



UNIVERSIDAD  
DON VASCO, A.C.

# UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727 - 15

a la Universidad Nacional Autónoma de México.

## Escuela de Ingeniería Civil

**CÁLCULO HIDRÁULICO PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE  
OBRAS DE DRENAJE UBICADAS EN LOS KM 30+215, 32+775,  
33+005, 33+445 Y 39+295 DE LA CARRETERA FEDERAL 14,  
MORELIA - URUAPAN, TRAMO PÁTZCUARO - URUAPAN.**

Tesis

para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

**Alejandra Herrera Magaña**

Asesor:

**Ing. Sandra Natalia Parra Macías**

Uruapan, Michoacán, 25 de Noviembre del 2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# ÍNDICE

## INTRODUCCIÓN

Antecedentes.....	1
Planteamiento del problema. ....	3
Objetivos.....	4
Pregunta de Investigación.....	5
Justificación. ....	5
Marco de referencia. ....	6

## CAPÍTULO 1.- VÍAS TERRESTRES

1.1 Concepto de vías terrestres.....	8
1.2 Antecedentes. ....	9
1.2.1 Las vías terrestres en México. ....	10
1.3. Inventario de caminos.....	11
1.4 Elementos de la ingeniería de tránsito usados para el proyecto.....	12
1.4.1 Elementos de tránsito. ....	13
1.5 Velocidad.....	18
1.5.1 Velocidad de proyecto.....	19

1.5.2 Velocidad de operación.....	20
1.5.3 Velocidad de punto. ....	20
1.5.3.1. Métodos de medición de velocidades .....	21
1.5.4 Velocidad efectiva o global. ....	22
1.6 Volumen de tránsito. ....	23
1.6.1. Conteo de volumen de tránsito. ....	24
1.7. Densidad de tránsito. ....	25
1.8. Derecho de vía.....	25
1.9. Capacidad y nivel de servicio.....	26
1.9.1. Factores que afectan la capacidad y el volumen de servicio. ....	27
1.10. Distancia de visibilidad.....	29
1.11 Mecánica de suelos. ....	31
1.11.1 Tipos de suelos .....	31

## CAPÍTULO 2.- DRENAJE EN LAS VÍAS TERRESTRES

2.1 Concepto de drenaje.....	33
2.2 Objetivo de un buen drenaje. ....	33
2.3 Hidrología.....	34
2.3.1 Cuenca hidrológica. ....	36
2.4 Precipitación.....	39

2.4.1 Intensidad de lluvia. ....	40
2.4.2 Tiempo de concentración. ....	41
2.5 Escurrimiento. ....	42
2.5.1 Factores que afectan al escurrimiento. ....	43
2.6 Infiltración. ....	43
2.7 Agua subterránea. ....	45
2.8 Avenida de diseño. ....	45
2.8.1 Gasto Máximo de Diseño. ....	46
2.9 Drenaje de la carretera. ....	48
2.9.1 Clasificación del drenaje. ....	48
2.10 Drenaje superficial. ....	49
2.11 Drenaje subterráneo. ....	56

### CÁPÍTULO 3.- RESUMEN DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN

3.1 Generalidades. ....	58
3.1.1 Objetivo y alcance del proyecto. ....	58
3.2 Resumen Ejecutivo. ....	59
3.3 Entorno Geográfico. ....	59
3.4 Orografía de la región. ....	68
3.5 Climatología de la región. ....	68

3.6 Flora y Fauna.....	70
3.7 Actividades económicas.....	71
3.8 Uso de suelo.....	72
3.9 Informe fotográfico.....	72
3.9.1 Problemas de azolve.....	73
3.9.2 Estado físico actual.....	73
3.9.3 Alternativas de solución.....	79
3.9.4 Planteamiento de alternativas.....	79

#### CAPÍTULO 4.- METODOLOGÍA

4.1. Método científico.....	81
4.1.1 Método matemático:.....	82
4.2 Enfoque de la investigación.....	82
4.2.1. Alcance de la investigación.....	83
4.3 Diseño de la investigación.....	84
4.4 Instrumentos de recopilación de datos.....	87
4.5 Descripción del proceso de investigación.....	88

## CAPÍTULO 5.- CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Cálculos del drenaje km 30+215.....	90
5.1.1 Funcionamiento de la obra.....	95
5.1.1.1. Obra existente.....	95
5.1.1.2. Obra propuesta. ....	96
5.2 Cálculos del drenaje km 32+775.....	97
5.2.1 Funcionamiento de la obra.....	100
5.2.1.1. Obra existente.....	100
5.2.1.2. Obra propuesta. ....	102
5.3 Cálculos del drenaje km 33+005.....	103
5.3.1.1. Obra existente.....	106
5.3.1.2. Obra propuesta. ....	107
5.4 Cálculos del drenaje km 33+445.....	108
5.4.1 Funcionamiento de la obra.....	111
5.4.1.1. Obra existente.....	111
5.4.1.2. Obra propuesta. ....	113
5.5 Cálculos del drenaje km 39+295.....	114
5.5.1 Funcionamiento de la obra.....	116
5.5.1.1. Obra existente.....	117
5.5.1.2. Obra propuesta. ....	118

CONCLUSIÓN .....	120
BIBLIOGRAFÍA .....	123
ANEXOS	

# INTRODUCCIÓN

## **Antecedentes.**

Desde el inicio de la aparición del hombre, siempre ha tenido la necesidad de transportarse de un lugar a otro, para lo cual se inventaron las vías terrestres, para satisfacer aquellas necesidades, que poco a poco se han ido transformando notoriamente.

"Las carreteras fueron los primeros signos de una civilización avanzada. Los mesopotámicos fueron uno de los primeros constructores de carreteras hacia el año 3500 a.C." ([www.arqhys.com](http://www.arqhys.com))

Por lo que se deduce que los primeros caminos para los seres vivos fueron de tipo peatonales ya que los habitantes eran nómadas, posteriormente los habitantes se fueron haciendo sedentarios donde los caminos peatonales fueron utilizados para el comercio, la religión, etc.

Con la aparición de la rueda, se implementó la carreta y hubo la necesidad de realizar caminos para que el tránsito fuese lo más rápido posible. Con ello empezaron a aparecer las carretas a finales del siglo XVI, dichas que eran jaladas por animales de carga a través de reatas.

Los caminos en el país de México surgieron con la llegada de los españoles, debido que estos se dieron cuenta que los habitantes desconocían el uso de la rueda, sin embargo, presenciaron que tenían una cantidad de senderos y calzadas considerables.

En México existe una institución que rige a las vías de transporte que se basa principalmente a las carreteras y sus componentes como lo son: caminos, pavimentos, obras de drenaje, vehículos, y todo lo relacionado con las comunicaciones, conocida como, Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Por lo que hoy en día en todas las carreteras se van implementando lo que son las obras de drenaje para poder cumplir con su óptimo objetivo en el desalojo del agua superficial para cumplir con la vida útil programada de la obra.

Existen varias tesis en la biblioteca de la Universidad Don Vasco A. C., para su mayor estudio del drenaje en carreteras titulada "Revisión de obras de drenaje de la carretera Tarecuato - Los Hucares del km. 0+000 al km. 2+080, elaborada por Ulises Montero Díaz (2008)", en donde revisa si el sistema de drenaje utilizado en dicho tramo carretero es el adecuado o no, donde a su vez establece que es una carretera, tipos de drenaje en carreteras, investigar los tipos de drenaje en carretera y las consideraciones que se tienen para el cálculo de drenaje en una carretera.

Otra tesis para su mejor estudio del drenaje en carreteras titulada "Propuesta del sistema de drenaje del tramo carretero El Durazno – Cutzato del km 2+600 al 5+000 en el Municipio de Uruapan, Mich., elaborada por María Guadalupe Ruiz Rincón (2008), en donde diseña por varios cálculos el sistema de drenaje para dicho tramo, en el que calcula dentro de este tema las alcantarillas del tramo de estudio, y calcular las cuencas necesarias para aportación de dicho proyecto.

La tercera tesis que ayudará para el estudio de este proyecto será la que tiene el título “Diseño del proyecto geométrico y drenaje del tramo carretero “Los Cultivos-Río Escondido”, del km 0+000 al km 1+625 en el municipio de Uruapan, Mich.” Realizada por Luis Ángel Sánchez Trejo y Adolfo Molina Duarte, cuyo objetivo general es diseñar el proyecto geométrico y de drenaje del tramo carretero ya mencionado.

### **Planteamiento del problema.**

Cuando se construye una carretera, un factor importante para la seguridad de esta misma son las obras de drenaje, debido a que es algo esencial en dicho proyecto.

El agua, se toma como principal enemigo de los caminos, debido a que provoca deterioro de las carreteras, influyendo principalmente en el aspecto económico y en el embotellamiento del flujo vehicular provocando accidentes y/o daños a los vehículos que transitan por la carretera.

Por lo cual en esta tesis que se realizará, su principal objetivo es la reconstrucción de estas obras, debido que se encuentran dañadas, por los años que tienen ya construidas, lo que a su vez, debido a que no se le dio el mantenimiento adecuado para la conservación de las mismas.

Es por eso que se analizará y se propondrá una reconstrucción de dichas obras, debido al mal funcionamiento que estas tienen, ya que su mayoría se

encuentran agrietadas, colapsadas, etc., y como consecuencia, tienen mal funcionamiento lo que implica a cualquier tipo de accidente vial.

### **Objetivos.**

Esta investigación tiene un objetivo general, así como objetivos específicos, los cuales se mencionan a continuación:

#### **Objetivo general.**

El objetivo principal de esta investigación es calcular y proponer la reconstrucción del drenaje transversal localizado en los kilómetros 30+215, 32+775, 33+005, 33+445 y 39+295 del tramo Pátzcuaro - Uruapan, de la Carretera Federal No. 14 Morelia - Uruapan.

#### **Objetivos particulares.**

Estos objetivos particulares permitirán llegar a conseguir el objetivo general, los cuales son:

1. Establecer el concepto de vía terrestre.
2. Definir lo que es un drenaje.
3. Determinar la clasificación de drenaje.
4. Explicar el método para el cálculo del drenaje.
5. Analizar los datos arrojados con el cálculo y proponer una nueva tubería.

### **Pregunta de Investigación.**

¿Cuáles serán los cálculos para determinar si el drenaje transversal localizado en los kilómetros 30+215, 32+775, 33+005, 33+445 y 39+295 del tramo Pátzcuaro - Uruapan, de la Carretera Federal No. 14 Morelia – Uruapan, trabaja de manera correcta y proponer la construcción de los mismos?

Las cuestiones presentadas a continuación, se responderán a lo largo de esta investigación.

1. ¿Qué es una carretera?
2. ¿Qué es un sistema de drenaje?
3. ¿Clasificación de obra de drenaje?
4. ¿Cuál es la importancia de una obra de drenaje en una carretera?
5. ¿Cuál es la funcionalidad de un sistema de drenaje?

### **Justificación.**

Debido a la importancia que se tiene el drenaje en una carretera, resulta de bastante importancia realizar adecuadamente el estudio de esos proyectos, debido a que cada obra de drenaje sea eficiente y cumpla con la función que se le fue asignado, manteniendo fuera el agua para evitar accidentes o deterioro del mismo.

Se estudiará específicamente el tramo Pátzcuaro - Uruapan de los kilómetros en específico; 30+215, 32+775, 33+005, 33+445, y 39+295, ya que presentan

fisuras, agrietamientos o están colapsados debido a que fueron construidos varias décadas atrás y se colocaron de medidas mínimas, que con el paso del tiempo se provocó daños no percatados.

### **Marco de referencia.**

Dentro de este tramo carretero se encuentran dos localidades que son muy trascendentes para nuestro estado: Pátzcuaro y Uruapan. Ambas localidades se encuentran relativamente cerca, donde su distancia son aproximadamente 60 kilómetros. Estos sitios se detallarán a continuación;

El pueblo mágico de Pátzcuaro se localiza al centro del estado de Michoacán, en las coordenadas 19° 31' de latitud norte y 101° 36' de longitud oeste, a una altura de 2140 metros sobre el nivel del mar, al norte colinda con Tzintzuntzan, al este con Huiramba y al sur con Salvador Escalante y al oeste con Tingambato.

La economía de este sitio se basa principalmente en el turismo, ya que cuenta con bastantes zonas históricas, así como de recreación que a lo largo del tiempo se han hecho un motor principal para esta localidad.

La ciudad de Uruapan se encuentra al oeste del estado de Michoacán con las coordenadas 19° 25' de latitud norte y 102° 03' de longitud oeste, a una altura de 1620 metros sobre el nivel del mar, al norte colinda con los pueblos de Charapan, Nahuatzen y Paracho, al este con Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan, al sur con Gabriel Zamora y al oeste con Nuevo Parangaricutiro, Periban y Los Reyes.

La economía de esta ciudad se basa principalmente en el comercio y en el turismo; dentro del primer aspecto se denota la exportación del aguacate hacia el extranjero, dentro del segundo aspecto entra lo que es la riqueza natural con la que cuenta este sitio en donde existen varias zonas de recreación familiar como lo son: el Parque Nacional "Barranca del Cupatitzio", La cascada conocida como La Tzaráracua, la Presa de Caltzontzin, entre otros lugares más.

(<http://www.inafed.gob.mx>)

# CAPÍTULO 1

## VÍAS TERRESTRES

En el presente capítulo se aborda principalmente la información acerca de las vías terrestres, su concepto, la funcionalidad que deben de tener, los antecedentes de las mismas, las vías terrestres en México, el inventario del camino, elementos de la ingeniería de tránsito que se utilizan para el proyecto, elementos de tránsito incluyendo al conductor, el vehículo y el camino, entre más factores para el estudio de este capítulo.

### **1.1 Concepto de vías terrestres.**

Las vías terrestres, de acuerdo con Bañón (2000), es el conjunto de caminos y carreteras que se encuentran en un área determinada ya sea en una ciudad, región o nación, en la que permite el tránsito de los vehículos entre dos puntos de esta misma, y a su vez enlazando dicha región con las demás vías exteriores que la rodean formando una red viaria con bastantes conexiones entre las vías para permitir dicho desplazamiento.

Según Kraemer y colaboradores (2009), una red viaria debe cumplir dos funciones principales; la primera es permitir la circulación de los vehículos de forma segura, cómoda, económica y segura, es decir, la movilidad; y la segunda es permitir

el acceso de dichos vehículos a cualquiera de los puntos en específico de una red viaria, dicha de otra manera, es la accesibilidad.

Por otro lado, como menciona Bañón (2000), explica que existen dos tipos de redes: las redes viarias urbanas y las interurbanas. Por lo que en la siguiente tabla se resumen las características de cada una de éstas redes.

Redes interurbanas	Redes urbanas
<ul style="list-style-type: none"><li>- Mayor libertad de trazado</li><li>- Ausencia casi total de circulación peatonal</li><li>- Empleo de enlaces, dispuestos más espaciadamente</li><li>- Accesos más restringidos desde el exterior</li><li>- Redes de larga distancia</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Condicionadas por el espacio</li><li>- Dos tipos de circulación: peatonal y de vehículos</li><li>- Abundancia de intersecciones, generalmente a nivel</li><li>- Multitud de accesos desde el exterior</li><li>- Redes de corta distancia</li></ul>

**Tabla 1.1** Características de redes interurbanas y urbanas.

**Fuente:** Bañón; 2000: sección 4.4.

## 1.2 Antecedentes.

Debido a la necesidad que tuvieron nuestros ancestros, los primeros caminos que se realizaron fueron veredas (peatonales), formadas principalmente para la búsqueda de alimentos, en seguida cuando este grupo de personas se volvieron sedentarios dichos caminos tuvieron distintas finalidades como religiosas, comerciales y de conquista. Dichos caminos ayudaron a varias civilizaciones, primordialmente a los espartanos, fenicios y romanos.

Posteriormente, con la invención de la rueda, surgió la carreta jalada primordialmente por personas o por bestias, por lo que fue necesario adecuar los caminos para que el tránsito fuese lo más rápido y cómodo posible, como lo menciona Olivera (2009). Las tribus condicionaron dichos caminos evitando así lodazales y terrenos blandos, colocando piedra en el trayecto para evitar accidentes tanto peatonales como viales.

### **1.2.1 Las vías terrestres en México.**

Con la aparición de los españoles al territorio mexicano, se percataron de la deficiencia de conocimiento de las ruedas de los pobladores, pero al mismo tiempo se dieron cuenta que contaban con bastantes caminos, veredas o senderos a base de piedra, los cuales fueron hechos principalmente por los mayas y aztecas, que fue una de las tantas cosas donde destacaron dichas civilizaciones.

Tras varios cambios que se presentaron en el Territorio Nacional, a finales del siglo XIX se inició la construcción de las vías férreas; dicha actividad surgió durante el gobierno del Gral. Porfirio Díaz. En 1891 creó la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, donde posteriormente debido a la demanda que ésta tenía fue dividida desde 1982 hasta la actualidad a lo que llamamos Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y Secretaría de Obras Públicas.

Como lo menciona Olivera (2009), con la entrada de los vehículos a México a principios del siglo XIX, lo que ocasionó la realización de los primeros caminos modernizados iban desde la Ciudad de México a Veracruz, a Laredo y a

Guadalajara. Donde a partir de 1940 los ingenieros mexicanos se han encargado de implementar una red carretera bastante amplia de caminos conformados por 85 000 km de caminos pavimentados más 120, 000 km de caminos secundarios.

### **1.3. Inventario de caminos.**

Para realizar un inventario de un camino, Mier (1987) explica que hay en existencia bastantes métodos para la realización de este. Desde el más particular que consiste en recorrer en un vehículo e ir reuniendo la información que se presenta a simple vista. Este es uno de los métodos más económicos y se obtiene un periodo corto de tiempo, lo cual sería una ventaja, pero, por otro lado, su desventaja es que no se llenaran todos los requisitos necesarios para hacer un inventario.

El método Odógrafo – Giróscopo – Barométrico en donde se dibuja un perfil por el sistema barométrico y que a su vez es se va anexando el levantamiento directo de los aspectos principales del camino. Los datos que se obtienen para la realización de este inventario son: planta de camino, perfil, itinerario, configuración del terreno por el que se cruza, las características de la superficie de rodamiento, sección transversal, alineamiento vertical, visibilidad, obras de drenaje, entronques y cruces con otras vías de comunicación, características de los poblados por los que pasa el camino, entre otros datos de gran importancia para el inventario.

Uno de las aplicaciones importantes para el inventario de caminos, es que tiene la posibilidad de brindar las obras necesarias para los programas tanto de construcción, conservación y de reconstrucción.

Otra aplicación es la capacidad de los caminos que integran una red, que está determinada por varios factores importantes, como, las características geométricas, como su sección transversal, incluyendo el ancho de los carriles, ancho y estado de los acotamientos, alineamiento vertical y horizontal, así como la distancia a los obstáculos laterales al igual que el espacio de visibilidad de rebase.

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

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

Mier (1987), habla acerca del gran problema que existe por la gran cantidad de vehículos que circulan, y éste ha sufrido cambios considerables en los últimos 50 años, debido a la falta de planificación que existe ya que las civilizaciones antiguas han trazado de la misma manera los caminos de forma cuadrícula rectangular. Además de que dichos caminos fueron diseñados hace aproximadamente 40 años y otros son solamente mejoras de las rutas.

Algunos caminos debido a la falta de planificación de los existentes tipos de vehículos en el mismo camino, lo que a su vez las vías de comunicación inadecuadas, falta de planificación en el tránsito, las especificaciones son inadecuadas, la falta de educación vial, la falta de acatarlas las leyes y reglamentos, son factores sumamente importantes para el problema de tránsito que se reducen a pérdidas de tiempo, o bien, las vidas humanas.

El mismo Mier (1987), menciona algunas soluciones para el problema de tránsito que se pueden resolver de acuerdo a las posibilidades económicas:

Solución integral: Estableciendo un camino que se adapte a los vehículos modernos independientemente de sus dimensiones, porque éstas siempre son aproximadas.

Solución parcial de alto costo: ésta se trata de sacar el mejor aprovechamiento de los caminos que existen actualmente haciendo cambios donde se necesitan grandes inversiones, tales como el ensanchamiento de calles, construcción de intersecciones, mayor cantidad de estacionamientos privados y públicos, sistemas de control sistematizado (semáforos), entre muchos más.

Solución parcial de bajo costo: en este caso se requiere aprovechar todo el potencial de las condiciones ya existentes, con el mínimo de obras materiales y el máximo de regulación funcional de tránsito. Tiene que existir tres elementos que trabajen aleatoriamente generen un tránsito eficaz y seguro, estos elementos son; la ingeniería de tránsito, la educación vial, la legislación y la vigilancia policiaca para que se lleve a cabo la solución al conflicto que más se convenga.

#### **1.4.1 Elementos de tránsito.**

De acuerdo con Bañón (2000), cabe mencionar que los elementos que integran el tránsito son el conductor, el vehículo y el camino, mismos que a continuación se detallarán:

a) El conductor: es el sujeto que va al mando de un vehículo. Generalmente se puede referenciar como el cerebro del vehículo. El cual una vez al volante dispone de gran libertad de acción, tanto de fijar su destino y seleccionar la ruta para llegar al mismo, debido a la elección aunque es inherente a la propia naturaleza humana normalmente influenciada por factores internos y externos que afectan al conductor, la vía y el vehículo.

El mismo Bañón (2000), para el estudio del comportamiento del conductor señala que es importante identificar los factores que lo afectan y de este modo poder conocer algunas de las posibles causas de un accidente, dichos factores se clasifican en:

FACTORES INTERNOS	Psicológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motivación</li> <li>- Experiencia</li> <li>- Personalidad</li> <li>- Estado de ánimo</li> </ul>
	Físicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vista</li> <li>- Adaptación lumínica</li> <li>- Altura del ojo</li> <li>- Otros sentidos</li> </ul>
	Psicosomáticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cansancio</li> <li>- Sexo</li> <li>- Edad</li> </ul>
FACTORES EXTERNOS	Tiempo (meteorológico) Uso del suelo Tráfico Características de la vía Estado del firme	

**Tabla 1.2.** Factores que afectan al conductor.

**Fuente:** (Bañón; 2000: sección 3.2)

b) El vehículo: es el vínculo que une al conductor que lo maneja y la vía que lo contiene, por eso es de gran importancia el estudio del comportamiento y

características ya que varían de acuerdo a sus formas, tamaños y pesos. Por lo que este medio de transporte ha tenido un enorme desarrollo en las últimas décadas, debido a que se ha convertido en un artículo necesario para el ser humano.

Bañón (2000), clasifica los vehículos de acuerdo a su peso y tamaño, como se muestra a continuación:

- Biciclos o motocicletas: tipo de vehículos caracterizados por sus reducidas dimensiones y gran movilidad. Su presencia en el tráfico no es de mucha trascendencia, sin embargo, si en la influencia de los accidentes.
- Ligeros o turismos: son vehículos de cuatro ruedas determinados para el transporte de una a nueve personas o de mercancías. Dentro de esta clasificación se incluyen las camionetas, furgonetas y algunos tipos de autobuses. Este grupo es de gran importancia por su influencia en el tráfico es superior que los demás grupos.
- Pesados o camiones: Son de gran importancia para el diseño de carreteras por su cuantioso peso y dimensiones. Este grupo se conforma por los camiones, con remolque, semirremolque o sin él, así como los autobuses y trolebuses.
- Vehículos especiales: dentro de esta categoría se encuentran los tractores agrícolas, carretas y maquinaria de obra, aunque no son muy tomados en cuenta para el diseño de vías debido a sus dimensiones y lentitud.

c) El camino: se comprende como la faja sobre la vía terrestre en donde cumple con las condiciones de alineamiento, ancho y pendiente necesarias para el tránsito adecuado de los vehículos. Existen tres tipos de clasificación de carreteras, comprendiendo de lo dicho por Crespo (2004), éstas se clasifican: por su transitabilidad, por su clasificación administrativa y por la técnica oficial.

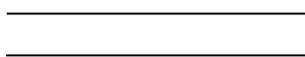
✚ Por Transitabilidad: corresponde a las etapas de construcción que la carretera tenga, y se subdividen en:

1.- Terracerías: este tipo de carretera se construye hasta la subrasante, siendo transitado en época de secas.

2.- Revestida: cuando la subrasante se ha mejorado con capas de material granular permitiendo ser transitable todo el año.

3.- Pavimentada: cuando sobre la subrasante se han colocado una capa de material granular mejorado con adhesivos aglutinantes (pavimento).

La clasificación anterior es utilizada en la cartografía y se representa de la siguiente forma:



Terracerías



Revestido



Pavimentado

✚ Clasificación administrativa: de acuerdo a construcción y quien esté a cargo de ellas se clasifican en:

a) Federales: son costeadas en su totalidad por la Federación y por lo tanto se encuentran a su cargo.

b) Estatales: son construidas por el 50% de la aportación del Estado y el otro 50% por la Federación y se encuentran bajo cargo de las Juntas Locales de Caminos.

c) Vecinales o rurales: son construidas con la aportación de los vecinos beneficiados donde dan una tercera parte, otro lo aporta la Federación y el restante de la tercera parte el Estado y la conservación queda a cargo de las Juntas Locales de Caminos o Sistemas de Caminos.

d) Cuota: las cuales quedan a cargo de la dependencia oficial Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios y Conexos, donde son autopistas o carreteras concesionadas a la iniciativa privada por un tiempo determinado, siendo la inversión recuperada con las cuotas de paso.

✚ Técnica Oficial: ésta clasificación se distingue por la forma física del camino, donde se toma en cuenta el volumen de tránsito final del periodo económico de sus últimos 20 años y las especificaciones geométricas aplicadas. En México la SCT clasifica las carreteras en:

- Tipo Especial: para un tránsito promedio diario anual de 3,000 vehículos, en el que equivale a 360 vehículos en un tránsito horario máximo anual, donde estas carreteras requieren 2 a 4 carriles de corona por sentido.

- Tipo A: para un tránsito promedio diario anual de 1,500 a 3,000 vehículos, es decir, un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos.

- Tipo B: para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1,500 vehículos, equivale a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos.

Tipo C: para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos.

### **1.5 Velocidad.**

Partiendo de lo dicho por Mier (1987), la velocidad es uno de los factores más importantes para el proyecto de una vía terrestre, en donde se reduce al calificar la calidad del flujo de tránsito. La velocidad principalmente está bajo el control del conductor, ya que este determina el tiempo de la distancia a recorrer, el tiempo y la velocidad a la que conducirá el vehículo a su cargo. La siguiente fórmula aplica para la velocidad constante, que es:

$$V = \frac{d}{t}$$

Donde:

V= velocidad (kilómetros \* hora)

D= Distancia recorrida (kilómetros)

T= tiempo recorrido (horas)

Dentro de la velocidad se clasifican cuatro tipos que son: de proyecto, de operación, de punto y efectiva o global, estas se determinaran a continuación.

### 1.5.1 Velocidad de proyecto.

“La velocidad de proyecto o velocidad directriz es aquella velocidad que ha sido escogida para gobernar y correlacionar las características y el proyecto geométrico de un camino en su aspecto operacional.” (Crespo; 2004, 6)

Para la elección de la velocidad de proyecto principalmente se deben de tomar en cuenta varios aspectos como son: la topografía del terreno, los volúmenes de tránsito, el tipo de camino y el uso de tierra. Cuando se determinaron los aspectos anteriores ahora si se deben considerar las características propias del camino que se tienen que condicionar para obtener un proyecto equilibrado. De acuerdo con la S.C.T. nos marcan velocidades de proyecto recomendables para la variación de la topografía del terreno donde se requiera ejecutar alguna obra, en la siguiente tabla se muestran:

<b>VELOCIDADES DE PROYECTO RECOMENDABLES</b>				
<b>TOPOGRAFÍA</b>				
<b>TIPO DE CAMINO</b>	<b>Plana o con poco lomerío</b>	<b>Con lomerío fuerte</b>	<b>Montañosa, pero poco escarpada</b>	<b>Montañosa pero muy escarpada</b>
<b>Tipo Especial</b>	<b>110 km/h</b>	<b>110 km/h</b>	<b>80 km/h</b>	<b>80 km/h</b>
<b>Tipo A</b>	<b>70</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>40</b>
<b>Tipo B</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>35</b>
<b>Tipo C</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>25</b>

**Tabla 1.3** Velocidades de proyecto recomendadas por la S.C.T para cada tipo de camino, de acuerdo a la topografía del terreno.

**Fuente:** (Crespo; 2004: 6)

### **1.5.2 Velocidad de operación.**

Es la velocidad real con la que los vehículos transitan a lo largo de un camino y es un índice del grado de eficiencia que la carretera proporciona al usuario, también puede definirse como la velocidad sostenida a lo largo de un tramo mientras el vehículo se encuentra en movimiento.

De acuerdo con Mier (1987), la velocidad de operación se define como la velocidad mantenida mientras el vehículo se está moviendo, sin embargo, se ve afectada cuando el volumen de tránsito llega a ser igual o mayor al volumen de capacidad del camino, por lo que por cuestiones de que no circule con las velocidades supuestas en el proyecto, sino se circulará con menores.

### **1.5.3 Velocidad de punto.**

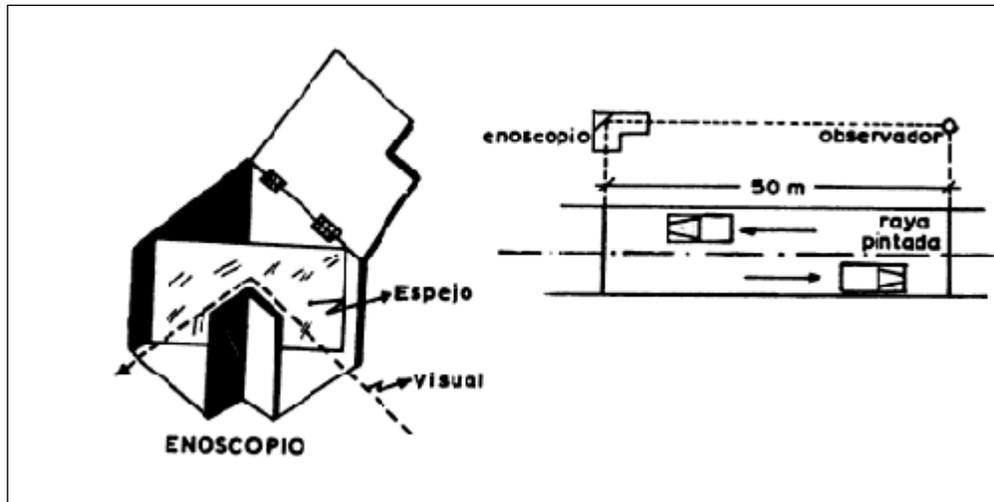
De acuerdo con Crespo (2004), se indica que la velocidad de punto es la que da la información relativa de acuerdo a la velocidad que tiene en un cierto lugar y la distribución de velocidades por los usuarios.

En cambio, con el Manual de Proyecto de la SCT (1974), define la velocidad como el paso de los vehículos por un determinado punto y se puede estimar con valores promedio de la velocidad en un cierto punto con todos los vehículos, o dependiendo el tipo de transporte que circule por la carretera. En esta velocidad influye el usuario ya que en condiciones normales de flujo libre este puede tener la velocidad de operación que desee influyendo la longitud del viaje y los pasajeros que aborden el vehículo.

### **1.5.3.1. Métodos de medición de velocidades**

Recordando a Crespo (2004), menciona que para realizar la medición de velocidades en una vía circulada por vehículos se recomienda que se dividan en tres partes, donde cada medición sea de una hora en específico dentro este rango: de 9 a 12 hrs, de 15 a las 18 hrs y finalmente de 20 a las 22 hrs. Existen tres métodos para la medición de las velocidades aplicables para el estudio de la velocidad de punto, y son las siguientes:

- a) Método del cronometro: este es el más antiguo y económico utilizado para medir las velocidades con ayuda del cronometro a una distancia preferible de 30 a 100 metros, con dos líneas que se marcan en sobre el pavimento. Donde se trata de medir el tiempo que tarda un vehículo en recorrerla y se detiene cuando el vehículo sale de ella.
- b) Método del enoscopio: son cajas en forma de L, abiertas en dos partes con un espejo colocado en su interior a  $45^\circ$  con las paredes de la caja, donde permite al observador tener una visión de  $90^\circ$  con respecto a su posición. Se coloca en un extremo a una determinada distancia del observador y con un brazo del endoscopio apuntando hacia el paso vehicular y otro hacia el observador. Cuando el observador perciba la imagen reflejada del paso del vehículo pone en marcha el cronometro y lo detiene hasta que pasa enfrente de él, como se mostrara en la siguiente imagen. Cuando el transito es intenso se escoge un vehículo de cada 4 o 5 vehículos, o bien, cada 15 ó 20 segundos.



**Imagen 1.3** Método del enoscopio usado para la medición de velocidades.

**Fuente:** Crespo; 2004: 8.

- c) Método del radar: trata de un aparato que funciona con la batería de un vehículo. El dispositivo emite ondas de alta frecuencia que rebotan en el vehículo próximo, cuando la onda se regresa, ésta se registra en el mismo aparato en donde este dependiendo la intensidad de la onda que recibe puede indicar la velocidad del vehículo que está a punto de aproximarse. Y para la obtención de datos más específicos como el tipo del vehículo y la velocidad a la que circula se le añaden aditamentos especiales.

#### **1.5.4 Velocidad efectiva o global.**

En conformidad con Mier (1987), se entiende que la velocidad efectiva es un promedio que la velocidad mantiene a lo largo de un camino. Esta distancia se obtiene por la división de la longitud del trayecto y el tiempo que tarda en recorrerlo,

incluyendo, sus altos y las demoras ocasionadas por algunas características que tienen los caminos a transitar.

Este parámetro sirve para comparar los estados de fluidez de las rutas cuando a estas se les llega a modificar con obras civiles y por ende, es necesario tomar mediciones acerca de los efectos que llega a provocar lo anterior mencionado.

### **1.6 Volumen de tránsito.**

De acuerdo con Reyes y Cárdenas (1994), define volumen de tránsito como el número de vehículos que pasan por un punto o sección, de un camino o calle durante un determinado tiempo. Generalmente se utiliza una fórmula para determinar este aspecto, la cual es:

$$Q = \frac{N}{T}$$

Donde:

Q= los vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo)

N= número total de vehículos que pasan (vehículos)

T= periodo determinado (unidad de tiempo)

Existe una desventaja en el conteo, la cual es que no siempre arroja datos acertados debido a las variaciones de tránsito sobre un camino, por ejemplo, no siempre circulan la misma cantidad de vehículos en las estaciones del año, con los

meses, etc., sin embargo, se puede contabilizar de dos maneras distintas, por medio de rayas o por los contadores mecánicos operados manualmente.

#### **1.6.1. Conteo de volumen de tránsito.**

Para el conteo del volumen de vehículos que pasan sobre un camino se determinaron los siguientes dispositivos:

Contadores neumáticos: funciona mediante una goma flexible donde al pasar un vehículo, el exceso de presión producido por este en el aire encerrado del tubo se transmite a una membrana que interacciona con el contador por medio de un circuito eléctrico, pero tiene la desventaja de no clasificar el tipo de vehículo que atravesó.

Contadores electromagnéticos: estos contadores se instalan dentro del pavimento y funcionan por un filtro de circuito bifilar, donde uno de los hilos pasa una corriente eléctrica de alta frecuencia provocando en el otro una corriente introducida con el paso de los vehículos ocasionando un cambio de intensidad donde se tiene un registro de este.

Contadores de presión contacto: consta de una caja con un electroimán, colocado bajo la superficie de rodamiento con una tapa metálica enresortada, donde produce una corriente eléctrica con la presión de las llantas producida por el paso del vehículo, donde es registrada. Este tipo de contador se utiliza principalmente en los caminos de cuota.

### **1.7. Densidad de tránsito.**

Como indica Kraemer y colaboradores (2004), la densidad del tráfico es el número de vehículos que hay por unidad de longitud sobre un camino. Se puede medir directamente tomando una fotografía del camino y contando los vehículos que hay en fila sobre el camino.

La densidad de tránsito influye notoriamente en la circulación, ya que al aumentar la densidad resulta más complicado mantener una velocidad constante debido a que el conductor ve la necesidad de realizar bastantes maniobras como son el cambio de carril, frenados y aceleraciones constantemente, lo que provoca que el conductor vaya incómodo. Es por eso que la densidad es un factor muy importante para determinar la calidad de circulación que tiene la vía.

### **1.8. Derecho de vía.**

De acuerdo a las Normas de Servicios Técnicos de la SCT (1984), indica que el derecho de vía es la superficie del terreno cuyas dimensiones fija la Secretaría, que se necesita para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y en general para el uso correcto de una vía de comunicación o servicios auxiliares que esta presenta.

Por otro lado, basado en lo dicho por Mier (1987), el derecho de vía es una franja de terreno de un ancho suficiente para introducir alguna vía de comunicación siendo parte de la misma, ya que deberá establecerse atendiendo las condiciones

técnicas de utilidad especial, eficiencia y seguridad que deben de cumplir las vías de comunicación.

En México, la SCT, establece que el derecho de vía debe de ser de 40 metros como mínimo, donde 20 metros debe de tener de cada lado del eje del camino. Y en casos como en una autopista o una brecha de un carril puede aumentar o disminuir dependiendo de lo que se requiera en el proyecto a ejecutar.

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

La capacidad es una medida del camino o de la calle, con la que presta el servicio a la demanda que tiene; donde es el número máximo de vehículos que pueda pasar sobre el en un periodo de tiempo determinado que se consideran definidos para periodos cortos como una hora o menos y considerando periodos largos, como un día o un año, dependiendo de lo que se necesite como lo menciona Mier (1987).

Crespo (2004), comenta sobre el tipo de tránsito y el volumen influyen de manera esencial en el proyecto de un camino, ya que afecta la geometría de la vía. Donde la capacidad práctica de trabajo en un camino es el volumen que alcanza antes de congestionarse o de perder la velocidad estipulada.

La manera de conocerla capacidad de un camino ya construido es con algunos conteos horarios donde puede indicar el volumen y el tipo de tránsito que este tiene. Pero para un camino que se va a proyectar es necesario llevar a cabo varios estudios como son; geográfico-físicos, socioeconómicos y políticos para poder

obtener datos con los cuales se podrá proyectar. Los conteos más utilizados son los manuales y el automático.

La capacidad de una carretera se mide principalmente en vehículos por hora y por carril, o por ende, contando los vehículos que transiten en ambos carriles, según sea el caso.

### **1.9.1. Factores que afectan la capacidad y el volumen de servicio.**

Como indica Kraemer (2004), existe una relación entre la intensidad del tráfico y otros parámetros que nos ayudan a definir el nivel de servicio, tales como la velocidad media de los vehículos. Teniendo conocimiento previo de estas relaciones y los valores de los parámetros que limitan los niveles de servicio, se puede obtener la intensidad de servicio correspondiente. Estas relaciones varían con las particularidades de la carretera, la capacidad y las intensidades de servicio, por ello se estudiarán las características de la carretera y los del tráfico.

#### **1.- Factores que dependen de la carretera.**

- Sección transversal: en donde el ancho del carril que tienen es menor a 3.60m., tienen una menor capacidad en condiciones de circulación continua por lo tanto no se consiguen aumentos para su capacidad.

- Obstáculos laterales: Si junto a los carriles exteriores del camino existen obstáculos (postes, señales, bordillos, cunetas profundas, etc.) se reducirá el camino si se encuentran a menos de 1.80 m. de la orilla.
- Trazado: en donde las pendientes reducen la distancia de visibilidad de rebase, afectando de manera diferente la pendiente donde se reducen o aumentan las distancias de frenado y afectan al volumen de servicio. Así mismo puede variar la velocidad en el trayecto del camino debido a la topografía. Donde los alineamientos llegan a afectar de manera notoria a la capacidad y el nivel de servicio.

## 2.- Factores que dependen del tránsito.

- Vehículos pesados: este tipo de vehículos se mueven generalmente a menor velocidad que los vehículos de cuatro ruedas. Por ello si existe mayor cantidad de vehículos pesados que transitan sobre una carretera, el número total de vehículos que pueda atravesar una sección será menor que si todos los vehículos fueran chicos.
- Distribución de tránsito entre carriles: En las carreteras donde existen dos carriles en un solo sentido (autopistas y autovías), los vehículos más rápidos tienen el carril de la izquierda para evitar a los más lentos. Por eso el carril de la izquierda pueden soportar una intensidad de tránsito mayor al de la derecha que es el de baja velocidad (camiones remolques, semirremolques, etc.).
- Variaciones de tránsito durante periodos cortos: Anteriormente se estudió la intensidad de tránsito donde es preciso considerar la variación del tránsito durante periodos de 15 minutos. En donde generalmente se usa en la hora

pico, para definir la intensidad que tiene al pasar el mayor número de vehículos más pesados.

- Conductores: En autopistas de varios carriles en un solo sentido se puede registrar capacidades más altas en aquellas donde los usuarios llegan a estar más acostumbrados por el número de veces que recorren dichos caminos.

### **1.10. Distancia de visibilidad.**

Bañón (2000), aclara que es de gran importancia tener en cuenta la distancia que tarda un vehículo en detenerse ante la aparición de cualquier obstáculo o situación en la que se vea involucrado en la vía donde circula. La distancia total recorrida depende de varios factores:

- El tiempo de reacción del conductor del vehículo.
- La velocidad con la que circula el vehículo.
- El coeficiente de rozamiento de las llantas sobre la carretera.
- La inclinación de la vía por la que transita.

Crespo (2004), indica que es de gran importancia ofrecer visibilidad en una carretera, ya que por lo general los caminos están contruidos para velocidades por debajo a la que corren los vehículos modernos, por ende, pueden ser caminos peligrosos. Brindando así al usuario dos distancias de visibilidad; la de parada y la de frenado.

Retomando a Bañón (2000), propone las siguientes definiciones:

- Distancia de parada: se descompone en dos categorías diferentes: la distancia de reacción y la distancia de frenado, donde:

$$D_P = D_R + D_F$$

- Distancia de reacción: es la distancia recorrida por el vehículo desde que aparece el obstáculo sobre el camino hasta que el conductor se da cuenta. En otras palabras, no es más que el espacio recorrido durante el tiempo de reacción:

$$D_R = T_R \times V$$

- Distancia de frenado: es la distancia recorrida desde que se acciona el freno hasta que el vehículo se detiene. Su expresión queda finalmente:

$$D_F = \frac{V^2}{254(f \mp p)}$$

Donde:

f = coeficiente de fricción.

p = pendiente del camino en fricción decimal.

+ = Pendiente va de subida.

- = Pendiente va de bajada.

## 1.11 Mecánica de suelos.

De acuerdo con Juárez y Rico (2001), mencionan que la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica e hidráulica a los problemas de la ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas independientemente en si tienen o no materia orgánica.

### 1.11.1 Tipos de suelos

Se entiende por suelo al material formado por partículas minerales y vacías, los cuales pueden tener o no agua. Y por lo tanto se puede percibir que tiene tres estados o fases: gas (aire y vapor de agua), liquido (agua y sales disueltas), y los sólidos (fragmentos de rocas, granos minerales y materia orgánica). En la siguiente figura se muestra las fases del suelo.

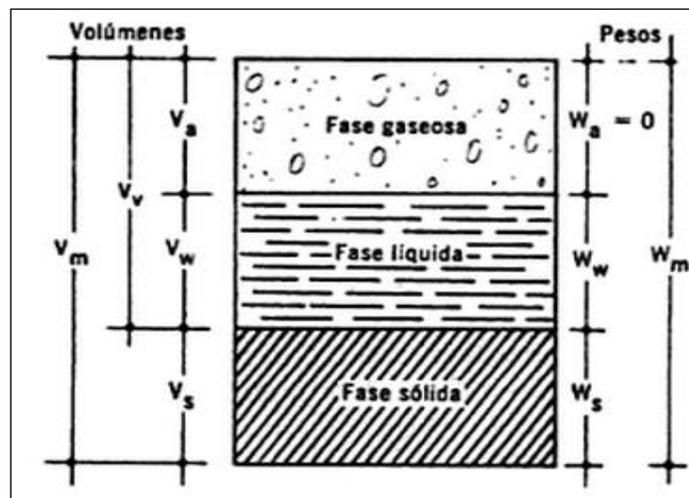


Figura 1.4. Esquema de una muestra de suelo.

Fuente: Juárez y Rico: 2001; 52

Retomando a Juárez (2001), señala que existen dos tipos de suelos; residuales y transportados. El primer término se refiere que un suelo que permanece en el sitio donde fueron formados y son productos del interperismo. Por otro lado, los transportados son aquellos productos de alteraciones de rocas removidas o depositadas en un sitio diferente al de su origen.

## **CAPÍTULO 2**

### **DRENAJE EN LAS VÍAS TERRESTRES**

En el presente capítulo se plantea la relación que tiene el agua con las vías terrestres, donde es de suma importancia al momento de proyectar algún camino, debido a que este elemento fundamental llega a ser uno de los principales causantes de los problemas, como son; la resistencia de los suelos, fallas en terraplenes, cortes y superficie de rodamiento. Las problemáticas anteriores ayudan determinar un drenaje para captar, conducir y alejar el agua del camino, como lo menciona Olivera (2006).

#### **2.1 Concepto de drenaje.**

En conformidad con Bañón (2000), señala el drenaje como un parte esencial diseñado para para la recepción, canalización y evacuación de las aguas que pueden llegar a afectar las funciones de cualquier elemento de una carretera. Dentro de este concepto, se encuentran algunos tipos de drenaje: superficial y subterráneo.

#### **2.2 Objetivo de un buen drenaje.**

El sistema de drenaje facilita el manejo adecuado de los fluidos, es indispensable tener en cuenta los procesos de captación, conducción, evacuación y disposición de los mismos.

Este tipo de obras tiene como objetivo principal el conducir flujo a su sitio final. Por lo tanto, el drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de carreteras. Generalmente se deben estudiar tres problemas, los cuales son:

- 1.- La eliminación del agua superficial de la vía.
- 2.- El cruce de arroyos o de canales artificiales.
- 3.- Alejamiento y regulación de agua subterránea.

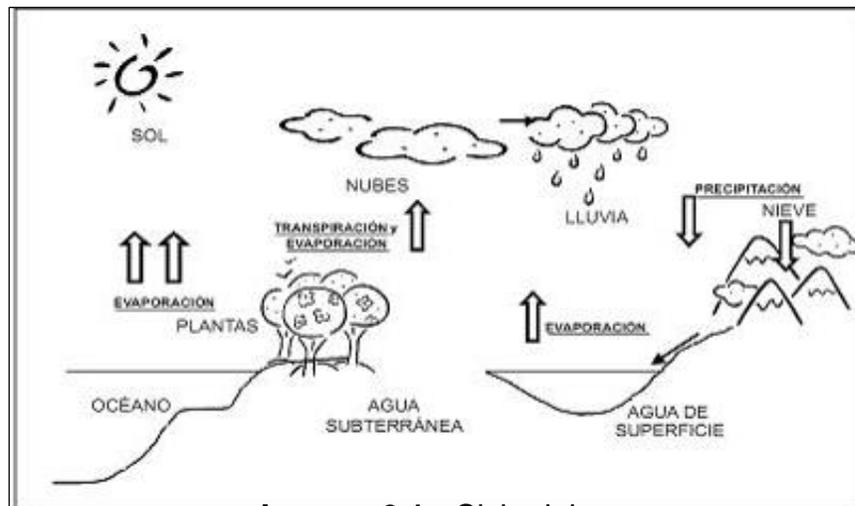
### **2.3 Hidrología.**

De acuerdo con Aparicio (1989), la hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades físicas como químicas y la relación que tiene con el medio ambiente (seres vivos). Es necesario informar que la hidrología llega a ser una rama de la ingeniería y se define que la hidrología aplicada es aquella donde incluye el diseño y proyectos de esta rama para el control y aprovechamiento de este recurso natural.

La hidrología aplicada tiene como objetivo resolver los problemas que el ingeniero civil presenta a lo largo de la ejecución de alguna obra, como pueden ser puentes, presas, avenidas, vertedores, sistemas de drenaje para aeropistas, poblaciones, carreteras y sistemas de abastecimiento de agua, etc., así mismo como el diseño para cada evento donde se requiere algún estudio hidrológico.

Una parte fundamental para esta ciencia natural, es el ciclo hidrológico. Donde como todo ciclo no tiene inicio ni final, y su descripción puede iniciar de cualquier

punto. En donde todos los cuerpos de agua localizados en la superficie terrestre (lagos, mares, ríos, etc.) se evaporan bajo efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, se eleva y se va transportado por la atmosfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae a la superficie terrestre en manera de precipitación (lluvia, nieve, granizo). En donde el agua que cae puede ser absorbida por las plantas o se puede evaporar, luego se va recorriendo por la superficie terrestre hasta las corrientes de agua o se infiltra. El agua absorbida o la que se infiltra nuevamente se evapora. La precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y la otra llega a los cuerpos de agua. Por otro lado, el agua infiltrada llega a ser absorbida por las plantas o es transpirada. La siguiente imagen refleja lo que es el ciclo hidrológico:

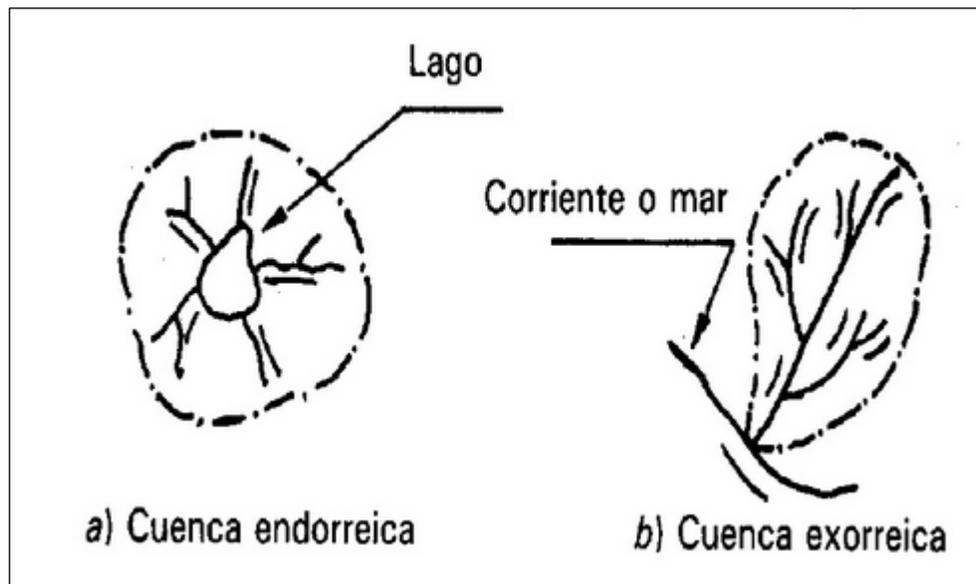


**Imagen 2.1.-** Ciclo del agua

**Fuente:** [www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar](http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar); (2011)

### 2.3.1 Cuenca hidrológica.

Es una zona de la superficie terrestre en donde las gotas de lluvia caen sobre la cuenca y son drenadas por el sistema de corrientes hacia un punto de salida en específico. Existen dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En la primera el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente son lagos, mientras que, en la segunda, el punto de salida se localiza en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar. En la siguiente imagen se presentan ambos tipos de cuencas:



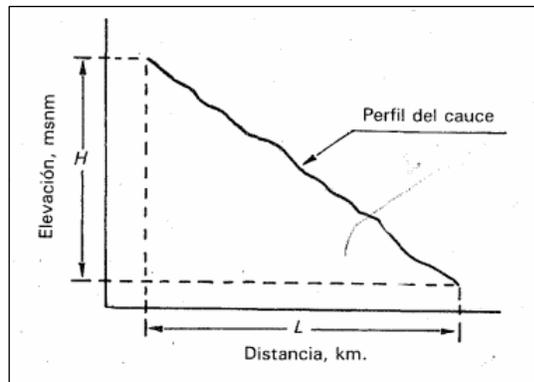
**Imagen 2.2.-Tipos de cuencas.**

**Fuente:** Aparicio; 1989: 20.

Uno de los indicadores principales del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta es la pendiente del cauce principal y esta varía a lo largo de los distintos cauces, para esto es necesario definir una pendiente media. Existen varios

métodos para determinarla donde solamente se hablará a continuación de los tres más importantes en su estudio:

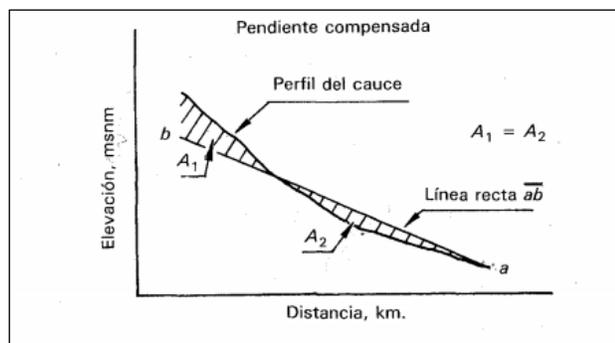
1. La pendiente media es igual al desnivel entre los dos extremos de la corriente dividida entre la longitud en planta, como se indica en la siguiente imagen:



**Imagen 2.3.-** Pendiente del cauce principal.

**Fuente:** Aparicio; 1989: 22.

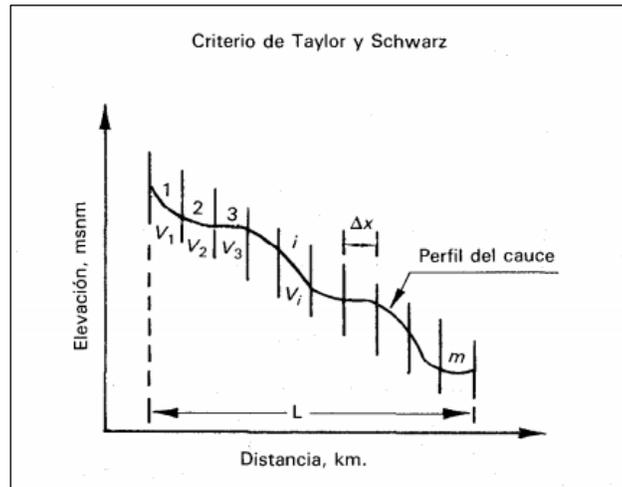
2. La pendiente media es una línea recta que se apoya en el extremo de aguas debajo de la corriente y hace que se tengan áreas iguales entre el perfil del cauce y ambas líneas. La figura siguiente indica lo anterior:



**Figura 2.4.-** Pendiente del cauce principal

**Fuente:** Aparicio; 1989: 23.

3. Por ultimo Taylor y Schwarz proponen calcular la pendiente media como si fuera un canal de sección transversal uniforme donde tiene la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente a estudiar.



**Figura 2.4.-** Pendiente del cauce principal

**Fuente:** Aparicio; 1989: 23.

La fórmula siguiente es para determinar la pendiente media de una cuenca en caso de que las longitudes no sean iguales.

$$S = \left( \frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_m}{\sqrt{S_m}}} \right)$$

Donde:

L= Longitud total del cauce.

T= Tiempo total recorrido.

S= La pendiente media buscada.

l= Longitud del tramo *i*.

## 2.4 Precipitación.

La precipitación llega a la superficie terrestre como lluvia o de manera congelada (granizo, nieve) proveniente de la atmosfera. Se origina cuando se enfría el aire tibio cargado de humedad a medida que fluye sobre una barrera montañosa, donde es forzado hacia arriba por una masa de aire frio, o se eleva a través de aire más helado. Este fenómeno es parte fundamental del ciclo hidrológico, como menciona Hewes y Oglesby (1969). Existen tres tipos de precipitación, las cuales son:

- Por convección: Se origina por el levantamiento de masas de aire más ligero y cálido al encontrarse en su entorno con masas más frías y densas.
- Las ortográficas: esta es la precipitación originada por el levantamiento de aire producido por las barreras montañosas.
- Las ciclónicas: como su nombre lo indica se asocian con los ciclones y está ligada a los planos de contacto entre masas de aire de diferentes temperaturas y contenidos de humedad.

Existen varios métodos para encontrar la precipitación media, en donde los más utilizados son los que se explican a continuación:

- Promedio aritmético: se suma la altura de las lluvias registradas en un tiempo determinado en cada una de las estaciones localizadas dentro de la zona a estudiar y se divide entre el total de estaciones. La fórmula usada para el análisis es la siguiente:

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

Donde  $h_p$  es la altura de precipitación media,  $h_{pi}$  es la altura de la precipitación registrada en la estación  $i$  y  $n$  es el número de estaciones.

- Polígonos de Thiessen: es necesario conocer la ubicación de las estaciones de la zona a estudiar, donde se requiere para su aplicación delimitar la zona de influencia de cada estación dentro del conjunto. Su fórmula es:

$$h_p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i h_{pi}$$

Donde  $A_i$  es el área de influencia de la estación  $i$  y  $A_T$  es el área total de la cuenca.

- Método de Isoyetas: este método consiste en trazar, con la información obtenida de las estaciones, líneas que unan puntos de igual altura de precipitación, llamadas isoyetas, de modo que semeje a como se trazan las curvas de nivel de topografía.

$$h_p = \frac{\text{Volumen de precipitaciones acumuladas}}{\text{Área acumulada.}}$$

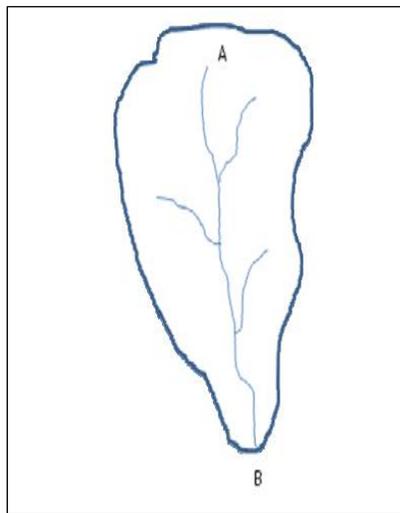
#### 2.4.1 Intensidad de lluvia.

Sotelo (1973), hace referencia al valor medio de la lluvia y corresponde a la relación entre la altura total de precipitación ocurrida y el tiempo de duración. La

medición de la intensidad de una tormenta y su duración, es posible solamente si se tiene un registro completo de la variación en el tiempo tomándolo con el pluviógrafo.

#### **2.4.2 Tiempo de concentración.**

El tiempo de concentración es un parámetro que se refiere al tiempo que tarda el agua en realizar el recorrido entre dos puntos determinados en los que particularmente llegan a ser el extremo superior de la cuenca y el punto donde se medirá el gasto pluvial. A continuación, se muestra una cuenca y los puntos ya especificados.



**Imagen 2.6.-** Tiempo de concentración de una cuenca

**Fuente:** antares.inegi.org.mx; 2000: 3.

El tiempo de concentración como se dijo anteriormente se refiere al tiempo que transcurre para que el agua de lluvia transite desde el punto A al punto B. La siguiente fórmula ayuda a obtener el escurrimiento superficial, con la aportación de Kirpich:

$$Tc = 0.0663 \left[ \frac{L}{\sqrt{P}} \right]^{0.77}$$

Donde:

Tc= Tiempo de escurrimiento (hrs).

L= Longitud de la cuenca en su cañada principal (mts).

P= Pendiente promedio de la cuenca a lo largo de su pendiente principal (valor absoluto).

## 2.5 Escurrimiento.

Aparicio (1989), indica al escurrimiento como el agua que proviene de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para terminar de ser drenada, donde llega a dividirse en varios caminos hasta llegar a la salida de la cuenca. Estos caminos pueden dividirse en tres clasificaciones: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo.

El escurrimiento superficial se logra a partir del escurrimiento en corrientes sobre algún terreno. El escurrimiento subsuperficial indica que es una parte del agua que llega a ser infiltrada y se escurre cerca de la superficie del suelo. Y por último el agua que se logra infiltrar hasta los niveles inferiores al freático, se le llama escurrimiento subterráneo.

### **2.5.1 Factores que afectan al escurrimiento.**

Existen varios factores que afectan al escurrimiento, los cuales son:

- a) Distribución de la precipitación: El escurrimiento interfiere en cada zona de la cuenca debido a que la precipitación no es la misma en la superficie.
- b) La red de drenaje: Se refiere a las ramificaciones que tiene la cuenca.
- c) La capacidad de infiltración: Ligada a las propiedades del suelo.
- d) La evotranspiración e intercepción por la vegetación.
- e) La topografía: Principalmente basado en las características geomorfológicas de la cuenca (tamaño, forma, pendiente, etc).
- f) La geología de la cuenca: El escurrimiento depende de la permeabilidad de la estructura geológica del terreno.

### **2.6 Infiltración.**

Aparicio (1989), menciona que la infiltración es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo y hacia dentro de este, producido por la acción de las fuerzas capilares y gravitacionales. La infiltración juega un papel muy importante para la relación lluvia-escurrimiento, por lo que, en los problemas de diseño en obras hidráulicas, el volumen de infiltración es mayor al volumen de escurrimiento durante una tormenta dada.

Existen varios factores que afectan la capacidad de infiltración, entre los cuales destacan:

- a) Textura del suelo.

- b) Contenido de humedad inicial.
- c) Contenido de humedad de saturación.
- d) Cobertura vegetal.
- e) Uso del suelo.
- f) Aire atrapado.
- g) Lavado de material fino.
- h) Compactación.
- i) Temperatura, sus cambios y diferencias.

Como indica Campos (1998), existe un aparato para medir la infiltración y se llama infiltrómetro. Y se clasifican en dos: tipo inundador y el simulador de lluvia.

El infiltrómetro de tipo inundador, es usado cuando el rol del agua que es necesaria para incrementar y mantener un tirante constante sobre un área determinada. Se procura tener una capa similar a la de una lámina de agua durante la lluvia, con un grosor de 5 mililitros aproximadamente. Existen diversos tamaños que dependen de la cantidad de agua y algún método de medición. Principalmente son utilizados los cilindros concéntricos o el infiltrómetro de tubo.

Por otro lado, el simulador de lluvia, se intenta realizar una réplica lo más parecido a la realidad de la infiltración y se procura evitar fallas de los infiltrómetros de tipo inundador. Existen dos tipos de simuladores de lluvia; tipo aspersor, que a su vez se dividen en tipo Utah, tipo F, y de disco giratorio, y el tipo formadores de gota, donde se dividen igualmente en infiltrómetro modular y tipo Tahoe.

## 2.7 Agua subterránea.

De acuerdo a lo dicho anteriormente, el agua que cae por medio de la precipitación (lluvia, nieve, granizo), tiene varios caminos a lo largo del trayecto que este tiene. En este subtema se estudiará el agua subterránea y esta se refiere a la que se encuentra debajo del suelo entre grietas y espacios que existen en la tierra. El agua subterránea esta generalmente por debajo del nivel freático.

El agua subterránea generalmente se encuentra con materiales geológicos permeables que constituyen capas o formaciones a los que se le llaman acuíferos, y es donde el agua de la superficie se filtra y se almacena.

## 2.8 Avenida de diseño.

Es la avenida máxima que tendrá un sitio en donde se va a construir alguna obra hidráulica (puente, alcantarilla, vados, presas, etc.), cuyo objetivo principal es recomendar las dimensiones adecuadas de la superficie terrestre y el lecho inferior de la obra hidráulica.

Existen varios métodos para determinar la avenida máxima de diseño son:

Método empírico

-  $Q = f(A_l S_{Sl} S_{cauce})$

- Creager

Métodos probabilísticos:

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

- Gumbel I y II

- Nasch

- Lebediev

### 2.8.1 Gasto Máximo de Diseño.

En este caso para el gasto máximo de diseño se deberá encontrar el área hidráulica de varios puntos del arroyo y la velocidad media en cada una de ellas, para esto se aplicará la siguiente fórmula:

$$Q = A \times V$$

Donde:

Q = Gasto en m<sup>3</sup>/s.

A = Sección transversal en m<sup>2</sup>.

V = Velocidad de la corriente en m/s.

La velocidad se calcula con la fórmula de Manning, que es:

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde:

V = Velocidad de la corriente en m/s.

R = Radio hidráulico en m.= Área hidráulica/ perímetro mojado.

S = Pendiente hidráulica en decimales.

n = Coeficiente de rugosidad.

Para obtener el coeficiente de rugosidad existe una tabla que facilita el cálculo, elaborada por Manning, y es:

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

**Tabla 2.1.-** Coeficientes de Manning.

**Fuente:** Propia, (adaptación apuntes Hidráulica de Máquinas y Transitorios)

Si la fórmula anterior es una adaptación de Chezy para canales en régimen uniforme:

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

En la que  $C = \frac{1}{n}R^{1/16}$  que fue propuesto por Manning.

Entonces si  $Q = A * V$

Incluyendo al valor de Manning, por lo que se tiene:

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

Donde:

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

A= Área de la sección transversal.

## **2.9 Drenaje de la carretera.**

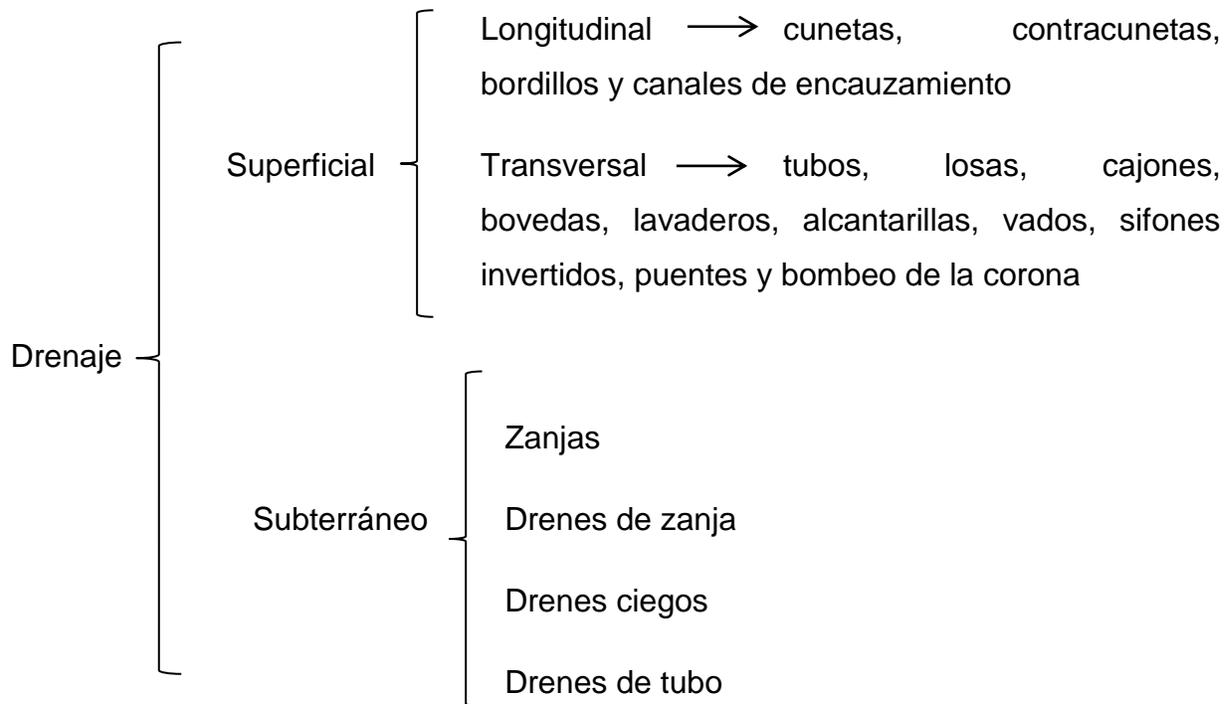
Como indica Merritt y colaboradores (2008), para el diseño de una carretera es esencial considerar el drenaje adecuado, para evitar el deterioro prematuro de la carretera y el desarrollo de algunos factores de seguridad.

En contraste, Pérez (2013), señala que es necesario estudiar tres problemas fundamentales para el diseño de carreteras, que son; la eliminación del agua superficial de la vía, el cruce de arroyos o canales artificiales, por último, el alejamiento y regulación del agua subterránea.

Retomando a Merritt y colaboradores (2008), la función de un sistema de drenaje en una carretera es alejar el agua de la lluvia dentro del camino, así mismo el agua del derecho de vía de la misma carretera. En donde se debe de abastecer las condiciones propias del drenaje superficial como el drenaje subterráneo, en donde se explicarán más adelante a detalle cada uno.

### **2.9.1 Clasificación del drenaje.**

Partiendo de lo dicho por Olivera (2006), existen dos clasificaciones del drenaje en una carretera (drenaje superficial y drenaje subterráneo), de manera que se esquematiza así:



**Esquema 2.1.-** Clasificación de drenaje en una carretera.

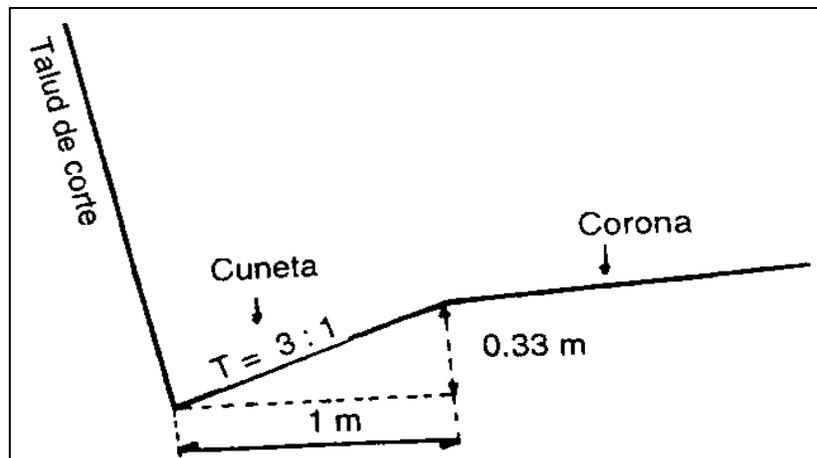
**Fuente:** Propia, (adaptación de Olivera; 2006: 48).

### 2.10 Drenaje superficial.

El drenaje superficial permite la extracción del agua, originado por la lluvia o de la fusión de la nieve, o en efecto, por ambas, donde cae directamente en el camino y este debe de tener una inclinación adecuada para que transite el agua, alejándola de los carriles, acotamientos y dirigirla hacia los elementos de drenaje del sistema (canales de concreto y cunetas) para descargarla hacia un cuerpo de agua. Este tipo de drenaje tiene una subdivisión: drenaje longitudinal y el transversal, definidas de la siguiente manera:

1) Drenaje longitudinal: este drenaje tiene como objetivo captar los escurrimientos para evitar que llegue al camino. En donde se clasifican en:

- **Cunetas**: Son canales que se realizan a los lados del camino y tiene como función interceptar el agua que escurre de la corona, del talud del corte y del terreno natural adyacente, para llevarla a un cauce principal. En la mayoría de los casos se considera una profundidad en su sección transversal triangular de 33 cm, un ancho de 1 m y taludes, del lado de la corona de 3:1, y el lado del corte depende del material que se encuentre en el lugar. La siguiente imagen se puede explicar de una manera más clara:



**Imagen 2.3.-** Sección típica de una cuneta.

**Fuente:** Olivera; 2006: 50.

Para tener una buena conservación de las cunetas es necesario que el escurrimiento de agua que pase por ellas no pase de los siguientes valores de los diferentes materiales:

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

**Tabla 2.1.-** Velocidades del agua de diferentes materiales ante la erosión.

**Fuente:** Olivera; 2006: 51.

Pendiente longitudinal %	Velocidad m/s	Gasto m/s
1	0.6	0.110
2	0.9	0.179
3	1.1	0.200
4	1.3	0.240
5	1.5	0.270
6	1.6	0.300
7	1.7	0.320
8	1.8	0.340
9	2.0	0.370
10	2.1	0.400

**Tabla 2.2.-** Gastos y velocidades en cuneta típica (1m x 33 cm).

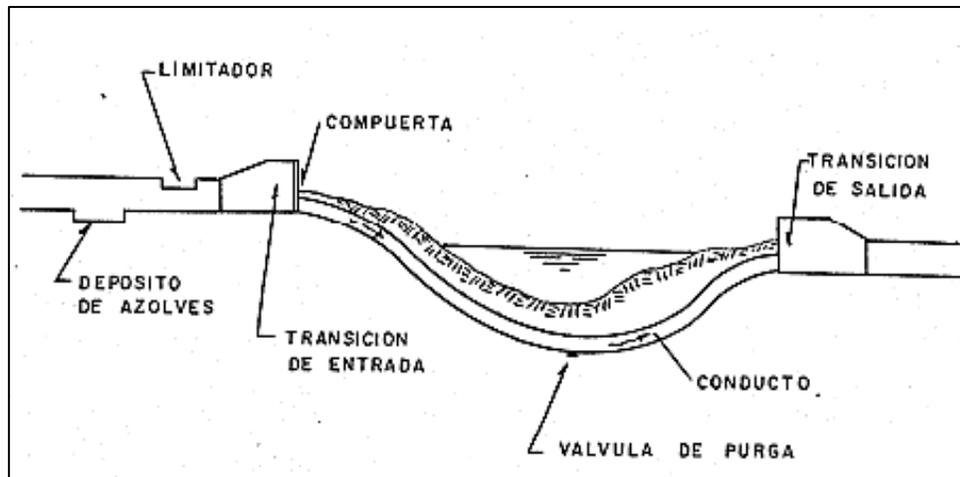
**Fuente:** Olivera; 2006: 51.

- **Contra cunetas:** son zanjas construidas aguas arriba de los cortes y su función es interceptar el agua que transita por los lados y llevarla hacia una parte baja del terreno, evitando que el agua escurra por los taludes, los erosione y aumente el caudal de las cunetas. La sección de las contra cunetas por lo general son trapeciales y para tener un buen funcionamiento se recomiendan las siguientes dimensiones; 0.8 m de plantilla y de 0.50 m de profundidad y la longitud como mínimo de 5 m.
- **Bordillos:** son elementos que interceptan y conducen el agua que por consecuencia del bombeo corre sobre la corona del camino, descargando en los lavaderos, para evitar la erosión de taludes de los terraplenes que estén conformados por material erosionable. Generalmente su material es de concreto hidráulico, concreto asfáltico o de suelo-cemento.
- **Canales de encauzamiento:** en terrenos generalmente planos, en el que el escurrimiento es de tipo torrencial y no existen cauces definidos, es necesario construir canales que intercepten el agua antes de que llegue al camino y la encarrilen a sitios preferentes con anticipación, en donde pueda adecuarse una obra transversal y efectuar el cruce.

2) Drenaje transversal: este tipo de drenaje da paso libremente al agua que cruza de lado a lado en un camino. De acuerdo con la dimensión del claro se puede dividir en dos; el drenaje mayor y drenaje menor, en el que el primero se caracteriza por tener claros mayores a 6 m como lo son puentes, mientras que el drenaje menor son los tubos, bóvedas, losas sobre estribos y cajones.

## **Drenaje Mayor:**

- **Lavaderos:** son canales que conducen y descargan el agua recolectada por los bordillos, guarniciones y cunetas a lugares en específico donde no causen daños a la estructura del pavimento. Pueden ser de varios materiales, como: mampostería, concreto hidráulico o metálicos. Generalmente la geometría de este elemento es triangular para lograrla depresión en su intersección con el acotamiento partiendo de lo establecido en CTR. Construcciones.
- **Vados:** Son obras que se construyen en zonas de cruce para permitir el paso sobre la superficie de rodamiento y de acuerdo a la dirección de la corriente, los vados pueden ser de dos tipos: vados monolíticos y los puentes vados. En donde la primera se construyen a nivel del cauce
- **Sifones invertidos:** Se le llama así por su posición respecto al sifón normal que conduce el agua pasando bajo un obstáculo. Este tipo de estructura conduce el agua exclusivamente por la acción de la gravedad. Es uno de los más usados para cruzar cauces naturales, y está constituido por las partes siguientes:
  1. Depósito de azolves.
  2. Limitador de gastos.
  3. Transición de entrada.
  4. Conducto.
  5. Válvula de purga.
  6. Transición de la salida.



**Imagen 2.2.-** Componentes de un sifón invertido.

**Fuente:** tesis.uson.mx; (2005)

- **Puentes:** Se definen como una estructura de drenaje que tiene un claro mayor a los 20 pies. En donde generalmente se agrupan con estructuras que requieran llevar el firme en la carretera sobre algún paso de agua. Los puentes se ubican principalmente en tramos de más o menos cortos en carreteras. Los materiales que se utilizan en dicha estructura es el acero y concreto (armado, reforzado, etc.). Estas estructuras se clasifican en dos; paso superior o paso inferior. El puente de paso superior, la calzada está sobre la estructura de apoyo, en palabras más técnicas, los elementos que soportan la carga de la superficie está por debajo de la calzada. Y en el puente de paso inferior, la calzada pasa entre los elementos de la estructura.

- **Bombeo:** Como indica Bustamante (2006), proporciona al bombeo en la corona, localizada en las tangentes del trazo horizontal donde con una pendiente transversal desde el centro del camino hasta los hombros. Su función es darle salida al agua que caiga sobre el pavimento para evitar que el líquido entre a las terracerías.

#### **Drenaje menor:**

- **Tubos:** son alcantarillas de sección interior generalmente de forma circular y su requisito es tener un espesor de terraplén o un colchón mínimo de 0.60 m para su mejor funcionamiento. El material más usado es el concreto reforzado o lamina ondulada, mampostería y mortero de cemento.
- **Bóvedas:** De acuerdo con Bustamante (2006), son estructuras cuya sección transversal interior está conformada por tres partes: el piso, paredes verticales y un arco circular de mampostería. Generalmente su material de construcción es de mampostería y mortero. Para el arco se utiliza un molde de madera, que sirve para colar el largo de la obra.
- **Losas:** Son estructuras formadas por dos muros de mampostería con mortero, donde se apoya con una losa de concreto reforzado. Donde el descimbrado se hace a los 21 días, y la elaboración del terraplén, el zampeado del piso, los dentellones y el empuje hidrostático en el respaldo de los estribos, se resolverán de acuerdo a lo que indica la CTR. Construcciones.

- **Cajones:** Son estructuras de sección triangular con paredes y piso de concreto reforzado donde la construcción requiere de cuidados especiales y trabaja junto como un marco rígido que absorbe el peso y el empuje del terraplén, la carga viva y la reacción del terreno.

### **2.11 Drenaje subterráneo.**

De acuerdo con Montejo (1997), el drenaje subterráneo disminuye los efectos del agua interna sobre la estabilidad de la vía terrestre. El agua puede presentarse por ascensión capilar a partir del nivel freático apareciendo principalmente en los taludes, fuentes de aguas aisladas o repartidas que pueden llegar a afectar la realización de obras nuevas y comprometen la estabilidad de las carreteras después de la construcción.

Los objetivos principales para tener un buen funcionamiento del drenaje interno son tres principales; facilitar la realización de la compactación durante la construcción de una carretera, aumentar la capacidad conducida de la subrasante y reducir el espesor del pavimento y colaborar con la estabilidad de los taludes por medio de la circulación de agua interna más favorable para obtener un mejoramiento de las propiedades del suelo.

Generalmente la única opción que tiene el ingeniero civil para evitar el agua sobre la vía es el drenaje subterráneo y para esto solamente existe el drenaje longitudinal que tiene un sistema de tuberías para evacuar el agua de la infiltración. Donde la función principal que tiene es el abatimiento del nivel freático, eliminar el

agua de filtración y agua derivada de fuentes localizada en la parte inferior de la subrasante.

Partiendo de lo dicho por Pérez (2013), para obtener un excelente y duradero funcionamiento del drenaje, es necesario diseñar tomando como una consideración el mantenimiento que se requiere, realizando un sistema de tuberías de descarga situadas en ambos extremos permitiendo el libre paso del personal de limpieza para poder ingresar al dren desde los dos extremos.

## CÁPÍTULO 3

### RESUMEN DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN

El presente capítulo abarca todo lo relacionado a la localización geográfica del proyecto de estudio, como también el entorno geográfico, principales características físicas, hidrográficas, etc., así mismo se menciona la macro y microlocalización del mismo.

#### **3.1 Generalidades.**

El estudio y proyecto del drenaje transversal se encuentra localizado en los kilómetros 30+215, 32+775, 33+005, 33+445 y 39+295 del tramo Pátzcuaro - Uruapan, que corresponde a la Carretera Federal No. 14 Morelia - Uruapan.

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

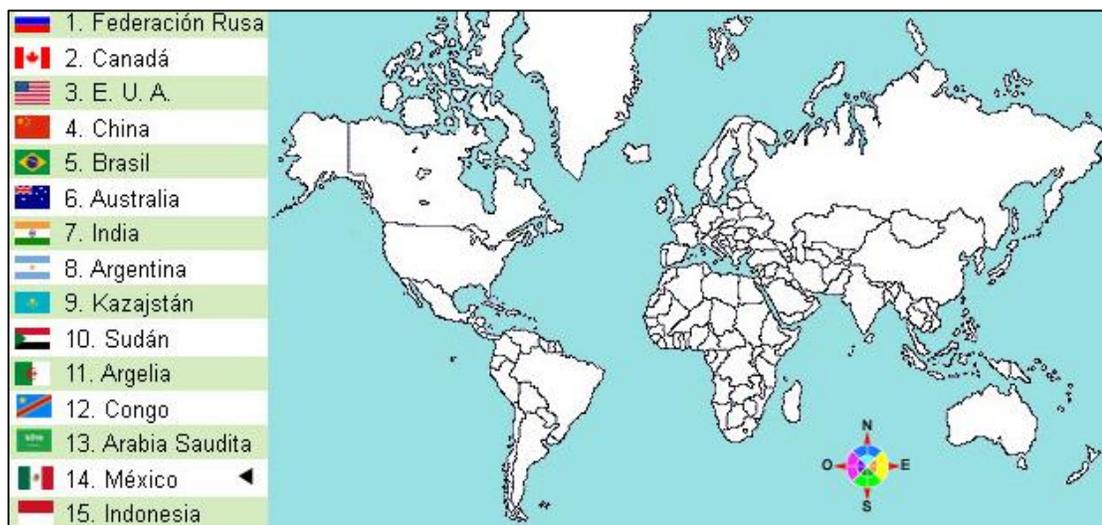
El objetivo que se alcanzará en dicha investigación es estudiar el drenaje transversal de los drenajes ya mencionados anteriormente, debido a que tienen mucho tiempo en servicio y como toda obra se le debe de dar el mantenimiento adecuado, en este caso no se realizó, provocando fisuras, agrietamientos o colapsos en dichas obras de drenaje.

### 3.2 Resumen Ejecutivo.

En este proyecto se requiere realizar una propuesta de reconstrucción de este tipo de drenaje transversal en la carretera federal No.14, Morelia - Uruapan, sobre el tramo Pátzcuaro – Uruapan en donde se ejecutará la obra, permitiendo que se mantenga en perfectas condiciones, por ende, el funcionamiento correcto de la misma.

### 3.3 Entorno Geográfico.

De acuerdo con la página electrónica [www.cuentame.inegi.org.mx](http://www.cuentame.inegi.org.mx) (2015), la República Mexicana está dentro del continente americano en el hemisferio norte, donde parte del territorio se encuentra América del Norte y América del Sur. Cuenta con una extensión territorial de 1 964 375 km<sup>2</sup> ocupando el decimocuarto lugar en el mundo con una gran extensión territorial.



**Imagen 3.1.-** Decimocuarto lugar en extensión territorial ocupa México.

**Fuente:** [www.cuentame.inegi.org.mx](http://www.cuentame.inegi.org.mx); (2015).

El proyecto, por lo tanto, se encuentra dentro de la República Mexicana donde colinda al Norte con los Estados Unidos de América, por la parte sur limita con Guatemala y Belice, mientras que al poniente con el océano Pacífico y al oriente con el Golfo de México y el mar Caribe.

México dentro de su territorio está organizado por 31 estados y un Distrito Federal. Dentro de cada estado se componen por municipios, se hace referencia del estado de Michoacán, donde se encuentra el estudio.

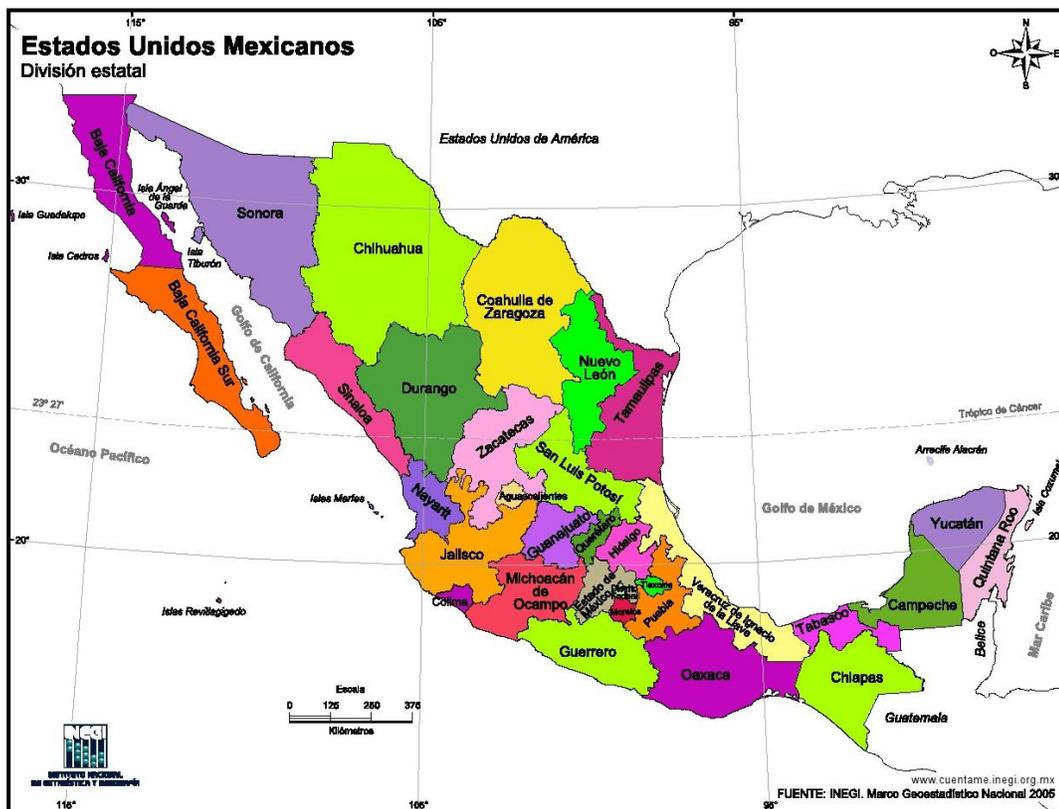


Imagen 3.2.- Mapa de México con nombres y división política.

Fuente: [www.imagui.com](http://www.imagui.com); (2012).

En conformidad con [www.visitmichoacan.com.mx](http://www.visitmichoacan.com.mx) (2015), Michoacán obtiene como coordenadas, una latitud de 20° 24' – 17° 55' y una longitud de 100° 04' – 103° 44'. Colinda con los estados de Colima y Jalisco al noreste, al norte con Guanajuato y Querétaro, al este con México, al sureste con el estado de Guerrero y al suroeste con el Océano Pacífico.



**Imagen 3.3.-** Localización del estado de Michoacán.

**Fuente:** [www.atractivosdemichoacan.blogspot.mx](http://www.atractivosdemichoacan.blogspot.mx) (2010)

Michoacán aproximadamente tiene una superficie de 58,643 km<sup>2</sup> y una población de 3, 971, 225 habitantes. El estado está conformado por 113 municipios y la capital es la ciudad de Morelia, en la entidad se destacan las localidades de

Uruapan y Pátzcuaro que son dos de los municipios dentro del estado, en estos se encuentra nuestra zona de estudio. En la siguiente imagen se muestra donde se encuentra nuestra zona de estudio.



**Imagen 3.4.-** Mapa de Michoacán señalando la localización del proyecto.

**Fuente:** [www.atractivosdemichoacan.blogspot.mx](http://www.atractivosdemichoacan.blogspot.mx); (2010).

Como indica la página electrónica [www.elclima.com.mx](http://www.elclima.com.mx) (2015), Michoacán se encuentra en la parte del eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur. Por lo tanto, el estado tiene un relieve muy peculiar y climas muy variados en distintas zonas: templado con lluvias todo el año, templado con lluvias en verano, cálido con lluvias en verano y cálido escasas durante el año.

El estado de Michoacán, económicamente depende de la agricultura; destaca en su mayoría por el cultivo del aguacate, denominado “oro verde”, así mismo como es productor de garbanzo, limón, ajonjolí, sorgo, limón, mango, zapote, guanábana y fresa. En la ganadería se distingue por producir el ganado bovino.

La flora del estado es muy diversa debido a que presentan bastantes bosques mixtos de pino, encino, fresnos, oyamel, parota, ceiba, tepemezquite, palma, entre otros. Mientras que su fauna está compuesta por los distintos animales: palomas, codorniz, tordo, urraca, coyote, tlacuache, zorra, tejón, mapache, zorrillo, venado, conejo, pato, armadillo, ardilla, liebre, lince, cacomixtle, comadreja, gato montés, águila, cuervo, gavián, perico, boa, faisán, mojarra, nutria, langosta, tiburón y tonina entre otros.

Anteriormente se mencionó donde se encuentra ubicada la zona del proyecto se encuentra sobre la carretera Federal No.14, Morelia - Uruapan, sobre el tramo Pátzcuaro – Uruapan. A continuación, se relatará algo acerca de estas dos localidades.

Uruapan se localiza al oeste del estado, en las coordenadas 19°25' de latitud norte y 102°03' de longitud oeste, a una altura de 1,620 msnm. La distancia con la capital del estado es de 120 kilómetros. Limita al norte con Charapan, Paracho y Nahuatzen, al este con Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan, al sur con Gabriel Zamora, y al oeste con Nuevo Parangaricutiro, Peribán y Los Reyes.

La ciudad de Uruapan, antiguamente habitada por purépechas cerca de los años 1400 fue conquistada por los señores de Pátzcuaro, Tzintzuntzan e Ihuatzio.

Con la llegada de los españoles, la población fue entregada en encomienda a Don Francisco de Villegas, donde posteriormente fue evangelizada por Fray Juan de San Miguel, fundador de la ciudad debido a la obra urbanística que inicio en 1534, conforme a la página electrónica [www.visitmichoacan.com.mx](http://www.visitmichoacan.com.mx) (2012).

El 28 de noviembre de 1858 se le otorga la denominación de Uruapan del Progreso debido a la importancia que tuvo en la independencia de México.

Actualmente la ciudad cuenta con varios ríos que conforman la cuenca de Tepalcatepec y su clima benigno, con exuberantes bosques y hermosos paisajes. Uruapan tiene una gran diversidad de cultura, donde destacan las artesanías, gastronomía, fiestas y tradiciones, así como también monumentos históricos que son atractivos para el turismo de dicha población.

Las artesanías más importantes son las lacas, jícaras, bateas y máscaras, todas ellas con la técnica de maqué. También se pueden encontrar los juguetes tallados con madera, la bisutería (pulseras, aretes, collares), del mismo modo se encuentran cuadros tallados de madera o lienzos pintados mostrando paisajes o pueblos indígenas.

Por consecuencia de los grupos étnicos que se asentaron en esta ciudad, se ha generado una extensa variedad dentro de la comida gastronómica, donde se ofrecen diversidad de platillos regionales, como lo son; las corundas, el churipo, la soricua, la barbacoa de borrego, las carnitas de cerdo, las quesadillas con flor de calabaza, los tamales de harina, el atole de leche, de changunga, de zarzamora, negro, de tamarindo, piña, fresa, y el atole de grano; los buñuelos, el chocolate de

metate, los huchepos, los camotes, plátanos cocidos, las enchiladas, y su famoso guacamole, donde el último platillo se debe a que Uruapan produce la mayor exportación de aguacate en el mundo.

Las principales festividades dentro de la ciudad son encomendadas a Santos y se les festeja con una fiesta llena de pirotecnia, trajes típicos de la meseta purépecha, comida para los invitados y con su respectivo desfile mostrando la devoción que se le tiene al santo patrón de cada barrio, dicho desfile se le denominan “yuntas”. Las principales fiestas de los santos patrones de la ciudad son:

- Fiesta en el barrio de San José. (19 de marzo).
- Fiesta en el barrio de El Vergel. (3er viernes de junio).
- Fiesta en el barrio de San Juan Quemado. (24 de junio).
- Fiesta en el barrio de San Pedro. (29 de junio).
- Fiesta en el barrio de La Magdalena. (22 de julio).
- Fiesta en el barrio de Santo Santiago. (25 de julio).
- Fiesta en el barrio de San Miguel. (29 de septiembre).
- Fiesta patronal de San Francisco de Asís. (4 de octubre).

Dentro de los monumentos históricos más representativos de la ciudad se mencionan a continuación:

- El Parque Nacional Barranca del Cupatitzio: dentro del cual nace el Río Cupatitzio, denominado como “El río que canta”, un parque singular que conjuga las cristalinas aguas del río, la exuberante vegetación y las

leyendas que se van encontrando por cada una de las fuentes, entre la que destaca es la “Rodilla del diablo” donde nace este río.

- La Huatápera: es un antiguo hospital y uno de los primeros de America, fundado por Fray Juan de San Miguel, fue un lugar donde curaban a los indígenas de sus enfermedades, les educaban y se les enseñaban cosas de la región.
- La Tzaráracua: se localiza al sur de la ciudad, 10 kilómetros por la carretera libre a Apatzingán, se encuentra esta hermosa cascada que es el punto de admiración de los habitantes y el turismo, rodeada por una extensa vegetación, donde puede disfrutarse el recorrido a pie o a caballo.
- La casa más angosta del mundo: se ha hecho famosa gracias a su aparición en el libro Guinness de records, la casa mide 1.4x7.7m.

Concordando con la página web [www.inafed.gob.mx](http://www.inafed.gob.mx) (2010), Pátzcuaro se localiza al centro del estado con las coordenadas 19°31' de latitud norte y 101°36' de longitud oeste, a una altura de 2,140 msnm. La distancia de la capital del estado es de 64km. Limita al norte con Tzintzuntzan, al este con Huiramba, al sur con Salvador Escalante, y al oeste con Tingambato y Erongarícuaro.

Pátzcuaro cuenta con una extensa lista de celebraciones, tanto de santos patronos, así como festejar la vida y la muerte (Janitzio), ya que es una conmemoración que se conoce a nivel mundial por el altar que se les hace a los fieles difuntos el día 1 y 2 de noviembre. Las otras festividades que destacan son:

- Pastorelas que recorren las poblaciones. (6 de enero)
- 27 de enero. Celebración de fiestas en honor de la Señora de la Paz.
- Fiesta religiosa en el barrio de la Cruz Verde. (3 de mayo).
- Corpus Christi. (Junio).
- En el barrio de San Miguel. (29 de septiembre)
- Salen las mojjingas anunciando la Fiesta Mayor de la región lacustre e inicio de la feria regional. (8 de noviembre.)
- Realización de exhibición y desfile de canoas de mariposas en la Isla de Janitzio. (29 de diciembre).
- Festividad de San Antonio, los animales domésticos son llevados a bendecir. (17 de enero).

Dentro de la gastronomía de la localidad destacan los siguientes platillos regionales: el pescado blanco, la sopa tarasca, tamales, corundas y huchepos; así como la nieve de pasta, chocolate de metate molido a mano, enchiladas y boquerones.

Al igual que en Uruapan las artesanías se basan la madera para realizar juguetes, muebles.

Su clima es templado, con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 983.3 milímetros y temperaturas que oscilan de 9.2 a 23.2<sup>o</sup> centígrados.

### **3.4 Orografía de la región.**

Anteriormente se mencionó que la orografía de Michoacán es sin duda de las más accidentadas de México, ya que contiene varios volcanes que conforman el Eje Volcánico Transversal del cual ocupa el 44.98% de su superficie total y por otra parte, de la Sierra Madre del Sur que tiene un 55.02% de la superficie del estado.

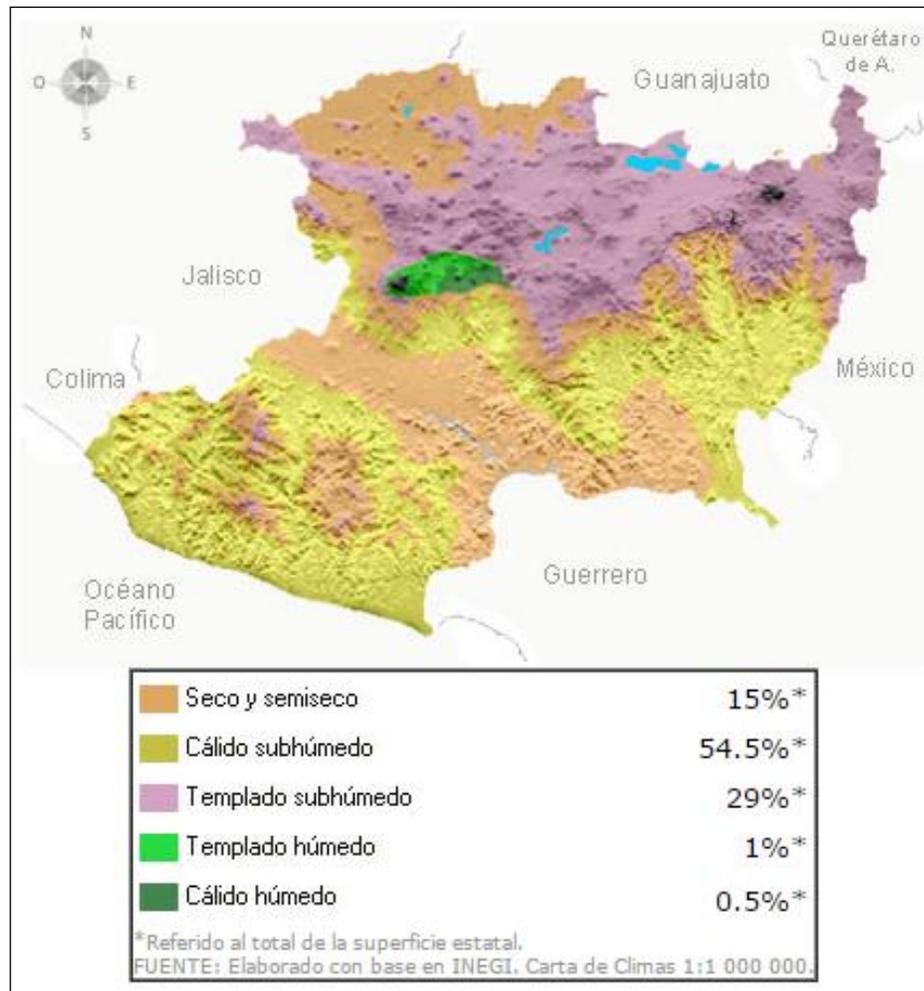
La altitud del estado se encuentra entre los 0 y 3840 msnm, teniendo las principales elevaciones, que son:

- Pico de Tancítaro: 3.840 msnm.
- Cerro de San Andrés: 3.600 msnm.
- Cerro Patamban: 3.500 msnm.
- Cerro El Campanario: 3.420 msnm.
- Cerro del Pílon: 3.400 msnm.
- Cerro El Tecolote: 3.360 msnm.
- Cerro San Isidro: 3.350 msnm.
- Cerro del Águila (Paracho): 3.340 msnm.
- Cerro La Nieve: 3.330 msnm.
- Cerro Zirate: 3.320 msnm.
- Cerro Cherán: 3.300 msnm.
- Volcán del Parícutín: 2.800 msnm.

### **3.5 Climatología de la región.**

Como lo menciona la página electrónica [www.cuentame.inegi.org.mx](http://www.cuentame.inegi.org.mx) (2015), Michoacán tiene una gran diversidad de clima, entre ellos el 54.5% es cálido subhúmedo en el eje neovolcánico, el 29% templado subhúmedo encontrado en el eje neovolcánico, un 15% seco y semiseco en la depresión del Balsas y

Tepalcatepec, 1% templado húmedo y el 0.5% cálido húmedo presentado en las regiones altas del eje neovolcánico.



**Imagen 3.5.-** Climas de Michoacán con porcentajes.

**Fuente:** [www.cuentameinegi.org.mx](http://www.cuentameinegi.org.mx); (2015).

En Michoacán la temperatura media anual es de 20°C, la temperatura más baja se presenta en el mes de enero con 8°C, mientras que la más alta aparecen en los meses de abril y mayo con 31°C.

Las lluvias se presentan durante el verano en los meses de junio y septiembre, la precipitación media anual es de 850mm anuales. Debido a esto se le denomina como la entidad decimosexta más lluviosa de todo México. Por otro lado, debido a las temperaturas que se presentan en el estado es la décimo tercera entidad más cálida del país.

El clima de la ciudad de Uruapan es templado y tropical con lluvias todo el año. Tiene una precipitación pluvial media de 1,759.3 mm. Cuya temperatura se encuentra entre los 8 y 32°C.

Pátzcuaro cuenta con un clima muy similar al de Uruapan, es templado y tiene lluvias todo el año, sin embargo, posee una precipitación pluvial anual de 983.3 mm y una temperatura desde los 9 a 23°C. Datos recabados de las dos ciudades en la página web [www.inafed.gob.mx](http://www.inafed.gob.mx) (2010).

### **3.6 Flora y Fauna.**

La vegetación que predomina en el estado de Michoacán es el bosque de coníferas y encinos donde ayudan como refugio de la mariposa monarca, también hay bosques húmedos, selvas secas y pastizales.

En Uruapan predomina el bosque mixto, con pino y encino, esto se debe a las lluvias del verano y su clima cálido. Así mismo el bosque tropical, también con parota, guaje, cascalote y cirian. Dentro de la fauna sobresale el coyote, zorrillo, venado, zorra, liebre, tlacuache, conejo, patos, torcaza, cacomiztle, etc.

Por otro lado, en la localidad de Pátzcuaro es muy parecida a la de Uruapan, ya que está dentro del Bosque de Coníferas, donde se encuentran pinos, encinos, cedros, oyamel y junípero. La Fauna está determinada por ardillas, coyote, armadillos, liebres, patos, aguilillas, chachalaca, achoque, pez blanco, carpa, lobina negra y mojarra. Esta información acerca de las dos localidades, se encuentra en la página electrónica [www.inafed.gob.mx](http://www.inafed.gob.mx) (2010).

### **3.7 Actividades económicas.**

La ciudad de Uruapan, tiene una actividad económica muy importante gracias al aguacate, con su gran auge en la exportación desde el año 1997. A partir del mismo año, el municipio ha exportado más de 300 mil toneladas al extranjero y produciendo alrededor de 200 mil toneladas, siendo Estados Unidos el mayor consumidor de este producto.

Otras de las actividades agrícolas del municipio son; el cultivo de la caña de azúcar, el maíz, el durazno, el café, la guayaba y las hortalizas como el jitomate, chile y calabaza. Igualmente se cría bovino, porcino, caprino, equino, avícola y también cuenta con un pequeño sector de silvicultura.

Uruapan cuenta con una actividad industrial poco desarrollada, pero existen empresas que se dedican a la fabricación de plásticos, papel y productos a base de chocolate y los empaques de aguacate. Información obtenida de la página electrónica [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) (2015).

Por otro lado, las principales actividades económicas de la localidad de Pátzcuaro, es el turismo, debido a que destacan por sus fiestas tradicionales que se realizan en el lago de Janitzio. Del mismo modo, la agricultura ocupa el segundo lugar ya que se cultivan maíz, frijol, habas, alfalfa. Cebada, papa y jitomate.

Cuenta con plantas de aserrío de mediada capacidad, donde le permite la fabricación de muebles y talleres artesanales. Otra actividad importante dentro de Pátzcuaro es la pesca, donde obtienen el pescado blanco, capa arcoíris y el charal, de acuerdo a la página electrónica [www.digaohm.semar.gob.mx](http://www.digaohm.semar.gob.mx) (2012).

### **3.8 Uso de suelo.**

El suelo de Uruapan data de los periodos cenozoico, terciario, cuaternario y eoceno. Su uso principalmente es el forestal, posteriormente el agrícola y ganadero. Mientras que el suelo de Pátzcuaro viene igualmente de los periodos cenozoico, cuaternario, terciario y mioceno, que corresponden al tipo podzódico y pradera de montaña. Su uso principal también es el forestal, siguiendo el agrícola y por último el ganadero. Datos recabados de la página electrónica [www.inafed.gob.mx](http://www.inafed.gob.mx) (2010).

### **3.9 Informe fotográfico.**

En los siguientes apartados se mostrarán evidencias acerca del drenaje transversal de siguientes kilómetros; 30+215, 32+775, 33+005, 33+445 y 39+295 del tramo carretero Pátzcuaro - Uruapan, que corresponde a la Carretera Federal No. 14

Morelia – Uruapan, donde se observará el estado actual de las obras y detalles de azolves de la tubería.

### **3.9.1 Problemas de azolve.**

Dentro del tramo carretero Pátzcuaro – Uruapan, en los kilómetros; 30+215, 32+775, 33+005, 33+445 y 39+295, se puede observar el mal funcionamiento de las tuberías de drenaje que se tienen actualmente, por lo que presentan fisuras, colapsos, desprendimientos, agrietamientos, etc., esto se debe a que datan más de 50 años trabajando, sin embargo, nunca se le dio la importancia para el mantenimiento de las mismas. Por lo que toda obra tiene un periodo de vida útil. En este caso, la empresa encargada de este tramo, realizaba trabajos en la superficie rodante (mantenimiento), pensando que el problema era solamente superficial. En este proyecto, se realizarán los estudios y los cálculos adecuados para determinar si las obras existentes realmente abastecen a las necesidades que se presentan.

### **3.9.2 Estado físico actual.**

A continuación se mostrará un reporte fotográfico, especificando cada tubería de los kilómetros dentro del tramo carretero donde se encuentra localizado el proyecto a estudiar, así como también las características de la misma y la problemática que tiene cada tubería.



**Fotografía 3.1.-** Tubería actual del km 30+215.

**Fuente:** Propia.

En la fotografía anterior se muestra el gran problema que se tiene dentro de esta tubería, debido que cuenta con un aplastamiento y desprendimiento, teniendo como consecuencia un mal funcionamiento a causa de la deformación del tubo, y la gran cantidad de desechos que existe dentro de la obra, provocando el estancamiento del agua que circula por dicha construcción.



**Fotografía 3.2.-** Tubería actual del km 32+775.

**Fuente:** Propia.

La imagen anterior se encuentra localizada en el kilómetro 32 + 775, cerca de la población de Tingambato. Esta tubería actualmente cuenta con tres tubos de lámina de 1.07 m de diámetro, donde solamente funciona uno de manera correcta, debido que los tubos restantes se encuentran aplastados. El gráfico muestra el mal estado en la que se tiene la obra actual, así mismo percibe el mal funcionamiento que tiene, ocasionado por la gran cantidad de desechos orgánicos (ramas, hojas,

arboles, etc) y desechos inorgánicos (basura), no deje salir el agua que entra a la tubería.

La ilustración muestra la cantidad de desechos orgánicos (ramas, hojas secas, y materia vegetal), e inorgánicos (botellas de plástico, envolturas, vidrio, aluminio, etc.), que tiene la obra de drenaje. Actualmente la construcción cuenta con un tubo de lámina de 1.07 m de diámetro, mismo que se encuentra en mal estado, debido a que cuenta con un aplastamiento y desprendimiento.



**Fotografía 3.3.-** Tubería actual del km 33+005.

Fuente: Propia



**Fotografía 3.4.-** Tubería actual del km 33+445.

**Fuente:** Propia.

La imagen muestra como se encuentra la tubería obstaculizada por la cantidad de material rocoso, y desechos inorgánicos (plásticos, envolturas, aluminio, vidrio, etc. Dicha obra cuenta con un tubo de lámina de 1.22 m de diámetro, que su daño físico es el aplastamiento y desprendimiento de la construcción, ocasionando en la carpeta asfáltica un desnivel, y se realizaba el trabajo correspondiente, sin percatarse que el problema viene desde el drenaje.



**Fotografía 3.5.-** Tubería actual del km 39+295.

**Fuente:** Propia.

La tubería actual localizada en el kilómetro 39+295, se encuentra formada por un tubo de lámina de 1.07 m de diámetro, la cual al igual que las fotografías anteriores, cuenta con un aplastamiento y desprendimiento de la tubería. La obra está obstaculizada por una cantidad numerable de materia orgánica e inorgánica, teniendo como consecuencia el mal funcionamiento de la misma. El aplastamiento con el que cuenta la obra se encuentra hasta la mitad de la tubería a lo ancho de la tubería.

### **3.9.3 Alternativas de solución.**

Como se observan las fotografías, la cantidad tan grande de azolves que tiene cada tubería no le permite el desagüe del agua que pasa por la misma, provocando el mal funcionamiento de la tubería, debido a que trabaja a menos del 30%.

La alternativa de solución que se puede tener es cambiar la tubería por una de mayor diámetro ya que las que están son de 1.07 m una tubería de 1.22 m de diámetro. Se pretende proponer una tubería de una medida más grande y darle un mantenimiento adecuado teniendo una respuesta factible en su correcto funcionamiento. Se realizarán cálculos, para poder hacer una comparativa del gasto con el que cuenta la obra y el gasto máximo asociado a un determinado periodo de retorno.

### **3.9.4 Planteamiento de alternativas.**

Por medio de los cálculos hidráulicos se analizará la situación y se propondrá una tubería de mayor diámetro ayudando al paso correcto del agua. Los cálculos que se realizaran son; pendiente por el método de Taylor – Schwarz, tiempo de concentración ( $T_c$ ), la intensidad de lluvia ( $i$ ), el coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ), el gasto máximo asociado para esa obra. Posteriormente, ya teniendo los cálculos anteriores, se determinan el gasto con el que trabaja el área hidráulica efectiva. Después, ya que se tuvieron ambos gastos se comparan para determinar si es gasto con el que trabaja es el correcto al gasto máximo de diseño.

Para determinar el gasto con el que funciona la obra con el área hidráulica efectiva, se deben utilizar las siguientes formulas; el área (A) , el perímetro mojado (Pm), el radio hidráulico (Rh), ecuación de Manning (v).

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA**

En el presente capítulo se dará a conocer todo lo referente a la metodología utilizada para desarrollar esta tesis, partiendo con el método empleado, el enfoque de la investigación, su alcance, tipo de diseño de la investigación, investigación transversal, instrumentos para la recopilación de los datos y el procedimiento de investigación.

#### **4.1. Método científico.**

El método científico es un conjunto de procesos por los cuales se plantean los problemas científicos y se ponen a estudio las hipótesis y algunos instrumentos de un trabajo investigativo. De acuerdo con Tamayo y Tamayo (2004), indica que este método es planamente recomendable para dicha investigación debido a que en él se aplica la lógica en los hechos observados, eliminando algún procedimiento que interfiera la realidad, pueden ser prejuicios, las creencias o deseos que no se ajusten a la realidad y a los problemas que se investigan.

Para la presente tesis el método a usar es el método científico, ya que para el diseño del drenaje transversal del tramo Pátzcuaro – Uruapan se necesita la aplicación de cálculos numéricos en diferentes situaciones.

#### **4.1.1 Método matemático:**

De acuerdo con Mendieta (2000), el método matemático permite captar la noción de cantidad al comparar cantidades para obtener nociones derivadas, de fundamental importancia, capacidad y valor económico. Su función principal es expresar las relaciones existentes entre operaciones y variables, permitiendo estudiar el comportamiento de sistemas complejos ante difíciles situaciones de estudio.

En el presente trabajo se empleará el método matemático, debido al tema del proyecto requiere del uso de modelos matemáticos y cálculos entre otros sistemas para obtener datos, los cuales lleven a la recaudación de números para determinar del resultado ideal.

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

Retomando lo mencionado por Hernández y Cols (2010), existen tres tipos de enfoques de la investigación, que se retomaran a continuación:

1. Cualitativo: Se recopilan los datos en donde no existe medición numérica para descubrir o formular preguntas de carácter investigativo para el proceso de interpretación, obteniendo sus bases en el proceso inductivo en donde no se prueban las hipótesis, debido a que es generada durante el proceso de investigación y modificándose a lo largo de la recopilación de datos.

2. Cuantitativo: se representa utilizando un conjunto de procesos secuenciales y probados, donde se establece una hipótesis y determinación de variables. Desarrollando un plan para probarlas mediante el diseño, midiéndose en un determinado contexto, analizando así las mediciones obtenidas y asignando una serie de conclusiones de acuerdo a la hipótesis planteada.
3. Mixto: surge de la combinación de los enfoques anteriores.

De acuerdo a lo analizado, se determina que esta investigación es de carácter cuantitativo, debido a que se pretende calcular las cantidades de lo que se necesitara para la elaboración de dicho proyecto, tal como la deducción de varios aspectos para que sea de una manera aceptable la realización del estudio, sabiendo que con este enfoque se puede tomar el control sobre fenómenos que lleguen a presentarse, analizando su magnitud, permitiendo tener comparaciones con el material que ahora se encuentra en el proyecto.

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

Como indica Hernández y Cols (2010), existen tres alcances en la investigación, explicándolo a continuación:

- Estudio exploratorio: este tipo de alcance tiene como objetivo principal examinar algún tema o problema investigativo poco estudiado. En pocas ocasiones tienen como fin determinar tendencias, identificar áreas, contextos,

ambientes y situaciones de estudio, relaciones potenciales entre algunas otras variables.

- Estudios descriptivos: en estos estudios se especifican propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se quiera analizar. En este caso el investigador necesita ser capaz de definir o visualizar que es lo que se va a estudiar y quien recolectará los datos necesarios para el estudio.
- Estudios correlacionales: tienen el propósito de conocer la relación entre dos o más variables, categorías o conceptos. Este tipo de estudios evalúan el grado de asociación entre estas variables y miden cada una de ellas y después cuantificar y analizar la vinculación que existe entre estos.

Relacionado con lo anterior, se puede concluir que esta investigación será de estudio descriptivo adecuándose a que se necesita tener datos de mediciones, materiales a utilizar, entre otros aspectos generales que intervienen en la realización de dicho proyecto.

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

En el diseño de la investigación existen dos tipos de investigaciones totalmente diferentes, por lo que es necesario conocer las características de ambos, con esto poder elegir el diseño más oportuno para usarlo en esta investigación. De acuerdo a Hernández y Cols (2010), se detallarán de manera más completa los tipos de diseño a continuación:

- Diseños experimentales: en este estudio se constituye el contexto y se manipula de manera intencional a alguna variable, después se analiza con el efecto de una manipulación sobre la variable dependiente. Este tipo de investigación tiene alcances iniciales y finales relacionados y explicativos.
- Diseños no experimentales: tipo de investigación definida como la investigación que se desarrolla sin manipular las variables. Esto se trata de estudios donde no se hacen variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otra variable. Aquí no se ocasiona ninguna situación, sino que se observan las situaciones que existen y no es posible manipularlas ya que no se tiene control directo sobre estas variables no se puede influir sobre ellas.

Ahora analizando lo anterior se concluye que el diseño de esta investigación es de tipo no experimental, debido a que no se realizará ningún tipo de experimento.

Por otro lado, dentro de los diseños no experimentales, hay dos tipos de investigación; el transeccional o transversal y longitudinal. Se explican a continuación:

- ✚ Transeccional o transversal: En este diseño se recolectan datos en un solo momento, o sea en un sólo momento. Su propósito es describir variables y analizan su incidencia e interrelación en un momento dado. Dentro de este tipo existe tres subdivisiones que son exploratorios, descriptivos y correlacionales – causales.

- Exploratorios: se comienza a conocer una variable o varias, una comunidad, un contexto, un evento o una situación. En este tipo se aplican a los problemas de investigación nuevos o poco conocidos.
- Descriptivos: su objetivo principal es indagar la incidencia de las modalidades, categorías o niveles de varias variables en una población.
- Correlacionales – causales: en este diseño se explican las relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento determinado. A veces en términos correlacionales y otras veces en efectos casuales.

✚ Longitudinal: En este tipo se define como los estudios que reúnen datos de diferentes puntos del tiempo, generalmente para realizar inferencias acerca de la evolución, sus causas y efectos. Los diseños longitudinales se dividen en tres tipos: diseños de tendencia, diseños de análisis evolutivo de grupos y de panel, como se explica a continuación:

- Tendencia: son aquellos que analizan cambios a través del tiempo dentro de alguna población, cuya característica es la población.
- Análisis evolutivo de grupos: estos se encuentran principalmente en grupos en específicos y se examinan cambios a través del tiempo.

- Panel: son similares a los dos tipos de diseños anteriores, solo que estos participantes son medidos y observados en todos los momentos o tiempos.

En este proyecto se usarán los diseños de investigación transeccional o transversal debido a que se recolectarán datos solamente una vez, en un tiempo único. Donde el único propósito es describir dicha variable y analizar las situaciones en un momento dado.

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

Para este proyecto de investigación se emplearon el uso de distintas herramientas para recopilar información con la cual se determinan las necesidades del proyecto a través de software especializados, que son: Microsoft Word, Microsoft Excel, Autodesk AutoCAD, y ArcView 3.3.

- Microsoft Word: Es un programa informático desarrollado y distribuido por Microsoft Corporation. Este programa es destinado para el procesamiento de textos, en donde en general permite automatizar y perfeccionar las actividades habituales de una oficina.
- Microsoft Excel: Es un programa informático desarrollado y distribuido por la corporación anterior. Gracias a las funciones desarrolladas permite ayudar a crear y trabajar con tareas contables y financieras con sus hojas de cálculo.
- Autodesk AutoCAD: es un programa de la compañía Autodesk, Inc., dedicada generalmente al diseño en 2D y 3D para las industrias de manufacturas,

infraestructuras, construcción, medios y entretenimiento y datos transmitidos vía inalámbrica.

- ArcView 3.3: es un programa desarrollado por Environmental Systems Research Institute (ESRI), dedicado para realizar análisis de sistemas de información geográfica.

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

La presente investigación surge debido a la problemática que presenta el tramo carretero Pátzcuaro – Uruapan, proveniente del mal mantenimiento que se tiene del drenaje subterráneo de esta zona.

El estudio tiene como base fundamental la reconstrucción de dichas obras, debido a que se encuentran dañadas, ya sea por los años que tienen en uso y nunca se tuvo la precaución de realizar el mantenimiento de las mismas, lo que originó el colapso de algunas tuberías, la carga que se presenta en la superficie de rodamiento, entre otras más. Teniendo como evidencia las fotografías donde se percibe el mal estado de estas obras, así como la problemática que presentan.

Es por eso que se analizará cada tramo del drenaje a estudiar y se propondrá una reconstrucción para tener como objetivo principal el excelente funcionamiento de estas obras y así mismo evitar algún tipo de accidente que se pueda presentar.

Los cálculos matemáticos se realizarán por medio de un software llamado Microsoft Excel, para determinar qué es lo más conveniente para esta obra, tomando en cuenta varios parámetros que ayudaran a determinar lo más favorable a esta investigación. Algunos de estos parámetros son; el cálculo de pendiente por el

método Taylor – Schwarz, el coeficiente de Manning, el tiempo de concentración de las lluvias, el cálculo de la intensidad de la lluvia, el coeficiente de escurrimiento, y por último la determinación sobre cálculo del gasto máximo de diseño.

Con los datos obtenidos por medio de los resultados, se propondrá una propuesta más favorable para la reconstrucción de obras de drenaje del tramo carretero federal 14, Pátzcuaro – Uruapan, teniendo como resultado el buen funcionamiento y el mantenimiento de esta obra.

## **CAPÍTULO 5**

### **CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

En el presente capítulo se realizarán los cálculos del drenaje transversal correspondientes al tramo carretero Pátzcuaro – Uruapan localizados en los kilómetros 30+215, 32+775, 33+005, 33+445 y 39+295, dentro de la carretera federal no. 14 Morelia – Uruapan, donde se revisará que sea suficiente para desalojar el gasto que se presentan dichas obras.

#### **5.1 Cálculos del drenaje km 30+215.**

Los métodos más importantes para la determinación de la capacidad que tiene cada drenaje se constituyen por varios cálculos, permitiendo al final de los mismos, saber si la obra que se encuentra en existencia es capaz de desalojar el agua que se recauda en esta. Este apartado nos dará una breve introducción acerca de los cálculos correspondientes para decidir si la tubería que se encuentra esta en correcto funcionamiento o no. Los cálculos que se realizarán en este apartado son; la pendiente de Taylor – Schwarz, determinar el tiempo de concentración, cálculo de intensidad de lluvia, determinación del coeficiente de escurrimiento y el gasto máximo de diseño, todos juntos colaborarán para la obtención de los cálculos de los drenajes que se enfocan en este estudio.

### a) Pendiente de Taylor – Schwarz.

Para obtener el porcentaje de pendiente del cauce, se determinará con el método de Taylor – Schwarz, de la siguiente manera:

$$S = \left[ \frac{L}{\sum \frac{L_j}{\sqrt{Sc_j}}} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{2649.98}{\sqrt{\frac{5.33}{121.99}} + \sqrt{\frac{20}{248.03}} + \sqrt{\frac{20}{238.52}} + \sqrt{\frac{20}{308.47}} + \sqrt{\frac{20}{406.93}} + \sqrt{\frac{20}{391.93}} + \sqrt{\frac{20}{147.79}} + \sqrt{\frac{20}{171.67}} + \sqrt{\frac{20}{109.00}} + \sqrt{\frac{20}{102.06}}} \right]^2$$

$$S=0.0740 = 7.40\%$$

### b) Tiempo de concentración por el método de Kirpich.

Para el tiempo de concentración se sustituye la longitud del cauce principal (L) y la pendiente de la cuenca (S), que se tuvo en la ecuación anterior.

$$T_C = \frac{0.0662 * L^{0.77}}{S^{0.385}} \longrightarrow = \frac{0.0662 * 2.65^{0.77}}{0.0740^{0.385}}$$

$$T_c = 0.382 \text{ hr.}$$

Convirtiendo el tiempo de concentración en minutos se tiene:

$$T_c = 0.382(60) = 22.92 \text{ min.}$$

$$\therefore T_c = 23 \text{ min}$$

### c) Cálculo de Intensidad de Lluvia (i).

Este cálculo se define por medio de la DGST (Dirección General de Servicios Técnicos) del estado de Michoacán, con ayuda de los mapas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

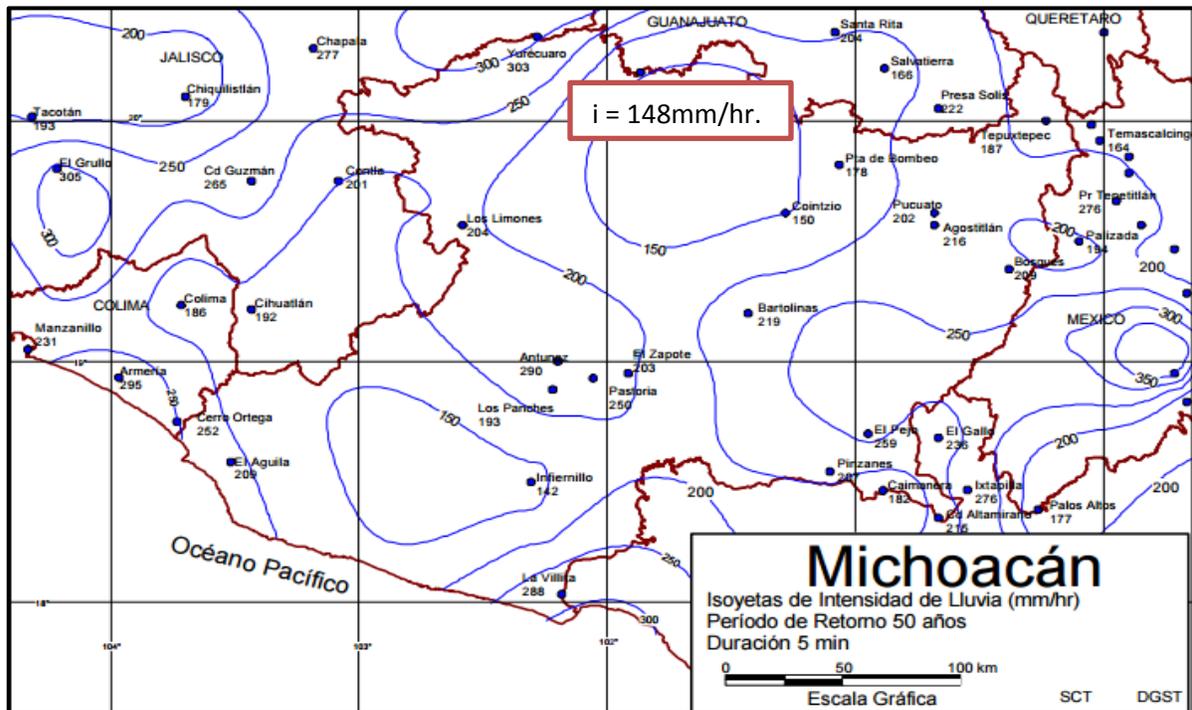


Imagen 5.1.- Isoyetas para obtener la intensidad de lluvia (mm/hr).

Fuente: [www.sct.gob.mx](http://www.sct.gob.mx) (2015).

Para el cálculo de intensidad de lluvia, en este caso se tomará de 148mm/hr para un tiempo de concentración de 5 min, en un periodo de retorno de 50 años, donde este valor se obtuvo por medio de una interpolación de las curvas proporcionadas por Dirección General de Servicios Técnicos (DGST).

**d) Determinar el coeficiente de escurrimiento (Ce).**

En el paso siguiente, se obtiene el coeficiente de escurrimiento para el método racional, por medio de la tabla que comparte la SCT en la norma M-PRY-CAR-1-06-003-00.

Tipo de superficie por drenar	Pendiente (%)	Coeficiente de escurrimiento (C)	
		Mínimo	Máximo
<b>A) Praderas:</b>			
1. Suelo arenoso plano	< 2	0,05	0,10
2. Suelo arenoso medio	2 a 7	0,10	0,15
3. Suelo arenoso empinado	> 7	0,15	0,20
4. Suelo arcilloso plano	< 2	0,13	0,17
5. Suelo arcilloso medio	2 a 7	0,18	0,22
6. Suelo arcilloso empinado	> 7	0,25	0,35
<b>B) Zonas pavimentadas:</b>			
1. Pavimento asfáltico	---	0,70	0,95
2. Pavimento de concreto hidráulico	---	0,80	0,95
3. Pavimento adoquinado	---	0,70	0,85
4. Estacionamientos	---	0,75	0,85
5. Patios de ferrocarril	---	0,20	0,40
<b>C) Zonas residenciales:</b>			
1. Unifamiliares	---	0,30	0,50
2. Multifamiliares, espaciados	---	0,40	0,60
3. Multifamiliares, juntos	---	0,60	0,75
4. Suburbanas	---	0,25	0,40
5. Casas habitación	---	0,50	0,70
<b>D) Zonas comerciales:</b>			
1. Zona comercial (áreas céntricas)	---	0,70	0,95
2. Áreas vecinas	---	0,50	0,70
<b>E) Zonas industriales:</b>			
1. Construcciones espaciadas	---	0,50	0,80
2. Construcciones juntas	---	0,60	0,90
F) Campos cultivados	---	0,20	0,40
G) Zonas forestadas	---	0,10	0,30
H) Parques y cementerios	---	0,10	0,25
I) Áreas de recreo y campos de juego	---	0,20	0,35
J) Azoteas y techados	---	0,75	0,95

**Tabla 5.1.-** Tabla para determinar el Coeficiente de escurrimiento.

**Fuente:** www.sct.gob.mx (2015).

Para el estudio de este proyecto se determina que es una zona forestada, con un coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) mínimo de 0.10 y el máximo es de 0.30, para la determinación del gasto máximo de diseño será de 0.20.

#### **e) Determinación del gasto máximo de diseño.**

Los estudios para la determinación del gasto máximo de diseño se desarrollarán conforme a la norma vigente de la SCT N-PRY-CAR-1-06-004/00, apoyados por el manual M-PRY-CAR-1-06-004/00.

El método de cálculo elegido para determinar el gasto máximo de diseño ( $Q_d$ ) es de tipo semiempírico y es del método racional.

$$Q_d = \frac{(0.20)(101)(5.20)}{3.6} = 29.18 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

**$Q_d$**  = gasto de diseño máximo asociado a un periodo de retorno de 50 años, está en  $\text{m}^3/\text{seg}$ .

**$C_e$** = coeficiente de escurrimiento de la cuenca, es adimensional (100%  $C_e = 0.20$ ).

**$A$** = área de la cuenca, medida en  $\text{km}^2$  (5.20).

**$i$** = intensidad de lluvia, para una duración de lluvia 23 min. y un periodo de retorno de 50 años ( $i=101 \text{ mm/hr}$ )

### 5.1.1 Funcionamiento de la obra.

En este apartado se dará cuenta si el drenaje que existe funciona de una manera correcta, o sea, si desaloja correctamente el agua que se presenta en esta obra.

#### 5.1.1.1. Obra existente.

En la obra existente se encuentra un tubo de 0.90m de diámetro, con las siguientes características hidráulicas:

- Pendiente del tubo:  $S=16.63\%$ .
- Coeficiente de Manning:  $n= 0.012$ .

Para obtener el área hidráulica, se considera que el tubo trabaja a un 85% de su capacidad.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \times 0.85 = \frac{(\pi)(0.90)^2}{4} \times 0.85 = 0.55m^2$$

Así mismo, el perímetro mojado se calcula de la siguiente manera:

$$P_m = \left(\frac{\pi}{180}\right) r a = \left(\frac{\pi}{180}\right) \times 0.455 \times 252.83 = 2.01m$$

El radio hidráulico es:

$$R_h = \left(\frac{A}{P_m}\right) = \left(\frac{0.55}{2.01}\right) = 0.28 m$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de Manning, se tiene:

$$V = \left( \frac{1}{0.012} \right) (0.28)^{2/3} (0.166)^{1/2} = 14.39 \text{ m/s}$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se determina que el gasto con el que funciona la obra trabajando a un 85% de su capacidad, la cual es:

$$Q_o = VA = (14.39)(0.55) = 7.95 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como conclusión se puede obtener que el gasto con el que trabaja la obra existente al 85% de su capacidad (7.95 m<sup>3</sup>/s), es menor al gasto máximo de diseño asociado a un periodo de retorno de 50 años (29.18 m<sup>3</sup>/s), entonces se puede deducir que la obra existente NO trabaja adecuadamente en el aspecto hidráulico.

#### 5.1.1.2. Obra propuesta.

Para la obra propuesta son dos tubos de PAD (Polietileno de Alta Densidad) de 1.22 m de diámetro, con las siguientes características hidráulicas:

- Pendiente del tubo: S=16.63%.
- Coeficiente de Manning: n= 0.010.

Para obtener el área hidráulica, se considera que el tubo trabaja a un 85% de su capacidad:

$$A = 2x \frac{\pi D^2}{4} x 0.85 = 2x \frac{(\pi)(1.22)^2}{4} x 0.85 = 1.99 \text{ m}^2$$

Así mismo, el perímetro mojado se calcula de la siguiente manera:

$$P_m = 2x \left( \frac{\pi}{180} \right) r a = 2x \left( \frac{\pi}{180} \right) x 0.61 x 250.83 = 5.34 m$$

El radio hidráulico es:

$$R_h = \left( \frac{A}{P_m} \right) = \left( \frac{1.99}{5.34} \right) = 0.37 m$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de Manning, se tiene:

$$V = \left( \frac{1}{0.010} \right) (0.37)^{2/3} (0.166)^{1/2} = 21.10 m/s$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se determina que el gasto con el que funciona la obra trabajando a un 85% de su capacidad, la cual es:

$$Q_o = VA = (21.10)(1.99) = 41.94 m^3/s$$

Como el gasto con el que trabajaría la obra propuesta al 85% de su capacidad (41.94 m<sup>3</sup>/s), es mayor al gasto máximo de diseño asociado a un periodo de retorno de 50 años (29.18 m<sup>3</sup>/s), entonces se puede deducir que la obra propuesta Si trabajaría adecuadamente en el aspecto hidráulico.

## 5.2 Cálculos del drenaje km 32+775.

Como se vio en el apartado 5.1 de esta investigación, se realizarán los mismos cálculos para determinar la capacidad que tiene cada obra de drenaje, permitiendo al final del apartado, determinar si el gasto con el que trabaja la obra es mayor o menos al gasto máximo de diseño. Del mismo modo, con los cálculos que

se arrojen, se planteara alguna solución para que el drenaje tenga su correcto funcionamiento, que es desalojar el agua que se les presente.

**a) Pendiente de Taylor – Schwarz.**

Taylor y Schwarz proponen calcular la pendiente media del cauce principal con la siguiente expresión:

$$S = \left[ \frac{L}{\sum \frac{L_j}{\sqrt{Sc_j}}} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{1535.33}{\frac{112.09}{\sqrt{\frac{13.54}{112.09}}} + \frac{121.65}{\sqrt{\frac{20}{121.65}}} + \frac{109.65}{\sqrt{\frac{20}{109.65}}} + \frac{68.23}{\sqrt{\frac{20}{68.23}}} + \frac{130.67}{\sqrt{\frac{20}{130.67}}} + \frac{80.16}{\sqrt{\frac{20}{80.16}}} + \frac{86.53}{\sqrt{\frac{20}{86.53}}} + \frac{97.13}{\sqrt{\frac{20}{97.13}}} + \frac{175.67}{\sqrt{\frac{20}{175.67}}} + \frac{97.67}{\sqrt{\frac{20}{97.67}}}} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{1535.33}{\frac{60.11}{\sqrt{\frac{20}{60.11}}} + \frac{82.52}{\sqrt{\frac{20}{82.52}}} + \frac{120.43}{\sqrt{\frac{20}{120.43}}} + \frac{156.66}{\sqrt{\frac{20}{156.66}}} + \frac{36.16}{\sqrt{\frac{14.97}{36.16}}}} \right]^2$$

**S=0.1729 = 17.29%**

**b) Tiempo de concentración por el método de Kirpich.**

Ya que se obtuvo el valor anterior, continuamos con el tiempo de concentración ( $T_c$ ), el cual se determina:

$$T_c = \frac{0.0662 * L^{0.77}}{S^{0.385}} \longrightarrow = \frac{0.0662 * 1.54^{0.77}}{0.1729^{0.385}}$$

$$T_c = 0.1814 \text{ hr.}$$

Convirtiendo el tiempo de concentración en minutos se tiene:

$$T_c = 0.1814 * (60) = 10.885 \text{ min.}$$

$$\therefore T_c = 11 \text{ min}$$

**c) Cálculo de Intensidad de Lluvia (i).**

Como en la sección de drenaje anterior, se tomará la misma intensidad de lluvia, porque la localización es muy parecida. Entonces, en este caso se quedará de 148mm/hr para un tiempo de concentración de 5 min, en un periodo de retorno de 50 años.

**d) Determinar el coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ).**

Del mismo modo se hará para adquirir el  $C_e$ , ya que no cambia la naturaleza dentro del tramo carretero. Se queda que es una zona forestada con un  $C_e = 0.25$ . Se sigue de acuerdo a la norma de la SCT, M-PRY-CAR-1-06-003-00.

### e) Determinación del gasto máximo de diseño.

Para la determinación del gasto máximo de diseño, se sustituye la formula con los datos que se obtuvieron anteriormente, queda de la siguiente manera:

$$Qd = \frac{(0.25)(116)(0.70)}{3.6} = 5.64 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

**Qd** = gasto de diseño máximo asociado a un periodo de retorno de 50 años, está en m<sup>3</sup>/seg.

**Ce**= coeficiente de escurrimiento de la cuenta, es adimensional (100% Ce= 0.25).

**A**= área de la cuenca, medida en km<sup>2</sup> (0.70).

**i**= intensidad de lluvia, para una duración de lluvia 23 min. y un periodo de retorno de 50 años (i=116 mm/hr)

#### 5.2.1 Funcionamiento de la obra.

Por medio de cálculos numéricos, se deducirá si el funcionamiento de la obra es factible o no. Para realizar una propuesta de una obra que trabaje de una manera correcta.

##### 5.2.1.1. Obra existente

En la obra existente se encuentran tres tubos de lámina con 1.07 m de diámetro y las siguientes características hidráulicas:

- Pendiente del tubo:  $S=7.30\%$ .
- Coeficiente de Manning:  $n= 0.012$ .

Para obtener el área hidráulica, se considera que el tubo trabaja a un 85% de su capacidad.

$$A = 3x \frac{\pi D^2}{4} x 0.85 = 3x \frac{(\pi)(0.107)^2}{4} x 0.85 = 2.29 \text{ m}^2$$

Así mismo, el perímetro mojado se calcula de la siguiente manera:

$$P_m = 3x \left( \frac{\pi}{180} \right) r \alpha = 3x \left( \frac{\pi}{180} \right) x 0.535 x 251.74 = 7.05 \text{ m}$$

Entonces, el radio hidráulico es:

$$R_h = \left( \frac{A}{P_m} \right) = \left( \frac{2.29}{7.05} \right) = 0.33 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de Manning, se tiene:

$$V = \left( \frac{1}{0.012} \right) (0.33)^{2/3} (0.073)^{1/2} = 10.62 \text{ m/s}$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se determina que el gasto con el que funciona la obra trabajando a un 85% de su capacidad, la cual es:

$$Q_o = VA = (10.62)(2.29) = 24.35 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como conclusión se puede obtener que el gasto con el que trabaja la obra existente al 85% de su capacidad ( $24.35 \text{ m}^3/\text{s}$ ), es mayor al gasto máximo de diseño

asociado a un periodo de retorno de 50 años ( $5.64 \text{ m}^3/\text{s}$ ), entonces se puede deducir que la obra existente SI trabaja adecuadamente en el aspecto hidráulico.

### 5.2.1.2. Obra propuesta.

Para la obra propuesta son dos tubos de PAD (Polietileno de Alta Densidad) de 1.22 m de diámetro, con las siguientes características hidráulicas:

- Pendiente del tubo:  $S=7.30\%$ .
- Coeficiente de Manning:  $n= 0.010$ .

Para obtener el área hidráulica, se considera que el tubo trabaja a un 85% de su capacidad.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \times 0.85 = \frac{(\pi)(1.22)^2}{4} \times 0.85 = 0.99 \text{ m}^2$$

Así mismo, el perímetro mojado se calcula de la siguiente manera:

$$P_m = \left(\frac{\pi}{180}\right) r a = \left(\frac{\pi}{180}\right) \times 0.61 \times 250.83 = 2.67 \text{ m}$$

El radio hidráulico es:

$$R_h = \left(\frac{A}{P_m}\right) = \left(\frac{0.99}{2.67}\right) = 0.37 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de Manning, se tiene:

$$V = \left(\frac{1}{0.010}\right) (0.37)^{2/3} (0.073)^{1/2} = 13.94 \text{ m/s}$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se determina que el gasto con el que funciona la obra trabajando a un 85% de su capacidad, la cual es:

$$Q_o = VA = (13.94)(0.99) = 13.85 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como el gasto con el que trabajaría la obra propuesta al 85% de su capacidad ( $13.85 \text{ m}^3/\text{s}$ ), es mayor al gasto máximo de diseño asociado a un periodo de retorno de 50 años ( $5.64 \text{ m}^3/\text{s}$ ), entonces se puede deducir que la obra propuesta Si trabajaría adecuadamente en el aspecto hidráulico.

### **5.3 Cálculos del drenaje km 33+005.**

Como se ha desarrollado en los apartados anteriores, en este caso se hará algo muy similar, la diferencia que se presenta es la localización del proyecto, así como también cambian algunos datos.

#### **a) Pendiente de Taylor – Schwarz.**

La pendiente de un tramo de río es la relación que tiene entre los extremos (inicial y final) y la distancia horizontal que tiene este tramo. La pendiente representa un valor medio, debido a que cada pendiente tiene su propia pendiente. Para esto, Taylor – Schwarz proponen la siguiente ecuación:

$$S = \left[ \frac{L}{\sum \frac{L_j}{\sqrt{Sc_j}}} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{701.64}{\sqrt{\frac{17.62}{75.62}} + \sqrt{\frac{20}{79.37}} + \sqrt{\frac{20}{83.92}} + \sqrt{\frac{20}{68.23}} + \sqrt{\frac{20}{102.82}} + \sqrt{\frac{20}{66.21}} + \sqrt{\frac{20}{82.57}} + \sqrt{\frac{20}{115.64}} + \sqrt{\frac{20}{95.49}}} \right]^2$$

$$S = 0.2106 = 21.06\%$$

### b) Tiempo de concentración por el método de Kirpich.

Teniendo la pendiente media del cauce principal, se tiene que determinar el tiempo de concentración por el método de Kirpich, el cual se determina con la siguiente ecuación:

$$T_c = \frac{0.0662 * L^{0.77}}{S^{0.385}} \longrightarrow = \frac{0.0662 * (0.702)^{0.77}}{(0.2106)^{0.385}}$$

$$T_c = 0.193 \text{ hr.}$$

Convirtiendo el tiempo de concentración en minutos se tiene:

$$T_c = 0.193 \times (60) = 5.51 \text{ min.}$$

$$\therefore T_c = 6 \text{ min}$$

### c) Cálculo de Intensidad de Lluvia (i).

Para una duración de lluvia de 6 minutos y un periodo de retorno de 50 años, se tomará en cuenta que la intensidad de lluvia es de 148 mm/h.

**d) Determinar el coeficiente de escurrimiento (Ce).**

Del mismo modo se hará para adquirir el Ce, ya que no cambia la naturaleza dentro del tramo carretero. Se queda que es una zona forestada con un Ce= 0.25. Se sigue de acuerdo a la norma de la SCT, M-PRY-CAR-1-06-003-00.

**e) Determinación del gasto máximo de diseño.**

Para la determinación del gasto máximo de diseño de las obras de drenaje son tipo semiempírica y se utilizara el método racional, entonces, la sustitución de la fórmula queda de la siguiente manera:

$$Qd = \frac{(0.25)(148)(0.25)}{3.6} = 2.57 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

**Qd** = gasto de diseño máximo asociado a un periodo de retorno de 50 años, está en m<sup>3</sup>/seg.

**Ce**= coeficiente de escurrimiento de la cuenta, es adimensional (100% Ce= 0.25).

**A**= área de la cuenca, medida en km<sup>2</sup> (0.25).

**i**= intensidad de lluvia, para una duración de lluvia 6 min. y un periodo de retorno de 50 años (i=148 mm/hr).

### 5.3.1 Funcionamiento de la obra.

Se dará cuenta dentro de este apartado que da como resultado en la obra existente, y darse cuenta si es mayor o menor el gasto máximo de diseño para poder determinar si trabaja de una manera correcta o incorrecta.

#### 5.3.1.1. Obra existente.

En la obra existente se encuentra un tubo de lámina con 1.07 m de diámetro, con las siguientes características hidráulicas:

- Pendiente del tubo:  $S=10.50\%$ .
- Coeficiente de Manning:  $n= 0.012$ .

Para obtener el área hidráulica, se considera que el tubo trabaja a un 85% de su capacidad.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \times 0.85 = \frac{(\pi)(1.07)^2}{4} \times 0.85 = 0.76m^2$$

Así mismo, el perímetro mojado se calcula de la siguiente manera:

$$P_m = \left(\frac{\pi}{180}\right) r\alpha = \left(\frac{\pi}{180}\right) \times 0.535 \times 251.74 = 2.35m$$

Entonces, el radio hidráulico es:

$$R_h = \left(\frac{A}{P_m}\right) = \left(\frac{0.76}{2.35}\right) = 0.33 m$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de Manning, se tiene:

$$V = \left( \frac{1}{0.012} \right) (0.33)^{2/3} (0.105)^{1/2} = 12.77 \text{ m/s}$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se determina que el gasto con el que funciona la obra trabajando a un 85% de su capacidad, la cual es:

$$Q_o = VA = (12.77)(0.76) = 9.76 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se puede obtener que el gasto con el que trabaja la obra existente al 85% de su capacidad (9.76 m<sup>3</sup>/s), es mayor al gasto máximo de diseño asociado a un periodo de retorno de 50 años (2.57 m<sup>3</sup>/s), entonces se puede deducir que la obra existente SI trabaja adecuadamente en el aspecto hidráulico.

#### 5.3.1.2. Obra propuesta.

Para la obra propuesta es un tubo de PAD (Polietileno de Alta Densidad) de 1.22 m de diámetro, con las siguientes características hidráulicas:

- Pendiente del tubo: S=10.50%.
- Coeficiente de Manning: n= 0.010.

Para obtener el área hidráulica, se considera que el tubo trabaja a un 85% de su capacidad.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \times 0.85 = \frac{(\pi)(1.22)^2}{4} \times 0.85 = 0.99 \text{ m}^2$$

Así mismo, el perímetro mojado se calcula de la siguiente manera:

$$P_m = \left(\frac{\pi}{180}\right) r a = \left(\frac{\pi}{180}\right) x 0.61 x 250.83 = 2.67 \text{ m}$$

El radio hidráulico es:

$$R_h = \left(\frac{A}{P_m}\right) = \left(\frac{0.99}{2.67}\right) = 0.37 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de Manning, se tiene:

$$V = \left(\frac{1}{0.010}\right) (0.37)^{2/3} (0.105)^{1/2} = 16.76 \text{ m/s}$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se determina que el gasto con el que funciona la obra trabajando a un 85% de su capacidad, la cual es:

$$Q_o = VA = (16.76)(0.99) = 16.66 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como el gasto con el que trabajaría la obra propuesta al 85% de su capacidad (16.66 m<sup>3</sup>/s), es mayor al gasto máximo de diseño asociado a un periodo de retorno de 50 años (2.57 m<sup>3</sup>/s), entonces se puede deducir que la obra propuesta SI trabajaría adecuadamente en el aspecto hidráulico.

#### **5.4 Cálculos del drenaje km 33+445.**

En esta parte se realizarán los mismos cálculos para la darse cuenta si el volumen del gasto que pasa por esta obra da abasto para desfogar el agua que entra a la tubería.

**a) Pendiente de Taylor – Schwarz.**

Para calcular la pendiente media, por el método de Taylor – Schwarz, se cuenta con el programa ArcView, que de manera automática la calcula. En la fórmula se sustituye la longitud total del río (L), la longitud de cada tramo (lj) y la pendiente de cada tramo (Scj).

$$S = \left[ \frac{L}{\sum \frac{L_j}{\sqrt{S_{c_j}}}} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{1679.98}{\sqrt{\frac{112.09}{13.54}} + \sqrt{\frac{121.65}{20}} + \sqrt{\frac{109.65}{20}} + \sqrt{\frac{68.23}{20}} + \sqrt{\frac{130.67}{20}} + \sqrt{\frac{80.16}{20}} + \sqrt{\frac{86.53}{20}} + \sqrt{\frac{97.13}{20}} + \sqrt{\frac{175.67}{20}} + \sqrt{\frac{97.67}{20}}} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{1679.98}{\sqrt{\frac{20}{60.11}} + \sqrt{\frac{20}{82.52}} + \sqrt{\frac{20}{120.43}} + \sqrt{\frac{20}{156.66}} + \sqrt{\frac{20}{80.75}} + \sqrt{\frac{20}{70.73}} + \sqrt{\frac{4.43}{29.33}}} \right]^2$$

$$S=0.1758 = 17.58\%$$

**b) Tiempo de concentración por el método de Kirpich.**

$$T_c = \frac{0.0662 * L^{0.77}}{S^{0.385}} \longrightarrow = \frac{0.0662 * (1.68)^{0.77}}{(0.1758)^{0.385}}$$

$$T_c = 0.193 \text{ hr.}$$

Convirtiendo el tiempo de concentración en minutos se tiene:

$$T_c = 0.193 \times (60) = 11.57 \text{ min.}$$

$$\therefore T_c = 12 \text{ min}$$

**c) Cálculo de Intensidad de Lluvia (i).**

Entonces, en este caso se quedará de 115 mm/hr para un tiempo de concentración de 12 min, en un periodo de retorno de 50 años.

**d) Determinar el coeficiente de escurrimiento (Ce).**

Se tiene que es una zona forestada con un  $C_e = 0.25$ . Tal como indica la norma de la SCT, M-PRY-CAR-1-06-003-00.

**e) Determinación del gasto máximo de diseño.**

Para obtener el gasto máximo de diseño, se sustituirá el coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ), el área que tiene la cuenca ( $A$ ), y la intensidad de lluvia, la cual queda de la siguiente manera:

$$Q_d = \frac{(0.25)(115)(0.75)}{3.6} = 5.99 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

**Qd** = gasto de diseño máximo asociado a un periodo de retorno de 50 años, está en  $m^3/seg$ .

**Ce**= coeficiente de escurrimiento de la cuenta, es adimensional (100%  $Ce= 0.25$ ).

**A**= área de la cuenca, medida en  $km^2$  (0.75).

**i**= intensidad de lluvia, para una duración de lluvia 12 min. y un periodo de retorno de 50 años ( $i=115$  mm/hr).

#### **5.4.1 Funcionamiento de la obra.**

Se determinará si el drenaje que tiene este kilometraje trabaja de una manera correcta o no, y si desarrolla un proceso negativo, se pretende cambiar de tubería para extender el diámetro. Al final del cálculo se decidirá la solución para este caso.

##### **5.4.1.1. Obra existente.**

En la obra existente se encuentra un tubo de lámina con 1.22 m de diámetro, con las siguientes características hidráulicas:

- Pendiente del tubo:  $S=17.10\%$ .
- Coeficiente de Manning:  $n= 0.012$ .

Para obtener el área hidráulica, se considera que el tubo trabaja a un 85% de su capacidad.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \times 0.85 = \frac{(\pi)(0.122)^2}{4} \times 0.85 = 0.99 \text{ m}^2$$

Así mismo, el perímetro mojado se calcula de la siguiente manera:

$$P_m = \left(\frac{\pi}{180}\right) r\alpha = \left(\frac{\pi}{180}\right) \times 0.61 \times 250.83 = 2.67 \text{ m}$$

Entonces, el radio hidráulico es:

$$R_h = \left(\frac{A}{P_m}\right) = \left(\frac{0.99}{2.67}\right) = 0.37 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de Manning, se tiene:

$$V = \left(\frac{1}{0.012}\right) (0.37)^{2/3} (0.171)^{1/2} = 17.84 \text{ m/s}$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se determina que el gasto con el que funciona la obra trabajando a un 85% de su capacidad, la cual es:

$$Q_o = VA = (17.84)(0.99) = 17.72 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se puede obtener que el gasto con el que trabaja la obra existente al 85% de su capacidad (17.72 m<sup>3</sup>/s), es mayor al gasto máximo de diseño asociado a un periodo de retorno de 50 años (5.99 m<sup>3</sup>/s), entonces se puede deducir que la obra existente SI trabaja adecuadamente en el aspecto hidráulico.

#### 5.4.1.2. Obra propuesta.

Para la obra propuesta es un tubo de PAD (Polietileno de Alta Densidad) de 1.22 m de diámetro, con las siguientes características hidráulicas:

- Pendiente del tubo:  $S=17.10\%$ .
- Coeficiente de Manning:  $n= 0.010$ .

Para obtener el área hidráulica, se considera que el tubo trabaja a un 85% de su capacidad.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \times 0.85 = \frac{(\pi)(1.22)^2}{4} \times 0.85 = 0.99 m^2$$

Así mismo, el perímetro mojado se calcula de la siguiente manera:

$$P_m = \left(\frac{\pi}{180}\right) r a = \left(\frac{\pi}{180}\right) \times 0.61 \times 250.83 = 2.67 m$$

El radio hidráulico es:

$$R_h = \left(\frac{A}{P_m}\right) = \left(\frac{0.99}{2.67}\right) = 0.37 m$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de Manning, se tiene:

$$V = \left(\frac{1}{0.010}\right) (0.37)^{2/3} (0.171)^{1/2} = 21.40 m/s$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se determina que el gasto con el que funciona la obra trabajando a un 85% de su capacidad, la cual es:

$$Q_o = VA = (21.40)(0.99) = 21.27 m^3/s$$

Como el gasto con el que trabajaría la obra propuesta al 85% de su capacidad (21.27 m<sup>3</sup>/s), es mayor al gasto máximo de diseño asociado a un periodo de retorno de 50 años (5.99 m<sup>3</sup>/s), entonces se puede deducir que la obra propuesta Si trabajaría adecuadamente en el aspecto hidráulico.

### 5.5 Cálculos del drenaje km 39+295.

En este apartado se va a calcular de manera similar a los apartados anteriores, la diferencia que se tiene es la localización del proyecto, así como algunos datos.

#### a) Pendiente de Taylor – Schwarz.

Taylor – Schwarz proponen la siguiente ecuación, donde se sustituye la longitud total del río (L), en el dividendo se toma la sumatoria de cada tramo en el río (Lj), así como la pendiente (Scj).

$$S = \left[ \frac{L}{\sum \frac{L_j}{\sqrt{Sc_j}}} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{1566.59}{\frac{120.51}{\sqrt{\frac{20}{120.51}}} + \frac{148.09}{\sqrt{\frac{20}{148.09}}} + \frac{116.57}{\sqrt{\frac{20}{116.57}}} + \frac{213.75}{\sqrt{\frac{20}{213.75}}} + \frac{367.10}{\sqrt{\frac{20}{367.10}}} + \frac{230.71}{\sqrt{\frac{20}{230.71}}} + \frac{369.86}{\sqrt{\frac{20}{369.86}}}} \right]^2$$

$$S=0.0426 = 4.26\%$$

**b) Tiempo de concentración por el método de Kirpich.**

$$T_c = \frac{0.0662 * L^{0.77}}{S^{0.385}} \longrightarrow = \frac{0.0662 * (1.57)^{0.77}}{(0.0426)^{0.385}}$$

$$T_c = 0.315 \text{ hr.}$$

Convirtiendo el tiempo de concentración en minutos se tiene:

$$T_c = 0.315 \times (60) = 18.92 \text{ min.}$$

$$\therefore T_c = 19 \text{ min}$$

**c) Cálculo de Intensidad de Lluvia (i).**

De acuerdo a la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST), en este caso se tomará de 109 mm/hr para un tiempo de concentración de 19 min, en un periodo de retorno de 50 años.

**d) Determinar el coeficiente de escurrimiento (Ce).**

Del mismo modo se hará para adquirir el Ce, se toma que es una zona forestada con un Ce= 0.20. Se sigue de acuerdo a la norma de la SCT, M-PRY-CAR-1-06-003-00.

### e) Determinación del gasto máximo de diseño.

Para obtener el gasto máximo de diseño, se sustituirá el coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ), el área que tiene la cuenca ( $A$ ), y la intensidad de lluvia.

$$Q_d = \frac{(0.20)(109)(0.92)}{3.6} = 5.58 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

**Q<sub>d</sub>** = gasto de diseño máximo asociado a un periodo de retorno de 50 años, está en m<sup>3</sup>/seg.

**C<sub>e</sub>**= coeficiente de escurrimiento de la cuenta, es adimensional (100% C<sub>e</sub>= 0.20).

**A**= área de la cuenca, medida en km<sup>2</sup> (0.92).

**i**= intensidad de lluvia, para una duración de lluvia 19 min. y un periodo de retorno de 50 años (i=116 mm/hr)

#### 5.5.1 Funcionamiento de la obra.

Al igual que en los casos anteriores, se tiene el fin de llegar al resultante del gasto máximo de diseño y el gasto con el que trabaja cada obra, para determinar si tiene un buen funcionamiento o no. Y si existe alguna falla proponer un diámetro de tubería y el material con el que se quiere restaurar la obra.

### 5.5.1.1. Obra existente.

En la obra existente se encuentra un tubo de lámina con 0.75 m de diámetro, con las siguientes características hidráulicas:

- Pendiente del tubo:  $S=12.40\%$ .
- Coeficiente de Manning:  $n= 0.012$ .

Para obtener el área hidráulica, se considera que el tubo trabaja a un 85% de su capacidad.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \times 0.85 = \frac{(\pi)(0.75)^2}{4} \times 0.85 = 0.38 \text{ m}^2$$

Así mismo, el perímetro mojado se calcula de la siguiente manera:

$$P_m = \left(\frac{\pi}{180}\right) r \alpha = \left(\frac{\pi}{180}\right) \times 0.535 \times 252.07 = 1.65 \text{ m}$$

Entonces, el radio hidráulico es:

$$R_h = \left(\frac{A}{P_m}\right) = \left(\frac{0.38}{1.65}\right) = 0.33 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de Manning, se tiene:

$$V = \left(\frac{1}{0.012}\right) (0.23)^{2/3} (0.124)^{1/2} = 10.93 \text{ m/s}$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se determina que el gasto con el que funciona la obra trabajando a un 85% de su capacidad, la cual es:

$$Q_o = VA = (10.93)(0.38) = 4.10 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se puede obtener que el gasto con el que trabaja la obra existente al 85% de su capacidad ( $4.10 \text{ m}^3/\text{s}$ ), es mayor al gasto máximo de diseño asociado a un periodo de retorno de 50 años ( $5.58 \text{ m}^3/\text{s}$ ), entonces se puede deducir que la obra existente NO trabaja adecuadamente en el aspecto hidráulico.

#### 5.5.1.2. Obra propuesta.

Para la obra propuesta son un tubo de PAD (Polietileno de Alta Densidad) de 1.22 m de diámetro, con las siguientes características hidráulicas:

- Pendiente del tubo:  $S=12.40\%$ .
- Coeficiente de Manning:  $n= 0.010$ .

Para obtener el área hidráulica, se considera que el tubo trabaja a un 85% de su capacidad.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \times 0.85 = \frac{(\pi)(1.22)^2}{4} \times 0.85 = 0.99 \text{ m}^2$$

Así mismo, el perímetro mojado se calcula de la siguiente manera:

$$P_m = \left(\frac{\pi}{180}\right) r a = \left(\frac{\pi}{180}\right) \times 0.61 \times 250.83 = 2.67 \text{ m}$$

El radio hidráulico es:

$$R_h = \left(\frac{A}{P_m}\right) = \left(\frac{0.99}{2.67}\right) = 0.37 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores en la ecuación de Manning, se tiene:

$$V = \left( \frac{1}{0.010} \right) (0.37)^{2/3} (0.124)^{1/2} = 18.19 \text{ m/s}$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se determina que el gasto con el que funciona la obra trabajando a un 85% de su capacidad, la cual es:

$$Q_o = VA = (18.19)(0.99) = 18.08 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como el gasto con el que trabajaría la obra propuesta al 85% de su capacidad (18.08 m<sup>3</sup>/s), es mayor al gasto máximo de diseño asociado a un periodo de retorno de 50 años (5.58 m<sup>3</sup>/s), entonces se puede deducir que la obra propuesta Si trabajaría adecuadamente en el aspecto hidráulico.

## CONCLUSIÓN

Al inicio de esta investigación se planteó un objetivo general que era calcular y proponer la reconstrucción del drenaje transversal localizados en la carretera Federal No. 14 Morelia – Uruapan, del tramo Pátzcuaro – Uruapan, ubicados en los kilometrajes 30+225, 32+775, 33+005, 33+445 y 39+295, los datos se obtuvieron gracias a métodos matemáticos que permitieron llegar a un resultado factible, para lograr alcanzar el objetivo que se presentó desde un inicio.

Además del objetivo general, se plantearon otros objetivos, en este caso, son los particulares, el primero fue conceptualizar una vía terrestre, el cual quedó respondido en el capítulo 1 de manera satisfactoria, gracias a la investigación que se realizó. El segundo fue definir un drenaje, donde se le dio respuesta en el capítulo 2, de manera satisfactoria, gracias a la información que se recabó en diversos libros. El tercero es la clasificación que presenta un drenaje, del mismo modo también se cumplió, por la información que se tuvo de algunos libros, así como también en archivos de la SCT y se encuentra en mismo capítulo que el objetivo pasado, en el capítulo 2. El cuarto, es determinar un método para el cálculo del drenaje, el cual quedó plasmado en el capítulo 5, gracias a las normas y los manuales que comparte la Secretaria de Comunicaciones y Transporte (SCT). Finalmente, el último objetivo particulares analizar los datos arrojados y proponer una nueva tubería, esto se logró con ayuda de los programas de computadora, así como también con las normas y manuales que proporciona la SCT, donde se pudo comparar el gasto con el que

trabaja la tubería actual y el gasto máximo asociado con un determinado periodo de retorno.

De la pregunta planteada al inicio de la investigación ¿Cuáles serán los cálculos para determinar si el drenaje transversal localizado en los kilómetros 30+225, 32+775, 33+005, 33+445 y 39+295 del tramo Pátzcuaro - Uruapan, de la Carretera Federal No. 14 Morelia – Uruapan, trabaja de manera correcta y proponer la construcción de los mismos? Se le pudo dar solución gracias a los cálculos que se realizaron en el capítulo 5, donde gracias a distintos programas de computadora, permitieron lograr un resultado factible, y era el que se esperaba a lo largo de esta investigación.

En cuanto a las preguntas secundarias, generadas a partir de la pregunta de investigación se van a ir redactando en los siguientes párrafos.

Una carretera debe de entenderse como el conjunto de caminos que se localizan dentro de un área determinada, puede ser en una ciudad, región o nación, la cual permite el tránsito de los vehículos entre dos puntos de la misma, que a su vez se puede ir enlazando una región con las demás vías exteriores que la rodean formando una red con bastantes conexiones entre las vías para permitir el desplazamiento.

Entonces, una obra de drenaje debe de comprenderse al conjunto de distintas obras cuyo objetivo está diseñado para la recepción, canalización y evacuación de agua que pueda afectar el suelo. El drenaje se divide en dos tipos muy importantes: superficial y subterráneo. Donde el superficial está compuesto por el drenaje longitudinal, que son: las cunetas, contra cunetas, bordillos y canales de

encausamiento, por otro lado, el drenaje transversal, se conforma por; tubos, losas, cajones, bóvedas, lavaderos, alcantarillas, vados, sifones invertidos, puentes y bombeo de la corona. La segunda clasificación, el subterráneo, lo conforma lo que son las zanjas, drenes de zanja y drenes ciegos.

El agua tiene un papel muy importante para que cualquier edificación cumpla con su óptimo funcionamiento. La importancia de una obra de drenaje en una carretera es fundamental, debido a que el objetivo principal de la misma, es reducir de una forma máxima la posibilidad de que el agua llegue de una u otra forma a la carretera. Teniendo un correcto funcionamiento del drenaje, se pueden evitar demasiados accidentes automovilísticos, la formación de socavones en la superficie de rodadura (carpeta asfáltica), deslaves, etc.

Por otro lado, la función de un sistema de drenaje en una carretera es alejar el agua de la lluvia dentro del camino, así mismo el agua del derecho de vía de la misma carretera. En donde se debe de abastecer las condiciones propias del drenaje superficial como el drenaje subterráneo.

Cabe mencionar que algunas obras el gasto con el que trabajaba la obra existente es mayor al gasto de diseño asociado con el periodo de retorno determinado, por lo que se puede concluir que la obra trabaja de manera correcta con el aspecto hidráulico, sin embargo, dichas obras cuentan con grandes daños como aplastamiento, desprendimiento y fisuras, por lo que se deben de cambiar por el mal estado en el que se encuentran.

## BIBLIOGRAFÍA

Aparicio Mijares, Francisco Javier. (1992)

Fundamentos de hidrología de Superficie.

Ed. Limusa, México.

Bañón Blázquez, Luis y Beviá García José F. (2000)

Manual de carreteras I.

Ed. Ortiz, España.

Cal y Mayor Reyes Spíndola, Rafael y Cárdenas Grisales, James. (1994)

Ingeniería de Tránsito.

Ed. Alfaomega, México.

Campos Aranda, D.F. (1998)

Procesos del ciclo hidrológico.

Ed. Universitaria Potosina, México.

Crespo Villalaz, Carlos. (2004)

Vías de comunicación, caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.

Ed. Limusa, México.

H. Oglesby, Clarkson e I. Hewes, Lawrence. (1969)

Ingeniería de carreteras: calles, viaductos y pasos a desnivel.

Ed. Continental, México.

H. Wright, Paul. (1993)

Ingeniería de Carreteras.

Ed. Limusa, México.

Hernández Sampieri, Roberto y Fernández Collado, Carlos y Baptista Lucio. (2005)

Metodología de la investigación.

Ed. Mc Graw Hill, México.

Juárez Badillo y Rico Rodríguez. (2001)

Mecánica de Suelos.

Ed. Limusa, México.

Kraemer, Carlos y colaboradores. (2009)

Ingeniería de carreteras.

Ed. Mc Graw Hill, México.

Mendieta Alatorre, Ángeles. (2000)

Métodos de investigación y manual académico.

Ed. Porrúa, México.

Mier Sotelo, José Alfonso. (1987)

Introducción a la ingeniería de caminos.

UMNSH, México.

Montejo Fonseca, Alfonso. (1997)

Ingeniería de Pavimentos.

Ed. Universidad Católica de Colombia, Colombia.

Montero Díaz, Ulises. (2008)

Revisión de obras de drenaje de la carretera Tarecuato - Los Huacares del km.

0+000 al km. 2+080.

Tesis inédita de la Escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Don Vasco A. C., de Uruapan Michoacán, México.

Pérez Carmona, Rafael. (2013)

Diseño y construcción de alcantarillados sanitarios, pluvial y drenaje en carreteras.

Ed. ECOE, Bogotá.

Ruiz Rincón, María Guadalupe. (2008)

Propuesta del sistema de drenaje del tramo carretero El Durazno – Cutzato del km 2+600 al 5+000 en el Municipio de Uruapan, Mich.

Tesis inédita de la Escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Don Vasco A. C., de Uruapan Michoacán, México.

S. Merritt, Frederick, Kent Loftin, M. y T. Ricketts, Jonathan. (1999)

Manual del ingeniero civil.

Ed. Mc Graw Hill, México.

Sánchez Trejo, Luis Ángel y Molina Duarte, Adolfo. (2014)

Diseño del proyecto geométrico y drenaje del tramo carretero “Los Cultivos-Río Escondido”, del km 0+000 al km 1+625 en el municipio de Uruapan, Mich.

Tesis inédita de la Escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Don Vasco A. C., de Uruapan Michoacán, México.

Tamayo y Tamayo, Mario. (2004)

El proceso de la investigación científica

Ed. Limusa, México.

## OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Historia de las carreteras.

<http://www.arqhys.com/contenidos/carreteras-historia.htm>

Municipios de Michoacán.

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM16michoacan/municipios/16066a.html>

Estado de Michoacán.

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM16michoacan/index.html>

Imagen ciclo del agua.

<http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v11n3/fernandez%20fig2.jpg>

Geografía de México.

<http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/1->

[GeografiaDeMexico/MAN\\_REFGEOG\\_EXTTERR\\_VS\\_ENERO\\_30\\_2088.pdf](http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/1-GeografiaDeMexico/MAN_REFGEOG_EXTTERR_VS_ENERO_30_2088.pdf)

Territorio Mexicano.

<http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/default.aspx?tema=T>

Estado de Michoacán.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Michoac%C3%A1n#Referencias>

Datos sobre la región de Pátzcuaro.

[http://www.visitmichoacan.com.mx/conoce-region\\_patzcuaro\\_5.aspx](http://www.visitmichoacan.com.mx/conoce-region_patzcuaro_5.aspx)

Geografía del estado de Michoacán.

<http://www.explorandomexico.com.mx/state/15/Michoacan/geography/>

Ubicación y características del estado de Michoacán.

[http://www.elclima.com.mx/ubicacion\\_y\\_caracteristicas\\_fisicas\\_de\\_michoacan.htm](http://www.elclima.com.mx/ubicacion_y_caracteristicas_fisicas_de_michoacan.htm)

Datos culturales sobre Michoacán.

[www.visitmichoacan.com.mx](http://www.visitmichoacan.com.mx)

Historia sobre la población de Pátzcuaro.

<http://www.patzcuaro.com/historia/index.html>

Mapa del estado de Michoacán con división política.

<http://www.cabildo.com.mx/portal/index.php/sondeos-y-encuestas/898-primer-encuesta-estatal-en-vivienda-michoacan>

Principales cuerpos de agua de Michoacán.

<http://www.mapahidrografico.com/567/mapa-hidrografico-de-michoacan-mexico.html>

Recursos naturales (flora y fauna) del estado de Michoacán.

[http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mich/territorio/recursos\\_naturales.aspx?tema=me](http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mich/territorio/recursos_naturales.aspx?tema=me)

Clima del estado de Michoacán.

<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mich/territorio/clima.aspx?tema=me&e=16>

Isoyetas para obtener la intensidad de lluvia.

<http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Isoyetas/michoacan.pdf>

Datos del Estado de Michoacán.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Michoac%C3%A1n>

Datos generales de la Localidad de Pátzcuaro.

<http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioPatzcuaro.pdf>

Localización del estado de Michoacán.

<http://attractivosdemichoacan.blogspot.mx/>

Manual para el proyecto de drenaje carretero.

<http://normas.imt.mx/normativa/M-PRY-CAR-1-06-004-00.pdf>

Alcantarillas de tubos corrugados de Polietileno de Alta Densidad.

<http://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-03-014-09.pdf>

Limpieza de alcantarillas.

<http://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-2-01-003/01.pdf>

Reparación mayor de alcantarillas.

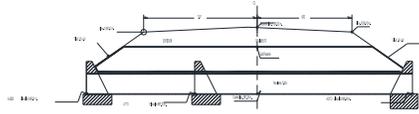
<http://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-4-01-003/02.pdf>

Reparación de alcantarillas.

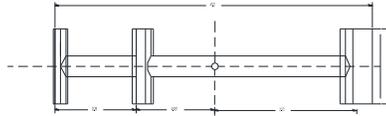
<http://normas.imt.mx/normativa/N-CSV-CAR-3-01-003/02.pdf>

**ANEXOS**

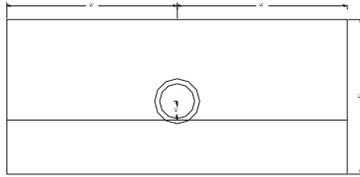




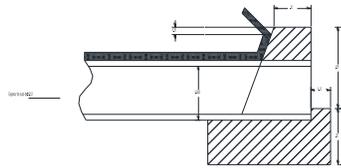
ELEVACIÓN



PLANTA



VISTA A-A'



SECCIÓN NORMAL



QUANTIFICATIVOS:

Concepto	Cantidad	Unidad
Tubo de 1.20 m de diámetro	62.50	m
Bocanada	742.2	m <sup>2</sup>
Relevo	602.1	m <sup>2</sup>
Manopostoria de 3era clase	65.1	m <sup>2</sup>
Rejilla	6.2	m <sup>2</sup>
Desplazamiento	342.0	m



CANTABILIDAD DE TUBO P.A.B. DE 1.20M EN EL KM 20+371.1  
CARRETERA FEDERAL No. 14

PLANTA, ELEVACIÓN, SECCIONES

S/E

ANEXO 2





