

UNIVERSIDAD DON VASCO, A.C.

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

REVISIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL TRAMO PATAMBAN-LA CANTERA, KM 9+700 AL 14+660, EN EL ESTADO DE MICHOACAN.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

José Francisco Parra Macías.

Asesor: Ing. Sandra N. Parra Macías

Uruapan, Michoacán, 2008.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A mi Madre, por no dejarme salir del vientre a pesar de los años, por construir paso a paso el camino y llevarme de la mano hasta donde estoy.

A mis hermanos, por compartirme lo mejor de cada uno y ser motivación en todos los planos de la vida.

A Maricarmen García, por tener la paciencia, dedicación y cariño para estar a mi lado en las buenas y en las malas. Siempre.

A mis amigos, de quienes no podría escribir sus nombres porque no tengo suficiente espacio, gracias a todos por permitirme crecer en su compañía.

A mis maestros y asesores por transmitir el conocimiento para mi formación de la mejor manera, más que maestros, amigos.

A la ingeniería por permitirme ver el mundo con sus ojos.

A Dios...

Quiero dedicar,
en especial, este trabajo al ángel
que mientras estuvo entre nosotros
llamé Papá.

ÍNDICE

Introducción

Antecedentes..	1
Planteamiento del problema..	3
Objetivos.	3
Objetivo general.	3
Objetivos específicos.	4
Pregunta de investigación.	4
Justificación.	4
Delimitación.	5
Marco de referencia.	6

Capítulo 1.- Vías terrestres.

1.1 Antecedentes de los caminos.	7
1.2 Inventario de caminos.	8
1.3 Elementos de la ingeniería de tránsito usados para el proyecto.	9
1.3.1 El problema de tránsito.	9
1.3.2 Soluciones al problema de tránsito.	10

1.3.3 Los elementos de tránsito.	.	.	.	.	.	.	11
1.4 Velocidad.	.	.	.	.	.	.	13
1.4.1 Velocidad de proyecto.	.	.	.	.	.	.	13
1.4.2 Velocidad de operación.	.	.	.	.	.	.	14
1.4.3 Velocidad de punto.	.	.	.	.	.	.	14
1.4.4 Velocidad efectiva global.	.	.	.	.	.	.	14
1.5 Volumen de tránsito.	.	.	.	.	.	.	14
1.5.1 Conteos de tránsito.	.	.	.	.	.	.	16
1.5.2 Muestreos.	.	.	.	.	.	.	16
1.5.3 Conteos mecánicos.	.	.	.	.	.	.	16
1.5.4 Estudio de origen y destino.	.	.	.	.	.	.	17
1.6 Densidad de tránsito.	.	.	.	.	.	.	18
1.7 Derecho de vía	.	.	.	.	.	.	19
1.8 Capacidad y nivel de servicio.	.	.	.	.	.	.	19
1.8.1 Capacidad.	.	.	.	.	.	.	20
1.8.2 Nivel de servicio.	.	.	.	.	.	.	20
1.8.3 Volumen de servicio.	.	.	.	.	.	.	21
1.9 Distancia de visibilidad.	.	.	.	.	.	.	21

1.9.1 Distancia de visibilidad de parada.	21
1.9.2 Distancia de visibilidad de rebase.	22
1.10 Mecánica de suelos.	22

Capítulo 2.- Drenaje.

2.1 Antecedentes.	26
2.2 Objetivo.	26
2.3 Hidrología.	27
2.3.1 Ciclo del agua.	27
2.4 Cuenca hidrológica.	28
2.5 Características fisiográficas de una cuenca hidrológica.	29
2.5.1 Área de drenaje.	29
2.5.2 Forma de la hoya.	30
2.5.3 Pendiente de la cuenca.	30
2.5.3.1 Criterio de Alvord.	31
2.5.3.2 Criterio de Horton.	32
2.5.3.3 Criterio de Nash.	34
2.5.4 Número de orden de la cuenca.	36

2.5.5 Densidad de drenaje.	37
2.5.6 Pendiente del cauce principal.	38
2.5.7 Elevación de la cuenca.	39
2.6 Precipitación.	39
2.6.1 Medición de la precipitación.	40
2.6.2 Precipitación media.	41
2.7 Escurrimiento.	43
2.7.1 Hidrograma.	43
2.7.2 Aforos de corrientes.	45
2.8 Infiltración.	46
2.9 Avenidas de diseño.	47
2.10 Drenaje en los caminos.	48
2.11 Drenaje superficial.	49
2.11.1 Drenaje longitudinal.	49
2.11.2 Drenaje transversal.	52
2.12 Drenaje subterráneo.	57
2.13 Puentes.	59
2.13.1 Antecedentes de los puentes.	60

2.13.2 Clasificación de los puentes.	61
2.13.3 Estudios de campo.	62

Capítulo 3.- Resumen ejecutivo de macro y micro localización.

3.1 Generalidades.	64
3.2 Resumen ejecutivo.	64
3.3 Entorno geográfico.	65
3.3.1 Macro y Micro localización.	65
3.3.2 Topografía regional y de la zona en estudio.	67
3.3.3 Geología regional y de la zona en estudio.	68
3.3.4 Hidrología regional y de la zona en estudio.	69
3.3.5 Uso de suelo regional y de la zona en estudio.	71
3.4 Informe fotográfico.	71
3.4.1 Estado físico actual.	71
3.5 Estudios de tránsito.	73
3.6 Alternativas de solución.	75

Capítulo 4.- Metodología.

4.1 Método empleado.	76
4.2 Enfoque de la investigación.	77
4.2.1 Alcance de la investigación.	77
4.3 Diseño de la investigación.	77
4.4 Instrumentos de recopilación de datos.	78
4.5 Descripción del procedimiento de investigación.	79

Capítulo 5.- Análisis e interpretación de resultados.

5.1 Diseño de cunetas.	80
5.2 Diseño de alcantarillas.	82
5. 3 Bombeo del camino.	95

Conclusión.	97
----------------------------	-----------

Bibliografía.	99
------------------------------	-----------

Anexos.

RESUMEN

En el presente trabajo de tesis titulado REVISIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL TRAMO PATAMBAN-LA CANTERA, KM 9+700 AL 14+660, EN EL ESTADO DE MICHOACAN., tuvo como objetivo el revisar el sistema de drenaje por medio de cálculos para mejorar la eficiencia del sistema de drenaje y por consecuencia la funcionalidad de la vía de comunicación; desarrollando para este trabajo de investigación en el capítulo 1, lo relativo a las Vías terrestres, observando los aspectos principales que se deben tomar en cuenta para una vía carretera; por otra parte, en el capítulo 2 se abordó la teoría de drenaje para carreteras.

En lo que se refiere a la ubicación geográfica y topográfica del tramo en estudio, está contenido en el capítulo 3 con el título de Resumen ejecutivo de Macro y Micro localización.

En el capítulo 4 se indica la metodología usada en la elaboración de este trabajo, que fue el método matemático cuantitativo apoyado en el método analítico, siendo una investigación no experimental, elaborando un diseño de drenaje idóneo respaldado en la teoría recabada en el capítulo 2 y que apoyado en los programas de computadoras se realizaron los cálculos necesarios para la realización de las obras de drenaje para una vía de comunicación segura y eficiente.

De esta manera, se considera que este trabajo beneficiará a la comunidad de Ingeniería Civil, estudiantes de Ingeniería Civil, las poblaciones aledañas al tramo carretero o usuarios que circulen en el mismo. Cabe mencionar, que en la presente investigación se tiene como principal objetivo la revisión de las obras de drenaje existentes en el tramo para conocer su nivel de servicio actual y ofrecer una alternativa de solución para aquellas estructuras que no sean suficientes para tener una segura circulación del usuario y un menor deterioro en la vía de comunicación.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

Desde tiempos muy remotos y ante la necesidad del hombre de comunicarse y desplazarse a otros pueblos, lo obligaron a buscar los medios y la manera de hacerlo. Los peatones y jinetes fueron los responsables de los primeros caminos.

Debido al aumento de tamaño de las poblaciones, la necesidad no fue solamente de comunicación, sino también del transporte de mercancías hacia pueblos vecinos que no satisfacían sus propias necesidades, ahí surgen las carreteras.

Se dice que el progreso de una nación está estrechamente ligado a la cantidad y calidad de sus sistemas de comunicación y de transporte, siendo las vías terrestres uno de los más importantes y por consecuencia las carreteras. De ahí la importancia de conservar y mejorar las características y componentes de las mismas.

Una de las principales causas de deterioro de los caminos son la lluvia y la circulación de agua cerca o dentro de la estructura de los mismos, lo que encaminó a utilizar lo que hoy se conoce como sistema de drenaje que se compone de distintas estructuras y obras complementarias que permiten minimizar la estancia del agua en la superficie de rodamiento así como encausar las corrientes de agua lejos de la estructura del camino.

Dada la importancia de un acertado sistema de drenaje en los caminos en México se han realizado algunas investigaciones al respecto, como el diseño del

drenaje en la intersección del libramiento de Guacamayas, carretera: Zihuatanejo - Lázaro Cárdenas, tesis de Christian César González Mejía de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Don Vasco 2008, entre otros.

Planteamiento del problema.

Como ya se mencionó, el sistema de drenaje es primordial para la conservación de caminos pero también para la seguridad de los usuarios, a fin de lograr prolongar la vida útil del camino así como disminuir las pérdidas por mantenimiento, deterioro prematuro y accidentes de tránsito, por lo cual es indispensable contar con una buena solución en el sistema de drenaje de cualquier carretera, y el tramo de Patamban – La Cantera no es la excepción.

Es indispensable, por tanto, obtener un sistema de drenaje idóneo para permitir un correcto funcionamiento del camino y evitar el deterioro, creando estructuras funcionales, suficientes y a un bajo costo. El tramo carretero en cuestión es una vía de comunicación importante para el municipio de Patamban ya que es el único acceso carretero hacia el oriente.

En México los recursos que se destinan a la construcción, reconstrucción y conservación de caminos son limitados, por lo cual es necesario diseñar y revisar de manera adecuada los sistemas de drenaje para evitar problemas futuros.

Objetivos.

El presente trabajo de investigación, responde a los siguientes objetivos:

Objetivo general.

Revisar el sistema de drenaje en el tramo carretero Patamban- La Cantera del km. 9+700 al 14+660, para determinar si es el suficiente y adecuado o no.

Objetivos específicos.

- a) Definir qué es un sistema de drenaje.
- b) Identificar los diferentes tipos de obra que componen los sistemas de drenaje.
- c) Conocer las consideraciones de diseño para el cálculo de un sistema de drenaje.

Pregunta de Investigación.

A continuación se presentan los distintos cuestionamientos a los que se darán respuesta a través de esta investigación:

¿Es suficiente el sistema de drenaje diseñado para el tramo carretero Patamban-La Cantera, km 9+600 al 14+660?

¿Qué es un sistema de drenaje?

¿Cuál es la función de los sistemas de drenaje?

¿Qué tipos de obras de drenaje existen y sus características?

¿Cuál es la importancia de un importante sistema de drenaje?

Justificación.

Dada la importancia que tiene el sistema de drenaje de las vías terrestres cabe mencionar que el estudio y análisis correspondientes al correcto y adecuado desarrollo de un sistema de drenaje, no sólo es importante para proporcionar la seguridad de tránsito, evitar accidentes e inundaciones, ayudar a la conservación del camino y prevenir el deterioro prematuro del mismo, evitando gastos innecesarios,

correcciones y mantenimientos excesivos que repercutirían económicamente al municipio, así como problemas estructurales , situaciones en las cuales se ve inmerso el usuario; sino también para orientar y ayudar a la comunidad universitaria y futuras generaciones para quienes esta investigación será fuente de información y apoyo.

De igual forma el municipio de Patamban se verá beneficiado con la aportación de la investigación sobre una de sus vías de comunicación más importantes.

Delimitación.

Debido a que las condiciones geográficas, geológicas, topográficas y climatológicas son muy variables de un lugar a otro y a través del tiempo, esta investigación es aplicable únicamente al tramo carretero Patamban- La Cantera del Km. 5+000 al 14+660 con sus condiciones especiales y particulares, en el periodo correspondiente a la investigación a pesar de que el procedimiento y estudio del diseño del sistema de drenaje en general es el mismo y será de gran utilidad para investigaciones futuras.

Marco de referencia.

La localidad de Patamban está situada en el municipio de Tangancícuaro, en el estado de Michoacán de Ocampo. Esta población cuenta con 3280 habitantes y se ubica a 2140 m. de altitud.

El municipio está localizado al norte del estado de Michoacán, colindante con las ciudades de Zamora y Jacona. Su clima es templado- tropical, de abundantes lluvias en verano, cuenta con una precipitación pluvial anual promedio de 1000 mm. La temperatura oscila entre -2 y 39.2° C, dominando el bosque de coníferas con oyamel y pino y el bosque mixto con encino, aire, fresno y pino. La superficie forestal maderable está ocupada por pino y encino, y la no maderable por matorrales diversos. Su relieve está constituido por el sistema volcánico transversal, sierra de Patamban y los cerros Patamban y Tangancícuaro.

Su hidrografía la constituyen el río Duero y los ojos de agua de Junguarán, Camécuaro y Cupatziro. Por sus condiciones naturales, el municipio cuenta con lugares propios para el desarrollo turístico, el cual constituye una actividad de vital importancia para el desarrollo económico. La actividad ganadera es también de vital importancia así como la actividad agrícola.

Uno de los principales problemas que enfrenta la localidad es la falta de empleo, por lo que el movimiento de comercio y de personas a otras ciudades tales como Zamora y Jacona es muy importante por su cercanía, por ello es muy importante que las vías se encuentren en condiciones adecuadas para ofrecer un mejor servicio y dar impulso a esta población.

CAPÍTULO 1

VÍAS TERRESTRES

En el presente capítulo se hablará acerca de los orígenes de las vías terrestres, su importancia y desarrollo en nuestro país, así como de los elementos que componen a estas vías y que son usados para la elaboración de proyectos.

1.1 Antecedentes de los caminos.

Se cree que la rueda apareció hace cinco mil años por la región de Asia Menor y desde aquel entonces el ser humano no ha parado de construir, mejorar, desarrollar y dar mantenimiento a las vías terrestres. Los romanos fueron los primeros en desarrollar de manera científica sus vías terrestres y se presume que en gran medida a eso debieron el gran desarrollo y el potencial de su imperio.

Para México la historia de los caminos comienza con las veredas, senderos y calzadas de piedra que construyeron las grandes civilizaciones como lo fueron los aztecas y mayas por sus actividades bélicas, religiosas y comerciales y que a pesar de no conocer la rueda ni disponer de animales de tiro y carga desarrollaron un buen número de ellos y algunos aun en la actualidad se conservan. Tiempo después la colonización trajo consigo una importante mejora de los caminos existentes y la creación de muchos nuevos debido a la necesidad española de explotar su conquista y al uso de vehículos con ruedas y animales de tiro y carga.

No fue hasta 1925 que hubo un cambio importante en el desarrollo nacional del camino con la creación de la Comisión Nacional de Caminos que da comienzo a la nueva creación de caminos, al mejoramiento y su conservación.

1.2 Inventario de caminos.

Debido a que la construcción de caminos no siempre ha estado regulada por un organismo operador de los mismos o simplemente para hacer una recopilación de datos de caminos ya existentes es necesario hacer inventarios de caminos y para lo cual existen varios métodos desde un simple recorrido en automóvil, registrando el kilometraje por medio del odómetro integrado del vehículo y haciendo anotaciones de lo que se encuentra en el camino a simple vista, aunque este tipo de método es muy pobre de información y no cumple con los requisitos necesarios en un inventario. Por otra parte encontramos una manera más precisa y directa de hacerlo y es por medios topográficos aunque representa un tanto inconveniente por ser costoso y lento.

Es necesario obtener los datos de la planta del camino, el perfil, la configuración del terreno y las características de la superficie de rodamiento, así como secciones transversales, alineamiento vertical y horizontal, señalamientos, obras de drenaje, cruces, entronques con otras vías de comunicación y el estado en que se encuentran, características de los poblados que cruza el camino, uso de tierra que se les da a los predios a un costado del camino y otros datos que puedan ser relevantes, para lo cual existe un método que cumple con estos requisitos y que además es rápido, confiable y económico, a este método se le conoce como método odógrafo-giróscopo-barométrico. Con este método es posible hacer el levantamiento de la

planta del camino por medio de un odómetro y un giroscopio. También es de suma importancia obtener datos de los volúmenes de tránsito que circula por el camino. Todo lo anterior con la finalidad de evaluar las condiciones de operación y realizar oportunamente las mejoras y correcciones necesarias en el tramo o tramos en estudio.

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

Es el estudio del movimiento de vehículos, personas y mercancías en los caminos los que ayudan a hacerlos eficientes, capaces, rápidos, libres y seguros. Para el estudio de este movimiento está dedicada la ingeniería de tránsito.

1.3.1 El problema de tránsito.

Uno de los principales problemas con que se encuentra la ingeniería de tránsito es la constante actualización de los medios de transporte o de los vehículos en comparación con la infraestructura de los caminos que fueron proyectados para vehículos que circulaban hace ya varias décadas o que se construyeron en trayectorias obsoletas en comparación con las trayectorias que gracias a los avances tecnológicos y constructivos se pueden lograr hoy en día. Esto por consiguiente ocasiona problemáticas como congestionamientos, accidentes y deterioros prematuros de los mismos.

Lo anterior aunado al constante crecimiento demográfico y la demanda de transporte y movimiento de mercancías ha influido significativamente para el estudio constante de los sistemas de comunicación y de transporte con la finalidad de conseguir un continuo progreso y mejoramiento de los mismos.

1.3.2 Soluciones al problema de tránsito.

Es necesario y muy importante resolver los problemas de tránsito de manera muy rápida y del modo más económico posible, para lo cual existen tres tipos de soluciones que pueden resolver los problemas de tránsito.

Solución integral: consiste en crear un camino totalmente nuevo e independiente del camino actual, que, tomando las previsiones necesarias y cumpliendo con un periodo de vida útil razonable, permita al vehículo desplazarse de manera eficiente, rápida y segura, sin embargo, desafortunadamente en la mayoría de las ciudades actuales es muy difícil lograr este tipo de solución por las limitaciones de espacio.

Solución parcial de alto costo: consiste en analizar y aprovechar los mejores caminos realizando en ellos modificaciones que requieren fuertes inversiones, como ampliaciones, pasos a desnivel, intersecciones, estacionamientos públicos y privados, sistemas de control automatizado de tránsito, entre otros.

Solución parcial de bajo costo: esta solución procura aprovechar al máximo lo existente y procurar que con un mínimo de modificaciones y obra lograr la mejoría del sistema de tránsito adoptando o modificando las leyes de tránsito, realizando campañas de educación vial, hacer cambios de circulación en las vías, controlando los estacionamientos públicos haciéndolos de tiempo limitado, con señalizaciones, semáforos, etcétera.

1.3.3 Los elementos de tránsito.

Los elementos de tránsito se clasifican en tres, los cuales son: el usuario, el vehículo y el camino. En este apartado se analizará cada uno de estos elementos así como su relación entre ellos.

- a) El usuario. Se consideran usuarios todos aquellos que hacen uso de los caminos o calles y estos a su vez se clasifican en peatones y conductores y se analizan de manera independiente. El peatón es aquel que se caracteriza por su gran capacidad de movimiento y adaptación a las condiciones existentes en los caminos. El conductor es el medio humano que controla el vehículo, siendo él, el responsable del movimiento y conducción del mismo, por tal motivo deben de tomarse en cuenta varios factores que influyen directamente en el conductor para así evitar accidentes. Estos factores son: la visibilidad, que es muy importante ya que está limitada por las capacidades propias del ojo humano. El tiempo de reacción que es establecido por el tipo de reacción de un individuo. El primer tipo de reacción es la reacción psicológica, que es producto de un proceso intelectual determinado por la percepción del estímulo al que es sometido el conductor, el análisis de las soluciones posibles, la elección de la misma, la ejecución del acto y de la velocidad con que el individuo lleve a cabo este proceso. El segundo tipo de reacción es la reacción condicionada o física que ocurre inconscientemente y es producto de un hábito creado por el mismo conductor y no requieren llevar a cabo todo el proceso de las reacciones psicológicas si no que ante la percepción del estímulo el conductor resuelva

directamente la situación sin necesidad de un juicio previo, dándole así un tiempo de reacción menor.

- b) El vehículo. En ingeniería de tránsito se le llama vehículo al medio de locomoción o transporte. Los vehículos se han desarrollado mucho en los últimos tiempos, los países desarrollados son los que han incorporado una mayor cantidad de vehículos ya que el vehículo ha dejado de ser un objeto de lujo y se ha convertido en un artículo de primera necesidad y una herramienta de trabajo.

Debido a la gran diversidad de vehículos existentes y a su rápida transformación a través del tiempo es necesario tomar las características promedio de los vehículos construidos para el proyecto. Debe tomarse en cuenta las características promedio de los vehículos hasta ahora construidos y las nuevas tendencias para que los caminos sigan teniendo funcionalidad en las siguientes generaciones. Por lo tanto se han clasificado los vehículos básicamente en 2 grupos: vehículos ligeros, que son aquellos que tienen dos ejes y cuatro ruedas y vehículos pesados que pueden ser camiones de carga, autobuses y todos aquellos que tienen dos o más ejes y 6 o más llantas. Existen otro tipo de vehículos que se clasifican como especiales y pueden ser bicicletas, tractores, maquinaria, tractores, coches deportivos, entre otros.

- c) El camino. Según Mier (1987) Camino se le considera al espacio de terreno o franja de terreno acondicionada para el tránsito de vehículos y existen varias clasificaciones de los mismos. La clasificación por transitabilidad los cataloga en caminos pavimentados, caminos revestidos y caminos de terracerías, en los

cuales los dos primeros son transitables todo el tiempo y los últimos solamente en tiempo de secas. La clasificación de la SCT (secretaría de comunicaciones y transporte) los clasifica en montañosos, lomeríos y planos. La clasificación por capacidad considera las autopistas (de cuatro o más carriles), caminos de 2 carriles y brechas. La clasificación administra lo hace en caminos federales que son aquellos proyectados, construidos y conservados por la federación, en caminos de cooperación bipartita que son aquellos construidos por las juntas locales de caminos con fondos iguales de la federación y de los Estados y en caminos de cuota, construidos con fondos de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios conexos (CAPUFE).

1.4 Velocidad.

La velocidad es uno de los factores fundamentales en el proyecto de un camino ya que es de gran utilidad ya que de ella dependen la rapidez y seguridad del movimiento de personas y mercancías en un camino. Difícilmente la velocidad de proyecto escogida en un camino será la desarrollada por un vehículo a su máxima capacidad ya que esta superara por mucho la velocidad de proyecto por razones de seguridad en el transito del camino. Se pueden distinguir cuatro tipos de velocidad que se explicaran a continuación.

1.4.1 Velocidad de proyecto.

Es la velocidad que gobierna las características geométricas del proyecto de un camino con el fin de obtener un proyecto equilibrado y está definida por la topografía

de la región, por el tipo de camino, el volumen de tránsito y el uso de la tierra. Esta velocidad es la máxima que ofrece seguridad en un tramo a lo largo de un camino.

1.4.2 Velocidad de operación.

Es la velocidad real con que se transita en el camino y nos indica el grado de eficiencia que el camino ofrece a los usuarios. Según Meri (1978) se define esta velocidad como la mantenida en un tramo a lo largo de un camino mientras un vehículo se mantiene en movimiento. La velocidad de operación es afectada principalmente por el volumen de tránsito dentro del camino.

1.4.3 Velocidad de punto.

Se puede definir como la velocidad de un vehículo cuando pasa por un punto definido en el camino.

1.4.4 Velocidad efectiva global.

“Es el promedio de la velocidad mantenida por un vehículo a lo largo de un camino” (Mier, 1978; 44) y se puede obtener de la distancia total recorrida por un vehículo en el tiempo que le toma recorrerlo con todas las variantes que influyan en dicho tiempo como pueden ser retrasos, altos durante el recorrido.

1.5 Volumen de tránsito.

El volumen de tránsito es uno de los elementos imprescindibles para el proyecto de un camino, ya que es el indicador de las condiciones de operación de un camino y de él dependen el tipo de intersecciones, accesos y servicios que se puedan ocupar.

Se puede definir el volumen de tránsito como la cantidad de vehículos que circulan en una dirección o en varias direcciones especificadas sobre un carril o varios en un punto determinado y en un periodo de tiempo establecido. Los periodos de tiempo más usuales son: una hora y un año.

Si se registra el número de vehículos que pasan por un punto determinado del camino durante un periodo de tiempo igual a un año y se divide entre 365, se obtiene el Volumen Promedio Diario Anual (VPDA). Este dato no es recomendable utilizarlo para el proyecto ya que no indica las variaciones que existen entre los meses del año, los días de la semana o las horas del día.

El Volumen Máximo Horario Anual (VMHA) es el volumen horario más alto que ocurre en un determinado año y es el registro que más se acerca a las condiciones de operación de un camino aunque si se usa para el proyecto resultarían obras muy sobradas.

El volumen horario que se debe usar para proyectar no debe ser excedido frecuentemente. La forma más común para determinar el volumen horario que más se adecúa para proyectar es formar una gráfica en la que se muestren las variaciones del volumen durante el año, ordenando los volúmenes horarios anuales expresados como un porcentaje del VPDA en orden decreciente de magnitud; en el punto donde cambia bruscamente la curva se define como el Volumen Horario de Proyecto (VHP).

Generalmente en caminos rurales de dos carriles se considera para el VHP el tránsito total en ambas direcciones del camino. En los caminos de dos carriles que se

localicen intersecciones importantes y en los caminos de más de dos carriles es necesario conocer el volumen horario en cada sentido.

1.5.1 Conteos de tránsito.

Existen dos métodos para obtener los volúmenes de tránsito necesarios para el proyecto ya que pueden obtenerse por medio de datos estadísticos o ser obtenidos mediante conteos del tránsito.

Estos conteos se pueden realizar de forma manual o mecánica.

1.5.2 Muestreos.

Este método se considera que es la forma más sencilla de realizar el conteo manual, además de ser muy económico. Estos muestreos se realizan ejecutan en periodos de tiempo relativamente cortos, generalmente de 5 a 10 días continuos y por 24 horas al día.

Los inconvenientes de este método de muestreos es que llegan a ser imperfectos por las variaciones de tránsito con las estaciones del año, los meses, y acontecimientos ocasionales que afecten al camino.

Para fines del conteo manual se clasifican los vehículos en: vehículos ligeros y vehículos pesados.

1.5.3 Conteos mecánicos.

En este método se lleva a cabo el conteo de vehículos de manera automática por medio de dispositivos que pueden ser:

- a) Contadores neumáticos. Son aquellos que se componen de goma muy flexible instalada transversalmente al camino cerrado de un extremo y unido al contador en el otro. Su funcionamiento se basa en la presión del aire dentro del tubo de goma al paso del automóvil, ya que dicha presión se trasmite a una membrana que actúa sobre un contador electrónico. El único inconveniente de este dispositivo es que no clasifica los vehículos según su tipo y que puede tomar lectura de un sólo vehículo si pasan dos al mismo tiempo.
- b) Contadores electromagnéticos. Estos dispositivos se colocan dentro del pavimento y se constituyen por un circuito bifilar al que se le hace pasar corriente eléctrica de alta frecuencia y que induce corriente en el otro hilo, al pasar la masa metálica del vehículo ocurre un cambio de intensidad de corriente que se convierte en registro. También tiene el inconveniente de no clasificar los vehículos.
- c) Contadores de presión-contacto. Consisten en un electroimán en una caja colocado bajo la superficie de rodamiento y con una tapa enriestrada que al ser presionada por los neumáticos producen corriente eléctrica y se registra. De este dispositivo existen muchas variantes más sofisticadas que pueden realizar conteos en ambos sentidos del camino o con cámaras que permiten clasificar los vehículos, etcétera.

1.5.4 Estudio de origen y destino.

Es el principal medio para conocer la demanda que existe dentro de una ciudad, para fijar y utilizar rutas, desviar el movimiento de cierto tipo de vehículos, localizar, modificar o hacer más eficiente un tramo carretero entre otras.

Este estudio se considera el más completo de aforo de vehículos, ya que de él se llegan a conocer, los volúmenes de tránsito, tipos de vehículos, clasificación, propósitos de viaje, origen, destino, tipo de carga, número de pasajero, entre otras.

Existen cuatro maneras prácticas de efectuar este estudio:

- a) Por medio de entrevistas directas al conductor.
- b) Entregando un cuestionario en la estación de aforo con la finalidad de que lo llene y lo entregue en una segunda estación.
- c) Muestreos estadísticos personales en los domicilios de los usuarios
- d) Por el registro de placas de vehículo en diferentes puntos.

1.6 Densidad de tránsito.

Se le llama densidad de tránsito al número de vehículos que se encuentran en un tramo de camino en un momento determinado. Según Mier (1978), la densidad de tránsito no debe ser confundida con el volumen de tránsito ya que el volumen está determinado por un periodo de tiempo, es decir, la densidad se da en un momento determinado en un tramo de camino y el volumen en un periodo de tiempo en un punto del camino. Por ejemplo, un camino congestionado puede tener un volumen de tránsito igual a cero pero su densidad será muy alta.

Teóricamente si se compara el volumen con la densidad de tránsito en un tramo con una velocidad constante se puede apreciar que tienen una relación lineal aunque

esto no es verídico en la realidad ya que al aumentar el volumen de tránsito en un camino, la velocidad a la que el conductor puede viajar disminuye, por lo tanto la relación entre el volumen y la densidad no resulta lineal en la práctica.

1.7 Derecho de vía.

El derecho de vía es el espacio en que se aloja una vía de comunicación y que se considera parte de la misma, la cual generalmente es una franja de terreno de ancho variable (dependiendo de la vía de comunicación) y suficiente para garantizar las técnicas relacionadas con la seguridad, utilidad y eficiencia del servicio que deba ejercer dicha vía.

En México se ha determinado para los caminos un derecho de vía igual a por lo menos veinte metros de amplitud, es decir, veinte metros para cada lado del eje del camino con excepción de las zonas urbanas que han reducido dicho derecho de vía y en casos especiales donde se amplía o se reduce, como por ejemplo, en las autopistas, entronques, caminos de un solo sentido de circulación, entre otros.

Para la adquisición del derecho de vía es necesario tener en cuenta los aspectos legales de este problema ya que llevan una serie de procedimientos y reglamentos bajo los cuales se adquiere la propiedad del derecho de vía. Es necesario tomar en consideración los factores de costo y tiempo que puedan llevarse en el proceso de adquisición de la propiedad o propiedades debido a que pudieran afectar el proceso de construcción del propio camino.

1.8 Capacidad y nivel de servicio.

La capacidad es el elemento que otorga una medida de la eficiencia que tiene un camino mientras que el nivel de servicio determina en qué condiciones opera un camino considerando que este nivel varía principalmente por el volumen de tránsito.

1.8.1 Capacidad.

Se conoce como capacidad al número máximo de vehículos que pueden circular por el camino bajo condiciones prevalecientes respecto del tránsito que varía dependiendo del día de la semana o del horario en que se evalúa, bajo condiciones prevalecientes del camino que son principalmente los alineamientos, el número y ancho de carriles y bajo condiciones ambientales que pudieran ser, la lluvia, el calor, frío, niebla, tormentas, etcétera, aunque por complejidad estos factores ambientales no se toman en cuenta, todo esto en un periodo de tiempo perfectamente definido.

La capacidad permite reconocer, atender y solucionar las problemáticas básicas de ingeniería en un camino. Cuando el proyecto es nuevo, la capacidad influye directamente en las características geométricas del nuevo proyecto.

1.8.2 Nivel de servicio.

El nivel de servicio de un camino es una medida de la calidad del servicio que otorga un camino a los usuarios y que depende de muchos factores, como la velocidad, el tiempo de recorrido, interrupciones en el camino, seguridad, comodidad, libertad de manejo, costo de operación, entre otras y que determina las condiciones en que opera un camino cuando se presentan diferentes volúmenes de tránsito. Por lo tanto un solo camino puede tener muchos niveles de servicio dependiendo de los

volúmenes de tránsito, afectaciones al mismo, la velocidad que pueda alcanzarse, etcétera.

1.8.3 Volumen de servicio.

Para cada determinado nivel de servicio existe un volumen de tránsito, a este volumen específico se le llama volumen de servicio. Cuando el volumen de servicio llega a su máximo este es igual a la capacidad del camino.

Como se mencionó con anterioridad, las características geométricas del camino afectan significativamente a las características de operación de los vehículos pesados, principalmente las secciones transversales y las pendientes y por lo tanto afectan también la capacidad de la siguiente manera: los caminos en terrenos planos permiten que los vehículos pesados operen a velocidades semejantes a los vehículos ligeros, los caminos localizados en lomeríos obligan a los vehículos pesados a reducir la velocidad por debajo de los ligeros en algunos tramos del camino y los caminos en montaña generan que los vehículos pesados circulen a velocidades reducidas en distancias grandes y con mucha frecuencia.

Es necesario que el volumen de servicio en un camino sea menor que su capacidad para que este camino ofrezca a los vehículos un nivel de servicio admisible.

1.9 Distancia de visibilidad.

1.9.1 Distancia de visibilidad de parada.

Se le conoce como distancia de visibilidad de parada (d_p) a la que es necesaria para que un conductor en su vehículo que transita a la velocidad de proyecto pueda detenerse antes de llegar a un objeto situado en su línea de circulación. La distancia de parada se compone de la suma de dos distancias, la primera de ellas se le nombra distancia de reacción (d_r) que es la distancia que recorre el vehículo desde que el conductor percibe el obstáculo u objeto y hasta que él coloca el pie en el pedal de freno. La segunda de ellas es conocida como distancia de frenado (d_f) y que es la distancia que recorre el vehículo desde que comienza el frenado hasta que el vehículo se detiene.

1.9.2 Distancia de visibilidad de rebase.

Se le conoce como distancia de visibilidad de rebase (D_r) a la distancia necesaria para que un vehículo pueda adelantarse a otro que se encuentra circulando a una velocidad menor en su línea de circulación con el tiempo suficiente para ejecutar toda la maniobra de rebase sin entorpecer el movimiento del vehículo rebasado y con la seguridad necesaria para que no se genere un choque con otro vehículo que aparezca en sentido contrario.

La distancia de visibilidad de rebase esta forjada sobre una longitud necesaria para efectuar maniobras de rebase. Generalmente no es posible proporcionar longitudes a lo largo de todo el camino para realizar dichas maniobras con seguridad porque no sería económicamente costeable, por lo cual deben adecuarse solamente de tramo en tramo y tan frecuentemente como lo permita la topografía, el volumen de tránsito, la velocidad de proyecto y el costo.

1.10 Mecánica de suelos.

“La mecánica de suelos, es la rama de la ingeniería civil que estudia la aplicación de las leyes de 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,1:)

Para hablar de la mecánica de suelos y su importancia que tiene en los caminos es necesario conocer el origen y formación de los suelos, sus características, comportamiento y propiedades.

Se le conoce como suelo al material originado por la descomposición de las rocas y el cual está compuesto por partículas minerales y vacíos que pueden estar ocupados por gases (generalmente aire) o agua. Las principales propiedades de los suelos que tienen gran importancia en la ingeniería civil y en los caminos son: La compresibilidad, que está relacionada a la deformación que sufre un suelo al ser sometido a cargas o a una reducción de su volumen, la resistencia al corte, que es la resistencia que ofrece un suelo cuando se le aplica una fuerza externa a fracturarse o deformarse por flujo plástico y la permeabilidad que es un índice de la facilidad con que el agua circula a través de él cuando está sujeto a un gradiente hidráulico.

Como ya se mencionó, los suelos se forman a través de la desintegración de las rocas. Esta desintegración de las rocas puede darse por medio de la desintegración mecánica (cambios de temperatura, esfuerzos tectónicos, efectos abrasivos del agua y del viento, sismos, derrumbes, entre otros) y la descomposición

química que son por lo general muy complejas (reacciones químicas producidas por diferentes minerales con el ácido carbónico producido por el agua y el bióxido de carbono natural del aire).

Los suelos se dividen en dos tipos: suelos residuales, que son aquellos que permanecen en el sitio donde fueron formados, y los suelos transportados que son aquellos que fueron removidos y depositados en otro sitio diferente a su origen por diferentes agentes (agua, viento, glaciares, gravedad, etcétera). Estos suelos transportados a su vez, se dividen de acuerdo a su forma de transporte en: suelos aluviales (transportados por el agua), suelos lacustres (creados por el estancamiento o pérdida de velocidad del agua de ríos), suelos eólicos (transportados por el viento) y depósitos de pie de monte (transportados por gravedad).

A los suelos se les puede clasificar en dos tipos: suelos gruesos, que son aquellos que sus partículas son mayores a 0.074 milímetros y menores a 7.6 centímetros y suelos finos que son aquellos que sus partículas son menores a los 0.074 milímetros.

Es de suma importancia el estudio de mecánica de suelos en la proyección, construcción y mantenimiento de un camino, ya que estos incluyen, una vez hechos los reconocimientos topográficos y la localización de posibles rutas, los reconocimientos geológicos e hidrológicos, muestreos preliminares sobre las rutas posibles, definiendo de manera general los problemas de materiales, estabilidad de cortes y terraplenes y posibles costos. Ya una vez que se elige el trazo definitivo nuevamente interviene la mecánica de suelos para hacer los estudios geológicos

sobre el trazo, los sondeos para formar el perfil de suelos, abundamientos, compactaciones, estabilidad de terracerías, drenaje, procedimientos de construcción, la elección del equipo adecuado a los materiales a utilizar, el estudio geo-hidrológico de los cauces en los cruces, estudio de cimentación en puentes, estudio de materiales disponibles para la construcción de estructuras, entre otros.

Por lo que se puede apreciar, la planeación, proyección, construcción y mantenimiento de un camino va estrechamente relacionado con la mecánica de suelos, por lo que no se puede prescindir de estos estudios ya que de ella dependerán la correcta elección del trazo, la correcta proyección, el control de calidad de las terracerías y diversas estructuras, así como el correcto mantenimiento del camino.

CAPÍTULO 2

DRENAJE

En el presente capítulo se hablará acerca de la importancia que tiene el sistema de drenaje en los caminos, el objetivo a lograr por el mismo, así como los conceptos, definiciones, elementos y métodos empleados para lograr un diseño de sistema de drenaje eficiente y confiable para el camino.

2.1 Antecedentes.

En los caminos, parte importante de las fallas que tienen las estructuras básicas del camino se ha podido comprobar por experiencias y diversos estudios que están ligadas estrechamente a un sistema inadecuado de drenaje, ya que las propiedades de los suelos, especialmente los que contienen cantidades importantes de finos son altamente sensibles al grado de saturación y al variar su humedad, estos cambian de volumen, cohesión y sufren alteraciones en su comportamiento mecánico, afectando así el desempeño de las estructuras ante las solicitaciones para las que fueron diseñadas.

2.2 Objetivo.

Como se menciona anteriormente el agua es uno de los principales agentes que interfieren con el buen funcionamiento y producen fallas en las estructuras del camino por lo cual el estudio del sistema hidráulico es indispensable para mantener en buen estado el mismo y prolongar su vida útil.

Los objetivos básicos más importantes de los sistemas de drenaje en un camino son: pasar con seguridad toda la descarga de agua que cruce el camino; remover toda el agua fuera del camino sin afectar la seguridad del usuario, sin hacer daños al camino o a las estructuras que lo conforman; prevenir impactos negativos al ambiente a los costados del camino; reducir al mínimo los cambios al patrón del drenaje natural, así como la velocidad y la distancia de recorrido del agua; y remover el agua subterránea cuando se requiera.

2.3 Hidrología.

La hidrología es la ciencia que estudia el agua y su comportamiento, así como su ocurrencia, movimiento y distribución a través de la superficie terrestre, sus propiedades físicas y químicas, su relación con el medio ambiente y los seres vivos. Es decir, tiene por objeto el estudio general de todos los procesos del ciclo del agua de lo cual se abordara más adelante en este mismo capítulo. La hidrología por tanto juega un papel preponderante dentro de la ingeniería civil ya que es necesario el conocimiento de ella para el diseño y operación de proyectos para control y aprovechamiento del agua.

2.3.1 Ciclo del agua.

En nuestro planeta el agua se encuentra en constante movimiento, desde la superficie de los mares, ríos y lagos, debido a la acción de los rayos solares se evapora para llegar a la atmosfera en forma de vapor, en donde debido al ascenso el vapor se baja su temperatura hasta condensarse en pequeñas partículas de agua, que al acumularse se precipitan a la superficie en forma de lluvia, granizo o nieve.

Una vez en la superficie terrestre el escurrimiento se hace presente en ríos, lagos e infiltraciones subterráneas hasta llegar a los mares y así el ciclo jamás se detiene.

2.4 Cuenca hidrológica.

Una cuenca hidrológica es la zona de la superficie en la cual, todas las gotas de agua procedentes de una precipitación que cae sobre ella se van a dirigir a un mismo punto de salida que generalmente es el de menor cota de la cuenca.

La cuenca está delimitada por una línea que se denomina divisoria. Esta línea divisoria es la que separa las precipitaciones que ocurren entre cuencas vecinas y consta de una línea rígida que cruza el flujo del agua solamente en el punto de salida y une los puntos de máximas alturas entre cuencas.

Las líneas divisorias se pueden dividir en dos tipos: las líneas divisorias topográficas o superficiales que son las que definen el área de drenaje de una cuenca; y las líneas divisorias freáticas o subterráneas que establece límites de embalses de agua subterránea. Estos dos tipos de líneas difícilmente coinciden ya que la línea divisoria freática varía de acuerdo a la posición del nivel freático.

Existen dos tipos de cuencas de acuerdo al punto de vista de su salida. La primera se le denomina cuenca endorreica y se le llama así porque su salida está dentro de los límites de la cuenca (generalmente un lago); la segunda se le denomina cuenca exorreica y se le conoce así porque su salida se localiza en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar.

Con base a la constancia del escurrimiento que presenta una cuenca se le puede clasificar en tres tipos. Corrientes Perennes: que son corrientes que tienen escurrimiento de agua todo el tiempo y su nivel de agua subterránea nunca desciende debajo del lecho del río por lo cual mantiene una alimentación continua. Corrientes Intermitentes: son aquellas que escurren solamente en estaciones de lluvia y el nivel de agua subterráneo se mantiene por encima del nivel del lecho del río solamente en temporal de lluvia. Corrientes Efímeras: son aquellas que existen apenas durante o inmediatamente después de la precipitación y solo transportan escurrimiento superficial.

2.5 Características fisiográficas de una cuenca hidrológica.

Las características fisiográficas de una cuenca dependen necesariamente de su morfología, como lo son su relieve, forma, tamaño, red de drenaje, entre otras, así como de los tipos de suelo, vegetación, geología, prácticas agrícolas, entre muchas otras.

2.5.1 Área de drenaje.

Se le llama área de drenaje a la proyección horizontal o área plana que está comprendida dentro de las líneas divisorias de la cuenca (parte aguas). De manera común se miden en km^2 y se pueden clasificar en pequeñas cuando su superficie es menor a los 250 km^2 ; y en cuencas grandes cuando su superficie supera los 250 km^2 .

2.5.2 Forma de la hoya.

Esta característica relaciona el tiempo de concentración que es el tiempo necesario para que el agua haga su recorrido desde el límite más extremo de la cuenca, hasta la salida de la misma, desde el inicio de la precipitación.

2.5.3 Pendiente de la cuenca.

Esta característica es la que controla en buena medida la velocidad del escurrimiento superficial de la cuenca y afecta al tiempo que tarda la precipitación en concentrarse en los lechos de la red de drenaje de la cuenca.

Existen distintos métodos para evaluar la pendiente de una cuenca y que ayudaran a obtener datos para el sistema de drenaje, entre los más importantes están: el criterio de Alvord, criterio de Horton y el criterio de Nash.

2.5.3.1 Criterio de Alvord.

Este criterio analiza la pendiente existente entre curvas de nivel, trabajando con la faja definida por las líneas medias que pasan entre las curvas de nivel, Para una de ellas la pendiente es:

$$S_i = \frac{D}{W_i}$$

Siendo:

S_i = Pendiente de la faja analizada i .

D = Desnivel entre líneas medias.

W_i = Ancho de la faja analizada i

a_i = Área de la faja analizada i

l_i = Longitud de la curva de nivel correspondiente a la faja analizada i

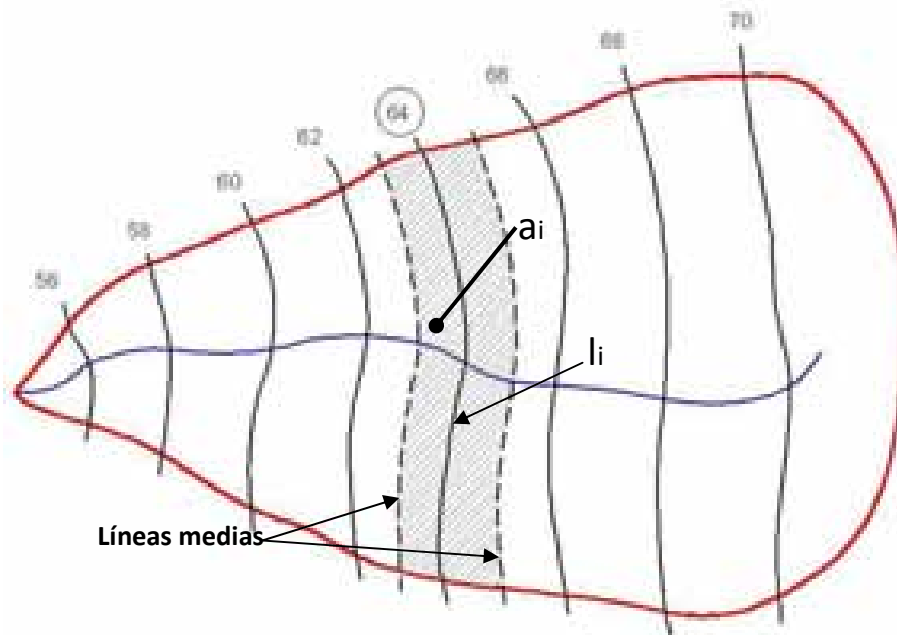


IMAGEN 1. Esquema de análisis para cálculo de la pendiente de una faja según Alvord.

Así la pendiente media de la cuenca será el promedio pesado de la pendiente de cada faja en relación con su área:

$$S = \left[\frac{D \cdot l_1 \cdot a_1}{a_1 \cdot A} \right] + \left[\frac{D \cdot l_2 \cdot a_2}{a_2 \cdot A} \right] + \dots + \left[\frac{D \cdot l_n \cdot a_n}{a_n \cdot A} \right]$$

Y finalmente:

$$S = \frac{DL}{A}$$

Siendo:

S= Pendiente media de la cuenca.

D= Desnivel constante entre curvas de nivel.

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

A= Área de la cuenca.

2.5.3.2 Criterio de Horton.

Consiste en trazar una malla de cuadrados sobre la proyección planimétrica de la cuenca orientándola según la dirección de la corriente principal. Si se trata de una cuenca pequeña, la malla llevará por lo menos cuatro cuadros por lado, pero si se trata de una cuenca mayor, deberá aumentarse el número de cuadros por lado, ya que la precisión del cálculo depende de ello.

Una vez construida la malla, en un esquema similar al que se muestra en la imagen 2, se miden las longitudes de las líneas de la malla dentro de la cuenca y se cuentan las intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel.

La pendiente de la cuenca en cada dirección de la malla se calcula así:

$$S_x = \frac{N_x \cdot D}{L_x} \quad \text{y} \quad S_y = \frac{N_y \cdot D}{L_y}$$

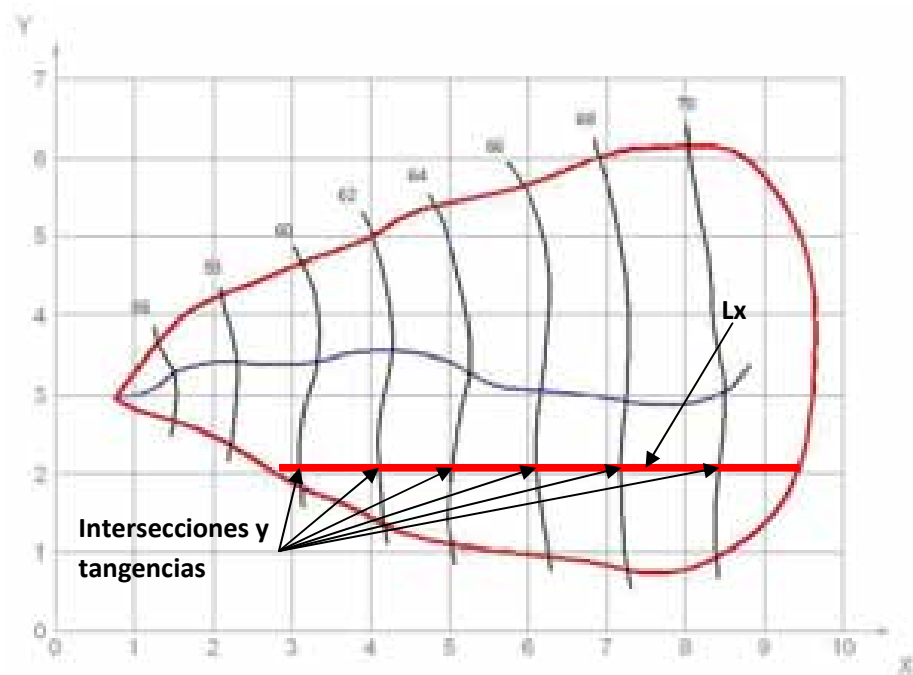


IMAGEN 2. Esquema de malla de análisis para cálculo de la pendiente según Horton.

Siendo:

S_x = Pendiente en el sentido x.

S_y = Pendiente en el sentido y.

N_x = Número total de intersecciones y tangencias de líneas de la malla con curvas de nivel, en el sentido x.

N_y = Número total de intersecciones y tangencias de líneas de la malla con curvas de nivel, en el sentido y.

D = Equidistancia entre curvas de nivel.

L_x = Longitud total de líneas de la malla en sentido x, dentro de la cuenca.

L_y = Longitud total de líneas de la malla en sentido y, dentro de la cuenca.

Horton considera que la pendiente media de la cuenca puede determinarse como:

$$S = \frac{ND \sec(\theta)}{L}$$

Siendo:

S = Pendiente media de la cuenca.

N = $N_x + N_y$.

θ = Ángulo dominante entre las líneas de malla y las curvas de nivel.

L = $L_x + L_y$

Como resulta laborioso determinar la $\sec(\theta)$ de cada intersección, en la práctica y para propósitos de comparación es igualmente eficaz aceptar al término $\sec(\theta)$ igual a 1, o bien considerar el promedio aritmético o geométrico de las pendientes S_x y S_y como pendiente media de la cuenca.

Promedio aritmético $S = \frac{S_x + S_y}{2}$

Promedio geométrico $S = \sqrt{S_x \cdot S_y}$

2.5.3.3 Criterio de Nash.

Actuando en forma similar al criterio de Horton, se traza una cuadrícula en el sentido del cauce principal, que debe cumplir la condición de tener aproximadamente 100 intersecciones ubicadas dentro de la cuenca. En cada una de ellas se mide la

distancia mínima entre curvas de nivel, la cual se define como el segmento de recta de menor longitud posible que pasando por el punto de intersección, corta a las curvas de nivel más cercanas en forma aproximadamente perpendicular. La pendiente en ese punto es:

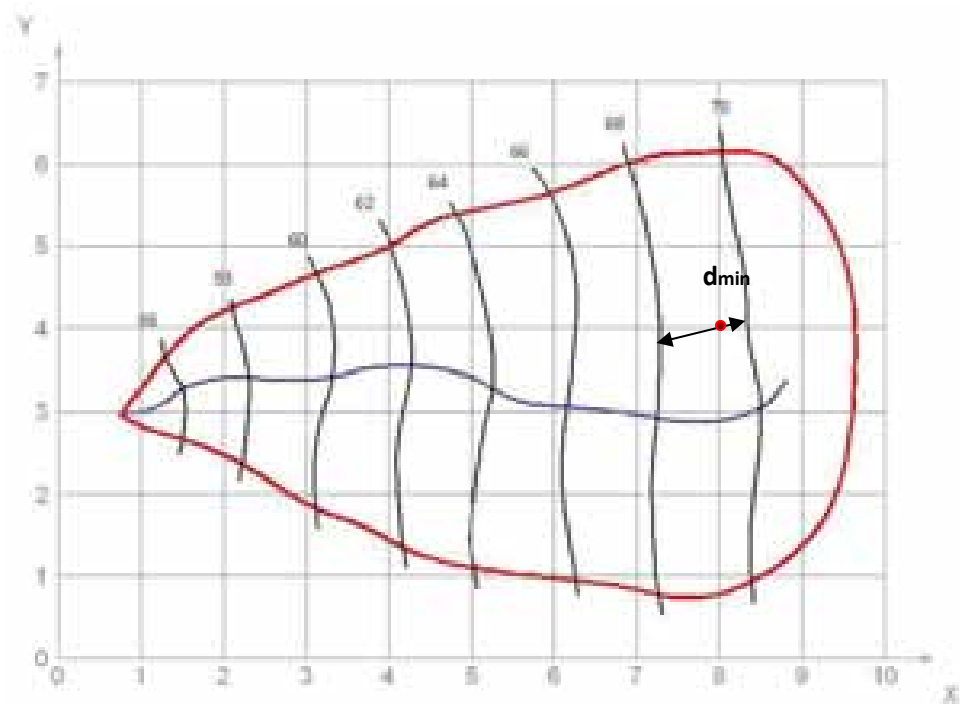


IMAGEN 3. Esquema de malla de análisis para cálculo de la pendiente según Nash.

$$S_i = \frac{D}{d_i}$$

Siendo:

S_i = Pendiente en un punto intersección de la malla.

D = Equidistancia entre curvas de nivel.

d_i = Distancia mínima de un punto intersección de la malla entre curvas de nivel.

$$S = \frac{\sum S_i}{n}$$

Siendo:

S= pendiente media de la cuenca.

n= número total de intersecciones y tangencias detectadas.

Cuando una intersección ocurre en un punto entre dos curvas de nivel del mismo valor, la pendiente se considera nula y esos son los puntos que no se toman en cuenta para el cálculo de la pendiente media.

Con ese procedimiento, la pendiente media de la cuenca es la media aritmética de todas las intersecciones detectadas.

2.5.4 Número de orden de la cuenca.

Es el número que refleja el grado de ramificación de la red de drenaje. La clasificación de los cauces de una cuenca se realiza de la manera siguiente: los cauces de primer orden son los que no tienen tributarios. Los cauces de segundo orden se forman en la unión de dos cauces de primer orden y, en general, los cauces de orden n se forman cuando dos cauces de orden n-1 se unen. Cuando un cauce se une con un cauce de orden mayor el resultante hacia aguas abajo conserva el mayor de los órdenes. Así entonces, el orden de la cuenca es el mismo de su cauce principal de salida.

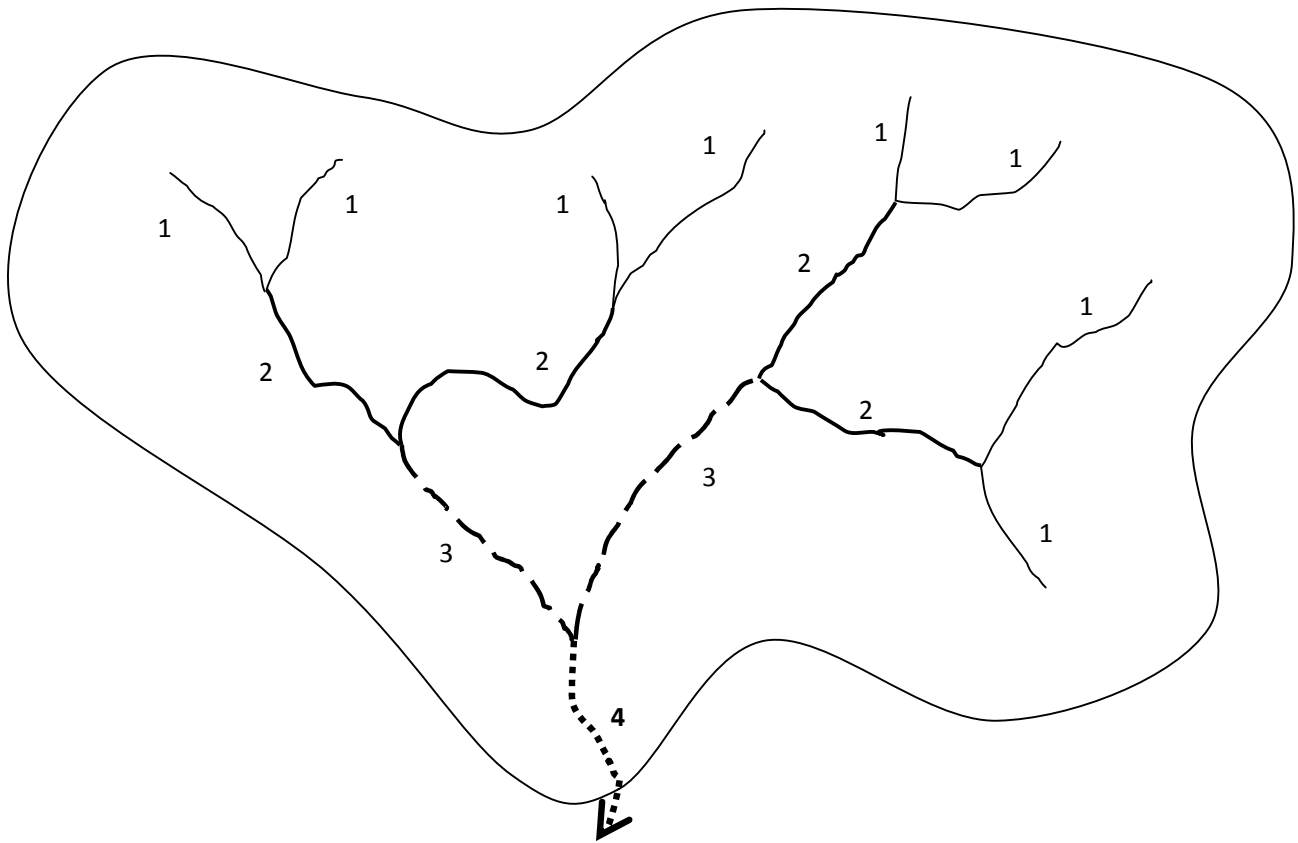


IMAGEN 4. Esquema del número de orden de una cuenca.

2.5.5 Densidad de drenaje.

Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total.

$$D = \frac{L_t}{A}$$

Siendo:

D= Densidad de drenaje.

Lt= Longitud total incluyendo tributarios.

A= Área de la cuenca.

2.5.6 Pendientes del cauce principal.

La pendiente media del cauce principal resulta de la relación que existe entre la elevación total del cauce principal (cota máxima menos cota mínima) y la longitud del mismo.

$$S_m = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Siendo:

Sm= Pendiente media del cauce.

Hmax= Cota máxima del cauce.

Hmin= Cota mínima del cauce.

La pendiente media ponderada es la pendiente de la hipotenusa de un triángulo cuyo vértice se encuentra en el punto de salida de la cuenca y cuya área es igual a la comprendida por el perfil longitudinal del cauce.

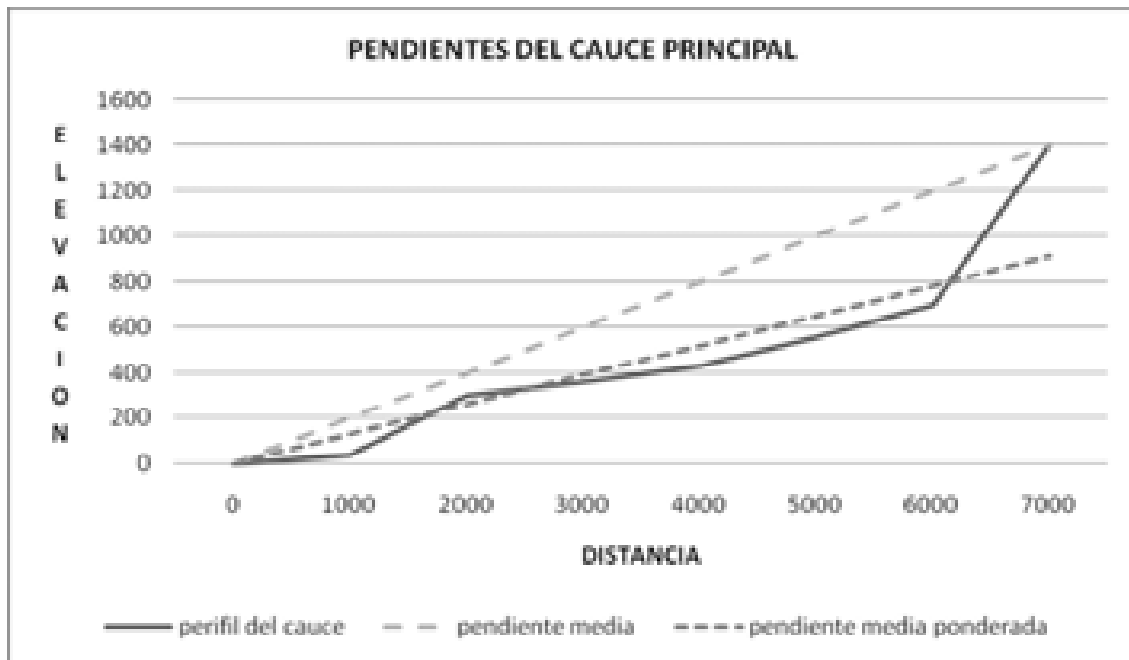


IMAGEN 4. Pendientes del cauce principal.

2.5.7 Elevación de la cuenca.

La elevación media de la cuenca, así como la diferencia entre sus elevaciones extremas, influye en las características meteorológicas, que determinan principalmente las formas de la precipitación. Por lo general, existe una buena correlación, entre la precipitación y la elevación de la cuenca, es decir, a mayor elevación la precipitación es también mayor.

2.6 Precipitación.

La precipitación es el agua proveniente de la atmósfera que recibe la superficie terrestre en cualquiera de sus estados físicos, la precipitación puede ser por convección, orográfica y ciclónica.

Por convección: Es la más común en los trópicos se origina por el levantamiento de masas de aire más ligero y cálido al encontrarse a su alrededor las masas de aire densas y frías.

Orográficas: La precipitación debida al levantamiento del aire producido por las barreras montañosas. El efecto de las montañas ejerce una acción directa de sustentación o se induce a turbulencias y corrientes de convección secundarias, produciéndose un enfriamiento de esta, condensación y precipitación.

Ciclónica: Esta asociada al paso de los ciclones y ligada a los planos de contacto entre masas de aire de diferentes temperaturas y contenidos de humedad. El levantamiento de aire se origina por convergencia horizontal en la entrada de la masa de aire en un área de baja presión.

2.6.1 Medición de la precipitación.

La determinación de los valores de precipitación se efectúa con instrumentos especiales estandarizados y se registran los valores en horarios establecidos previamente, con la finalidad de que los valores obtenidos para localidades diferentes sean científicamente comparables.

La altura de precipitación se expresa generalmente en milímetros e indica la altura del agua de lluvia que cubriría la superficie del suelo, en el área de influencia de una estación pluviométrica, si pudiese mantenerse sobre la misma sin filtrarse ni evaporarse.

La medición de la precipitación se efectúa por medio de pluviómetros o pluviógrafos, los pluviógrafos son utilizados principalmente cuando se trata de determinar precipitaciones intensas de periodos cortos y de alta intensidad. Estos instrumentos deben ser instalados en lugares apropiados donde no se originen interferencias de edificaciones, árboles, o elementos orográficos como rocas elevadas.

2.6.2 Precipitación media.

Según Aparicio (1989), existen diversos métodos para calcular la precipitación media en una cuenca, los cuales son:

Método Aritmético. Se suma la altura de las lluvias registradas en un cierto tiempo en cada una de las estaciones localizadas dentro de la zona y se dividen entre el número total de estaciones. Lo cual nos resulta en la ecuación:

$$\bar{h}_p = \sum_{i=1}^n \frac{h_{p_i}}{n}$$

Siendo:

n= Número de estaciones climatológicas de registro.

Polígono de Thiessen. En este método se requiere conocer la ubicación de las estaciones en la zona de estudio para delimitar su zona de influencia. Es necesario hacer una triangulación de las estaciones en el plano y sacar las mediatrices. Los vértices delimitan la zona de influencia de cada estación. Se calcula el área de cada polígono resultante para relacionarlo con el área total de la cuenca y sacar pesos

relativos para paca pluviómetro. La precipitación media se saca posteriormente con la siguiente ecuación:

$$\bar{hp} = \sum_{i=1}^n hp_i \frac{A_i}{A_c}$$

Siendo:

hp_i = hp en estación i.

A_i = Área del polígono i.

A_c = Área de la cuenca.

Método de las Isoyetas. Una isoyeta es una línea en el plano cartográfico que une puntos que presentan una misma precipitación en un periodo de tiempo determinado. Este método es el más utilizado por ser el más exacto. La precipitación media de la cuenca se calcula sumando los productos de las áreas comprendidas entre cada dos isoyetas, por su correspondiente precipitación media, y dividiendo la suma entre el área total de la cuenca.

$$\bar{hp} = \frac{\sum p_n a_n}{A}$$

Siendo:

p_n = Precipitación media correspondiente al área comprendida entre cada dos isoyetas.

a_n = Área comprendida entre cada dos isoyetas.

A= Área total de la cuenca.

2.7 Escurrimiento.

El escurrimiento es la precipitación drenada por las corrientes de las cuencas hasta su salida. El agua que fluye por las corrientes proviene de diversas por lo cual se le clasifica en: escurrimiento superficial, subsuperficial y subterráneo.

El escurrimiento superficial proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo y una red drenada hasta salir de la cuenca. El escurrimiento subsuperficial se debe a la precipitación infiltrada en la superficie del suelo. El escurrimiento subterráneo es recargado por el agua por la parte de la precipitación que se infiltra a través del suelo una vez que se ha saturado y es el que forma los acuíferos.

Para analizar el escurrimiento total, se puede considerar formado por la suma de los escurrimientos: directo y base.

2.7.1 Hidrograma.

Un hidrograma es la curva que resulta de graficar los caudales en el tiempo en que se presentan. Sirve para estudiar la variación del caudal en las corrientes. Se considera al hidrograma como una expresión integral de las características fisiográficas y climatológicas de la cuenca. Un hidrograma típico adquiere una forma acampanada en el que la punta, o sea el caudal máximo, corresponde a la máxima intensidad de la lluvia y estos dos fenómenos no necesariamente ocurren al mismo tiempo. Un hidrograma simple consta de las siguientes partes:

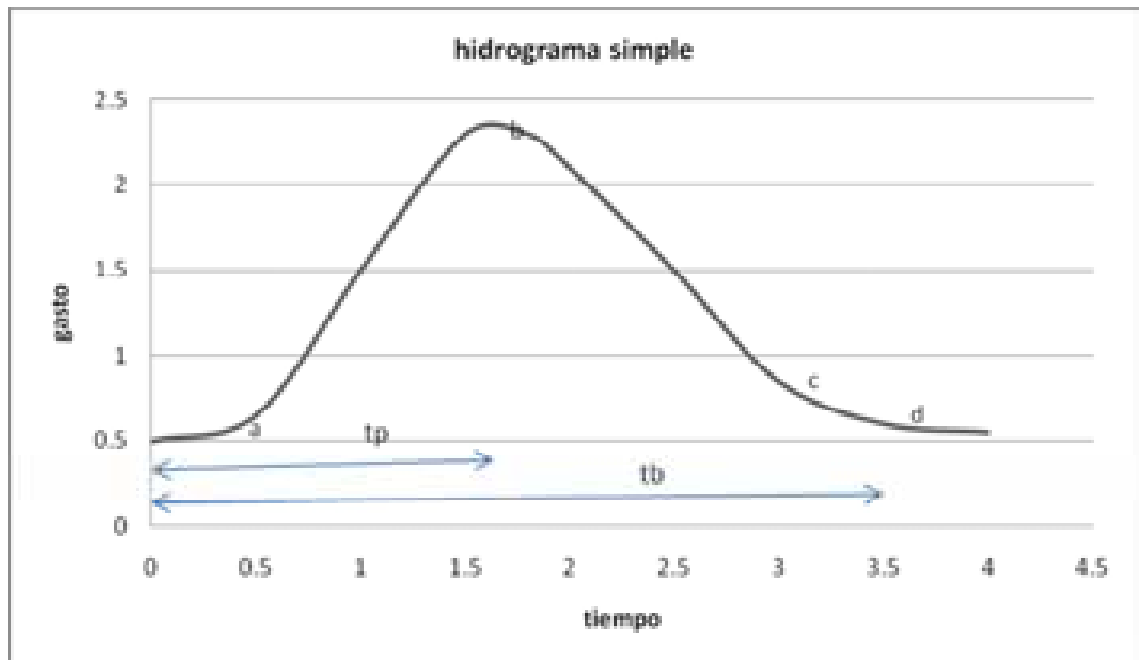


IMAGEN 5. Esquema ejemplo del hidrograma simple de una cuenca.

Siendo:

a= Inicio del escurrimiento directo producido por la tormenta.

b= Punto pico donde se presenta el gasto máximo.

c= Punto de inflexión donde termina el escurrimiento por tierra.

d= Punto donde termina el escurrimiento directo continuando el escurrimiento base.

tp= Tiempo pico.

tb= Tiempo base.

2.7.2 Aforos de corrientes.

Un aforo de corriente se emplea para determinar el gasto o caudal que pasa por ella en un tiempo determinado. Existen diferentes procedimientos para aforar una corriente y que se pueden agrupar en tres criterios:

- a) Secciones de control.
- b) Relación sección-velocidad.
- c) Relación sección-pendiente.

Las secciones de control son muy aplicables para cauces artificiales o ríos de sección pequeña y escaso escurrimiento. Este criterio se determina por medio de la ecuación:

$$Q = CLH^3$$

Siendo:

Q= Gasto total.

C= Coeficiente de descarga.

L= Longitud de la cresta.

H= Carga sobre la cresta.

El método de sección-velocidad es el más utilizado para cualquier tipo de corriente, y se determina por medio de la ecuación:

$$Q = VA$$

Siendo:

Q= Gasto que pasa por la sección.

V= Velocidad media de la corriente.

A= Área hidráulica de la sección.

El criterio de sección-pendiente es utilizado para completar aforos que no se pueden realizar por medio del criterio sección-velocidad y es muy utilizado para obtener gastos máximos cuando no se cuenta con aparatos de medición. Y se obtiene por medio de las formulas de Manning.

Velocidad $V = 1/nR^{2/3}S^{1/2}$

Gasto. $Q = 4/nR^{2/3}S^{1/2}$

Siendo:

Q= Gasto.

n= Coeficiente de rugosidad de Manning.

R= Radio hidráulico.

S= Pendiente del gradiente de energía.

2.8 Infiltración.

Se le conoce como infiltración a “el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo” (Chow; 1994: 110). El agua penetra por las distintas capas de suelo hasta los mantos freáticos, satisfaciendo primeramente la

deficiencia de humedad del suelo para después formar parte del agua subterránea. La cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones se llama capacidad de infiltración. La capacidad de infiltración de un suelo se ve afectada por factores como:

- a) La entrada y condición de la superficie del terreno.
- b) Transmisión a través del suelo.
- c) Agotamiento de la capacidad de almacenaje del suelo.
- d) Características del medio permeable.
- e) Características del flujo.

La infiltración se puede medir por medio de infiltrómetros de carga constante o simuladores de lluvia que obtienen una relación entre la precipitación y el escurrimiento. La infiltración se puede obtener por medio de la ecuación:

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

Siendo:

Qm= Gasto.

t= Tiempo.

A= Área.

2.9 Avenidas de diseño.

Las avenidas extremas definidas tanto por su gasto máximo y su volumen total son de vital importancia para el diseño de los aprovechamientos hidráulicos,

especialmente para las obras de control, en este caso las obras de drenaje. La avenida de diseño es entonces el gasto máximo que llegará al sitio donde se planea construir una obra hidráulica con la finalidad de determinar las dimensiones adecuadas de la obra hidráulica; así como las dimensiones para desalojar una avenida extraordinaria.

Los métodos para obtener la avenida de diseño se dividen de la siguiente manera:

Métodos empíricos:

- $Q = f(A, S, S_{cruce})$
- Creager

Métodos probabilísticos:

- $Q_d = f(\text{registros reales}, Q \text{ medios})$
- Gumbel I y II
- Nash
- Lebediev

2.10 Drenaje en los caminos.

Para la proyección de un camino deben considerarse factores importantes desde su localización tratando de colocarlo sobre suelos estables, que permitan un drenaje natural y permanente, para lo cual es imprescindible los estudios de la mecánica de suelos, así mismo, fijar los cruces de corrientes de agua. Generalmente, debido a la diversidad topográfica, de los tipos de terreno y la necesidad de un

alineamiento determinado del camino, éste puede atravesar suelos muy variados, obligando a la construcción de obras de drenaje de acuerdo a las condiciones que se tienen en el sitio. Como se ha explicado con anterioridad, el agua es uno de los principales factores que dañan a los caminos, por lo cual, se debe evitar al máximo el paso por lugares húmedos por donde existieran manantiales perjudiciales para el mismo; evitar que los cortes debiliten la estabilidad de la estructura geológica del terreno y evitar que los terraplenes lleguen a sobrecargar alguna capa de materiales sueltos que estén en las pendientes de las montañas. Existen diferentes formas en que el agua puede llegar al camino, y se pueden clasificar como: precipitación directa, escurrimiento del agua del terreno contiguo, crecientes de ríos o arroyos e infiltración directa. Para el estudio del sistema de drenaje de un camino se puede dividir en dos partes: drenaje superficial y drenaje subterráneo.

2.11 Drenaje superficial.

El drenaje superficial tiene como finalidad principal reducir al mínimo el agua que llega al camino, que como se mencionó anteriormente llega por conducto de la precipitación, por inundaciones y la que corre por ríos y arroyos. Se debe buscar la manera de darle rápida salida mediante la captación de la misma. Para su estudio se puede dividir en dos partes: drenaje longitudinal y drenaje transversal.

2.11.1 Drenaje longitudinal.

En acuerdo con Mier (1987), para el drenaje longitudinal en los caminos es necesario primeramente fijar su localización, determinar el área hidráulica necesaria, sección, pendiente y elevación del fondo del cauce, longitud, hacer un estudio

económico de factibilidad y elaborar un proyecto constructivo. El drenaje longitudinal se lleva a cabo en los caminos por medio de obras de captación y defensa.

Las obras de captación y defensa están formadas por: cunetas, contra-cunetas, bombeo, canales auxiliares, cajones de entrada, desarenadores, cunetas entubadas, lavaderos, y bordos.

Las cunetas son zanjas que se hacen a uno, o a ambos lados de camino en corte, con la finalidad de captar el agua pluvial de la mitad del camino o de todo en las curvas, así como la que escurre por los taludes y en ocasiones la de pequeñas áreas adyacentes. Se menciona que “cuando las cunetas pasan del corte al terraplén, se prolongan a lo largo del pie del terraplén dejando una berma convencional entre dicho pie y el borde de la cuneta para evitar que se remoje el terraplén lo cual es causa de asentamientos” (Crespo, 2005:142). En el caso de una curva sobre-elevada deberá pasarse transversalmente mediante una alcantarilla.

Las contra-cunetas son zanjas que se construyen arriba de los cortes de una camino y su finalidad es evitar que escurra más agua a las cunetas que para lo cual están proyectadas y la de recoger y encauzar aguas que vienen de lugares más alejados, manteniéndolas alejadas de los terraplenes y cortes. Generalmente son de forma trapezoidal, con base de 50 cm. a 90 cm., de una altura promedio de 1.00 m. y taludes 1:1 en material suficientemente compacto pudiendo llegar a hacerse paredes verticales, se colocan a una distancia aproximada de 5 m. del talud del corte. Su área hidráulica se determina en función de la superficie por drenar y del coeficiente de escurrimiento. Cuando el camino sigue aproximadamente la misma dirección de la

pendiente del terreno, el agua correrá paralelamente al camino desfogando hacia los taludes o cañadas y por ahí saldrá a las alcantarillas.

El bombeo del camino es la pendiente de sección transversal del mismo, y tiene por objeto drenar hacia los lados (o hacia un solo lado en curva) el agua pluvial que cae al camino; su magnitud dependerá del aspecto, del tipo de superficie de rodamiento, y de su fácil circulación del camino.

Los lavaderos o vertederos son una cubierta o delantal que pueden ser “zampeados, de lamina, de mampostería, de suelo – cemento, etc.” (Mier, 1987: 264) por donde se encauza el agua de los taludes, o en terreno muy erosionable hasta llevarla a lugares donde no pueda ocasionarle problemas al camino. Se deben anclar con dentellones cuando su construcción es en terreno inclinado para evitar que resbalen.

Los canales auxiliares tienen el objeto de evitar fenómenos que ponen en riesgo a la obra como lo son los desbordamientos, y erosión. Su construcción es para encauzar una corriente paralela o transversal al camino.

Los bordos se construyen para evitar que el agua escurra sobre los taludes, encausándola hacia las obras de alivio. Se construyen en los hombros del terraplén; solamente se colocan si el camino tiene pendiente longitudinal.

2.11.2 Drenaje transversal.

El drenaje transversal o también llamadas obras de cruce, están formadas por puentes y alcantarillas. La diferencia entre estas estructuras es que las alcantarillas tienen un colchón de tierra entre la estructura y la superficie de rodamiento y los puentes no lo tienen, además de que la estructura del puente es mayor a los 6 m. Este tipo de obra tiene como finalidad dar paso rápido al agua que no se puede desviar de otra manera solo cruzando de un lado al otro del camino.

Basados en Crespo (2005), las alcantarillas son todos aquellos conductos cerrados empleados para el drenaje de los caminos. Es necesario poner especial cuidado en el diseño, dimensionamiento y uso de estos elementos del drenaje del camino ya que son muy numerosas y muy utilizadas en los caminos por lo que su inversión es cuantiosa en la construcción de caminos, se estima que los costos de alcantarillas alrededor del 5% del costo total del camino. Su localización debe ser razonable y natural, no se deben forzar los cruces; además no debe reducirse la cantidad de alcantarillas en una sola para recibir el agua de varios taludes. Cuando el esviaje es igual o menor a 5 grados es conveniente proyectar la estructura perpendicular al camino suprimiendo el esviaje; cuando el cauce se ajusta a la dirección de la alcantarilla es suficiente con poner aleros o muros de cabeza para encauzar el agua. La pendiente en las alcantarillas es recomendable que sea la misma que la del lecho de la corriente. Si la pendiente es mayor el extremo de la misma tiende a azolverse; si la pendiente es menor el extremo superior es el que se obstruye.

Los tipos de alcantarillas son:

- a) Alcantarillas de tubo: pueden ser de concreto reforzado, de lámina corrugada, de barro vitrificado y de fierro fundido.
- b) Alcantarillas de cajón: pueden ser de concreto reforzado, sencillas o múltiples.
- c) Alcantarillas de bóveda: pueden ser de mampostería o de concreto simple, sencillas o múltiples.
- d) Alcantarillas de losa: de concreto reforzado.

Las partes de una alcantarilla las constituyen dos piezas y son:

- a) El cañón: es la parte principal de la estructura y forma el canal de la alcantarilla. Según la forma del cañón las alcantarillas; las alcantarillas se dividen en alcantarillas de tubo, alcantarillas de cajón y alcantarillas de bóveda.
- b) Los muros de cabeza: sirven para impedir la erosión alrededor del cañón, para guiar la corriente e impedir que el terraplén invada el canal. Pero si se alarga el cañón los muros de cabeza se pueden omitir.

El área hidráulica se puede determinar por cualquiera de los siguientes procedimientos:

Procedimiento por comparación: este método es aplicable cuando los vestigios de la altas aguas encontradas sean claras o los datos obtenidos sean verídicos relativos al nivel más alto alcanzado por el agua en un periodo no menor de 10 años. Consiste en construir una nueva alcantarilla donde ya había otra o cerca de otra existente en el mismo arroyo.

Procedimiento empírico: este procedimiento es usado cuando no ha existido ninguna alcantarilla, no hay datos respecto al gasto, ni datos de precipitación pluvial; generalmente es empleada la formula de A. N. Talbot.

$$a = 0.183CA^{3/4}$$

Siendo:

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

A = Superficie a drenar, en hectáreas.

C = Coeficiente que equivale a:

C	Para:
1.00	Terrenos montañosos y escarpados.
0.80	Terrenos con mucho lomerío.
0.60	Terrenos con lomerío.
0.50	Terrenos muy ondulados.
0.40	Terrenos poco ondulados.
0.30	Terrenos casi planos.
0.20	Terrenos planos.

Procedimiento de sección y pendiente: para este procedimiento se requiere valerse de las huellas de aguas máximas donde se colocara la alcantarilla. Consiste en determinar el gasto del cauce por medio de secciones hidráulicas definidas y de la pendiente del arroyo. El gasto máximo se calculará en función del área hidráulica, el perímetro mojado, la pendiente y un coeficiente de rugosidad de acuerdo con las paredes del cauce. Con estos datos y la formula de Manning se obtiene la velocidad. Cuando no se encuentran huellas dejadas por el agua, conviene deducir el gasto por el procedimiento de la precipitación pluvial.

Procedimiento de la precipitación pluvial: este método consiste en proyectar la alcantarilla para dar paso a una cantidad de agua determinada por el escurrimiento probable del agua de lluvia. Se utiliza la formula de Burkli Ziegler para calcular el gasto máximo de una alcantarilla debido a un aguacero intenso.

$$Q = 0.0222CJA \left(\frac{S}{A} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Siendo:

Q = gasto de la alcantarilla en m³/seg.

A = número de hectáreas tributarias.

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

S = pendiente del terreno.

El coeficiente C depende de la clase del terreno que forma la cuenca o área tributaria de la alcantarilla y tiene los valores que siguen:

C	Para:
0.75	Calles pavimentadas y distritos comerciales.
0.30	Poblaciones con parques y calles con pavimentos asfálticos.
0.25	Terrenos de cultivo.

Procedimiento racional: este procedimiento es aplicable para cuencas pequeñas solamente ya que sobrestima el escurrimiento con errores apreciables al crecer el tamaño de la cuenca. Se basa en la siguiente ecuación:

$$Q = 27.52CIA$$

Siendo:

Q = gasto en litros por segundo.

C = coeficiente de esorrentía.

I = intensidad de la precipitación, correspondiente al tiempo de concentración, en centímetros.

A = área de drenar en hectáreas.

Los valores para C son:

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

2.12 Drenaje subterráneo.

El drenaje subterráneo consiste en proporcionar ductos para conducir y evitar que el agua entre a las zonas de peligro de la estructura del camino. El agua subterránea puede provenir de la lluvia o nieve, puede ser de formación, que es la que ocupa los espacios entre sedimentos que quedaron en el fondo de océanos y lagos; por último se puede encontrar agua magnética ocasionada de la actividad volcánica. El drenaje subterráneo debe ser tomado muy en cuenta en el diseño del camino, ya que de él depende en gran importancia la seguridad del camino, un sistema de drenaje subterráneo bien proyectado remunerará económicamente al camino al disminuir considerablemente sus costos de conservación. Las obras de drenaje se pueden combinar entre sí para dar una solución más completa y se le debe de dar una atención individual y diferente a cada una de ellas.

Las obras de drenaje subterráneo más utilizadas se pueden dividir de la siguiente manera:

Zanjas: el uso de zanjas debe decidirse cuidadosamente, no elegirse en todas partes, son peligrosas cerca del camino y dan mal aspecto. Son usualmente de 0.60m en la base y de 0.90 a 1.20 m de profundidad.

Drenes de zanja: se requiere drenes de zanja longitudinal, en los cortes donde el flujo del agua subterránea sigue aproximadamente la inclinación de la ladera y por tanto el nivel freático tiene una configuración similar a la del terreno. Bajo estas condiciones se produce el flujo hacia la excavación tendiendo a saturar los taludes y la cama del corte.

Drenes ciegos: son zanjas rellenas de piedra quebrada o grava, son muy empleados, si son construidos de manera correcta dan buenos resultados por mucho tiempo. Son de 0.45 m de ancho y 0.60 m a 0.90 m de profundidad, deben tener una pendiente uniforme y ir a desfogar a una salida adecuada.

Drenes de tubo: los drenes de tubo son superiores a los formados por otro tipo de drenes y deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) Aplastamiento: es importante usar tubos que no se rompan cuando se coloquen en la zona de tránsito.
- b) Flexión: es necesario que los tubos presenten juntas apropiadas para que flexionen un poco para que puedan amoldarse a las desigualdades de la plantilla.

- c) Presión hidráulica: es necesario que las juntas estén fuertemente unidas para evitar las posibilidades de socavación por el agua que pueda salir.
- d) Capacidad de infiltración: esto depende si el tubo es o no perforado.
- e) Durabilidad: es necesario que sean resistentes a la desintegración, erosión y corrosión.

El tamaño de los tubos depende de: la clase del tubo, el tipo de terreno a drenar, la altura de precipitación y de la pendiente de la tubería.

2.13 Puentes.

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

La infraestructura de un puente está formada por los estribos o pilares extremos, las pilas o apoyos centrales y los cimientos, que forman la base de ambos. La superestructura consiste en el tablero o parte que soporta directamente las cargas y las armaduras, constituidas por vigas, cables, o bóvedas y arcos que transmiten las cargas del tablero a las pilas y los estribos.

La palabra viaducto se reserva para los puentes largos, con frecuencia de claros prolongados, y altura constante.

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

Las partes que forman un puente son:

- Elementos portantes (Generalmente vigas).
- En la Superestructura Diafragmas.
- Sistemas de piso (Losas).
- Pilas y estribos.
- En la subestructura Sistemas de apoyo.
- Otros elementos de soporte de la superestructura.
- Pilotes.
- En la cimentación Zapatas de cimentación.
- Pilastrones.
- Juntas de dilatación.
- Sistemas de drenaje.
- En el equipamiento Parapetos.
- Señalizaciones.

2.13.1 Antecedentes de los puentes.

Se puede decir que los puentes existen desde que existe la civilización misma, su historia se considera que inicia desde que alguien cruzo una zanja o rio por un árbol caído. A lo largo de su historia se encuentran construcciones en todas las civilizaciones, pero los Romanos fueron los grandes ingenieros históricos, ya que no se superó su técnica y realizaciones hasta los últimos dos siglos.

La aparición de nuevos materiales de construcción, principalmente el acero, dio paso a un replanteamiento de la situación. La teoría de estructuras elaboró los

modelos de cálculo para la comprobación de los diseños cada vez más atrevidos de los ingenieros, como arcos y armaduras para salvar grandes claros.

El ferrocarril, como nuevo medio de transporte y como uno de los pilares fundamentales del mundo moderno, vino a acelerar todavía más el desarrollo de los puentes cada vez más grandes, de diseño más elaborado y con técnicas de construcción cada vez más desarrolladas y avanzadas.

2.13.2 Clasificación de los puentes.

A los puentes los podemos clasificar según su función y utilización, materiales de construcción y tipo de estructura.

A los puentes según su función y utilización se les puede clasificar en:

- Puentes peatonales.
- Puentes, viaductos o pasos carreteros.
- Puentes, viaductos o pasos ferroviarios.

Según sus materiales de construcción, los puentes pueden ser de:

- Madera.
- Mampostería.
- Acero Estructural.
- Concreto Armado.
- Concreto Presforzado.

Dependiendo del tipo de estructura, los puentes podrán ser de:

- Librementemente Apoyados.

- Tramos continuos.
- Arcos.
- Atirantados.
- Colgantes.
- Doble Voladizos.

2.13.3 Estudios de campo.

Los estudios de campo para los puentes se dividen en las siguientes cuatro partes:

Estudios topográficos: para rendir un informe sobre los estudios topográficos realizados en la construcción de un puente deben de dar el nombre del río o barranca, camino correspondiente, tramos del camino en donde se encuentra, es imprescindible se den los datos siguientes: origen del kilometraje, elevación y descripción del banco próximo, planos de localización, elevación de la subrasante, importe de las indemnizaciones que tendrán que hacerse al llevarse a cabo la obra.

Estudios hidráulicos: los datos de importancia son: coeficiente de rugosidad, una sección de cruce y dos de auxiliares aguas arriba y abajo a escala 1:200, velocidad superficial, frecuencia y duración de las crecientes máximas extraordinarias, si la creciente deposita o socava, si hay que efectuar alguna canalización ,etc.

Estudios geológicos: los datos más relevantes de los estudios geológicos son: caracteres generales de los materiales que forman el fondo y margen de la corriente, corte geológico indicando los materiales del subsuelo y el nivel de las aguas freáticas

enviando muestras inalteradas, carga admisible aproximada que puede soportar cada estrato del subsuelo.

Estudios comerciales: para un buen estudio de puente deben llevar los datos comerciales necesarios y ser enviados con el informe de localización del mismo y son los siguientes: jornales medios en la región para diferente categorías, enfermedades de la región, clima dominante en la región, vía más próxima de comunicación, precios unitarios de los diversos materiales en el lugar de la obra.

Además de todo lo anterior se debe acompañar el informe de fotografías del sitio donde se va a efectuar el cruce.

CAPÍTULO 3

RESUMEN EJECUTIVO DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN

En el presente capítulo se estudiará lo relacionado a la zona del proyecto, su localización, sus características.

3.1 Generalidades.

El proyecto se basará en la revisión del diseño del proyecto de sistema de drenaje del tramo Patamban-La Cantera, Km 9+700 al 14+660, en el estado de Michoacán, el cual forma parte de la rehabilitación integral del tramo Patamban-La cantera.

Se analizara primeramente el lugar donde se localiza el tramo, para estudiar las mejores alternativas, dentro de lo técnico y lo económico, para de esta manera mejorar dicha vía de comunicación y prolongar su vida útil.

3.2 Resumen ejecutivo.

El diseño del drenaje del tramo Patamban-La Cantera del Km. 9+700 al 14+660, forma parte de un mejoramiento en la vialidad ya mencionada. Este mejoramiento comprende de varios aspectos y estudios importantes, pero la presente tesis toma especial y únicamente el aspecto de drenaje superficial (dimensionamiento y localización), ya que debe de mejorarse para prolongar la vida útil de toda la estructura del camino.

3.3 Entorno Geográfico.

La población de Patamban se encuentra localizada en el estado de Michoacán de Ocampo, México. Esta población cuenta con 3280 habitantes y su principal economía proviene de las artesanías (alfarería) y de la agricultura.

3.3.1 Macro y micro localización.

La población de Patamban, pertenece al municipio de Tangancicuaro, Michoacán y está localizada en el norte del estado y por las coordenadas de latitud norte 19°48' y longitud oeste 102°17', a una altura sobre el nivel del mar de 2140 m.s.n.m. (metros sobre nivel de mar).



IMAGEN 6. Macro localización de Patamban, Michoacán.



IMAGEN 7. Micro localización de Patamban-La Cantera, Michoacán.



IMAGEN 8. Micro localización tramo carretero Patamban-La Cantera, km 9+700 al 14+660.

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

3.3.2 Topografía regional y de la zona en estudio.

La configuración topográfica del estado de Michoacán se encuentra dominada por la Sierra Madre del sur y la Cordillera Tarasco-Náhuatl, que son los sistemas más importantes del Estado. Ambos cuentan con una gran cantidad de ramificaciones y derivaciones que determinan que ésta sea una de las regiones más montañosas de la República Mexicana, con elevaciones y depresiones notables que hacen de su suelo, una superficie muy accidentada. La parte central se encuentra ocupada por el macizo montañoso Tarasco-Náhuatl, que es esencialmente volcánico y constituye el eje de enlace entre las Sierras Madre Oriental y Occidental.

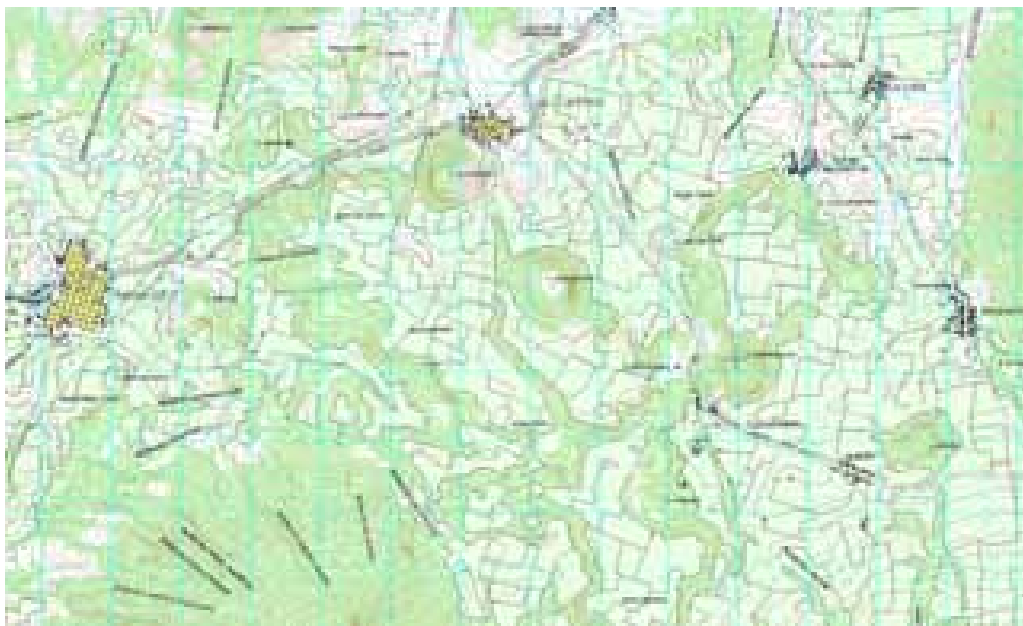


IMAGEN 9. Carta topográfica INEGI E13B18 (Tarécuato).

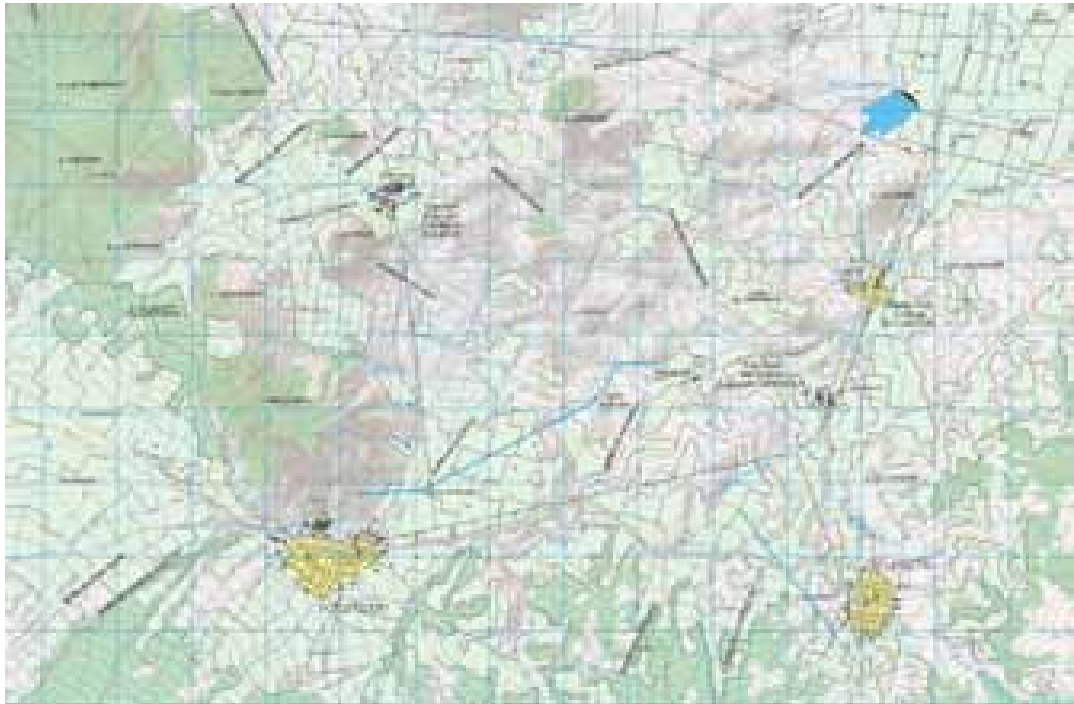


IMAGEN 10. Carta topográfica INEGI E13B19 (Zamora).

3.3.3 Geología regional y de la zona en estudio.

Michoacán comparte con los estados de Colima, Jalisco, Guerrero y México los terrenos de la provincia geológica denominada Sierra Madre del Sur; y con Jalisco, Guanajuato, Querétaro y México, los del Eje Neo volcánico.

El relieve estructural original de la provincia del Eje Neo volcánico está constituido básicamente por rocas volcánicas jóvenes (del Cenozoico Superior). El paisaje de esta región conserva en su mayor parte, rasgos estructurales originales. En Michoacán son muy importantes las zonas lacustres.

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

A continuación se presenta gráficamente la geología regional de la zona en estudio, donde se apreciara que la zona en estudio se encuentra formada en el periodo del Cenozoico terciario y cuaternario, con el tipo de roca ígnea extrusivas y suelos sedimentarios.



IMAGEN 11. Geología regional de la zona de estudio. Fuente: INEGI.

3.3.4 Hidrología regional y de la zona de estudio.

Patamban se encuentra ubicada en la región hidrológica del Rio Lerma y del lago de Chapala, no cuenta con corrientes perenes, aunque sí con escurrimientos importantes del cerro Tres Marías y del Cerro Azul. Su clima es semicálido, subhúmedo con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 1000 milímetros y una temperatura media anual que oscila entre los 16 a 24°C.

A continuación se muestra el mapa hidrológico, de climas, de precipitación pluvial anual y de temperaturas de las regiones y zona de estudio:

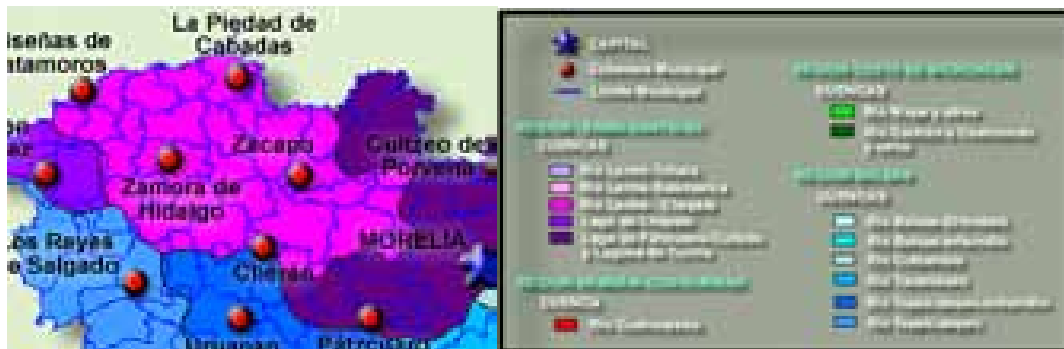


IMAGEN 12. Hidrología regional de la zona de estudio. Fuente: INEGI.



IMAGEN 13. Climas regionales de la zona de estudio. Fuente: INEGI.



IMAGEN 14. Precipitación pluvial anual regional de la zona de estudio. Fuente: INEGI.



IMAGEN 15. Clima regional de la zona de estudio. Fuente: INEGI.

3.3.4 Uso de suelo regional y de la zona de estudio.

El uso de suelo es primordialmente agrícola de tracción animal y mecanizada, y en menor proporción ganadera y forestal como se muestra en la siguiente imagen.



IMAGEN 16. Clima regional de la zona de estudio. Fuente: INEGI.

3.4 Informe fotográfico.

Con el informe fotográfico se podrá apreciar la situación actual del camino y la zona de estudio, el tipo de vegetación, topografía, daños, para poder proponer alternativas de solución viables.

3.4.1 Estado físico actual.

El estado físico actual del tramo en estudio, cuenta con pavimento asfáltico con poco tiempo de haber sido reparado, lo cual corrigió en gran medida los problemas de bombeo y pendientes. Existen varias obras de drenaje en el tramo en estudio (Anexo 01), que tienen problemas en su funcionamiento (azolve, socavación, entre otros). La estructura del camino se encuentra en su mayoría conformada por secciones en balcón y terraplén (Anexo 02, 03, 04, 05). Es posible apreciar lo anterior señalado en las siguientes imágenes.



IMAGEN 17. Tipo de vegetación.



IMAGEN 18. Topografía de la zona de estudio.



IMAGEN 19. Estado de la superficie de rodamiento.



IMAGEN 20. Uso de suelo.



IMAGEN 21. Alcantarilla azolvada.



IMAGEN 22. Alcantarilla en buen estado.



IMAGEN 23. Alcantarilla socavada.



IMAGEN 24. Alcantarilla en buen estado.



IMAGEN 25. Cunetas deterioradas.



IMAGEN 26. Cunetas en buen estado.

3.5 Estudios de tránsito.

Se tomaron 2 puntos de aforo de vehículos, arrojando los resultados en vehículos por minuto en hora pico, el punto de aforo corresponde a un sitio aleatorio en el tramo en el cual los vehículos que pasan necesariamente circularon el tramo de camino en estudio, ya que no existen intersecciones, bifurcaciones o incorporaciones de tránsito. Los resultados se muestran a continuación:

3.6 Alternativas de solución.

En este estudio se presenta una revisión al análisis de diseño correspondiente a las obras de drenaje del tramo Patamban-La Canterera, Km. 9+700 al 14+660 en el estado de Michoacán.

Tomando en cuenta los datos obtenidos en campo y la situación actual del tramo en estudio (Anexo 01), es necesario hacer un análisis detallado del sistema de drenaje, ya que de él depende en gran medida la conservación adecuada de la estructura del camino.

Se realizará un análisis del proyecto actual para conocer su estado de servicio, funcionalidad, capacidad, entre otros factores necesarios para garantizar el adecuado funcionamiento de todo el sistema o en su defecto proponer los cambios necesarios y pertinentes, evaluando cada una de las obras y cada uno de los elementos que las componen.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

La metodología informa, describe y utiliza métodos para la estructuración de la investigación, en esta se deberá señalar como se fueron recopilando los datos que le dieron forma y dirección a esta presentación.

Por medio de este capítulo se mostrara el método empleado para el proyecto en estudio así como el enfoque de la investigación, el alcance de la investigación, el tipo de diseño de la investigación, los métodos o instrumentos de recopilación de datos utilizados para el desarrollo del contenido textual de esta tesis y por último se presentara la descripción de los proceso de investigación que se implementaron.

4.1 Método empleado.

En esta investigación se implementó el método científico, ya que este es de carácter deductivo, por lo que se tendrán que analizar todos los problemas y objetivos que se presentaron para sus posibles soluciones.

Del mismo modo que el método mencionado anteriormente este documental presenta un método matemático-analítico, donde por medio de cálculos y teorías se revisara el sistema de drenaje del tramo en estudio.

4.2 Enfoque de la investigación.

El enfoque de la investigación en estudio es de carácter cuantitativo, debido a que la investigación está basada en cálculos matemáticos desde el punto de vista del área de las ingenierías.

4.2.1 Alcance de la investigación.

Para la realización de esta investigación se implemento un estudio dirigido directamente al proceso descriptivo ya que por medio de este se puede llegar al objetivo de la representación de eventos, de situaciones y de hechos, porque estos determinan cualquier fenómeno o situación que se tenga por estudiar. Por medio de este estudio se puede alcanzar detalladamente propiedades, rangos y características muy importantes del objeto en estudio.

4.3 Diseño de la investigación.

Esta investigación es no experimental y a su vez tiene una forma transversal. En donde se concentran todos los datos en el tiempo preciso y único con los cuales se analizaran y se describirán todas las variables como también su ocurrencia y relación entre ellas en un momento determinado.

El diseño apropiado bajo un enfoque no experimental puede ser transversal o transaccional como ya se mencionó anteriormente. Ya sea que el enfoque sea cuantitativo, cualitativo o mixto; y su alcance inicial o final sea exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo.

4.4 Instrumentos de recopilación de datos.

Una de las principales técnicas de recopilación de datos más utilizada es la observación ya que por medio de esta el investigador se apoya para obtener el mayor número de datos. Es por esta razón que gran parte del acervo de conocimientos que constituye la ciencia ha sido logrado mediante la observación.

Se cuenta con diferentes tipos y técnicas para obtener información por medio de la observación en seguida se mencionaran algunos tipos:

- Observación directa y la indirecta.
- Observación participante y no participante.
- Observación estructurada y no estructurada.
- Observación de campo y de laboratorio.

Sin lugar a duda estas son las observaciones más representativas para la recopilación de datos, por hacer mención a una en especial ya que esta fue muy utilizada para esta investigación, se reitera que la investigación indirecta es un método de recopilación de información muy útil ya que por medio de esta se ingresa al conocimiento del hecho o fenómeno observado a través de la asistencia de libros, revistas, informes, grabaciones, fotografías, etc., relacionadas con lo que se esta investigando, los cuales han sido conseguidos o elaborados por personas que observaron previamente lo mismo.

4.5 Descripción del proceso de investigación.

Para documentar la información de esta investigación fue necesario en primera instancia tener la ubicación y localización del lugar en estudio, posteriormente se realizaron visitas para tomar fotografías y hacer una descripción del lugar e identificar las condiciones y la forma en las que operan las obras hidráulicas, ya que es muy importante identificar si estas se encuentran trabajando bajo condiciones normales.

Los datos que se revisaron durante la visita al punto de conflicto fueron los siguientes:

- Identificación del tipo de obra hidráulica ya sea rectangulares en base a una losa de concreto o circular por medio de tubería de lámina o ADS.
- Estado actual de las obras hidráulicas.
- Señalización para ubicación de la obra y protección de la misma.

Toda esta información fue documentada y recopilada, del mismo modo se recabaron datos científicos de mucha importancia para la elaboración de este proyecto de investigación. Internet, Apuntes, libros y manuales con especificaciones y normas ya establecidas para este tipo de proyectos, fueron la base de la bibliografía para el desarrollo de esta investigación. En base a esto, se documentó y se fue sustrayendo la información necesaria que permitiera establecer las conclusiones necesarias para fundar y demostrar la idea por la cual se realizó este proyecto.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los cálculos que se llevan a cabo en el presente capítulo sirven para definir las características geométricas, estructurales y de servicio de las distintas obras de drenaje comprendidas en el tramo en estudio.

5.1 Diseño de cunetas.

Se revisará inicialmente la cuneta tipo por medio del método de Manning para conocer el gasto que la cuneta tipo es capaz de desalojar en cada uno de los tramos requeridos.

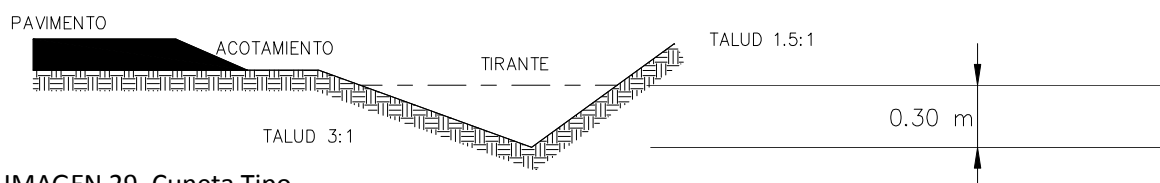


IMAGEN 29. Cuneta Tipo.

TRAMO		LADO		LONGITUD (m)	SECCION TIPO (m ²)	PERIMETRO MOJADO	RADIO HIDRAULICO
DE km	A km	IZQ	DER				
9+700	9+980		*	280	0.12	1.12	0.107143
10+260	10+380		*	120	0.12	1.12	0.107143
10+260	10+360	*		100	0.12	1.12	0.107143
10+420	10+720		*	300	0.12	1.12	0.107143
10+440	10+540	*		100	0.12	1.12	0.107143
11+040	11+160		*	120	0.12	1.12	0.107143
11+760	11+820		*	60	0.12	1.12	0.107143
11+900	12+020		*	120	0.12	1.12	0.107143
12+940	13+180		*	240	0.12	1.12	0.107143
13+320	13+860		*	540	0.12	1.12	0.107143
13+520	13+700	*		180	0.12	1.12	0.107143
13+760	13+840	*		80	0.12	1.12	0.107143
13+920	14+140		*	220	0.12	1.12	0.107143
13+940	14+020	*		80	0.12	1.12	0.107143
14+200	14+660		*	460	0.12	1.12	0.107143
14+340	14+360			20	0.12	1.12	0.107143

TRAMO		PENDIENTE	GASTO (m3/seg)
DE km	A km		
9+700	9+980	0.008500	0.083191
10+260	10+380	0.012500	0.100884
10+260	10+360	0.012500	0.100884
10+420	10+720	0.009700	0.088870
10+440	10+540	0.009700	0.088870
11+040	11+160	0.007000	0.075495
11+760	11+820	0.025000	0.142672
11+900	12+020	0.023000	0.136846
12+940	13+180	0.064000	0.228275
13+320	13+860	0.041000	0.182709
13+520	13+700	0.072500	0.242962
13+760	13+840	0.050000	0.201769
13+920	14+140	0.062500	0.225584
13+940	14+020	0.068000	0.235301
14+200	14+660	0.019000	0.124379
14+340	14+360	0.022500	0.135351

Debido a que el área por drenar de las cunetas es relativamente pequeña se considero revisar éstas para que cumplan una capacidad de un aguacero de 5 minutos en un periodo de retorno de 25 años. El dato obtenido de acuerdo a los registros publicados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de su página de internet para la zona de estudio es igual a 150 mm/hr.

Para que las cunetas se conserven en buen estado se requiere que la velocidad del agua que escurre por las cunetas no rebase el valor de 7 m/seg suponiéndose que estas están construidas de concreto. Los resultados obtenidos por medio de las formulas de Manning para el gasto y la velocidad se muestran en la siguiente tabla

TRAMO		LADO		LONGITUD m	SECCION m ²	AREA DE INFLUENCIA
DE km	A km	IZQ	DER			
9+700	9+980		*	280	0.12	1,400.00
10+260	10+380		*	120	0.12	600.00
10+260	10+360	*		100	0.12	500.00
10+420	10+720		*	300	0.12	1,500.00
10+440	10+540	*		100	0.12	500.00
11+040	11+160		*	120	0.12	600.00
11+760	11+820		*	60	0.12	300.00
11+900	12+020		*	120	0.12	600.00
12+940	13+180		*	240	0.12	1,200.00
13+320	13+860		*	540	0.12	2,700.00
13+520	13+700	*		180	0.12	900.00
13+760	13+840	*		80	0.12	400.00
13+920	14+140		*	220	0.12	1,100.00
13+940	14+020	*		80	0.12	400.00
14+200	14+660		*	460	0.12	2,300.00
14+340	14+360			20	0.12	100.00

TRAMO		GASTO REAL EN	VELOCIDAD m/seg	CONDICIÓN
DE km	A km			
9+700	9+980	0.06	0.49	CUMPLE
10+260	10+380	0.03	0.21	CUMPLE
10+260	10+360	0.02	0.17	CUMPLE
10+420	10+720	0.06	0.52	CUMPLE
10+440	10+540	0.02	0.17	CUMPLE
11+040	11+160	0.03	0.21	CUMPLE
11+760	11+820	0.01	0.10	CUMPLE
11+900	12+020	0.03	0.21	CUMPLE
12+940	13+180	0.05	0.42	CUMPLE
13+320	13+860	0.11	0.94	CUMPLE
13+520	13+700	0.04	0.31	CUMPLE
13+760	13+840	0.02	0.14	CUMPLE
13+920	14+140	0.05	0.38	CUMPLE
13+940	14+020	0.02	0.14	CUMPLE
14+200	14+660	0.10	0.80	CUMPLE
14+340	14+360	0.00	0.03	CUMPLE

5.2 Diseño de alcantarillas.

Para conocer el área de las micro cuencas que aportan el gasto a cada alcantarilla se requirió hacer uso de dos cartas topográficas en las cuales se encontraba el tramo carretero. De las cartas topográficas elaboradas por el INEGI, E13B18 y E13B19 y con ayuda de un programa grafico CAD se delimitaron cada una de dichas micro cuencas y se obtuvo cada una de las áreas.

No.	km.	Area m2
1	09+980	431,294.02
2	10+724	3,047,992.35
3	11+200	999,955.82
4	12+227	856,762.53
5	12+893	449,837.90
6	13+469	1,346,923.80
7	13+709	1,394,685.60
8	14+180	7,311,846.85
9	14+419	1,020,466.76

Se procede, entonces, a determinar el gasto que desalojará la alcantarilla para una precipitación máxima de 10 minutos en un periodo de retorno de 25 años. De los datos emitidos por SCT se obtiene una precipitación máxima de 80 mm/hr y se hace la revisión de acuerdo al formula de Manning para obtener el diámetro de la tubería, considerando que ésta es tubería de polietileno corrugada de alta densidad.

No.	km.	Area m2	PRECIPITACION MM/HR	GASTO EN M3/SEG	PENDIENTE DE LA CUENCA	DIAMETRO DE TUBERIA MANNING (m)	DIAMETRO ORIGINAL DE PROYECTO (m)	ESTATUS
1	09+980	431,294.02	80	9.584311613	0.05427	1.061004052	1.22	SUFICIENTE
2	10+724	3,047,992.35	80	67.73316328	0.04365	2.300992085		
3	11+200	999,955.82	80	22.22124039	0.04196	1.526223446	1.22	INSUFICIENTE
4	12+227	856,762.53	80	19.03916734	0.05025	1.392408389	1.22	INSUFICIENTE
5	12+893	449,837.90	80	9.996397793	0.06015	1.057295307	1.22	SUFICIENTE
6	13+469	1,346,923.80	80	29.93164	0.06975	1.551479582	1.22	INSUFICIENTE
7	13+709	1,394,685.60	80	30.99301327	0.06162	1.608839684	1.22	INSUFICIENTE
8	14+180	7,311,846.85	80	162.4854855	0.09228	2.776255642		
9	14+419	1,020,466.76	80	22.67703921	0.08501	1.347196406	1.22	INSUFICIENTE

Como la mayoría de las alcantarillas no cumplen con el diámetro requerido, se propone un diámetro para ellas.

No.	km.	DIAMETRO DE TUBERIA MANNING	TUBERIA COMERCIAL PROPUESTA(mm)
1	09+980	1.061004052	122
2	10+724	2.300992085	
3	11+200	1.526223446	183
4	12+227	1.392408389	152
5	12+893	1.057295307	122
6	13+469	1.551479582	183
7	13+709	1.608839684	183
8	14+180	2.776255642	
9	14+419	1.347196406	152

La alcantarilla ubicada en el kilómetro 10+724, así como la que se ubica en el kilómetro 14+180 exigen diámetros de tubería relativamente grandes para el tipo de camino por lo que se considera hacer un cambio en su geometría de acuerdo al área requerida por medio de la fórmula de Talbot.

No.	km.	Area m2	PRECIPITACION MM/HR	GASTO EN M3/SEG	AREA DE LA ALCANTARILLA TALBOT	SECCION PROPUESTA	DIMENSIONES DE PROYECTO (m)	ESTATUS
2	10+724	3,047,992.35	80	67.73316328	12.02758357	RECTANGULAR	6 X 3	SUFICIENTE
8	14+180	7,311,846.85	80	162.4854855	23.18399601	RECTANGULAR	6 X 3	INSUFICIENTE

Se observa que la alcantarilla del kilómetro 14+180 es insuficiente para el gasto que requiere desalojar por lo cual se propone de la siguiente manera.

No.	km.	AREA DE LA ALCANTARILLA TALBOT	PROPUESTA	DIMENSION DE SECCION RECTANGULAR (m)
8	14+180	23.18399601	RECTANGULAR	6.00 X 4.50

Una vez teniendo las dimensiones de las alcantarillas se procede a calcular el esfuerzo del vehículo de proyecto y el colchón de tierra sobre dichas alcantarillas y la revisión del esfuerzo sobre las obras, considerando de acuerdo con el aforo realizado

un vehículo de proyecto C3, camión de tres ejes, 10 neumáticos y un peso bruto vehicular de 20 toneladas (NOM-012-SCT-2008).

No.	km.	h= r (m)	W (kg)	P=0.4W (kg)	AREA DE ESFUERZO (m2)	ESFUERZO S=P/A (kg/m2)	ESFUERZO S=P/A (Ton/m2)
1	09+980	0.64	20000	8000	1.28679936	6216.975427	6.216975427
2	10+724	2.11	20000	8000	13.98671736	571.9712349	0.571971235
3	11+200	0.62	20000	8000	1.20763104	6624.539893	6.624539893
4	12+227	2.46	20000	8000	19.01170656	420.7933662	0.420793366
5	12+893	1.22	20000	8000	4.67595744	1710.879558	1.710879558
6	13+469	0.41	20000	8000	0.52810296	15148.56118	15.14856118
7	13+709	0.87	20000	8000	2.37787704	3364.345534	3.364345534
8	14+180	1.5	20000	8000	7.0686	1131.765838	1.131765838
9	14+419	1.03	20000	8000	3.33292344	2400.295159	2.400295159

Revisando los valores obtenidos contra los valores permisibles de la tubería de polietileno corrugado de alta densidad, y se obtienen los valores de espesor de colchón de tierra equivalentes por el esfuerzo de la carga viva (vehículo de operación).

No.	km.	ESFUERZO S=P/A (Ton/m2)	h'=S/γ (m)	d=h+h' (m)	S PREMISIBLE ADS (ton/m2)	CONDICION DE OPERACIÓN
1	09+980	6.216975427	4.440696733	5.080696733	2109.210273	[ACEPTABLE]
2	10+724	0.571971235	0.408550882	2.518550882	2109.210273	
3	11+200	6.624539893	4.731814209	5.351814209	2109.210273	[ACEPTABLE]
4	12+227	0.420793366	0.30056669	2.76056669	2109.210273	[ACEPTABLE]
5	12+893	1.710879558	1.222056827	2.442056827	2109.210273	[ACEPTABLE]
6	13+469	15.14856118	10.82040084	11.23040084	2109.210273	[ACEPTABLE]
7	13+709	3.364345534	2.403103953	3.273103953	2109.210273	[ACEPTABLE]
8	14+180	1.131765838	0.80840417	2.30840417	2109.210273	
9	14+419	2.400295159	1.714496542	2.744496542	2109.210273	[ACEPTABLE]

Para la alcantarilla ubicada en el tramo 10+724 se realiza el cálculo de la losa y los muros de contención. Primeramente se hace el análisis de cargas que actúan sobre la losa.

ANALISIS DE CARGA			
CARGAS MUERTAS			
MATERIAL	ESPESOR	PESO VOL	PESO TOTAL
ASFALTO	0.12	2.1	0.252
RELLENO	2.26	1.6	3.616
LOSA	0.42	2.4	1.008
			CM= 4.876 t/m ²
CARGAS DE SERVICIO			
Para cargas permanentes			
CM=	4.876		
Cadic=	0.15		
CV=	0.4384348		
W=	5.4644348	t/m	

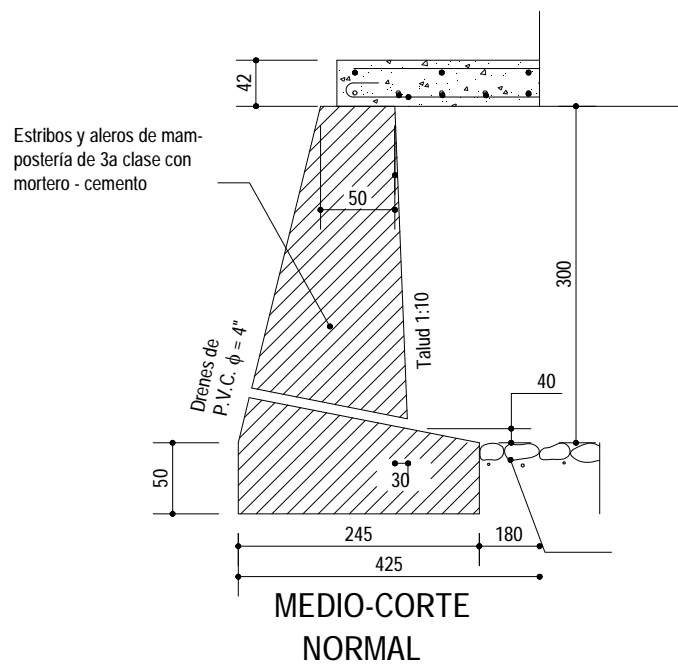
DATOS			
$f_c =$	250	kg/cm ²	
$f_y =$	4200	kg/cm ²	
L=	6.8	m	
b =	100	cm	
h =	42	cm	
recubrimiento =	5	cm	
d =	37	cm	
w =	546443.4795	ton/m	
$V = w L/2$	18579.0783	kg	
$M_{max (+)} = w L^2/8$	3158443.3117	kg-cm	
CONSTANTES DE DISEÑO			
$f^*c =$	200	kg/cm ²	
$f''c =$	170	kr/cm ²	
Zona sísmica (si = 1, no = 0):	1		
b1 =	0.85		
FR (FLEXIÓN)=	0.9		
FR (CORTANTE) =	0.8		
FC =	1.4		
rb =	0.020238		
rmax =	0.015179		
rmin =	0.002635		

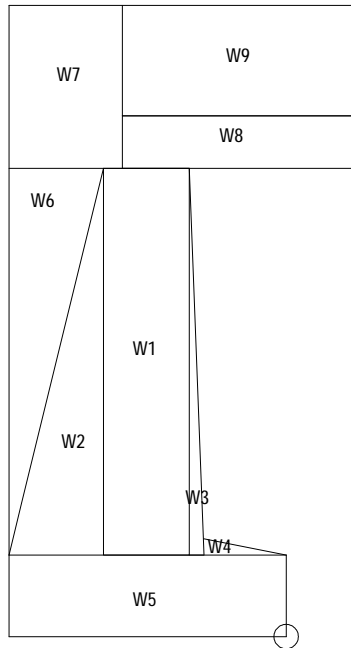
Para momento positivo			
Mu (+)=	4421820.64	kg-cm	
$\rho = \frac{f''c}{fy} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Mu}{F_R bd^2 f''c}} \right]$			
r calc =	0.0097		
pmin < p < pmax, OK			
r diseño =	0.00971		
$As = \rho bd$			
As req =	35.92	cm ²	
Número de barras			
#	ao (cm ²)	Nº de Barras	As (cm ²)
3	0.71		
4	1.27		
5	1.98		
6	2.85	2	5.70
7	3.88		
8	5.07	8	40.56
9	6.41		
10	7.92		
12	11.4		
		As =	46.26 cm ² >
		rreal =	0.0125
Separacion de barras			
Barra #8	S=	(100 ao)/As=	12.5000
Barra #6	S=	(100 ao)/As=	50.0000
Separacion maxima			
Smax ≤	3h=	126 cm	
Smax ≤	30	cm	

Acero por temperatura				
asi=	(660 h)/(fy(h+100))=	0.046478873	cm²/cm²	
asi=	4.64789	cm²/franja de 1 metro		
como esta en contacto directo con el terreno el refuerzo no debe ser menor que:				
1.5asi=	6.971830986	cm²/franja de 1 metro		
Número de barras				
#	ao (cm²)	Nº de Barras	As (cm²)	
3	0.71			
4	1.27	8	10.16	
5	1.98			
6	2.85			
7	3.88			
8	5.07			
9	6.41			
10	7.92			
12	11.4			
		As =	10.16	cm² >
		rreal =	0.0027	
Separacion de barras				
Barra #4	S=	(100 ao)/As=	12.5000	
Separacion maxima				
Smax ≤	3h=		126 cm	
Smax ≤		30 cm		

DISEÑO POR CORTANTE			
$V_u =$	26010.71	kg	
$Si \rho < 0.015 \rightarrow V_{CR} = F_R b d (0.2 + 20\rho) \sqrt{f^* c}$			
$Si \rho \geq 0.015 \rightarrow V_{CR} = 0.5 F_R b d \sqrt{f^* c}$			
$V_{cr} =$	26162.95	kg	
V_u	<	V_{cr}	no requiere refuerzo por tension diagonal

Revisando el muro de contención de proyecto.





SUB DIVISIÓN DE CARGAS

DATOS DE PROYECTO:			
γ =	1.8	ton/m ³	
ϕ =	36	°	
q =	30	ton/m ²	
AREA DE LA BASE=	2.45	m ² /m	
SUELO TIPO=	2		
H=	6.14	m	
H1=	0	m	
	peso (ton)	brazo (m)	momento (ton-m)
w1=	3.3	1.15	3.795
w2=	3.465	1.75	6.06375
w3=	0.99	0.8	0.792
w4=	0.264	0.4	0.1056
w5=	2.695	1.225	3.301375
w6=	2.835	2.1	5.9535
w7=	5.8968	1.925	11.35134
w8=	3.4272	1.15	3.94128
w9=	16.6464	1.15	19.14336
	39.5194		54.447205

DE ACUERDO AL METODO SEMIEMPIRICO DE TERZHAGI					
EH= $\frac{1}{2} KH H^2$					
KH=	600	kg			
EH=	11309.88	kg			
H/3=	2.046666667	m	CIMIENTO=	0.5	m
BRAZO=	2.546666667	m			
MACT=	28.8024944				
REVISIÓN POR VOLTEO.					
FS= MR/MACT=	1.890364225		>	1.5	CUMPLE POR VOLTEO
REVISION POR DESLIZAMIENTO.					
$\gamma = P/A =$	16.13036735	ton/m ³			
$F = B \gamma (\tan(\frac{2}{3}\phi)) =$	17.59458552				
FS= F/EH=	1.555682776		>	1.5	CUMPLE POR DESLIZAMIENTO
REVISION POR CAPACIDAD DE CARGA					
$\ell = (M/V) - (B/2) =$	-0.576085528				
$f1 = (V/B)(1+(6\ell/B)) =$	-6.62670494	ton	<		CUMPLE POR CAPACIDAD DE CARGA
				q=	30 ton
$f2 = (V/B)(1-(6\ell/B)) =$	38.88743963	ton	>		NO CUMPLE POR CAPACIDAD DE CARGA

Como el muro no cumple por capacidad de carga se propone reducir el colchón de tierra que actúa sobre la estructura 30 centímetros y se revisa nuevamente.

DATOS DE PROYECTO:					
γ =	1.8	ton/m ³			
ϕ =	36	°			
q=	30	ton/m ²			
AREA DE LA BASE=			4	m ² /m	
SUELO TIPO=			2		
H=	5.94	m			
H1=	0	m			
	peso	brazo	momento		
w1=	3.3	1.15	3.795		
w2=	3.465	1.75	6.06375		
w3=	0.99	0.8	0.792		
w4=	0.264	0.4	0.1056		
w5=	2.695	1.225	3.301375		
w6=	2.835	2.1	5.9535		
w7=	5.556	1.925	10.6953		
w8=	3.4272	1.15	3.94128		
w9=	15.876	1.15	18.2574		
	38.4082		52.905205		
DE ACUERDO AL METODO SEMIEMPIRICO DE TERZHAGI					
EH= $\frac{1}{2} KH H^2$					
KH=	600	kg			
EH=	10585.08	kg			
H/3=	1.98	m	CIMIENTO=	0.5	m
BRAZO=	2.48	m			
MACT=	26.2509984				
REVISIÓN POR VOLTEO.					
FS= MR/MACT=	2.015359728		>	1.5	CUMPLE POR VOLTEO
REVISION POR DESLIZAMIENTO.					
γ = P/A=	9.60205	ton/m ³			
F= B γ (tan(% ϕ))=	17.09986385				
FS= F/EH=	1.615468551		>	1.5	CUMPLE POR DESLIZAMIENTO
REVISION POR CAPACIDAD DE CARGA					
ℓ =(M/V) - (B/2)=	-1.306028228				
f1= (V/B)(1+(6 ℓ /B))=	-9.208772525	ton	<	q= 30 ton	CUMPLE POR CAPACIDAD DE CARGA
f2= (V/B)(1-(6 ℓ /B))=	28.41287253	ton	<		CUMPLE POR CAPACIDAD DE CARGA

Se realiza la propuesta y cálculo de la alcantarilla ubicada en el kilómetro 14+180, siendo esta una propuesta nueva debido a que la proyectada no cumple con el área requerida.

ANALISIS DE CARGA			
CARGAS MUERTAS			
MATERIAL	ESPESOR	PESO VOL	PESO TOTAL
ASFALTO	0.12	2.1	0.252
RELLENO	1.75	1.6	2.8
LOSA	0.4	2.4	0.96
CM=			4.012 t/m ²
CARGAS DE SERVICIO			
Para cargas permanentes			
CM=	4.012		
Cadic=	0.15		
CV=	0.4384348		
W=	4.6004348 t/m		

DATOS			
	$f'c =$	250	kg/cm ²
	$f_y =$	4200	kg/cm ²
	L=	6.8	m
	b =	100	cm
	h =	42	cm
	recubrimiento =	5	cm
	d =	37	cm
	w =	460043.4795	ton/m
	$V = w L/2$	15641.4783	kg
	$M_{max (+)} = w L^2/8$	2659051.3117	kg-cm
CONSTANTES DE DISEÑO			
	$f^*c =$	200	kg/cm ²
	$f''c =$	170	kr/cm ²
	Zona sísmica (si = 1, no = 0):	1	
	b1 =	0.85	
	FR (FLEXIÓN)=	0.9	
	FR (CORTANTE) =	0.8	
	FC =	1.4	
	rb =	0.020238	
	rmax =	0.015179	
	rmin =	0.002635	

DISEÑO POR FLEXIÓN				
Para momento positivo				
Mu (+)=	3722671.84	kg-cm		
r calc =	0.0080			
			pmin<p<pmax, OK	
r diseño =	0.00798			
As req =	29.53	cm²		
Número de barras				
#	ao (cm²)	Nº de Barras	As (cm²)	
3	0.71			
4	1.27			
5	1.98			
6	2.85			
7	3.88			
8	5.07	8	40.56	
9	6.41			
10	7.92			
12	11.4			
		As =	40.56	cm² > As req
		rreal =	0.0110	
Separacion de barras				
Barra #8	S=	(100 ao)/As=	12.5000	
Separacion maxima				
Smax ≤	3h=	126	cm	
Smax ≤		30	cm	
Acero por temperatura				
asi= 60 h)/(fy(h+100)		0.046478873	cm²/cm²	
asi=	4.64789		cm²/franja de 1 metro	
como esta en contacto directo con el terreno el refuerzo no debe ser menor que:				
1.5asi=	6.971830986		cm²/franja de 1 metro	

Número de barras			
#	ao (cm ²)	N° de Barras	As (cm ²)
3	0.71		
4	1.27	8	10.16
5	1.98		
6	2.85		
7	3.88		
8	5.07		
9	6.41		
10	7.92		
12	11.4		
		As =	10.16 cm ²
		rreal =	0.0027
Separacion de barras			
Barra #4	S=	(100 ao)/As=	12.5000
Separacion maxima			
Smax ≤	3h=	126	cm
Smax ≤	30	cm	
DISEÑO POR CORTANTE			
Vu =	21898.07	kg	
$Si \rho < 0.015 \rightarrow V_{CR} = F_R bd(0.2 + 20\rho)\sqrt{f^*c}$			
$Si \rho \geq 0.015 \rightarrow V_{CR} = 0.5 F_R bd\sqrt{f^*c}$			
Vcr =	21937.28	kg	
Vu	<	Vcr	no requiere refuerzo por tension diagonal

5.3 Bombeo del camino.

Para cumplir con el bombeo del camino para caminos revestidos de concreto asfáltico, como es el caso del tramo en estudio, es necesario que en las tangentes cumplan como mínimo con el 2% del centro hacia los hombros del camino, esta

revisión se puede apreciar en el plano de secciones que se presenta en los anexos (Anexo 02, 03, 04, 05).

Así, el análisis de los resultados arrojó que existen obras de drenaje propuestas como sección circular (tuberías) que no cumplen con el diámetro necesario para evacuar el gasto máximo, por lo que fue necesario hacer una nueva propuesta que garantice el desalojo de la precipitación y escurrimiento del camino. Otro de los resultados observados fue que una de las alcantarillas rectangulares, la ubicada en el kilómetro 14+180 no cumple con el área requerida para desalojar el gasto, por lo que fue necesario corregir el dimensionamiento de la misma.

Se observó también que las dos losas en las alcantarillas rectangulares no son suficientes en el diseño por cortante, lo cual hace necesario utilizar un concreto con resistencia $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ en lugar de la resistencia empleada de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$.

Otro de los resultados obtenidos demuestra que los muros de carga en las alcantarillas rectangulares, no cumplen con la capacidad de carga del terreno, por lo que se propuso llevar a cabo una disminución en el colchón de tierra con el fin de aligerar la carga en los muros.

Fue necesario hacer las correcciones necesarias para garantizar que las estructuras de drenaje del tramo garanticen la eficiencia del sistema, así como la seguridad estructural y de servicio del mismo (Anexo 06).

CONCLUSIÓN

Se le llama sistema de drenaje al conjunto de obras como son: alcantarillas, tuberías, puentes, cunetas, contra cunetas, lavaderos, entre otras; que se utilizan para evitar el deterioro del camino por efectos del agua. Para su empleo es necesario un estudio minucioso de la hidrología, topografía y geología del tramo en estudio, ya que esto nos dará los datos necesarios del escurrimiento, precipitaciones, velocidades, etcétera, que permitirán desarrollar el diseño adecuado de las obras necesarias, ubicándolas dentro del camino y determinando dimensionamiento para que éstas sean capaces de hacer su función de manera adecuada y en el tiempo correcto.

Es necesario contrarrestar los efectos dañinos que el agua puede ocasionar al camino y a sus diversas estructuras para lograr un efectivo desempeño del mismo, asegurando e incrementando su vida útil, lo cual repercute de manera económica. Para ello el estudio y diseño del sistema de drenaje juega un papel preponderante en dicho aspecto, ya que de él dependerá que el agua de precipitación o escurrimiento se mantenga fuera del camino, manteniéndola lejos de afectar las estructuras, para que su circulación sobre el camino o su travesía por los diferentes sistemas transversales se efectúen en un tiempo mínimo con la finalidad de reducir los posibles daños que ésta pudiera producir al usuario o al camino. En el análisis anterior se puede apreciar que el sistema de drenaje del tramo Patamban-La Cantera resulta insuficiente ante gastos máximos de precipitación, lo que hace necesario tomar las medidas correspondientes para solucionar y mejorar el desempeño de dicho sistema.

Todo lo antes mencionado permite concluir que es necesario un análisis más detallado de los elementos, con la finalidad de garantizar el adecuado funcionamiento de las estructuras que componen al camino, permitiendo al usuario disponer de una mayor seguridad, comodidad, evitando así reducir la vida útil del camino.

BIBLIOGRAFÍA

Aparicio Mijares J. (1989).

Fundamentos de Hidrología de Superficie.

Ed. Limusa. México.

Arias Rivera Carlos. (1984).

Cuaderno de Trabajo de Comportamientos de suelos.

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

México.

Crespo Villalaz, Carlos. (2005).

Vías de Comunicación.

Ed. Limusa. México.

Espinoza López, Isela. (1998).

Análisis y Diseño de Drenaje en carreteras.

Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

González Mejía, Christian Cesar. (2008)

Diseño del drenaje en la intersección del libramiento de Guacamayas,

Carretera: Zihuatanejo - Lázaro Cárdenas.

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

Uruapan Michoacán, México.

Hernández Sampieri Roberto y Cols. (2005).

Metodología de la Investigación.

Ed. Mc. Graw Hill. México.

Mendieta Alatorre, Ángeles. (2005).

Métodos de Investigación y Manual Académico.

Ed. Porrúa, México.

Mier S. José Alfonso. (1987)

Introducción a la Ingeniería de Caminos.

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

Olivera Bustamante, Fernando. (2006)

Estructuración de Vías Terrestres.

Ed. Continental. México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (1974)

Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras.

México.

Tamayo y Tamayo, Mario. (2000)

El proceso de la Investigación Científica.

Ed. Limusa. México.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN.

http://www.michoacan.gob.mx/municipios/88medio_fisico.htm

<http://personales.upv.es/~rperez/EGRH/2006/TransparenciasT1.pdf>

http://www.hydrolic.es/hidrologia_precipitacion.html

<http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/hidrogeografia/cp5.pdf>

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

<http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/hidrogeografia/cp2.pdf>

