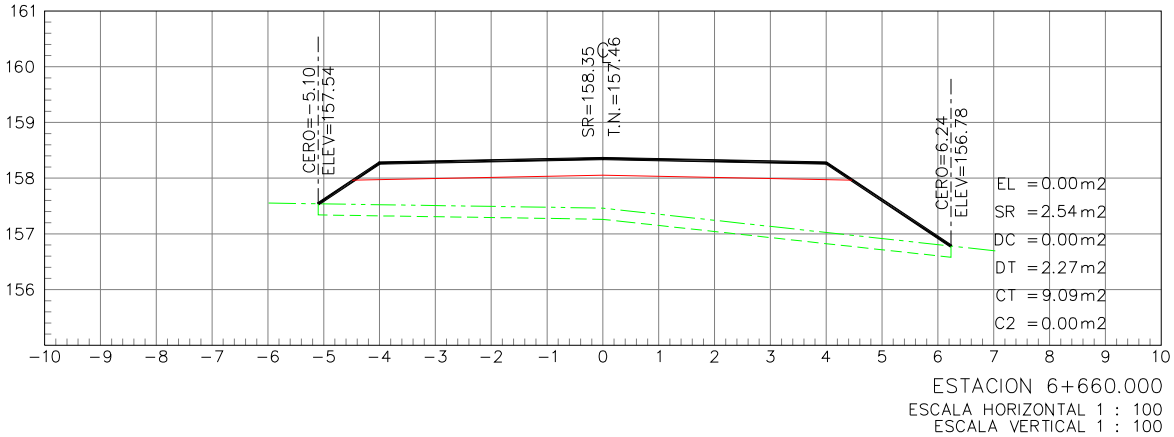
ESTACION 6+280.000

ESCALA HORIZONTAL 1 : 100

ESCALA VERTICAL 1 : 100

Nivel Izq. a 5.45 m.	Nivel Izq. a 4.00 m.	Nivel Der. a 4.00 m.	Nivel Der. a 6.50 m.
Elev. 158.80 m.	Elev. 158.62 m.	Elev. 158.62 m.	Elev. 158.14 m.





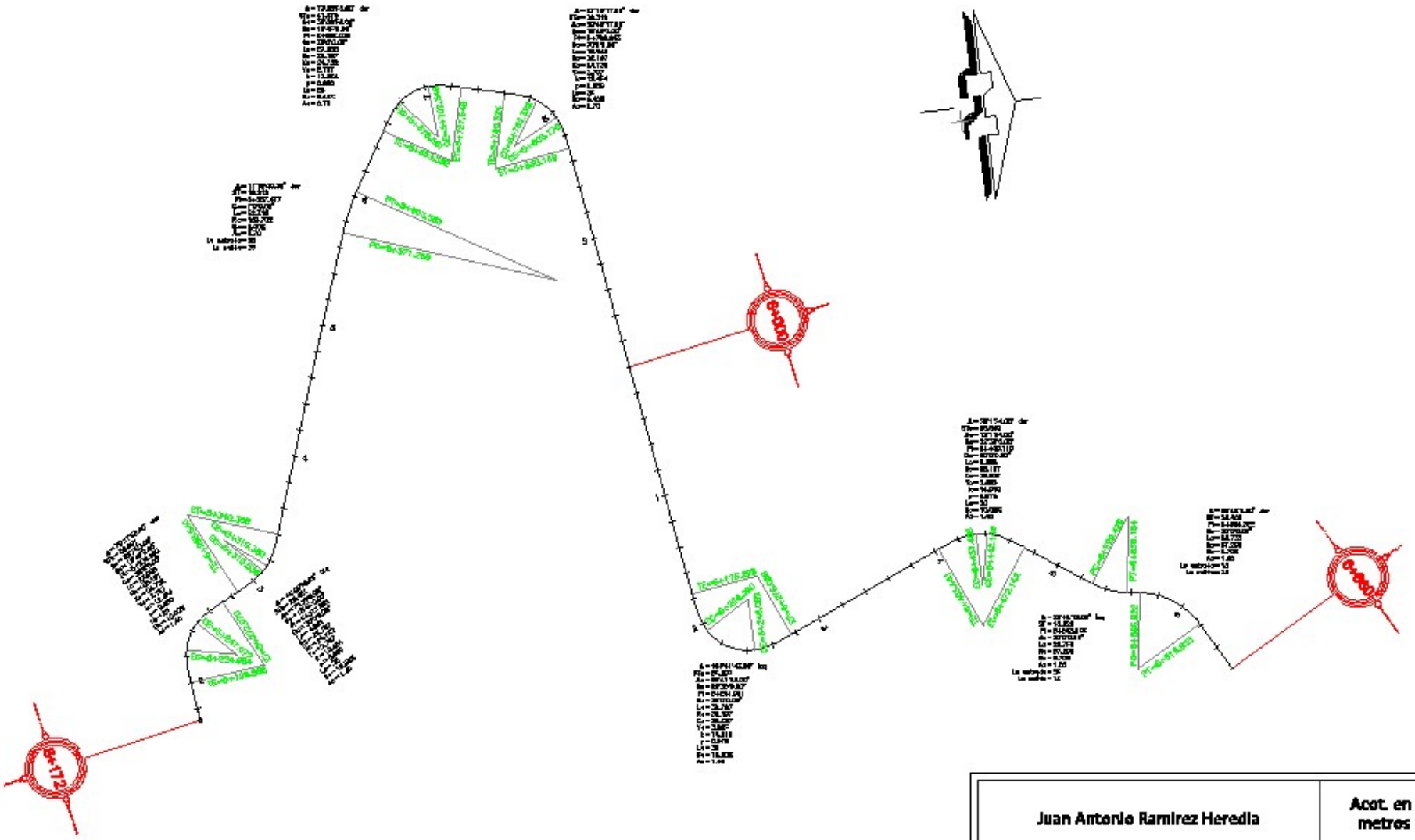
ESTACION 6+660.000

ESCALA HORIZONTAL 1 : 100

ESCALA VERTICAL 1 : 100

SECCIONES TRANSVERSALES DEL TRAMO CARRETERO TARECUATO-LOS HÚCUARES, DEL KM 5+172 AL 6+660

Juan Antonio Ramirez Heredia	Acot. m
Contenido: Secciones del tramo carretero	Esc. 1:400
Revisó: Ing. Sandra Natalia Parra Macias	Anexo D



Juan Antonio Ramirez Heredia	Acot. en metros
Contenido: Planta del camino del km 5+172 al 6+660	Esc. 1:1500
Revisó: Ing. Sandra Natalia Parra Macías	Anexo E