



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

**DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DEL TRAMO  
CARRETERO 0+000 AL KM 1+840 DE LA CARRETERA  
“CAMINO VIEJO A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE  
CFE” EN EL MUNICIPIO DE URUAPAN, MICHOACÁN.**

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

**Mario Alberto Torres Cabrera**

Asesor: Ing. José Antonio Sánchez Corza

Uruapan, Michoacán, a 12 de Diciembre del 2018.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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. . . . .	2
Objetivo. . . . .	3
Pregunta de investigación. . . . .	4
Justificación. . . . .	4
Marco de referencia. . . . .	4

## **Capítulo 1.- Vías terrestres.**

1.1 concepto de vías terrestres. . . . .	7
1.2. Historia de las vías terrestres. . . . .	7
1.3. Las vías terrestres en México. . . . .	8
1.4. Definición de Terracerías y partes que lo conforman. . . . .	9
1.4.1. Cuerpo del terraplén. . . . .	9
1.4.2. Construcción del cuerpo del terraplén. . . . .	10
1.5. Características y funciones de la capa subrasante. . . . .	10
1.6. Terracerías en caminos de bajo volumen de tránsito. . . . .	12

1.7. Tránsito..	12
1.7.1. Características del tránsito.	13
1.7.1.1. Tránsito diario promedio anual.	13
1.7.1.2. Tránsito en el carril de diseño.	14
1.7.1.3. Composición del tránsito.	14
1.8. Caminos y carreteras..	16
1.9. Clasificación de las carreteras.	16
1.10. Alineamiento.	18
1.11. Velocidad.	19
1.12. Métodos de medición de velocidades.	21
1.13. Volumen de tránsito..	22
1.14. Tipo de tránsito.	22
1.15. Capacidad de un camino.	23
1.16. Factores que reducen la capacidad de las carreteras.	23
1.17. Curvatura.	26
1.18. Sobreelevación.	27
1.19. Ampliación.	28
1.20. Transición.	29

1.21. Pendiente.	30
1.22. Visibilidad.	30
1.23. Ancho de sección.	31
1.24. Derecho de vía.	32

## **Capítulo 2.- Pavimentos.**

2.1. Concepto de pavimento.	33
2.2. Pavimento flexible.	35
2.3. Características de un pavimento flexible.	38
2.4. Capas de los pavimentos.	42
2.5. Funciones y características de bases y sub-bases.	42
2.6. Procedimientos de construcción para las bases y sub-bases.	43
2.7. Estructuración de los pavimentos flexibles.	47
2.8. Tipos de fallas en los pavimentos flexibles.	48
2.9. Pavimento rígido.	49
2.10. Capas y funciones del pavimento rígido.	50
2.11. Propiedades de la sub-base y suelos de apoyo.	56
2.12. Juntas.	57

2.13. Método del instituto de ingeniería de la UNAM para diseño de pavimento flexible. . . . .	58
--	----

### **Capítulo 3.- Resumen de macro y microlocalización.**

3.1. Generalidades. . . . .	63
3.1.1. Objetivo. . . . .	64
3.1.2. Alcance del proyecto. . . . .	64
3.3. Entorno geográfico. . . . .	64
3.3.1. Macro y Microlocalización. . . . .	64
3.3.2. Geología regional y de la zona en estudio. . . . .	69
3.3.3. Hidrología regional y de la zona en estudio. . . . .	70
3.3.4. Uso del suelo regional y de la zona en estudio. . . . .	71
3.4. Informe fotográfico. . . . .	72
3.4.1. Problemática. . . . .	80
3.4.2. Estado físico actual. . . . .	80
3.5. Alternativas de solución. . . . .	80
3.5.1. Planteamiento de alternativas. . . . .	81
3.6. Procesos de análisis. . . . .	81

## **Capítulo 4.- Metodología.**

4.1. Método empleado. . . . .	82
4.1.1. Método matemático. . . . .	83
4.2. Enfoque de investigación. . . . .	84
4.2.1. Alcance de tu investigación. . . . .	85
4.3. Diseño de investigación. . . . .	86
4.4. Instrumentos de recopilación de datos. . . . .	88
4.5. Descripción del proceso de investigación. . . . .	88

## **Capítulo 5.- Cálculo, análisis e interpretación de los resultados.**

5.1. Aforo vehicular. . . . .	90
5.2. Valor Relativo de Soporte (VRS). . . . .	95
5.3. Diseño de pavimento flexible por el método de la UNAM. . . . .	100
5.4. Proceso constructivo. . . . .	111
Conclusiones. . . . .	117
Bibliografía. . . . .	122

# INTRODUCCIÓN.

## **Antecedentes.**

Hoy en día se tiene demasiados medios de comunicación los cuales son de mucha importancia en la vida del ser humano, ya que por medio de las vías de comunicación pueden comunicarse o transportarse a cualquier parte, así como para el caso de la comercialización, es por esto que día a día se requiere nuevos caminos para el transporte de productos, así como también de personas ya que las vías terrestres es uno de los medios de transportes más utilizados.

“La carretera se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada” (Crespo; 1996: 1). “Por necesidad los primeros caminos fueron de tipo peatonal (veredas) que las tribus nómadas formaban al deambular por las regiones que les proporcionaban sus alimentos, posteriormente, al tornarse en sedentarias, estos caminos peatonales tuvieron finalidades religiosas, comerciales y de conquistas”. (Olivera; 2006: 13)

En esta tesis se hablará del diseño de un pavimento como está formado mencionando cada capa en el pavimento, tanto su funcionamiento que tienen en suelo, como sus cualidades. Haciendo así posible que resista todas las cargas para el cual se está diseñando.

Se encontró en la biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C varias tesis relacionadas con el diseño de pavimento flexible y algunas otras hablan de



manera relacionada con el tema, como es el diseño de un proyecto geométrico. En seguida se hablará un poco más de estas tesis:

En la investigación hecha por Leopoldo Ortega Lira con el título de: Diseño de pavimento flexible del tramo “Camino Viejo a Santa Rosa”, del km 0+000 al km 0+959 en el municipio de Uruapan, Michoacán, en el año 2015 teniendo como objetivo principal diseñar el pavimento flexible del tramo “Camino Viejo a Santa Rosa”. Y que finalmente se llegó a la conclusión de que se pudo resolver el diseño de manera adecuada, así como el aforo y tipos de caminos existentes.

También se tiene la tesis de Omar Jerzain Vargas Martínez con el título de: Diseño del proyecto geométrico para el tramo carretero del Camino Viejo a la Hidroeléctrica de CFE en el municipio de Uruapan, Michoacán, en el año 2012. Teniendo como objetivo general diseñar el proyecto geométrico para el tramo carretero del Camino Viejo a la Hidroeléctrica de la Comisión Federal de Electricidad en la ciudad de Uruapan. Finalmente se llegó a la conclusión de que el diseño idóneo para el tramo en el estudio tendrá un cadenamiento de 0+000 a 1+020 cumpliendo con las normas establecidas.

### **Planteamiento del problema.**

Se dice que para hacer un pavimento flexible son varios puntos a considerar para el diseño de este tramo carretero ya que es necesario contar con una velocidad de proyecto tanto como aforo vehicular, estudios de mecánica de suelos entre muchos otros aspectos necesarios sólo mencionando algunos de los principales para efectuarse.

Este tramo carretero es una brecha de terracería y por lo general no tiene un tráfico relativamente grande, ya que las personas que habitan alrededor son pocas en varios fraccionamientos del tramo Camino Viejo a la Central Hidroeléctrica de CFE. Además, a su alrededor están ubicadas varias huertas de aguacate, para este problema se tiene que tomar a consideración la afluencia vehicular para las velocidades de proyecto recomendables con el propósito de mejorar el tramo carretero, dando una mejor comodidad para los habitantes que se trasladan por esta brecha. ¿Cuál será el diseño de pavimento flexible óptimo para el tramo carretero 0+000 al km 1+840 de la carretera “Camino Viejo a la Central Hidroeléctrica de CFE” en el municipio de Uruapan, Michoacán? Por el cual es necesario encontrar el diseño óptimo de un pavimento flexible para así resolver el problema.

**Objetivo.**

Diseñar un pavimento flexible para el tramo carretero 0+000 al km 1+840 de la carretera “camino viejo a la central hidroeléctrica de CFE” en el municipio de Uruapan Michoacán.

1. Determinar el tránsito vehicular.
2. Definir vías terrestres
3. Definir caminos y tipos de caminos
4. Señalar las partes de un pavimento flexible
5. Señalar las velocidades de proyecto
6. Definir pavimentos

### **Pregunta de investigación.**

¿Cuál será el diseño óptimo para el tramo carretero “Camino Viejo a la Central Hidroeléctrica de CFE” en el municipio de Uruapan, Michoacán?

### **Justificación.**

Para esta investigación se plantea recaudar algunos de los conocimientos ya antes obtenidos por otras investigaciones acerca del diseño del pavimento flexible, para que después sea de gran uso por las personas de los fraccionamientos que habitan cercas de ese tramo carretero, al igual que a los dueños de las huertas que están alrededor, como a los mismos trabajadores de la Central Hidroeléctrica de CFE brindándoles así una mejor comodidad al transitar por esta carretera.

Además, cabe mencionar que se llega a beneficiar a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C, ya que generaciones futuras podrán acceder a esta investigación si están interesados en el tema, o si les sirve de referencia.

### **Marco de referencia.**

Tomando como base lo señalado por la siguiente página electrónica [www.inafed.gob.mx](http://www.inafed.gob.mx) (2016) Uruapan proviene de la palabra tarasca "uruapani" y significa "el florecer y fructificar de una planta al mismo tiempo". Se dice que Uruapan fue habitado por tarascos, localizándose varios restos arqueológicos aun sin estudiarse. En el año 1400 fue conquistado y anexado por señores de Pátzcuaro, Tzinzuntzan e Ihuatzio. Con la llegada de los españoles y la conquista

del reino tarasco, el último calzonci se refugió en Uruapan, motivo por el cual llegaron extranjeros. En 1534 fue evangelizado por los franciscanos, considerándose a Fray Juan de San Miguel, fundador de la ciudad. En 1540 se establece como República de Indios.

En 1754 el curato de Uruapan se componía de tres pueblos: San Francisco Jicalán, Francisco Jucutacato y San Lorenzo. Además, se formaba por una ranchería llamada Tiamba, la hacienda de Carasa y San Marcos. En 1822 cuenta ya con Ayuntamiento Constitucional. El 28 de noviembre de 1858, se le nombra Ciudad del Progreso por la gran importancia durante la guerra de independencia. El 21 de octubre de 1865 fueron fusilados en Uruapan los republicanos Arteaga, Salazar, Villagómez y Díaz González, mejor conocidos como los Mártires de 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 metros sobre el nivel del mar. 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.

Su superficie es de 1014.34 km<sup>2</sup> y representa 1.62% del total del Estado. Su relieve está conformado con el sistema volcánico transversal, y los cerros de la Charanda, la Cruz, Jicalán y Magdalena. Su hidrografía se constituye por el río Cupatitzio, las presa Caltzontzin, Salto Escondido y la cascada conocida como La Tzaráracua.

Su clima es templado y tropical con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 1, 759. 3 milímetros y temperaturas que oscilan entre 8. 0° a 37. 5° grados centígrados. En el municipio domina el bosque mixto, con pino y encino, y el bosque tropical deciduo, con parota, guaje, cascalote y cirrián.

Su fauna se conforma principalmente por coyote, zorrillo, venado, zorra, cacomixtle, liebre, tlacuache, conejo, pato, torcaza y chachalaca. El municipio cuenta con monumentos arquitectónicos como la Huatapera y varias iglesias localizadas en las comunidades. Sus principales artesanías son las Bateas maqueadas, alhajeros, guajes, jícaras, máscaras, así como mantas de papel picado, rebozos, guanengos y gabanes.

La comida típica del municipio es: churipo con corundas, carnitas, enchiladas placeras con pollo o con cecina, los quelites y hongos, quesadillas de flor de calabaza, el pozole, el menudo, el pescado, huchepos, tamales de harina y nacatamales, atoles de tamarindo, arroz, leche de cacao y de grano, buñuelos con atole blanco, la calabaza y el camote en dulce, plátanos cocidos, chocolate de metate, empanadas de chilacayote. Los centros turísticos de mayor importancia en el municipio son los siguientes:

- ❖ Parque Nacional ubicado al poniente de la ciudad.
- ❖ La Presa Caltzontzin ubicada en la salida a Cárapan.
- ❖ Cascada Salto Escondido.
- ❖ Cerro de la Cruz al poniente de la ciudad.
- ❖ Cerro de la Charanda al noroeste de la ciudad.

# CAPÍTULO 1

## VÍAS TERRESTRES

En este capítulo se presentan varios temas, entre estos se hablará de las vías terrestres su historia y definición. Así como también del tránsito vehicular, definir caminos y como están clasificados cada uno de estos, además de varios temas que abarcan en gran parte todo lo que se requiere conocer acerca de vías terrestres.

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

Tomando como base lo señalado por la siguiente página electrónica [www.miloboss.galeon.com](http://www.miloboss.galeon.com) (2016) las vías terrestres son obras de infraestructura de transporte, como son, por ejemplo: caminos, carreteras, autopistas, o autovías, puentes, túneles y vías férreas, y sus obras de cruce y empalmes. Además “se entiende cómo vías terrestres a las carreteras, los ferrocarriles y las aeropistas que constituyen los elementos básicos de la infraestructura de una red nacional de transportes. Dentro de la denominación deben caber tanto la más moderna autopista como el más modesto camino rural, y lo mismo a la pista que dé servicio a aviones de retroimpulso en un gran aeropuerto”. (Rico y del Castillo; 2005: 17)

### **1.2.- Historia de las vías terrestres.**

De acuerdo con Olivera (2006), se dice que los primeros caminos fueron de tipo peatonal como veredas, ya que las tribus caminaban por las regiones en busca de sus alimentos, después se volvieron sedentarios por lo cual estos

caminos tenían ya finalidades comerciales, de conquista y religiosas. Cuando se inventó la rueda aparecieron las carretas jaladas por humanos o animales, lo cual los caminos tuvieron que ser apropiados para una mejor comodidad y que pudieran transitar más rápidamente, además de que los caminos eran revestidos con piedras para cubrir el terreno natural, ya que podrían resbalar o hundirse con la finalidad de que todo el peso quedara distribuido como hoy en día tienen la misma función los pavimentos actuales.

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

De acuerdo a lo establecido por Olivera (2006), en la república mexicana existían numerosos caminos peatonales, cuando llegaron los españoles se empezó a introducir las carreteras, siendo Fray Sebastián de Aparicio quien construyó las primeras brechas o veredas para tener comunicación con otras ciudades del país. Se habla que en la segunda mitad del siglo XIX se inició las construcciones de las vías férreas con lo que tuvo un gran crecimiento los primeros años, con el paso del tiempo empezaron a decaer como medio de transporte.

Al inicio de este siglo fue entonces cuando se introdujeron los primeros automóviles utilizando las primeras carreteras que eran muy pocas, ahora ya se cuenta con más carreteras pavimentadas para asegurar el tránsito de vehículos. De igual manera en este siglo ha sido de gran importancia el uso del avión gracias a que se ha construido en el estado de México una gran cantidad de aeropuertos.

#### **1.4. Definición de Terracerías y partes que lo conforman.**

Las terracerías se pueden definir como “los volúmenes de materiales que se extraen o que sirven de relleno en la construcción de una vía terrestre. La extracción puede hacerse a lo largo de la línea de la obra y si este volumen de material se usa en la construcción de los terraplenes o los rellenos, las terracerías son compensadas y el volumen de corte que no se usa se denomina desperdicio. Si el volumen que se extrae en la línea no es suficiente para construir los terraplenes o los rellenos, se necesita extraer material fuera de ella, o sea en zonas de préstamos”. (Olivera; 2006: 161).

Se denominan Préstamos laterales si se ubican de 10 a 100 m. De banco a más de 100 m. El terraplén se divide en la parte inferior y la capa sub-rasante con un espesor mínimo de 30 cm la última capa del terraplén se le denomina subyacente se hace con material compactable.

##### **1.4.1. Cuerpo del terraplén.**

Como indica Olivera (2006), las finalidades de la estructura de la vía terrestre son: Alcanzar las alturas necesarias para las especificaciones geométricas y resistir las cargas por el tránsito transmitidas por sus capas distribuyendo los esfuerzos por todas las capas superiores para llevarlos al terreno natural. Estos materiales para la construcción del terraplén tienen que tener un VRS mayor al 5% y su tamaño puede ser hasta 75 cm. Y un peso volumétrico seco máximo (PVSM) de 95%. Los materiales se clasifican en compactables y los



no compactables, aunque todos son compactables estos se clasifican en base a la facilidad de compactarse.

#### **1.4.2. Construcción del cuerpo del terraplén.**

De acuerdo con Olivera (2006), el acomodo de material se puede realizar de las siguientes maneras:

1. Cuando un material es compactable se le debe dar un tratamiento adecuado con un equipo según sea su calidad, el grado de compactación de estos materiales es de un 90% y el espesor ya dependiendo del equipo utilizado en construcción.
2. Cuando los materiales no son compactables se hace una capa aproximada de 15 cm del tamaño de fragmentos de roca para después pasar por encima de este material con un tractor de oruga, se recomienda agregar agua al material para un mayor acomodo (100 L por cada m<sup>3</sup>).
3. Si se necesita rellenos en barrancas angostas o profundas, donde no es fácil el acceso se permite colocar material con el volteo hasta alcanzar una altura donde pueda operar la máquina.

#### **1.5. Características y funciones de la capa subrasante.**

Características mínimas de la capa subrasante:

- ❖ Espesor de la capa: 30 cm mínimo.
- ❖ Tamaño máximo: 7.5 cm (3 pulg).
- ❖ Grado de compactación: 95% del PVSM.
- ❖ Valor relativo de soporte: 15% mínimo.

- ❖ Expansión máxima 5%

Funciones de la capa subrasante:

1. Recibir y resistir las cargas transmitidas por el pavimento.
2. Transmitir y distribuir las cargas al terraplén.
3. Evitar que los materiales finos del terraplén se mezclen con los materiales granulares del pavimento.
4. Evitar que las terracerías cuando estas están formadas por fragmentos de rocas absorban el pavimento.
5. Evitar que las imperfecciones de la cama del corte se reflejen en la superficie de rodamiento.
6. Uniformar los espesores de pavimento.
7. Economizar espesores de pavimentos.

### **Proyecto geométrico de la subrasante.**

La parte superior de la capa subrasante coincide con la línea subrasante del proyecto geométrico. Es recomendable tomar en cuenta:

- ❖ Las especificaciones de la pendiente longitudinal.
- ❖ La subrasante tiene que tener la altura para dar cabida a las obras de drenaje.
- ❖ La altura necesaria de la subrasante para que el agua capilar no afecte el pavimento.
- ❖ La subrasante debe efectuar acarrees económicos.

## **Construcción de la capa subrasante.**

De acuerdo con Olivera (2006), para el procedimiento de construcción de la capa subrasante se debe compactar el material con el equipo adecuado de compactación y consta de dos capas de 15 cm de espesor cada una, también con los cortes se puede construir la capa subrasante por lo que ya no será necesario traer el material de banco, para darle los 15 cm de espesor a las capas se tiene que humedecer el material y se compacta al 95% de su PVSM.

### **1.6. Terracerías en caminos de bajo volumen de tránsito.**

Según Olivera (2006), para los caminos de bajo costo se construyen asegurando el tránsito todas las épocas del año con movimiento máximo de 100 vehículos por día. La superficie de rodamiento necesitan las pendientes longitudinales adecuadas cuando las terracerías son bajas se pueden formar las cunetas y las pendientes con el material extraído depende si se mueve a mano o a máquina si rebasa los 5000 m<sup>3</sup>/km, sobre la terracería se coloca el revestimiento granular de preferencia cumpliendo con las características de resistencia (VRS), plasticidad y el valor cementante (materiales inertes no adecuados para el revestimientos).

### **1.7. Tránsito.**

“Conocer las características del tránsito que utiliza o utilizará un camino en operación o que se habrá de construir, es vital para el proyecto de la sección transversal de una vía y se convierte en el elemento principal que se debe tomar en cuenta, pues el transporte terrestre es el motivo de la obra.

Por una vía terrestre puede transitar con cierta facilidad una cantidad determinada de vehículos de diferentes tipos, con cargas distintas que son transmitidas a la estructura de diversas maneras.” (Olivera; 2006: 231)

### **1.7.1. Características del tránsito.**

Las características de tránsito necesarias para el proyecto de pavimento son:

- ❖ Tránsito diario promedio anual.
- ❖ Tránsito en el carril de diseño.
- ❖ Composición del tránsito por tipos de vehículos.
- ❖ Peso de los vehículos, cargados y vacíos.
- ❖ Número y posiciones de ejes y llantas.
- ❖ Incremento anual de tránsito.
- ❖ Número de vehículos o de ejes que transitaran por el camino durante su vida útil.

#### **1.7.1.1. Transito diario promedio anual.**

“Se llama tránsito promedio anual (TDPA) al número total de vehículos que pasan por una carretera en ambos sentidos durante un año, dividido entre 365 días del año”. (Olivera; 2006: 231)

Olivera (2006), indica que mediante el aforo se puede determinar el tránsito diario promedio anual (TDPA) y lo realizan los operadores o contadores mecánicos, se puede realizar el conteo por temporadas y después proyectarlo a un año. Para determinar un tránsito diario promedio anual en un camino a

construir resulta un poco más difícil ya que no se cuenta con el aforo de vehículos, por lo que habrá de estimarse en base al tránsito inducido y al tránsito generado.

El tránsito inducido es aquel que toma en cuenta los datos de aforo vehicular de otros caminos pero que será utilizado en el nuevo camino.

Tránsito generado se dice que es “una cuantificación de los productos agrícolas, ganaderos e industriales que se generarán y al calcular el número de vehículos que serán necesarios para su movimiento, además de los que se requerirán para efectuar actividades comerciales, turísticas, etcétera”. (Olivera; 2006: 233) el tránsito diario promedio anual (TDPA) se puede conocer con la suma del tránsito inducido y el tránsito generado.

#### **1.7.1.2. Tránsito en el carril de diseño.**

Se dice que para determinar el TDPA se necesita conocer el porcentaje de los vehículos que transitan por un solo carril donde se genera más movimiento al que llaman carril de diseño, llegando a la conclusión de que en una carretera de dos carriles se transita alrededor del 60 a 65% del TDPA en el carril de diseño.

#### **1.7.1.3. Composición del tránsito.**

Según Olivera (2006), se consideran varios tipos de vehículos que circulan por las carreteras los cuales se dividen en varios grupos para hacer menos difíciles los cálculos.

Tipo A:

- ❖ Todos los automóviles.
- ❖ camionetas pick-up.
- ❖ De peso menor a 3 ton.

Tipo B:

- ❖ Todos los autobuses.
- ❖ Todos los vehículos.

Tipo C:

- ❖ Camiones de carga.

De estos últimos se desglosan en varios grupos donde llegan a pesar de 3 hasta 60 toneladas, es necesario conocer el peso de cada vehículo con carga y sin carga; la importancia de conocer el tipo de vehículos, pesos, ejes y la posición, es para estudiar la magnitud de los esfuerzos y proyectar la sección transversal. Otros datos para conocer la influencia del tránsito es el factor de incremento anual y la vida útil de la obra.

Características del tránsito se aplican de dos maneras diferentes:

- ❖ Nivel fijo de tránsito: se toma el peso y el vehículo que más daño hace en la estructura.
- ❖ Tránsito mezclado: se toma el tránsito utilizado en la vía.

## **1.8. Caminos y carreteras.**

“La carretera se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada”. (Crespo; 1996: 1)

Se entiende por caminos a las vías rurales, el término de carreteras se aplica a los caminos modernos con más tráfico vehicular.

## **1.9. Clasificación de las carreteras.**

Retomando lo dicho por Leopoldo Ortega Lira (2015), las carreteras se clasifican de varias maneras en diferentes partes, ya sea por su transitabilidad o con la función que con ellas se requiere. Las vialidades en el país mexicano se pueden clasificar en:

- ❖ Clasificación por Transitabilidad.
- ❖ Clasificación por su Aspecto Administrativo.
- ❖ Clasificación Técnica Oficial.

### **Clasificación por transitabilidad.**

Partiendo lo dicho por Crespo (1996), los caminos se clasifican de la siguiente manera en base a su transitabilidad:

- ❖ Terracerías: la construcción se deja hasta la capa subrasante, es transitable en tiempo de secas.

- ❖ Revestidas: se le coloca material granular a la capa subrasante, es transitable todo el tiempo.
- ❖ Pavimentada: es la construcción del pavimento sobre la subrasante.

### **Clasificación administrativa.**

Como indica Crespo (1996), las carreteras son administradas de la siguiente manera:

- ❖ Federales: Todo es pagado por la federación por lo tanto están a su cargo.
- ❖ Estatales: es cuando paga el 50% el estado y el otro 50% la federación, quedando a cargo la junta local de caminos.
- ❖ Vecinales: es cuando las personas beneficiadas aportan una tercera parte del costo, el estado aporta otra tercera parte y la otra tercera parte la federación, quedando a cargo la antes llamada junta local de caminos ahora sistema de caminos.
- ❖ De Cuota: quedan a cargo de la dependencia oficial descentralizada y a la iniciativa privada por un tiempo, recuperando la inversión con las cuotas de paso.

### **Clasificación técnica oficial.**

De acuerdo con Crespo (1996), estas clasificaciones nos permiten distinguir la categoría del camino, ya que toma en cuenta volúmenes de tránsito, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) los clasifica de la siguiente manera:



- ❖ Tipo especial: Para un tránsito diario promedio anual (TPDA) superior a los 3000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos.
- ❖ Tipo A: Para un tránsito diario promedio anual (TPDA) de 1500 a 3000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos.
- ❖ Tipo B: Para un tránsito diario promedio anual (TPDA) de 500 a 1500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos.
- ❖ Tipo C: Para un tránsito diario promedio anual (TPDA) de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos.

Según Crespo (1996), el número total de vehículos es tomado en ambas direcciones del camino, además considerando un 50% de vehículos pesados. Antes de empezar a construir un camino es importante tener conceptos y normas que deben especificarse en la ruta a construir, los conceptos y normas se mencionan en los subtemas siguientes:

#### **1.10. Alineamiento.**

Para la construcción del camino la línea siempre debe estar en terreno plano lo más extenso posible cuidando que no salga de la ruta, a veces no es posible conservar la línea en lo plano del terreno debido por la topografía del terreno, al igual que cuando se llega a una cuesta donde tiene la pendiente alta siendo necesario desarrollar rutas, debido a estos cambios en el terreno la línea

recta es de mayor longitud a lo marcado, siendo necesario que el alineamiento sea lo más recto posible entre dos puntos tomando en cuenta la topografía del lugar, el tránsito y el futuro donde los alineamientos cambien y las mejoras abandonen los caminos donde se haya invertido una gran cantidad de dinero.

Es necesario tener una visión y ver a futuro para no cometer fracasos económicos, en los tramos rectos de más de 10 kilómetros llega a causar cansancio a los conductores pudiendo ser causantes de accidentes.

### **1.11. Velocidad.**

“se define la velocidad como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo, o sea, una relación de movimiento que queda expresada, para la velocidad constante, por la fórmula:  $V = d/t$ ”. (Crespo; 1996: 5)

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

Se llama velocidad de punto a la velocidad de un vehículo en un cierto punto de un camino, con el fin de proporcionar información de la velocidad y la distribución de velocidades en cierto punto, usados para ayudar a realizar estudios de accidentes en relación con la velocidad.

#### **Velocidad de recorrido total.**

La velocidad de recorrido total es aquella que resulta de dividir la distancia total recorrida de un punto inicial a un punto final recorrido entre el tiempo que se tarda en recorrerla, sirve para evaluar que tan eficiente puede llegar a ser la vía.

## Velocidad de proyecto.

La velocidad de proyecto es una de las más importantes ya que determina el costo del camino, los costos se efectuarán en función de las velocidades de proyecto (ver tabla 1.1).

VELOCIDADES DE PROYECTO RECOMENDABLES				
TOPOGRAFÍA				
TIPO DE CAMINO	Plana o con poco lomerio	Con lomerio fuerte	Montañosa pero poco escarpada	Montañosa pero muy escarpada
Tipo especial	110 km/hr.	110km/hr.	80 km/hr.	80 km/hr.
Tipo A	70	60	50	40
Tipo B	60	50	40	35
Tipo C	50	40	30	25

Tabla 1.1.- velocidades de proyecto recomendadas por la S.C.T.

Fuente: (Crespo Villalaz; 1996).

Con base en lo citado por Crespo (1996), los promedios de las inclinaciones del terreno en 30 kilómetros serán considerados de la manera siguiente: mayor del 4% montañoso, entre 2% y 4% ondulado o con lomerío, menor del 2% terreno plano, para escoger montañoso poco escarpado o muy escarpado dependerá de que se acerque o se aleje del 4%.

Las relaciones del tiempo para la velocidad del proyecto se dividen en tres medidas de la siguiente manera:

- ❖ Una hora entre las 9 y las 12 horas.
- ❖ Una hora entre las 15 y las 18 horas.
- ❖ Una hora entre las 20 y las 22 horas.

### **1.12. Métodos de medición de velocidades.**

Como indica Crespo (1996), los siguientes métodos de medición son aplicables para el estudio de velocidad de un punto.

- ❖ Método del cronómetro.
- ❖ Método del enoscopio.
- ❖ Método del radar.

#### **Método del cronómetro.**

Retomando lo dicho por Crespo (1996), este método es el más antiguo y económico, para las mediciones de velocidades se coloca dos líneas en el camino en el cual se mide la distancia de 10 a 30 metros y consiste en que los vehículos recorren de la primera línea hasta donde está situada la última línea, entre el tiempo que tardan en recorrer cierta distancia.

#### **Método del enoscopio.**

“Los enoscopios son cajas en forma de L, abiertas en dos partes, con un espejo colocado en su interior a un ángulo de 45° con las paredes de las cajas. Este aparato dobla a 90° la visual del observador y su construcción es barata”.

(Crespo; 1996: 7)

Se coloca el enoscopio en un extremo del camino con el brazo en forma de L de manera perpendicular hacia los vehículos y el otro extremo apuntando hacia el observador, al momento en que pasan los vehículos se inicia el cronometro y se detiene hasta que pase por donde él está.

### **Método del radar.**

Según Crespo (1996), este método consiste en emitir ondas de frecuencias que rebotan en los vehículos y a su regreso quedan guardadas en el aparato, de acuerdo a la intensidad de la onda indicará la velocidad de los vehículos que se aproximen, con los aditamentos se puede obtener la velocidad a la que circula.

### **1.13. Volumen de tránsito.**

Como indica Crespo (1996), es la cantidad de vehículos que transitan en un camino en el mismo sentido en un cierto tiempo, las unidades están dadas en vehículos por día o por hora. Se llama Tránsito promedio diario (T.P.D) al volumen de transito que circula durante 24 horas. Utilizados más comúnmente para los estudios económicos sirviendo para distribuir fondos, sin embargo, no se es utilizado para las características geométricas del camino.

Los volúmenes horarios máximos proyectan aspectos geométricos de los caminos denominado volumen directriz equivalente al 12% del T.P.D.

### **1.14. Tipo de tránsito**

De acuerdo con Crespo (1996), los vehículos a transitar por un camino varían dependiendo el tipo de camino a utilizar, como ejemplo se tiene un camino turístico donde el trafico será de automóviles pasajeros y un camino minero donde

el tráfico será de vehículos más pesados, en caminos agrícolas el tráfico puede ser muy variado.

### **1.15. Capacidad de un camino.**

Como indica Crespo (1996), el ingeniero requiere saber la capacidad de trabajo de un camino. La capacidad de trabajo de un camino es el volumen máximo que alcanza antes de perder la velocidad estimada, es necesario que el tránsito sea estimado de la mejor manera previendo el posible aumento. Para conocer el tipo de tránsito no presenta dificultad, ya que se hace conteos horarios que nos indican el volumen y el tipo de tránsito.

Para el conteo se utiliza el método automático consiste en un tubo de hule cerrado en la parte extrema por una membrana, colocado transversalmente en el camino, cada que pasa el eje de un vehículo se produce un impulso de aire que llega hasta la membrana, que a la vez produce un contacto eléctrico con un aparato que va contando el número de impulsos, la desventaja del método automático es que no puede clasificar el tipo de vehículos.

La capacidad de una carretera se mide en vehículos por hora en un carril o en ambos carriles, tomándose en cuenta velocidades de 70 y 80 kilómetros por hora y con separaciones aproximadas de vehículos entre 30 metros.

### **1.16. Factores que reducen la capacidad de las carreteras.**

Según Crespo (1996), las capacidades mencionadas anteriormente representan las condiciones ideales en cuanto a sección, alineamiento y condiciones de visibilidad, pero en realidad es muy difícil que estas condiciones

prevalezcan en un camino, por lo que las capacidades son menores que las ya mencionadas.

Las capacidades más importantes que afectan la capacidad en una carretera son: el ancho de la sección, visibilidad, pendiente, ancho de los acotamientos, porcentaje de vehículos pesados y la obstrucción lateral.

- **Ancho de sección**

De acuerdo con Crespo (1996), el ancho de la sección considerado para las capacidades prácticas corresponde a la óptima de 3.66 m por carril y 1.84 m de acotamiento. Las normas establecen secciones transversales de acuerdo a la topografía y el tipo de camino. El efecto del ancho del carril puede observarse en la siguiente tabla. (Ver tabla 1.2).

EFECTOS DEL ANCHO DEL CARRIL		
Ancho del carril en metros.	Vehículos por hora, total en los caminos de dos carriles.	Porcentaje de la capacidad con respecto a la sección optima
3.66 (óptima)	900	100
3.35	774	86
3.05	693	77
2.75	630	70

Tabla 1.2.- tabla obtenida de los estudios hechos por la A.A.S.H.T.O.

Fuente: (Crespo Villalaz; 1996).

- **Visibilidad y pendiente.**

Afectan la capacidad práctica del camino de manera directa estas están ligadas con el alineamiento y la velocidad de proyecto.

- **Acotamientos**

Como indica Crespo (1996), en las carreteras es de importancia los acotamientos ya que si no se cuenta con el ancho adecuado algún vehículo descompuesto puede llegar a obstruir la carretera, además de ser un peligro para la circulación continua.

- **Vehículos pesados.**

Retomando lo dicho por Crespo (1996), debido a la velocidad y a las anchuras de los vehículos reducen la capacidad práctica en las carreteras. En la siguiente tabla puede observarse los efectos de los vehículos pesados sobre la capacidad práctica en terrenos planos y ondulados. (Ver tabla 1.3).

EFECTOS DE LOS VEHÍCULOS PESADOS				
Porcentaje de vehículos pesados, con relación al tránsito total. Caminos de dos carriles.	Terreno plano		Terreno ondulado	
	Vehículos por hora, total en caminos de dos carriles.	Porcentaje de la capacidad en vehículos por hora.	Vehículos por hora total en caminos de dos carriles.	Porcentaje de la capacidad en vehículos por hora.
0	89	100	900	100
10	800	89	640	71
20	710	79	500	55

Tabla 1.3.- tabla de efectos de los vehículos pesados.

Fuente: (Crespo Villalaz; 1996).



## Obstrucciones laterales.

Como indica Crespo 1996), las obstrucciones laterales al igual que los muros de carga, los postes de señalamientos y vehículos estacionados reducen la capacidad de carga indicado en la tabla siguiente: (Ver tabla 1.4).

EFECTO DE LAS OBSTRUCCIONES	
Distancia del borde de la carpeta asfáltica hasta el obstáculo, en metros.	Ancho efectivo de dos carriles de 3.66 metros cada uno.
1.80	7.30
1.20	6.70
0.60	6.10
0.00	5.50

Tabla 1.4.- tabla de efectos de las obstrucciones.

Fuente: (Crespo Villalaz; 1996).

### 1.17. Curvatura.

“Se denomina grado de curvatura al ángulo en el centro correspondiente a un desarrollo de arco de 20 m y su relación con el radio de la curva es:  $\frac{360}{G} = \frac{2\pi R}{20}$

de donde:  $G = \frac{1145.91}{R} = \frac{1146}{R}$ .” (Crespo; 1996: 16)

Los grados máximos de curvatura recomendables según el tipo y la topografía se muestran a continuación en la siguiente tabla. (Ver tabla 1.5).

GRADOS DE CURVATURA MÁXIMOS RECOMENDABLES				
TOPOGRAFÍA				
Tipo de camino	Plana o con poco lomerio	Con lomerio fuerte	Montañosa, pero poco escarpada	Montañosa pero muy escarpada
Tipo especial	2°30'	4°30'	6°	6°
Tipo A	8°	11°	16°30'	26°
Tipo B	11°	16°30'	26°	35°
Tipo C	16°30'	26°	47°	47°

Tabla 1.5.- tabla de grados de curvatura máximos recomendables.

Fuente: (Crespo Villalaz; 1996).

### 1.18. Sobreelevación.

Tomando como base lo señalado por Crespo (1996), se menciona que un vehículo sigue la trayectoria de una tangente y pasa a una curva aparece la fuerza centrífuga originando peligros de estabilidad, los cuales son: peligro de deslizamiento y peligro de vuelco. Es necesario sobreelevar las curvas para evitar estos peligros. Se emplean valores para cada tipo de camino con relación a la sobreelevación según el grado de curvatura, tomando en cuenta el valor máximo empleado solo en nevadas o heladas. Con nevadas o heladas bajas debe usarse un 10% y cuando las nevadas o heladas son frecuentes debe usarse un 8%.

GRADO DE LA CURVATURA	SOBREELEVACION EN %
2° . . . . .	. 2.0
2°30' . . . . .	. 4.0
3° . . . . .	. 6.0
3°30' . . . . .	. 7.4
4° . . . . .	. 8.5
4°30' . . . . .	. 9.3
5° . . . . .	. 10.0
5°30' . . . . .	. 10.6
6° . . . . .	. 11.0
6°30' . . . . .	. 11.4
7° . . . . .	. 11.7
8° . . . . .	. 12.3
9° . . . . .	. 12.6
10° . . . . .	. 12.8
En adelante. . . . .	. 12.8

Elevación máxima en camino tipo especial recomendable un 10%.

### 1.19. Ampliación.

Como indica Crespo (1996), los vehículos que transitan por la parte interior de una curva horizontal los ejes de las llantas traseras se mantienen coincidiendo con el radio de la curva y las llantas traseras tienen que seguir una ruta que las acerque hacia adentro de la curva.

Vehículos que transitan por la parte exterior de una curva las llantas delanteras tienen que estar dentro del pavimento mientras que las llantas traseras tienen que ir acercándose hacia dentro de la curva.

Las curvas horizontales son ampliadas desde el principio de curva (P.C) hasta el principio de tangente (P.T) disminuyendo hasta los extremos, las ampliaciones se hacen por el lado interior de la curva, siendo las curvas menores de los 4° no se amplían.

### **1.20. Transición.**

De acuerdo con Crespo (1996), el trazo de líneas y curvas horizontales es aceptable como una aproximación, ya que la discontinuidad de una curva existente en el enlace de una tangente no se acepta en un trazo racional. Lo cual el vehículo que pase de una recta a una curva debe ser efectuado mediante una curva progresiva, que es aquella que va reduciendo su radio poco a poco con la línea evitando que el vehículo sufra sacudidas y así obtener la relación centrífuga.

Para realizar un camino que cumpla con las características de seguridad se debe cumplir con un alineamiento tal que el conductor que este circulando por la carretera a una velocidad de proyecto recomendada pueda tener el control de su vehículo en el carril sintiéndose incitado a hacerlo de esa manera. Siendo necesario proyectar espirales de transición entre las tangentes y las curvas circulares como la clotoide o la espiral de Euler, que cumple con la condición de que el radio y la longitud sean constantes en cualquier punto.

Con curvas de transición proyectadas de manera eficaz proporciona una facilidad de trayectoria, de tal manera que la fuerza centrífuga aumente y disminuya gradualmente conforme entran y salen los vehículos, por lo que conlleva a la disminución de la invasión de carril.

### 1.21. Pendiente.

Retomando lo dicho por Crespo (1996), las pendientes que se le dan a un camino representa para el ingeniero un problema que debe solucionar con el cuidado adecuado, ya que las pendientes bajas obligan a grandes costos de construcción y pendientes altas generan grandes costos en el transporte, debido a que disminuye la velocidad y aumenta el gasto del combustible, además del desgaste en el vehículo. Por lo mencionado anteriormente es necesario tener una solución adecuada ya que podría llegar a afectar la economía del proyecto. Es recomendable tener los límites siguientes: (Ver tabla 1.6).

PENDIENTES MÁXIMAS RECOMENDABLES				
TOPOGRAFÍA				
Tipo de camino	Plana o con poco lomerio	Con lomerio fuerte	Montañosa, pero poco escarpada	Montañosa pero muy escarpada
Tipo especial	4.0%	4.5%	5.0%	5.0%
Tipo A	4.0%	5.0%	5.5%	6.0%
Tipo B	4.5%	5.5%	6.0%	6.5%
Tipo C	5.0%	6.0%	6.5%	7.0%

Tabla 1.6.- tabla de pendientes máximas recomendables.

Fuente: (Crespo Villalaz; 1996).

### 1.22. Visibilidad.

De acuerdo con Crespo (1996), otra característica importante para un camino es la visibilidad debido a que están construidos para velocidades muy

bajas, relacionados con los vehículos modernos estos caminos resultan muy peligrosos. Es por ello que debe haber cierta visibilidad adecuada para que el conductor pueda ver hacia adelante con una distancia que le permita tomar decisiones oportunas.

Todo conductor requiere de dos visibilidades que son: la distancia de visibilidad para pasar y la distancia de visibilidad para parar.

#### **Distancia de visibilidad para parar.**

“La distancia para parar un vehículo ante un objeto que aparece intempestivamente en el camino se compone por dos factores: la distancia que recorre el vehículo desde el momento en que el conductor observa el obstáculo hasta que aplica los frenos, y la distancia de frenado propiamente dicho”. (Crespo; 1996: 32)

#### **Distancia de visibilidad de pasar.**

“Se refiere a la distancia necesaria para que un vehículo pueda pasar a otro u otros que marchan por el mismo carril a menor velocidad, sin peligro de chocar con los vehículos que puedan venir en dirección opuesta a la vía que eventualmente ocupara la maniobra”. (Crespo; 1996: 33)

#### **1.23. Ancho de sección.**

Como indica Crespo (1996), el diseño de la sección transversal es de gran importancia ya que influye de manera importante el costo y la capacidad de tránsito.

Secciones reducidas menor costo y la capacidad de tránsito será reducida, por otra parte, secciones amplias capacidad de tránsito grande, pero de mayor costo. Motivo por el cual hay que construir con visión hacia el futuro, pero adaptándose a las necesidades del presente. El ancho de la vía depende de las medidas máximas y la velocidad de los vehículos que harán uso de ella, se dice que a mayor velocidad mayor ancho de vía.

### **Acotamientos.**

Según Crespo (1996), también denominados hombros, son espacios del camino que se encuentra entre el borde de la vía exterior del tránsito y el borde interno de la cuneta o del talud dependiendo si es sección en corte o en terraplén. Su función es para que los vehículos se estacionen en caso de sufrir alguna falla o por alguna otra causa, se recomienda que estos vallan cubiertos o pavimentados hasta el riego de impregnación para proteger la vía y dar seguridad al conductor.

#### **1.24. Derecho de vía.**

“Se conoce como derecho de vía a la faja de terreno dentro de la cual se alojan una vía de comunicación y sus servicios auxiliares y cuya anchura mínima absoluta es de 25 m a cada lado del eje de la vía; ancho que puede ampliarse bien por las previsiones que determine el proyecto para fines inmediatos o futuros relacionados con la obra vial o bien por las necesidades que impongan condiciones topográficas, terraplenes altos, amplias zonas de préstamos, etcétera”. (Crespo; 1996: 42)

## **CAPÍTULO 2**

### **PAVIMENTOS**

En este capítulo se definirá lo que es el pavimento, el pavimento flexible y el rígido, dando a conocer las características y funciones que tiene cada uno de estos tipos, con el fin de utilizar el que cumpla con los requerimientos necesarios para el proyecto conociendo la capacidad de carga, así como las ventajas y desventajas, los tipos de fallas que pueden haber, la durabilidad, costos y comodidad.

#### **2.1. Concepto de pavimento.**

“Se define como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento, en donde se debe tener una operación rápida y cómoda”. (Olivera; 2006: 6)

“El pavimento es la superficie de rodamiento para los distintos tipos de vehículos, formada por el agrupamiento de capas de distintos materiales destinados a distribuir y transmitir las cargas aplicadas por el tránsito al cuerpo del terraplén. Existen dos tipos de pavimentos: los flexibles (de asfalto) y los rígidos (de concreto hidráulico). La diferencia entre estos tipos de pavimentos es la resistencia que presentan a la flexión”. [www.catarina.udlap.mx](http://www.catarina.udlap.mx)(2016)



## **Espesor del pavimento.**

Como indica Olivera (2006), el espesor en los pavimentos flexibles se puede determinar por diversos métodos, pero en México se fija el valor relativo de soporte modificado (V.R.S) del suelo que forma las terracerías compactadas al mínimo especificado.

Para fijar el mínimo de compactación es necesario estudiarlo con determinación, mediante la razón de compactación a fin de obtener en el campo un peso volumétrico seco adecuado. Se utiliza este método por el simple hecho de que califica con bastante precisión el grado de compactación del suelo además de establecer correctamente los requisitos que deben cumplir los terraplenes, bases y sub-bases. En la figura 2.1 se muestra como se rompe la capa subrasante en un pavimento de concreto hidráulico. Y en la figura 2.2 se observa las fallas por asentamientos en un pavimento flexible.

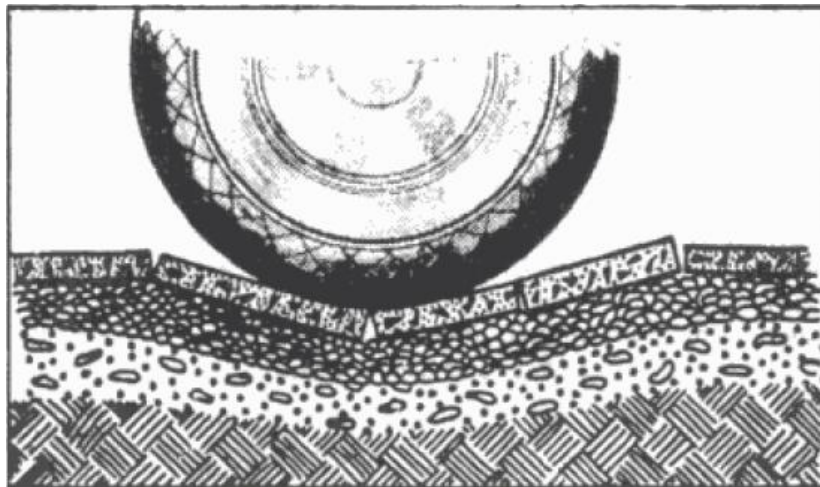


Figura 2.1.- Pavimento de concreto hidráulico.

Fuente: Olivera; 2006: 60

“El pavimento de concreto hidráulico se rompe cuando la subrasante no está compactada correctamente. Cuando no hay soporte uniforme para la losa, el pavimento falla”. (Olivera; 2006: 60)

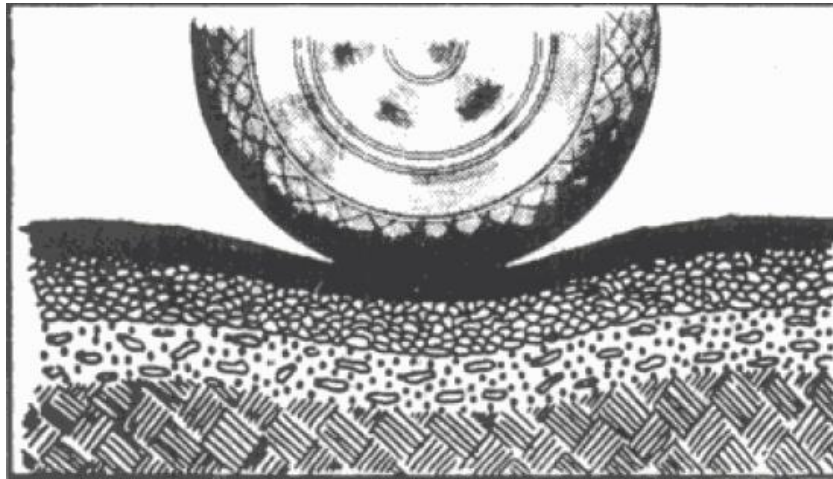


Figura 2.2.- Pavimento asfáltico.

Fuente: Olivera; 2006: 60

“Cuando la estructura del pavimento y la terracería no están bien compactadas, aparecen fallas por asentamientos, que se agrandan a medida que la carga por rueda aumenta, en los pavimentos asfálticos”. (Olivera; 2006: 60)

## **2.2. Pavimento flexible.**

Como indica Olivera (2006), la superficie de rodamiento es proporcionada por la carpeta asfáltica la cual se pliega a pequeñas deformaciones provocadas por las capas inferiores sin romper su estructura, las cargas son distribuidas por medio de las características de fricción y cohesión de los materiales empleados. En la figura 2.3 se muestra las capas que conforman un pavimento flexible.

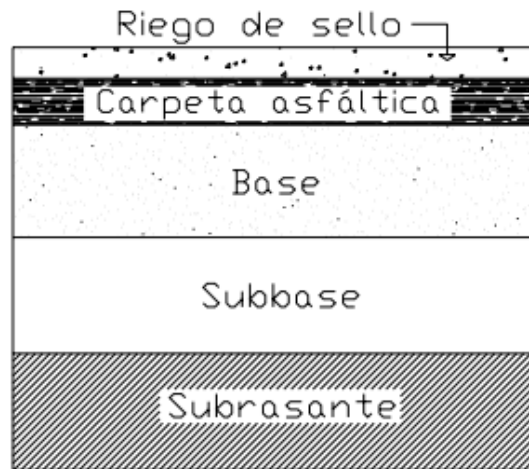


Figura 2.3.- Capas que forman en general un pavimento flexible.

Fuente: [www.catarina.udlap.mx](http://www.catarina.udlap.mx) (2016).

### **Riego de sello.**

De acuerdo con la página [www.ingenieriacivilfacil.blogspot.mx](http://www.ingenieriacivilfacil.blogspot.mx) (2016), el riego de sello se debe aplicar para vitalizar una superficie reseca y para impermeabilizar existiendo dos clases de riego de sello:

- De tratamiento superficial: consiste en aplicar asfalto o emulsión asfáltica y cubrirlo con agregados del número tres. El asfalto es aplicado en caliente y la emulsión asfáltica aplicada en frío
- De mortero asfáltico: consiste en una mezcla de agregados, emulsión asfáltica, cemento portland o cal y agua de tal manera que se forme un lodo asfáltico colocado en frío sobre la carpeta.

### **Carpeta asfáltica.**

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento con la función de proporcionar una superficie de rodamiento elaborada con materiales pétreos y productos asfálticos.

### **Base.**

Según la página [www.ingenieriacivilfacil.blogspot.mx](http://www.ingenieriacivilfacil.blogspot.mx) (2016), la función de la base es absorber los esfuerzos transmitidos producidos por los vehículos y además repartir uniformemente los esfuerzos a la sub-base y subrasante. Las bases pueden estar conformadas por materiales granulares o por mezclas bituminosas o por mezclas estabilizadas con cemento o algún otro ligante.

### **Sub-base.**

Como indica la página [www.ingenieriacivilfacil.blogspot.mx](http://www.ingenieriacivilfacil.blogspot.mx) (2016), La sub-base tiene la función de servir de drenaje al pavimento, controla o elimina los posibles cambios de elasticidad y plasticidad que pudiera perjudicar al material de la subrasante, además de controlar la ascensión capilar de aguas provenientes de capas friáticas cercanas.

Protegiéndolo contra hinchamientos causados por el congelamiento del agua capilar generalmente se presenta en suelos limosos donde la ascensión capilar es grande. El material empleado debe tener mayor capacidad de soporte que el terreno compactado pudiendo ser de materiales como la arena, grava, escoria o material de cantera, con una cantidad de material fino ya sea limo o arcilla que pase de la malla número 200 no debe ser mayor del 8%.

## **Subrasante.**

De acuerdo con la página [www.ingenieriacivilfacil.blogspot.mx](http://www.ingenieriacivilfacil.blogspot.mx) (2016), si el terreno donde se va a construir se encuentra en un estado pésimo debe desecharse el material siempre que sea posible y sustituirlo por un suelo de mejor calidad. En caso de que el terreno a construir se encuentre en un estado malo, se colocará una sub-base antes de colocar la base. En caso de que el terreno a construir se encuentre en un estado regular o bueno, podría prescindirse de una sub-base.

### **2.3. Características de un pavimento flexible.**

De acuerdo con Rico y del Castillo (2005), las características de un pavimento flexible son:

- La resistencia estructural.
- La deformabilidad.
- La durabilidad.
- El costo.
- Los requerimientos de conservación.
- La comodidad.

#### **La resistencia estructural.**

Como indican Rico y del Castillo (2005), el pavimento debe soportar las cargas normales y cortantes de tránsito dentro del nivel de deterioro, la metodología para análisis de resistencia es realizada por medio de la Mecánica de suelos con la teoría de falla por esfuerzo cortante siendo la principal falla en los

pavimentos flexibles. También en los pavimentos flexibles actúan esfuerzos adicionales producidos por el frenado y aceleración de los vehículos y los esfuerzos de tensión en la parte superior de la estructura a una cierta distancia del área cargada. El problema de la resistencia es en relación a los materiales del pavimento, aunque los materiales de la terracería sean de peor calidad, el espesor protector del pavimento hace que los esfuerzos alcancen valores inferiores mayores a la capacidad de carga, aunque los autores de este libro tienen la sensación de que las fallas son producidas en las terracerías.

### **La deformabilidad.**

Según Rico y del Castillo (2005), la deformabilidad crece demasiado hacia abajo siendo la terracería más deformable que el pavimento, la subrasante es la capa que más se deforma en comparación con las capas superiores. Las deformaciones interesan porque están asociadas a los estados de falla y además el pavimento deformado llega a dejar de cumplir sus funciones. La carga de tránsito produce varias clases de deformaciones, las elásticas o también llamadas plásticas son de recuperación instantánea, pero puede llegar a ser acumulativa bajo una repetida carga móvil siendo acompañado de una densificación de los materiales siendo que el pavimento fallado llega a ser más resistente que el original. Los materiales más peligrosos que ocasionan deformaciones son los de origen volcánico.

## **La durabilidad.**

De acuerdo con Rico y del Castillo (2005), en una obra pequeña el pavimento llega a durar menos que el camino con tal de requerir reconstrucciones de menor costo inicial y obtener un pavimento de mayor durabilidad. Por otro lado, en obras de gran importancia económica y con un alto tránsito se requieren pavimentos de mayor durabilidad para no interrumpir un tránsito importante ocasionando mayores costos.

## **El costo.**

Como indican Rico y del Castillo (2005), un pavimento debe cumplir los requisitos de resistencia y estabilidad, incluyendo el costo. Un diseño es cumplir los requerimientos de servicio necesarios al menor costo, de acuerdo al proyecto se propone el pavimento adecuado ya sea flexible, rígido o semirígidos.

Los pavimentos rígidos se deterioran poco y su conservación es de bajo costo, pero su construcción es de alto costo requiriendo un equipo especializado y disponibilidad de materiales necesarios para la construcción. Los pavimentos flexibles son de bajo costo en la construcción, pero tienen una conservación más costosa. Los pavimentos semi-rígidos permiten reducciones en el espesor cuando hacen los materiales muy convenientes, lo cual es una solución muy económica.

### **Los requerimientos de la conservación.**

Como indican Rico y del Castillo (2005), para la conservación influyen varios factores como los factores climatológicos. La intensidad del tránsito el cual se refleja al momento de ser analizado. El comportamiento de la terracería por sus deformaciones, saturaciones, derrumbes llegando a tener serios problemas en la reconstrucción y conservación. Un factor importante que forma parte del diseño es el drenaje y el subdrenaje el cual define la vida de un pavimento, así como su conservación. Los pavimentos carecen de poca conservación sistemática lo cual su vida se acorta esto sucede a causa de los recursos para la construcción de obras nuevas.

### **Comodidad.**

En autopistas y caminos los métodos de diseño deben considerar la comodidad para los usuarios al transitar a una velocidad de proyecto, además de contar con la seguridad adecuada y estética.

Por ejemplo, las deformaciones longitudinales del pavimento pueden estar en contra de la comodidad de manera que representen poco o nada de deficiencia estructural o riesgo de falla. El proyectista en caminos con especificaciones altas debe considerar especificaciones de esta índole, que no se tienen en caminos modestos con menor velocidad de operación el cual hacen menos críticos estos problemas.



## **2.4. Capas de los pavimentos.**

Según Olivera (2006), el pavimento se construye sobre la capa subrasante. El pavimento flexible se constituye por sub-base, base y la carpeta. El pavimento rígido se constituye por la sub-base y la losa de concreto hidráulico.

## **2.5. Funciones y características de bases y sub-bases.**

De acuerdo con Olivera (2006), las sub-bases y bases son semejantes, aunque la sub-base puede ser de menor calidad. Las funciones son:

- La carpeta asfáltica o la losa hidráulica tiene como función recibir y resistir las cargas del tránsito.
- Transmitir las cargas a la terracería.
- Impedir que la humedad de la terracería ascienda por capilaridad.
- Al introducirse agua se permite que el líquido descienda hasta la subrasante, el cual se desaloja al exterior por el efecto de la sobreelevación o bombeo.

Como indica Olivera (2006), las características de la sub-base y base deben cumplir las especificaciones de resistencia, plasticidad y valor cementante de forma simultánea. El valor cementante es de gran importancia sirviendo de base para dar sustento a la carpeta asfáltica delgada de entre 2 a 8 cm. Por otro lado, si se construye con materiales inertes provoca deformaciones transversales denominadas “permanentes”.

## **2.6. Procedimientos de construcción para las bases y sub-bases.**

Para los procedimientos de construcción de las bases y sub-bases incluyendo las etapas de muestreo y pruebas preliminares, son:

- a) Exploración.
- b) Muestreo, pruebas de laboratorio y elección de bancos.
- c) Extracción y acarreo de materiales.
- d) Tratamientos previos.
- e) Acarreo a la obra.
- f) Tratamientos en la obra.
- g) Compactación.
- h) Riego de impregnación.

### **Exploración.**

De acuerdo con Olivera (2006), en la exploración se requiere un reconocimiento de la zona donde se construirá, con el fin de encontrar bancos de material para la pavimentación, siendo muy útil tomar fotografías aéreas y hacer un reconocimiento de tipo terrestre en vehículo o a pie. Los materiales empleados para la sub-base de un pavimento son: gravas, arenas, aglomerados, conglomerados y rocas masivas, los materiales finos de baja plasticidad trabajan eficientemente con estas capas de material

### **Muestreo, pruebas de laboratorio y elección de bancos.**

Una vez localizados los bancos de material se realizan sondeos para conocer la calidad del material si los resultados resultan positivos se procede a

realizar más sondeos para ver la variabilidad del material y conocer la extensión del banco de material. Los sondeos en materiales poco o nada cementados se hacen a una profundidad de 2 a 4 m. en materiales con rocas y cementados las perforaciones se realizan con una maquina rotatoria.

Cuando las muestras son tomadas a cielo abierto los muestreos se hacen de forma estratificada o integral. Se consideran muestras a los trozos de material que se recuperan de los tubos utilizados en las máquinas rotatorias. A las muestras se les realizan pruebas dependiendo a su localización y resultados se determina la elección de bancos.

### **Extracción y acarreo de materiales.**

De acuerdo con Olivera (2006), para la extracción de materiales es necesario que se encuentren de forma masiva con tamaños accesibles. Para obtenerlos se procede a barrenar la roca colocando dinamita, estopines y un producto de nitrógeno para disminuir costos. El tamaño depende a la cantidad de explosivos, a la posición y a la dureza de la roca. Una vez que el material quedo suelto se procede a cargar el material por medio de diversas máquinas adecuadas para la dificultad causada por los diferentes tamaños de los fragmentos de roca.

### **Tratamientos previos.**

Los tratamientos previos de cribado o trituración se realizan momentos antes de llegar a la obra, por lo general se requiere una estabilización química realizándose un tratamiento previo utilizando plantas para obtener eficiencia en los trabajos a realizar.

### **Acarreo a la obra.**

Los materiales ya tratados se pueden llevar directamente del banco de material hacia la obra donde se acamellonan con motoconformadoras, es decir se hace un acordonamiento de sección para medir volúmenes para en caso de que haya faltantes se realicen recargas.

### **Tratamientos en la obra.**

Según Olivera (2006), en los tramos son aplicados los tratamientos de estabilización mecánica a veces de tipo químico a los materiales que lo requieren. Por lo cual es necesario obtener el material de máximo volumen, se acamellona y se mide para formar una capa en la parte de la corona colocando material para mezclarlos de manera acordonada, es conveniente volver a acamellonarlos para comprobar volúmenes ya que la suma de los materiales separados es mayor que cuando están unidos, se pueden utilizar mezcladoras mecánicas para revolver los materiales que estén disgregados.

### **Compactación.**

De acuerdo con Olivera (2006), se procede a compactar el material humedeciéndolo con una cantidad de agua óptima de campo siendo menor que la de laboratorio, se agrega agua varias veces con una pipa formada por un tractor y un tanque. El material acamellonado se abre hacia la corona pasando la pipa con el primer riego, enseguida pasa la conformadora abriendo parte del material y colocándola sobre el material ya húmedo vuelve a pasar la pipa repitiéndose el procedimiento hasta obtener el agua necesaria. Se homogeneiza el material con la

motoconformadora abriendo material hacia ambos lados sobre la corona ya obtenido se distribuye por toda la corona para formar el espesor necesario, cuidando que no se separen los materiales finos de los gruesos.

Una vez que se extiende el material se compacta hasta obtener el grado de proyecto siendo por lo general de un 95% del PVSM, aunque últimamente se pide el 100%, agregando cal o cemento portland aumenta la resistencia de una manera considerable, el material es compactado con rodillos lisos variando el peso de estos equipos entre 15 y 25 ton y considerando si cuentan con alguna unidad vibratoria

El constructor siempre busca que la base y la sub-base con cementación se compacten con facilidad disminuyendo los costos de la obra, para no abusar de la cementación es necesario cumplir especificaciones de VRS, plasticidad y valor cementante.

### **Riego de impregnación.**

De acuerdo con Olivera (2006), una vez que se alcanza el grado de compactación de proyecto se dejan secar por varios días, una vez seca es barrida para retirar basura y polvos por medio de cepillos manuales o mecánicos, colocando después una base de riego de impregnación que sirve para tener una zona de transición entre los materiales naturales y la carpeta asfáltica, esta última debe penetrar en la capa de la base por lo menos 3 mm en caso de que la capa se encuentre muy cerrada se deberá a que contenga un exceso de materiales finos y el riego talvez no penetre, siendo necesario cambiar la granulometría reduciendo

los materiales finos para que penetre el asfalto. Por otra parte, si la base se encuentra demasiado abierta es conveniente aumentar la proporción del asfalto.

## 2.7. Estructuración de los pavimentos flexibles.

De acuerdo con Rico y del Castillo (2005), el sistema típico con el que se estructuran los pavimentos flexibles es de la siguiente manera como se muestra en la figura 2.4. Bajo una carpeta bituminosa la cual constituye la superficie de rodamiento formada por agregado pétreo y aglutinante asfáltico, disponiéndose además la sub base y una base las dos de material granular, la sub base con un poco menos. Por debajo de la sub base se coloca la subrasante con requisitos menores, debajo de esta capa está situado el material convencional de la terracería.

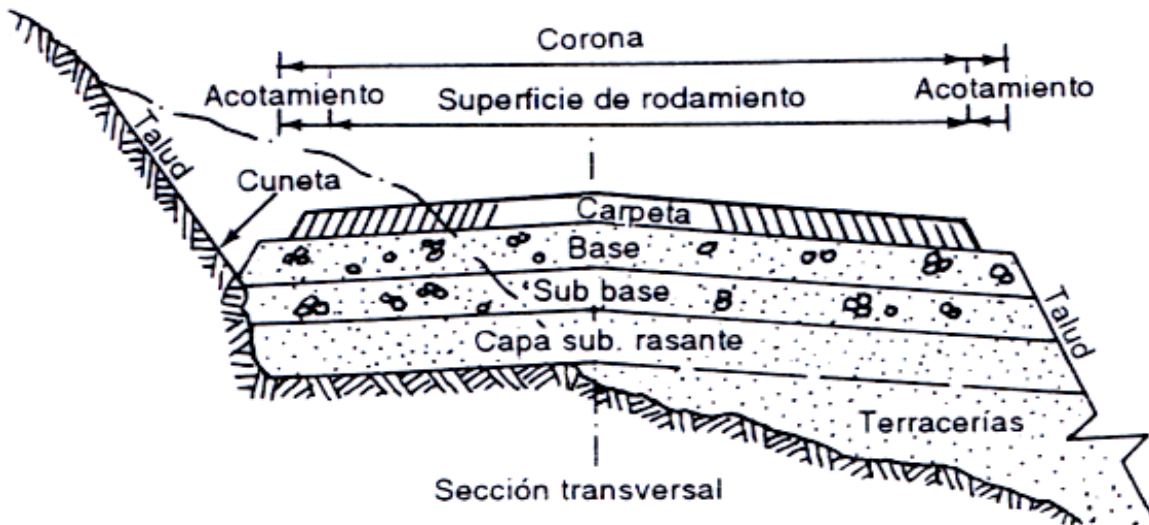


Figura 2.4.- sección transversal típica de un pavimento flexible en una sección en balcón.

Fuente: Rico y del Castillo; 2005: 107.

## **Conclusiones provisionalmente válidas.**

De acuerdo a lo establecido por Rico y del Castillo (2005), resulta de manera razonable pensar que no es un requisito la resistencia de los suelos al esfuerzo cortante, puesto que los esfuerzos que llegan quedan siempre por debajo de la capacidad de carga a la falla de cualquier material de terracería.

El requisito básico resulta ser la deformabilidad ya que acepta o rechaza el material de terracería y proporciona buen comportamiento como soporte en un pavimento. La calidad de los materiales es de importancia y se tiene que tomar en cuenta a la granulometría, los fragmentos grandes y medianos son deformables hablando de manera estructural ya que ocurren varios descuidos de gran importancia debido al acomodo. Otro problema en las deformaciones sucede en los suelos comprensibles y arcillosos (MH, CH).

En las terracerías deformables se usarán pavimentos de mayor espesor con la finalidad de que los esfuerzos lleguen a los más bajos niveles posibles, en caso de no tomarse en cuenta la deformabilidad en el diseño un pavimento nunca tendrá un buen comportamiento por más que se conserve y se reconstruya.

### **2.8. Tipos de fallas en los pavimentos flexibles.**

Como indican Rico y del Castillo (2005), el ingeniero en pavimentos tiene como función evitar la aparición de fallas y deterioros la cual no es una tarea sencilla, las fallas en pavimentos se dividen en tres grupos fundamentales:

### **1) Fallas por insuficiencia estructural.**

“Se trata de pavimentos contruidos con materiales inapropiados en cuanto a resistencia o con materiales de buena calidad, pero en espesor insuficiente”.

(Rico y del Castillo; 2005: 124)

### **2) Fallas por defectos constructivos.**

“Se trata de pavimentos quizá bien proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes, en cuya construcción se han producido errores o defectos que comprometen el comportamiento conjunto”. (Rico y del

Castillo; 2005: 124)

### **3) Fallas por fatiga.**

“Se trata de pavimentos que originalmente estuvieron quizá en condiciones apropiadas, pero que por la continuada repetición de las cargas del tránsito sufrieron efectos de fatiga, degradación estructural y, en general, pérdida de resistencia y deformación acumulada”. (Rico y del Castillo; 2005: 125)

## **2.9. Pavimento rígido.**

Como indican Rico y del Castillo (2005), un pavimento rígido tiene una losa de concreto como elemento estructural apoyada en una sub-base, el objetivo es que se tenga un apoyo uniforme y estable dependiendo de los materiales usados, los niveles de compactación, las condiciones del clima y drenaje. Los concretos utilizados son de resistencias entre 200 y 400 kg/cm<sup>2</sup>.

Las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o pre-esforzado. En el caso de utilizar concreto simple o reforzado las losas son cuadradas de 3 a 5 m en



la actualidad suelen aumentar su área. El concreto pre-esforzado utiliza superficies continuas de áreas superiores.

El nivel de carga, las presiones de inflado de las llantas de los vehículos, el módulo de reacción de los suelos de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto a utilizar son algunos de los factores que afectan el espesor de la losa.

### 2.10. Capas y funciones del pavimento rígido.

Las capas de un pavimento rígido son: la subrasante, subbase y la losa o superficie de rodadura. En la figura 2.5 se muestran las capas que conforman un pavimento rígido.

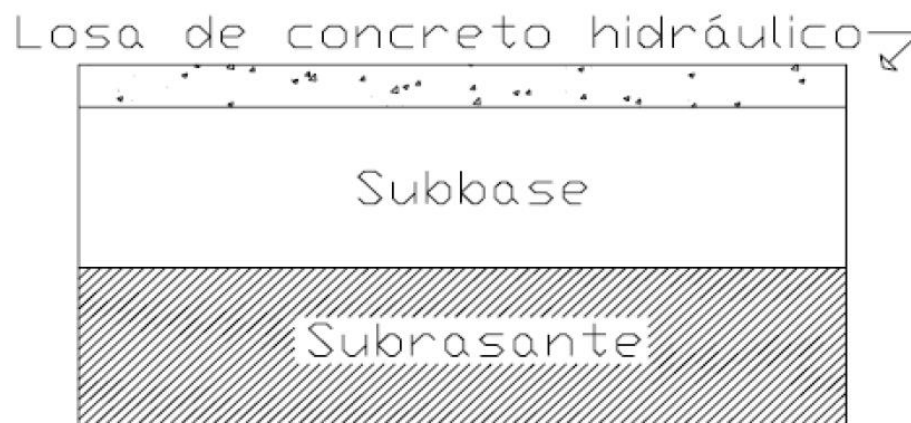


Figura 2.5. Capas que conforman un pavimento flexible.

Fuente: [www.ptolomeo.unam.mx](http://www.ptolomeo.unam.mx)

Las funciones de cada capa de un pavimento rígido son:

- **Subrasante.**

Como indica la página electrónica [www.ptolomeo.unam.mx](http://www.ptolomeo.unam.mx) (2016), la subrasante soporta la estructura del pavimento llegando a una profundidad donde no afecta la carga de diseño debido al tránsito, puede estar formada en corte o relleno, cuando este compactada debe tener las secciones transversales y las pendientes de diseño, el espesor depende de la calidad de subrasante el cual debe cumplir los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad. La subrasante es considerada como la cimentación del pavimento con la función de soportar las cargas transmitidas por el pavimento.

- **Subbase.**

Soporta, transmite y distribuye las cargas uniformemente aplicadas a la superficie de rodadura del pavimento, la subbase debe de controlar la elasticidad y los cambios de volumen que afectarían al pavimento. Además, es utilizado como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua usándose generalmente materiales granulares.

- **Losa (superficie de rodadura).**

Es la capa superior del pavimento, construida de concreto hidráulico basan su capacidad en la losa debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, distribuyendo las cargas hacia las capas inferiores por medio de la superficie de la losa y las adyacentes, trabajando en conjunto con la capa que recibe directamente las cargas.

## **Periodo de diseño.**

El periodo de diseño es teóricamente la vida útil del pavimento antes de alguna rehabilitación o construcción. La vida útil puede ser menor o mayor a lo esperado debido a un incremento inesperado del tránsito. Los periodos de diseño se definen entre los 20 y 40 años.

## **Procedimientos de diseño para el pavimento rígido.**

Para el diseño del pavimento rígido se seguirá el método AASTHO que se presenta a continuación:

El procedimiento de diseño es suponer un espesor de pavimento y realizar tanteos con el espesor supuesto, se calculan los ejes equivalentes y se evalúan los factores adicionales de diseño, si se llega a cumplir el equilibrio en la ecuación del espesor es el resultado correcto, de no ser así se siguen haciendo tanteos.

Las variables de diseño de un pavimento rígido son:

- a) Espesor.
- b) Serviciabilidad
- c) Tránsito
- d) Transferencia de carga
- e) Propiedades del concreto
- f) Resistencia a la subrasante
- g) Drenaje

h) Confiabilidad

**a) Espesor.**

El espesor del pavimento de concreto hidráulico es la variable que se pretende determinar al realizar un diseño, este resultado del espesor se ve afectado por las demás variables que interviene en los cálculos.

**b) Serviciabilidad**

La serviciabilidad se puede definir como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico que transita en la vía, se mide en una escala de 0 al 5 en donde cero significa una calificación para un pavimento intransitable y cinco para un pavimento excelente. La tendencia es poder definirla con parámetros medibles. El índice de servicialidad inicial es la condición del pavimento después de ser construido, para la elección es necesario conocer los métodos de construcción ya que depende la calidad del pavimento. El índice de servicialidad final se refiere a la calificación del pavimento esperada al final de su vida útil o el valor más bajo admitido antes de efectuar una rehabilitación, un esfuerzo o la construcción.

**c) Tránsito**

El tránsito es una de las variables de mayor importancia en el diseño del pavimento además de ser la que más incertidumbre presenta al momento de estimarse. Se requiere contar con información lo más precisa posible del tráfico para el diseño, de lo contrario se podría tener diseños inseguros o con un grado considerable de sobre diseño.

#### **d) Transferencia de carga**

Conocido también como coeficiente de transmisión de carga y se define como la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir las fuerzas cortantes con sus capas adyacentes, con el propósito de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento. Mientras mejor sea la transferencia de cargas, mejor será el comportamiento de la losa del pavimento. La efectividad de transferencia de cargas entre las capas depende de varios factores como son: cantidad de tráfico, utilización de pasajuntas y soporte lateral de las losas. Siendo la utilización de pasajuntas la manera más conveniente para lograr la efectividad de transferencia de cargas.

#### **e) Propiedades del concreto**

Las propiedades del concreto que influyen en el diseño y en su comportamiento a lo largo de su vida útil son las siguientes:

- Resistencia a la tensión por flexión o Módulo de Ruptura.
- Módulo de elasticidad del concreto.

En base a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, considerando en el diseño la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a la flexión por tensión o Módulo de ruptura, normalmente especificada a los 28 días.

#### **f) Resistencia a la subrasante**

La resistencia a la subrasante se obtiene mediante el módulo de reacción del suelo por medio de la prueba de placa. El módulo de reacción del suelo corresponde a la capacidad que tiene el terreno natural en donde se soportará el cuerpo del pavimento. El valor del módulo de reacción se puede obtener en el terreno mediante la prueba de placa y el resultado de la prueba indica la característica de resistencia que implica la elasticidad del suelo. Esto es igual al coeficiente del esfuerzo aplicado por una placa entre las deformaciones correspondientes, producida por este esfuerzo.

#### **g) Drenaje.**

El drenaje en cualquier tipo de pavimento es un factor de importancia en el comportamiento de la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil y en el diseño de este mismo. Evaluándolo mediante el coeficiente de drenaje, que depende de la calidad del drenaje determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en salir de la estructura de pavimento. Y además depende de la exposición a la saturación que es el porcentaje en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad durante un año y se aproximan a la saturación, dependiendo de la precipitación media anual y de las condiciones del drenaje.

#### **h) Confiabilidad.**

Los factores estadísticos que influyen en el comportamiento de los pavimentos son:

- Confiabilidad R

- Desviación estándar

La confiabilidad se define como la probabilidad de la manera en que se comporte el pavimento de manera satisfactoria durante su vida útil en las condiciones adecuadas para su operación. También se puede interpretar este concepto como aquella probabilidad de que los problemas de deformación y resistencia estén por debajo de los permisibles durante la vida del diseño del pavimento.

### **2.11. Propiedades de la sub-base y suelos de apoyo.**

Como indican Rico y del Castillo (2005), apenas a fines de la Segunda Guerra Mundial las losas de concreto se colocaban directamente sobre la terracería a lo más que se usaba era una capa subrasante, con el incremento de los vehículos pesados en las carreteras y aviones más grandes en aeropuertos se estableció una norma para construir una base apropiada en las carreteras, consiste en colocar una o más capas de material granular. Las principales funciones de la subbase son:

- Proporcionar un apoyo uniforme en la losa de concreto.
- Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo.
- Reducir las consecuencias de los cambios de volumen que pueda tener un suelo que forme la terracería o la subrasante.
- Reducir las consecuencias de la congelación de los suelos de las terracerías o de la capa subrasante.
- Evitar el bombeo.

Se exige que la losa se encuentre uniformemente apoyada y que dicho apoyo se mantenga en buenas condiciones durante el periodo de vida del pavimento, el apoyo debe tener transiciones graduales, donde se presenten cambios abruptos en la capacidad del terreno.

Una causa importante por la que la losa pierde su apoyo uniforme, es debido a los cambios volumétricos en el terreno de apoyo causados por los cambios en el contenido de agua. También se llega a tener problemas si se seca el material en exceso por evaporación antes de que sean cubiertos por los materiales compactados con un adecuado contenido de agua, produciendo pérdidas locales de apoyo en la losa. Por otra parte, un problema es el colocar materiales con susceptibilidad a la expansión por los contenidos de agua demasiados altos. Se dice que la humedad de compactación adecuada oscila el valor entre el óptimo de campo y un mínimo de 1 o 2 por ciento.

“El mejor criterio será siempre referir el contenido de agua de compactación al óptimo de campo y no al de ninguna prueba de laboratorio”. (Rico y del Castillo; 2005: 207)

## **2.12. Juntas.**

De acuerdo con Rico y del Castillo (2005), las juntas en los pavimentos rígidos se dividen en cuatro grupos principales los cuales son:

- 1) Juntas de contracción.- Utilizadas para aliviar los esfuerzos de tensión causados por las contracciones del concreto.



- 2) Juntas de expansión.- Permiten que las losas de concreto se expandan una de otra sin destruirse.
- 3) Juntas de construcción.- Son interrupciones en las operaciones de colado donde deben garantizar la continuidad estructural.
- 4) Juntas de alabeo o articulación.- Evitan el agrietamiento a lo largo del eje central de los pavimentos que son producidos al elevar sus bordes cuando la losa es cargada.

Dependiendo del sentido en que estén dirigidas dentro de la carretera se denominan longitudinales o transversales.

### **2.13. Método del instituto de ingeniería de la UNAM para diseño de pavimento flexible.**

De acuerdo con Alfonso Rico Rodríguez, Rodolfo Téllez Gutiérrez y Paul Garnica Anguas (1998), este método es considerado de gran aplicación práctica constituyendo un enfoque diferente a los métodos tradicionalmente usados ya que toma en cuenta varios factores que afectan a las características de la estructura de pavimento, siendo uno de ellos las cargas de diseño y los valores del VRS (Valor Relativo de Soporte) además de conceptos de fallas estructurales del pavimento el cual se define en una deformación permanente de 2.5cm sobre la superficie de rodamiento.

Este método fue desarrollado a partir de una investigación teórica experimental en un laboratorio, fundamentada con las siguientes hipótesis: la carretera corresponde a capas múltiples y de resistencia relativa uniforme siendo que la carretera más económica es la que llega a la falla funcional una vez que

haya soportado todas las aplicaciones de cargas equivalentes especificadas por la vida de proyecto del camino, de manera contraria si la resistencia relativa no es uniforme en las diferentes capas, la resistencia mínima determinará la vida de servicio del camino.

Para facilitar los cálculos de diseño el Instituto de Ingeniería de la UNAM elaboro gráficas empleadas para casos típicos en pavimentos empleados en México donde el espesor de la carpeta rara vez excede los 7.5cm y las demás capas están constituidas por materiales granulares y finos estabilizados mecánicamente compactados, determinando el VRS (Valor Relativo de Soporte) para obtener el valor más desfavorable por medio de pruebas de laboratorio.

Este método considera datos básicos de entrada como son: el tipo de carretera, el número de carriles, la vida de proyecto, el tránsito diario promedio anual (TDPA), tasa de crecimiento, características de los materiales y del terreno, además como el nivel freático, precipitación pluvial y climas. Se requiere hacer las pruebas del laboratorio para conocer el comportamiento de las terracerías y de las otras capas a diseñar, compactando el material encontrando a la humedad óptima y normada al porcentaje de compactación especificado en el proyecto, dependiendo del control en la construcción se indicará un rango de la variación de humedad respecto al valor óptimo, el laboratorio reportará cada uno de los valores del VRS de cada material empleado en la construcción.

Se encontrará una zona que reflejará las condiciones esperadas para una subrasante en función de la humedad crítica esperada, el valor crítico de VRS de diseño. Obtenido el VRS para la subrasante por experiencia se asignará un valor

menor para el cuerpo del terraplén, para obtener el VRS de las capas siguientes que es la subbase y base se emplea una ecuación donde intervienen coeficientes de variación entre 0.2 y 0.3 debido a cambios del material o del proceso constructivo. Esto tiende a disminuir el valor del VRS de campo promedio, pero cubriendo incertidumbres de seguridad en el VRS conocido como factores de seguridad con la siguiente fórmula:  $VRSc = VRS (1 - (CxV))$

Siguiendo con el método se requiere la información y procesamiento de los datos del tránsito partiendo del TDPA, la tasa de crecimiento en porcentaje anual, la composición vehicular considerando desde vehículos ligeros hasta los vehículos más pesados de carga, el método contempla este análisis de vehículos tanto cargados como totalmente vacíos. Para el análisis del tránsito equivalente acumulado se inicia con los coeficientes de daño a diferentes profundidades de la estructura de pavimento, calculando el coeficiente de daño de cada vehículo tanto en condiciones de carga y vacíos para las profundidades de  $Z= 0$  para la obtención de los ejes equivalentes en carpeta y base y  $Z= 30$  para el resto de la sección.

$$\log_{di} = \frac{\log \sigma_{z(i)} - \log \sigma_{z(eq)}}{\log A} = \frac{\log(pF_{z(i)}) - \log(5.8F_z)}{\log A}$$

Donde:

$d_i$  = Coeficiente de daño equivalente en la capa  $i$ .

$\sigma_z$  = Esfuerzo a la profundidad  $z$ , en Kg/cm<sup>2</sup>.

$p$  = Peso del eje, en Kg.

$F_z$  = Coeficiente de influencia de Boussinesq a la profundidad  $z$ .

A = Constante experimental.

z = Profundidad en cm.

5.8 = Presión de contacto de la llanta en Kg/cm<sup>2</sup>.

Obtenidos los coeficientes de daño para todos los vehículos a las profundidades de Z= 0 y Z= 30 el proyectista deberá multiplicarlo por la composición del tránsito en porcentaje, obteniendo el número de ejes equivalentes para cada vehículo y para cada profundidad. Al sumar los valores en el carril de proyecto por el coeficiente de acumulación de tránsito y por el valor del TDPA se obtendrá en tránsito equivalente acumulado para las demás capas que son la carpeta, base, subbase y las terracerías respectivamente.

$$C_T = 365 \sum_{j=1}^n (1+r)^{j-1} = 365 \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right]$$

Donde:

CT = Coeficiente de acumulación del tránsito.

n = Años de servicio.

r = Tasa de crecimiento anual.

El método presenta un procedimiento sencillo para obtener los espesores equivalentes de diseño de la sección estructural de pavimento, procedimiento que incluye nivel de confianza, el valor relativo de soporte crítico de cada capa, el tránsito equivalente acumulado en ejes sencillos de 8.2 ton en el carril de proyecto, el proyectista podrá obtener los espesores equivalentes para cada capa tomando en cuenta coeficientes de resistencia estructural recomendados, que considera 1 cm de asfalto equivalente a 2 cm de grava.

$a_1D_1$  = carpeta,  $D_1$  espesor en cm,  $a_1$  coeficiente equivalencia.

$a_2D_2$  = base,  $D_2$  espesor en cm,  $a_2$  coeficiente equivalencia.

$a_nD_n$  = capa n,  $D_n$  espesor en cm,  $a_n$  coeficiente equivalencia.

En base a lo anterior el proyectista podrá determinar el espesor final de cada capa de la sección estructural del pavimento diseñado interviniendo diferentes criterios tomando en cuenta ciertas clases de materiales y espesores mínimos que se tienen especificados en la dependencia o autoridad responsable.

## **CAPÍTULO 3**

### **RESUMEN DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN.**

En este capítulo se hablará del objetivo que se tiene en dicho proyecto, haciendo un resumen ejecutivo y el alcance en base a su entorno geográfico. Se localizará la zona en la macrolocalización y microlocalización, además de conocer la geología e hidrología de la región y de la zona del estudio, así como el uso del suelo con el cual se recaudará un informe fotográfico de la zona identificando la problemática y las alternativas de solución.

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

El diseño de pavimento flexible debe ser adecuado en base a la topografía del camino, partiendo principalmente de la capacidad del suelo que se tenga en lugar de estudio con lo cual se harán los cálculos y estudios necesarios para el diseño de pavimento flexible, un estudio a realizar es el valor relativo de soporte (VRS). Se propondrán los espesores del pavimento de acuerdo al diseño por el método de la UNAM el cual se basa a datos anteriores del (VRS), tomando en cuenta el aforo vehicular del camino a pavimentar.

Al finalizar el dimensionamiento de todas capas del pavimento se genera el proceso constructivo de pavimento flexible, el diseño será un tramo recto que empieza del kilómetro 0+000 al kilómetro 1+840 de la carretera “camino viejo a la central hidroeléctrica de CFE” en el municipio de Uruapan Michoacán.

### **3.1.1. Objetivo.**

Diseñar un pavimento flexible para el tramo carretero 0+000 al km 1+840 de la carretera “Camino Viejo a la Central Hidroeléctrica de CFE” en el municipio de Uruapan, Michoacán.

### **3.1.2. Alcance del proyecto.**

En el proyecto presente se da a conocer el procedimiento para el diseño de pavimento flexible por el método de la UNAM siguiendo la normatividad que se requiere como es el estudio del valor relativo de soporte máximo en estado seco, para el diseño se tomará el (VRS) en saturación las 24 horas.

Para el aforo se hizo de manera manual para obtener un tránsito promedio anual y así reconocer las características para este camino y en base a ello se proseguirá al diseño por el método de la UNAM. Seguido del proceso constructivo que se llevará a cabo en el lugar a pavimentar.

### **3.3. Entorno geográfico.**

En este proyecto se requiere tener la ubicación del lugar por el cual es necesario proyectar mediante imágenes vía satélite, para ubicarnos en la zona de estudio mediante lo que se conoce como macro y microlocalización.

#### **3.3.1. Macro y Microlocalización.**

El sitio del proyecto se encuentra localizado en el municipio de Uruapan Michoacán, la superficie territorial del estado de Michoacán es de 59 928 km<sup>2</sup>, lo que representa un 3% de todo México; cuenta con una población aproximada de 3 985 667 habitantes. Colinda al norte con el estado de Jalisco, Guanajuato y

Querétaro de Arteaga; al este con Querétaro de Arteaga, México y Guerrero; al sur con Guerrero y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico, Colima y Jalisco. De acuerdo con la página [www.inafed.gob.mx](http://www.inafed.gob.mx) (2016), se determina la localización, extensión, flora, fauna, orografía, coordenadas, colindancias y el clima del municipio de Uruapan.

**Localización.-** 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 metros sobre el nivel del mar. 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. Su distancia a la capital del Estado es de 120 km.

**Extensión.-** Su superficie es de 1014.34 km<sup>2</sup> y representa 1.62 por ciento del total del Estado.

**Flora.-** En el municipio domina el bosque mixto, con pino y encino, y el bosque tropical deciduo, con parota, guaje, cascalote y cirián.

**Fauna.-** Su fauna se conforma principalmente por coyote, zorrillo, venado, zorra, cacomixtle, liebre, tlacuache, conejo, pato, torcaza y chachalaca.

**Orografía.-** Su relieve lo conforman el sistema volcánico transversal, y los cerros de Charanda, La Cruz, Jicalán y Magdalena.

**Coordenadas.-** Entre los paralelos 19°11' y 19°38' de latitud norte; los meridianos 101°56' y 102°24' de longitud oeste; altitud entre 700 y 3 300 m.



**Colindancias.-** Colinda al norte con los municipios de Los Reyes, Charapan, Paracho y Nahuatzen; al este con los municipios de Nahuatzen, Tingambato, Ziracuaretiro, Taretan, Nuevo Urecho y Gabriel Zamora; al sur con los municipios de Gabriel Zamora, Parácuaro, Tancítaro y Nuevo Parangaricutiro; al oeste con los municipios de Nuevo Parangaricutiro, Tancítaro, Peribán y Los Reyes.

**Clima.-** Su clima es templado y tropical con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 1, 759. 3, milímetros y temperaturas que oscilan entre 8. 0 a 37. 5 grados centígrados.

**Gastronomía.-** La comida típica del municipio es: churipo con corundas, carnitas, enchiladas placeras con pollo o con cecina, quesadillas de flor de calabaza, el pozole, el menudo, el pescado, huchepos, tamales de harina y nacatamales, atoles de tamarindo, arroz, buñuelos con atole blanco, la calabaza y el camote en dulce, plátanos cocidos, empanadas de chilacayote.

### **Macrolocalización**

En la imagen 3.1 se ubica el estado de Michoacán con una vista haciendo referencia a todo el país de México.



Imagen 3.1.- Localización del Estado de Michoacán desde el País de México.

Fuente: [www.google.com.mx](http://www.google.com.mx) (2016).

En la imagen 3.2 se hace una vista del estado de michoacan lugar donde se hara una microlocalizacion de la ciudad de uruapan.



Imagen 3.2.- Macrolocalización Estado de Michoacán.

Fuente: [www.google.com.mx](http://www.google.com.mx) (2016).

## Microlocalización.

En la imagen 3.3 se muestra la con una línea el camino a diseñar marcado de inicio a fin y ubicado con una línea la distancia que es del km 0+000 al km 1+840 en el “camino viejo a la central hidroeléctrica de CFE” en el municipio de Uruapan, Michoacán.

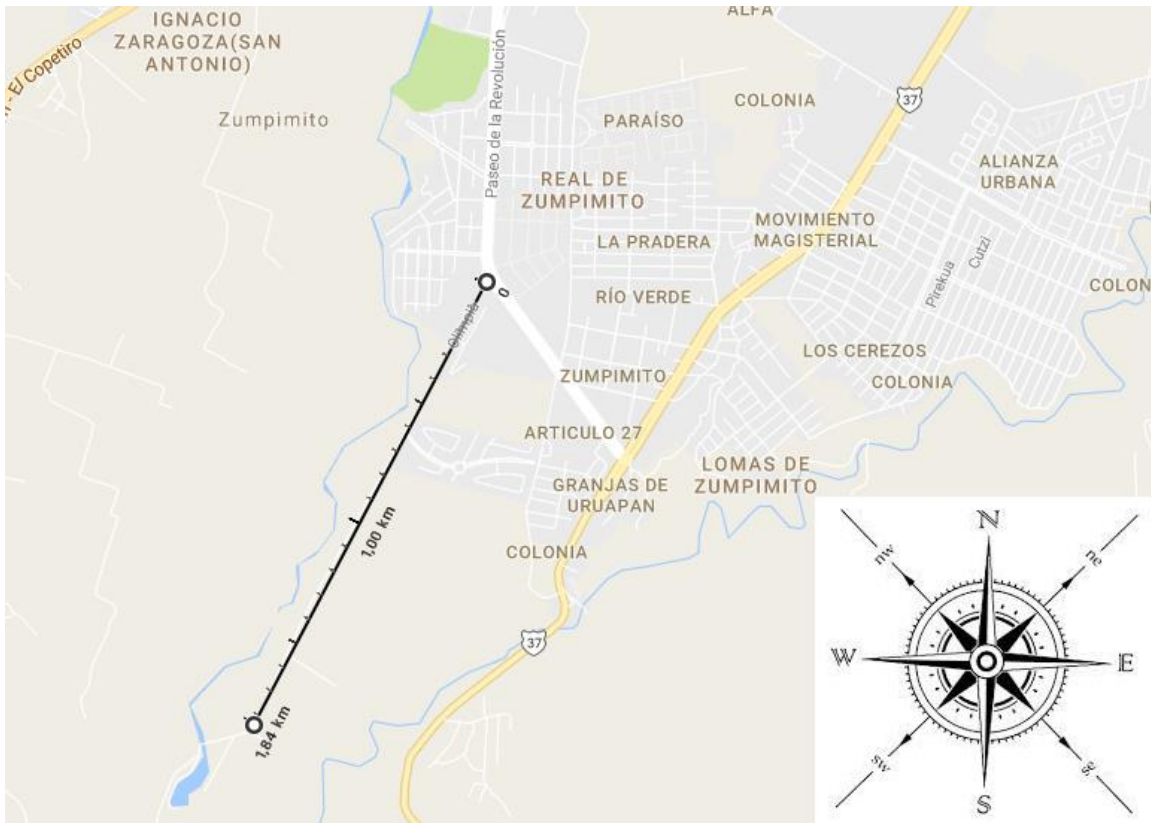


Imagen 3.3.-Localización de la zona de estudio dentro de la ciudad de Uruapan.

Fuente: [www.google.com.mx/maps](http://www.google.com.mx/maps) (2016).

En la imagen 3.4 se hace la ubicación de la ciudad de Uruapan ya que es la ciudad en la cual está ubicado el proyecto.

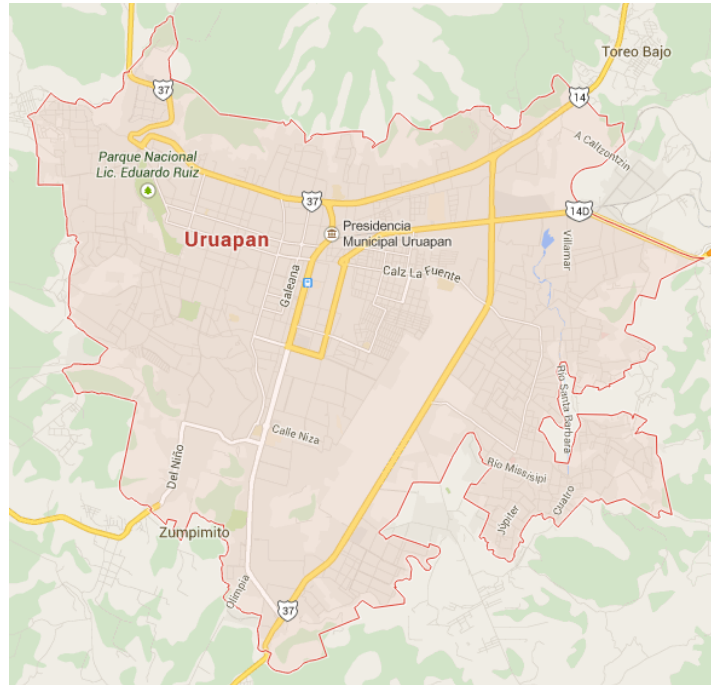


Imagen 3.4.- Localización de la Ciudad de Uruapan.

Fuente: [www.google.com.mx](http://www.google.com.mx) (2016).

### 3.3.2. Geología regional y de la zona en estudio.

De acuerdo con la página [es.scribd.com](http://es.scribd.com) (2016), las rocas que cubren esta zona son principalmente ígneas extrusivas basálticas, piroclásticos y brechas, y en menor extensión, intrusivas graníticas hacia el sur. Los componentes litológicos con mayores proporciones corresponden a basaltos y brechas recientes, basaltos y brechas alteradas; y en menor proporción encontramos el aluvión, conos cineríticos, riolitas, brechas y granitos.

El 90% de la superficie está formado por basaltos y brechas recientes, basaltos y brechas alteradas. Los primeros presentan las mejores características de permeabilidad, como lo demuestra la presencia de numerosos manantiales, funcionando estas rocas como receptoras, almacenadoras y transmisoras del agua subterránea (SARH1980). Se localizan principalmente en la porción norte del área, ocupando la mayor parte del municipio con el 61.36% de la zona. Los basaltos y brechas alteradas ocupan el 29.30 % de la superficie del municipio, sus afloramientos se encuentran expuestos en la porción suroccidental del área, formando una serie de lomeríos. El grado de alteración que presentan ha permitido la formación de arcillas ocasionado una baja permeabilidad del material, lo cual explica la elevada densidad del drenaje.

### **3.3.3. Hidrología regional y de la zona en estudio.**

De acuerdo con la página [www.eumed.net](http://www.eumed.net) (2016), el estado en su Hidrografía, tiene dos grandes corrientes: la del Río Balsas, y la del Río Lerma. Los afluentes más importantes del Río Balsas dentro de Michoacán son los ríos, Tepalcatepec, del Marqués, Tacámbaro, Carácuaro, Cutzamala, Tuzantla y Temascaltepec.

En la parte norte del Estado se localiza el Río Lerma, que sirve de límite con Guanajuato y Jalisco, desemboca en el lago de Chapala. Su principal tributario en el Estado es el Río Duero. Sus aguas termales y balnearios son muy reconocidos, sobresalen: Los Azufres, San José Purúa, Zinapécuaro, Cointzio y Hundacareo.

Con corrientes de agua que se clasifican de la siguiente manera:

**Perennes:** Cupatitzio, El Guayabo, Comparan, El Salto, Parotillas, El Salitre, Acúmbaro y Platanillo.

**Intermitentes:** Inyandicurin, San Lorenzo, San Antonio, Los Conejos, Chumbisto, Las Barrancas, Los Cerezos, El Atravesañ, Los Laureles, Jicalan Viejo, Puente de Tierra, La Mira, Pororicua, El Naranjo, La Tapazon, El Salto, El Salitre, El Guayabo, Andagio y Chimilpa.

### **3.3.4. Uso del suelo regional y de la zona en estudio.**

“Los suelos del municipio datan de los periodos cenozoico, terciario, cuaternario y eoceno, corresponden principalmente a los del tipo podzólico. Su uso es primordialmente forestal y en menor proporción agrícola y ganadero”.  
www3.inegi.org.mx (2016)

“La característica más importante de esta sierra es su vulcanismo reciente, que ha determinado la formación de los suelos. El clima es templado y el relieve accidentado, conformado por sierras, mesetas y lomeríos. Los suelos más importantes de la región son los andosoles; éstos son suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas, que revisten una importancia económica para la región, ya que sustentan extensas plantaciones de aguacate, bosque de pino y bosque de pino-encino. Su vocación es eminentemente forestal, aunque muchos son utilizados para la agricultura de temporal, con el consecuente deterioro”.  
www.biodiversidad.gob.mx (2016)

### 3.4. Informe fotográfico.

Se presenta un informe fotográfico de la zona de estudio en el cual se observará la topografía del camino, así como su estado físico actual, incluyendo la vegetación, la población y la central hidroeléctrica que existe al lado del camino.

En la imagen 3.5 se muestra la entrada del camino el cual esta pavimentada y representa un problema porque a las orillas esta presentando una desbordacion, el cual se dara una solucion y en caso de ser necesario se implementara la carpeta asfáltica y las capas de material que debe llevar.



Imagen 3.5.- Entrada del Camino Viejo a la "CFE".

Fuente: Propia.



En la imagen 3.6 se muestra mas adelante del camino una parte que esta enpedrada el cual tambien se debe remover del lugar.



Imagen 3.6.- Camino empedrado que lleva a “CFE”.

Fuente: Propia.



En la imagen 3.7 se muestra la carpeta asfáltica después del empedrado, solo unos cuantos metros, pero la cual se encuentra en mal estado.



Imagen 3.7.- Carpeta asfáltica en mal estado.

Fuente: Propia

En la imagen 3.8 se muestra que termina la carpeta asfáltica y empieza el terreno natural de la zona en estudio el cual presenta algunos problemas por las lluvias de la temporada y ha provocado socavaciones.



Imagen 3.8.- Terminacion de la carpeta asfaltica, comienzo de terraceria.

Fuente: Propia.



En la imagen 3.9 se observa la flora y la fauna que se encuentra al lado del camino ya que a su alrededor se encuentran varias huertas de aguacate y lo que son pinos y vegetación cerca del lugar.



Imagen 3.9.- Flora, Fauna y Vegetacion al lado del camino.

Fuente: Propia.

En la imagen 3.10 se muestra como se encuentra el camino en terraceria metros adelante casi llegando a “CFE”.



Imagen 3.10.- Camino de terraceria llegando a “CFE”.

Fuente: Propia.



En la imagen 3.11 se observa que en el camino de terracería a un costado presenta encharcamiento de agua.



Imagen 3.11.- Camino de terracería con problemas de encharcamiento.

Fuente: Propia.

En la imagen 3.12 se muestra el final del camino que llega hasta la entrada de “CFE”, que presenta grandes problemas en cuanto a socavación.



Imagen 3.12.- Final del Camino Viejo llegando a la entrada a “CFE”.

Fuente: Propia.

### **3.4.1. Problemática.**

En el sitio donde se elaborará el proyecto cuenta con una carpeta asfáltica temporal ya que fue colocada sobre el suelo que ya estaba sin hacer mejoramiento se considera una carpeta temporal del lugar ya que no cumple con las especificaciones y procedimiento adecuado para esto se volverá a retirar ese tramo para volver a encarpetar.

Y más adelante se tiene un camino formado por rocas que también fue algo temporal ya que nomás son unos cuantos metros.

### **3.4.2. Estado físico actual.**

A continuación, se presentará las condiciones en que se encuentra el camino en donde se realizará el diseño de pavimento flexible, al borde del camino se cuenta con vegetación (pastizal), que está en muy mal mantenimiento ya que está cerca de huertas y aún no está poblado ya que se cuenta con algunos fraccionamientos al principio del camino, pero a largo tiempo piensan hacer más fraccionamientos en esa zona.

### **3.5. Alternativas de solución.**

En cuanto a lo que es la carpeta en el lugar una solución es removerla del lugar ya que no tiene mucha dificultad y la inversión hecha no fue muy grande ya que es muy delgada, los empedrados es roca que con maquinaria fácilmente es removida del lugar, para los bordes en el camino una solución sería implementar jardines para que sea más estético.

### **3.5.1. Planteamiento de alternativas.**

Debido a que al inicio del camino se cuenta con una carpeta asfáltica podría darse el caso de colocar sobre ella una nueva carpeta para ya no hacer todo el proceso solo en la parte que esta empedrada.

### **3.6. Procesos de análisis.**

Para hacer el cálculo de los gastos es necesario conocer la calidad del material a emplear ya que se tendría que poner todas las capas necesarias como es la base, sub-base y la carpeta asfáltica teniendo en cuenta los precios unitarios de cada material a emplear. Además de tener en cuenta la mano de obra y la maquinaria necesaria.



## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA**

En este capítulo se menciona el método empleado para la siguiente investigación además de señalar en qué consiste el método matemático, el enfoque de la investigación, señalar el alcance de investigación en que consiste, además de señalar el diseño de investigación describiendo brevemente cada uno de los instrumentos utilizados para recabar, procesar y analizar los datos y una descripción del proceso de investigación que se llevó a cabo para la realización de la tesis.

#### **4.1. Método empleado.**

El método empleado en esta investigación fue el método científico, que se explicará en qué consiste y las características del mismo.

Como indican Tamayo y Tamayo (2000), este método asegura la investigación y el conocimiento científico; caracterizado por ser tentativo, verificable de razonamiento y de observación empírica, el cual presenta las condiciones de sucesos específicos, aplicando una lógica sobre hechos o realidades observadas.

Por otra parte, el método científico son procedimientos en los cuales se plantean problemas utilizando las hipótesis y los trabajos de investigación. Lo importante y fundamental no es el descubrimiento de verdades, sino cuál es el procedimiento para demostrarlo, ya que cada ciencia necesita un método especial,

los pasos a seguir son regulados por el método científico. Eliminando la subjetividad de la interpretación de la realidad, permitiendo la objetividad en el proceso de investigación. Además, rechaza cualquier procedimiento con el objetivo de manipular la realidad, tratando de imponer creencias o deseos que no se ajusten a los problemas y a la realidad.

### **Características del método científico:**

- Es fáctico: tiene referencia empírica.
- Trasciende los hechos: van más allá de las apariencias.
- Verificación empírica: formulan las respuestas a los problemas planteados para apoyar sus afirmaciones.
- Autocorrectivo: esta confrontación hace que el método sea correctivo y progresivo. Autocorrectivo ajusta o rechaza las conclusiones; progresivo al no tomar las conclusiones utilizan nuevas técnicas y nuevos procedimientos.
- Formulaciones de tipo general: en particular o singular interesa si este es de una clase o caso de una ley. Presupone que todo hecho es clasificable o legal.
- Es objetivo: la objetividad no solo es lograr el objeto también es evitar la distorsión del sujeto. Un hecho es un dato real y objetivo.

#### **4.1.1. Método matemático.**

Es un método cuantitativo basado en las utilidades numéricas y cantidades con el propósito de generar cálculos y estudios adecuados para la investigación. En un estudio se dice que usa el método cuantitativo cuando se

trabaja con varias hipótesis, utilizadas para afirmar y negar variables utilizando números de relación constante.

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

Esta investigación se considera de enfoque cuantitativo.

“El enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base a la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías”. (Hernández Sampieri y Colaboradores; 2010: 4)

Como indican Hernández Sampieri y Colaboradores (2010), el enfoque cuantitativo suele ser secuencial y probatorio, el orden es muy riguroso, las etapas tienen un orden que debe ir siguiendo de una etapa a otra sin “saltar” pasos. Inicia de una idea que se va acotando una vez delimitada se generan las preguntas y los objetivos de investigación realizándose una perspectiva teórica. De las preguntas hechas se establecen hipótesis y se determinan las variables medidas en un determinado contexto desarrollándose un plan para aprobarlas, analizándolas y estableciendo conclusiones para dichas hipótesis.

“El enfoque cualitativo utiliza las recolecciones de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación”. (Hernández Sampieri y Colaboradores; 2010: 4)

El enfoque cualitativo se guía por áreas o temas de investigación significativos, generando las hipótesis o preguntas ya sea antes, durante o después de la recolección y análisis de los datos. Son de gran ayuda

primeramente para descubrir cuáles serían las preguntas de investigación y después para refinarlas y responderlas.

La información utilizada la considero cuantitativa más que nada porque este enfoque pretende de manera intencional “acotar” la información (medir con precisión las variables de dicho estudio).

#### **4.2.1. Alcance de tu investigación.**

Esta investigación se considera de alcance descriptivo, estos estudios son de gran importancia ya que de ellos depende la estrategia de investigación.

##### **Estudios de alcance descriptivo.**

“Los estudios de alcance descriptivo busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población” (Hernández Sampieri y Colaboradores; 2010: 80). Pretendiendo medir o recolectar la información independientemente o en conjunto sobre conceptos a los que refiere, muy útiles para demostrar con precisión ángulos o dimensiones del suceso, contexto o situación. El investigador debe ser capaz de saber qué es lo que se medirá y sobre que se recolectará los datos.

##### **Estudios de alcance exploratorio.**

“Los estudios de alcance exploratorio se utilizan cuando el objetivo es examinar un tema o un problema de investigación poco estudiado” (Hernández Sampieri y Colaboradores; 2010: 79). Sirviendo para relacionarnos con los fenómenos desconocidos y para obtener información para una investigación más

completa, identificando los conceptos o variables promisorias a su vez estableciendo prioridades para investigaciones futuras o para sugerir afirmaciones, se utiliza esta clase de investigación donde se cuenta con poca información.

### **Estudios de alcance correlacional.**

Los estudios de alcance correlacional tienen como propósito saber la relación entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular. A veces se analizan estudios entre dos o más variables midiendo cada una para después cuantificar y analizar la vinculación. La utilidad principal es conocer el comportamiento de un concepto o una variable conociendo el comportamiento de otras variables vinculadas.

### **Estudios de alcance explicativo.**

“Los estudios de alcance explicativo van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar porque ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables” (Hernández Sampieri y Colaboradores; 2010: 84).

### **4.3. Diseño de investigación.**

Los tipos de diseño que existen son dos, el diseño experimental y el no experimental. El diseño de investigación empleado para esta investigación es el no experimental, ya que se realizan estudios sin la manipulación de variables en la

que solo se observan fenómenos en el medio ambiente para más tarde analizarlos.

### **Diseño no experimental.**

Como indican Hernández Sampieri y Colaboradores (2010), la investigación no experimental realiza estudios sin manipular variables en otras palabras se hacen estudios sin variar de forma intencional independientes para ver el efecto que ocasionaría sobre otras variables. Lo que se hace es ver como se dan los fenómenos en un contexto natural para después analizarlos. Donde se observan las situaciones existentes que no son provocadas, las variables independientes en la investigación no experimental ocurren y no es posible manipularlas.

### **Diseño transeccional**

Según Hernández Sampieri y Colaboradores (2010), el diseño transeccional correlacional causal se limita a establecer relaciones entre dos o más categorías, variables o conceptos. Se limitan cuando se establecen relaciones de variables sin tener un sentido de casualidad o la finalidad de analizar las relaciones causales.

Cuando son limitadas a relaciones no causales se fundamentan en planteamientos e hipótesis correlacionales. La casualidad implica correlación, pero no toda correlación significa casualidad, además son complejos donde abarcan varias categorías, son explicativos cuando se establecen relaciones causales, en este diseño la casualidad existe, pero es el investigador quien establece cual es la causa y efecto.

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

Los programas, instrumentos y herramientas utilizadas para la recopilación, procesamiento y análisis de datos son los siguientes:

AutoCAD: es un programa de dibujo para realizar trazos de manera fácil por medio de comandos, en el cual sirve de ayuda para ver el levantamiento topográfico realizado y poder hacer el plano, con la ayuda del civilcad que es una herramienta de AutoCAD que permite obtener de manera más fácil el plano ya que puede ser proyectado por medio de coordenadas o puntos generados por la estación total.

Excel: consiste en una hoja de cálculo de gran ayuda para obtener resultados de manera más sencilla y rápidamente mediante fórmulas.

Topografía: consiste en obtener una representación plana del terreno con las formas y detalles donde se tiene pensado construir, en escala a papel al que se le llama plano topográfico.

Mecánica de suelos: este método consiste en hacer perforaciones en la superficie del suelo para obtener muestras y conocer la capacidad de carga realizando estudios adecuados en el laboratorio, conociendo como puede beneficiar o afectar al proyecto.

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

Antes de dar comienzo a la investigación se hace un plan de obra de cómo realizar el proyecto y los pasos a seguir para así obtener un resultado satisfactorio

para el diseño adecuado cumpliendo con las normas y los requisitos con el propósito de que sea satisfactorio para las personas beneficiadas.

El proyecto que se eligió fue el diseño de un pavimento por el problema que se conocía en el tramo de terracería Camino Viejo a Zumpimito, ya que es un camino que se encuentra en mal estado teniendo complicaciones para los usuarios que transitan, llegando a la necesidad de mejorar el tramo de camino. Principalmente se busca el problema presentado para generar la pregunta de investigación para así justificar el porque es importante dar una solución a dicho problema, una vez que se tiene una solución se realizan una macro y micro localización del proyecto a construir, haciendo un levantamiento topográfico utilizando la estación total para determinar los perímetros, áreas, longitudes y altitudes presentados en el tramo de camino, el lugar a construir se toma fotografías del terreno para el reporte topográfico, una vez obtenido el mapa ya hecho en AutoCAD, con el método adecuado se realizan los cálculos con la ayuda del software Microsoft Excel para ser más exactos y tener un trabajo correcto una vez obtenidos los datos se revisan para así generar pendientes adecuadas y medidas necesarias para obtener los espesores adecuados en las capas de un pavimento flexible dando una solución satisfactoria.



## CAPÍTULO 5

### CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se interpretarán los resultados obtenidos que se realiza previamente en el lugar de estudio, de los cuales se obtienen datos como el aforo vehicular, el estudio del (VRS) del lugar a pavimentar, el diseño de pavimento mediante el método de la UNAM y lo que es el proceso constructivo.

#### 5.1. Aforo vehicular.

De acuerdo a lo establecido por Crespo (1996), un aforo vehicular es la cantidad de vehículos que transitan en un camino en el mismo sentido en un cierto tiempo, las unidades están dadas en vehículos por día o por hora. Se llama Tránsito Promedio Diario (T.P.D) al volumen de tránsito que circula durante 24 horas. “Se llama Tránsito Promedio Anual (TDPA) al número total de vehículos que pasan por una carretera en ambos sentidos durante un año, dividido entre 365 años”. (Olivera; 2006: 231)

Los vehículos a transitar por un camino varían dependiendo el tipo de camino a utilizar, como ejemplo se tiene un camino turístico donde el tráfico será de automóviles pasajeros y un camino minero donde el tráfico será de vehículos más pesados, en caminos agrícolas el tráfico puede ser muy variado. Para conocer el tipo de tránsito no presenta dificultad, ya que se hace conteos horarios que nos indican el volumen y el tipo de tránsito.

En la siguiente tabla 5.1 se muestra la clasificación de los vehículos de forma general, divididos en vehículos ligeros, pesados y especiales. Visto en perfil y planta con sus respectivos símbolos de cada uno además de los ejes de cada vehículo:



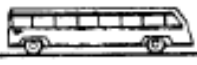

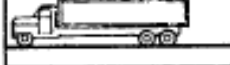
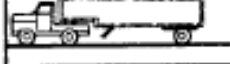
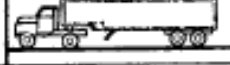
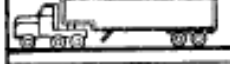

TIPO DE VEHICULO	NUM DE EJES	E S Q U E M A S		SIMBOLO	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE CAMIONES	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE VEHICULOS		
		PERFIL	PLANTA					
VEHICULOS LIGEROS	AUTOMOVILES	2		Ap	—	46	58	
	CAMIONETAS			Ac		12		
VEHICULOS PESADOS	AUTOBUSES	2		B	—	12	42	
	CAMIONES	2		C2	73	100		30
		3		C3	13			
				T2-S1				
				T2-S2				
		5		T3-S2	7			
				T2-S1-R2				
	OTRAS COMBINACIONES							
VEHICULOS ESPECIALES	CAMIONES Y/O REMOLQUES ESPECIALES	V A R I A B L E		E <sup>n</sup> n = variable	V A R I A B L E			
	MAQUINARIA AGRICOLA							
	BICICLETAS Y MOTOCICLETAS							
	OTROS							

Tabla 5.1.- Clasificación general de los vehículos.

Fuente: Manual de proyecto geométrico de carreteras, SCT, 1991.

En la siguiente tabla 5.2 se muestra de manera mas simplificada, la clasificacion de los tipos de vehiculos asi como su descripcion. Estos integran al tránsito que esta dado en porciento del TDPA en base a la siguiente simbologia.

TIPO DE VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN
M	Motos
A	Automóviles
B	Autobuses
C2	Camiones Unitarios de 2 ejes.
C3	Camiones Unitarios de 3 ejes.
T3S2	Tractor de 3 ejes con semiremolque de 2 ejes.
T3S3	Tractor de 3 ejes con semiremolque de 3 ejes.
T3S2R4	Tractor de 3 ejes con semiremolque de 2 ejes y remolque de 4 ejes.
Otros	Considera otro tipo de combinaciones de camiones de carga.

Tabla 5.2.- Clasificación de vehículos en el país de México de acuerdo a la SCT.

Fuente: Datos viales 2014, SCT; 2014.

Tomando como base la información de aforo vehicular se presenta el aforo hecho de manera manual en el lugar del proyecto que se encuentra ubicado en la carretera “camino viejo a la central hidroeléctrica de CFE”

De acuerdo a lo establecido por Mier Suarez (1987), dicho proceso consiste en realizar muestreos en un tiempo que puede ser variado de 5 ó 10 días procurando incluir en el primer caso un fin de semana y en el segundo caso dos domingos y dos lunes. Es conveniente que los conteos tengan una duración de 24 horas diarias en el primer caso y en el segundo solo los primeros 5 días las 24 horas y los días restantes de 7 a 19 horas.

Este conteo manual se considera de tipo imperfecto por presentar variaciones en el tránsito debido a diversas estaciones, con los meses del año, con obras ocasionales, etcétera.

En los conteos manuales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Vehículos ligeros (menos de 2.5 Ton.). - (A) automóviles, pick ups, camiones ligeros, etc.
- Vehículos pesados (más de 2.5 Ton.). - (B) camiones, (C) autobuses.

A continuación, se muestra en la tabla 5.3 el aforo vehicular hecho de manera manual, en el cual se registraron todo tipo de vehículos, además de peatones que pasan por el lugar en el “Camino Viejo a la Central Hidroeléctrica de CFE” indicando la cantidad de vehículos, el tipo de vehículos, el día y la hora.









DIAS	HORA	AUTOS	MOTOS	CAMIONETAS TIPO PICK UP	AUTOBUSES	CAMIONES	TRES O MÁS EJES	BICICLETAS	PEATONES
									
MARTES	5:00PM - 7:00PM	81	12	124	0	1	0	14	79
MIERCOLES	9:00AM - 11:00PM	58	6	118	0	4	0	24	31
JUEVES	3:00PM - 5:00PM	74	9	140	0	13	0	7	23
VIERNES	11:00AM - 1:00PM	84	8	107	0	2	0	3	18
SABADO	1:00PM - 3:00PM	96	23	133	0	7	0	16	62
TOTAL		393	58	622	0	27	0	64	213

Tabla 5.3.- Aforo vehicular.

Fuente: Propia.

En base a la tabla anterior se toma en cuenta los peatones, bicicletas y motos como un dato más, ya que por parte de la SCT no se toman en cuenta estas clasificaciones. En la tabla se aprecia que en el transcurso de la tarde es cuando más personas aprovechan para salir a hacer ejercicio, este tramo se presta mucho para salir a correr o caminar ya que tiene una distancia cerca de los 2 km y es un lugar tranquilo y seguro debido a la seguridad que se tiene por parte de los fraccionamientos, donde transita varia gente como son trabajadores de CFE, personas que se dirigen a los fraccionamientos y a las huertas.

En la tabla también se muestra datos donde no transitan autobuses ni camiones con más de tres ejes debido a que en la zona no cuenta con mucha población o no se cuenta con el servicio de autobuses hacia esa zona.

## **5.2. Valor Relativo de Soporte (VRS).**

El ensaye de Valor Relativo de Soporte (VRS), se obtiene por medio de una prueba de penetración en un molde metálico en forma de cilindro con un área de 19.35 cm<sup>2</sup> se hace penetrar en un molde con un suelo que debe ser compactado a 2000 psi a una velocidad de 0.127 cm/min (0.05plg/min), registrando una carga de penetración a cada 0.25 cm (0.1”).

El espécimen de suelo al que se realizará el previo ensaye se encuentra confinado en un molde de acero de 15.2 cm (6”) de diámetro con una altura de 20.30 cm (8”), el material seco a usar es cribado por la malla de 2.54 cm (1”), agregando agua necesaria para que se encuentre en la humedad óptima de compactación, pesando 4kg de material húmedo para después colocarlo en el molde de acero distribuido en tres capas verillas, es decir se coloca una capa y se penetra con una varilla hasta completar las 3 capas para después colocarlo en una prensa que le aplicara una carga de 140 kg/cm<sup>2</sup> aplicada uniformemente en la superficie del suelo hacia el interior del molde, dicho proceso es denominado ensaye Porter, en la actualidad la aplicación del ensaye AASHTO tanto Estándar modificado se deben de igualar las características de humedad óptima de compactación y masa volumétrica seco máximo obtenidos de ensayes previos y después aplicar la penetración la cual es el factor que nos determinara el VRS del suelo de la zona de estudio.

Los factores que pueden llegar a modificar los resultados obtenidos en un estudio del VRS es la textura del suelo en la superficie del molde, la compactación

dada al espécimen y el contenido de agua (puede ser que no sea el contenido óptimo de agua y afecta para los resultados al momento de realizar la penetración para obtener el VRS).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del estudio del (VRS), la primera prueba se hizo al 100% y la segunda prueba se hizo en saturación las 24 horas. En la prueba al 100% la resultante de esta prueba fue un 95.14% el cual nos indica una base de buena calidad, mientras tanto el valor obtenido de la prueba de saturación las 24 horas el resultado fue de un 46.68% considerada como subrasante de buena calidad. Para el diseño de pavimento se tomará en cuenta la segunda prueba que es la de saturación las 24 horas es de ahí donde se empezará a diseñar las demás capas faltantes para el pavimento flexible.

### VALOR RELATIVO DE SOPORTE AL 100%

#### LECTURAS DE ENSAYE

CTE CARGA:	3079.11 (LECT) - 5.96 EN KG.	
DEF. (MM)	LEC. (MM)	CARGA (KG)
0.00		
2.00	0.290	886.95
4.00	0.450	1379.63
6.00	0.560	1718.14
8.00	0.650	1995.46
10.00		
12.00		
14.00		

VALOR RELATIVO DE SOPORTE	
VRS (%) 2a lectura	95.14

CALIDAD DE LA MUESTRA
BASE DE BUENA CALIDAD

OBSERVACIONES		
DATOS EN ENSAYE AASHTO		
PVSM. =	KG/M3	
Wopt =	% (porcentaje)	
CONSIDERACIONES:		
	VRS (MIN)	EXP (MAX)
TERRAPLEN	5	5
SUBYACENTE	10	3
SUBRASANTE	20	2
SUBBASE	50/60	-
BASE	80	-

No	HRS.	ALTURAS		
		INICIAL	FINAL	EXPANSIÓN
1	24	9 CM	9 CM	0

FÓRMULA DEL VRS

$$VRS = \frac{2da\ Lect.}{1425} \times 100$$

VALOR RELATIVO DE SOPORTE EN SATURACIÓN LAS 24 HORAS

LECTURAS DE ENSAYE

CTE CARGA:	3079.11 (LECT) - 5.96 EN KG.	
DEF. (MM)	LEC. (MM)	CARGA (KG)
0.00		
2.00	0.150	455.9
4.00	0.218	665.28
6.00	0.260	794.6
8.00	0.295	908.33
10.00		
12.00		
14.00		



VALOR RELATIVO DE SOPORTE	
VRS (%) 2a lectura	46.68
CALIDAD DE LA MUESTRA	
SUBRASANTE DE BUENA CALIDAD	

OBSERVACIONES		
DATOS EN ENSAYE AASHTO		
PVSM. =	KG/M3	
Wopt =	% (porcentaje)	
CONSIDERACIONES:		
	VRS (MIN)	EXP (MAX)
TERRAPLEN	5	5
SUBYACENTE	10	3
SUBRASANTE	20	2
SUBBASE	50/60	-
BASE	80	-

No	HRS.	ALTURAS		
		INICIAL	FINAL	EXPANSIÓN
1	24	9 CM	9 CM	0

FÓRMULA DEL VRS

$$VRS = \frac{2da\ Lect.}{1425} \times 100$$

En la imagen 5.1 se muestran los porcentajes del 0% al 100% de compactación en un suelo y de acorde a al porcentaje se traza una línea para reconocer si la calidad del suelo es buena, regular o mala.

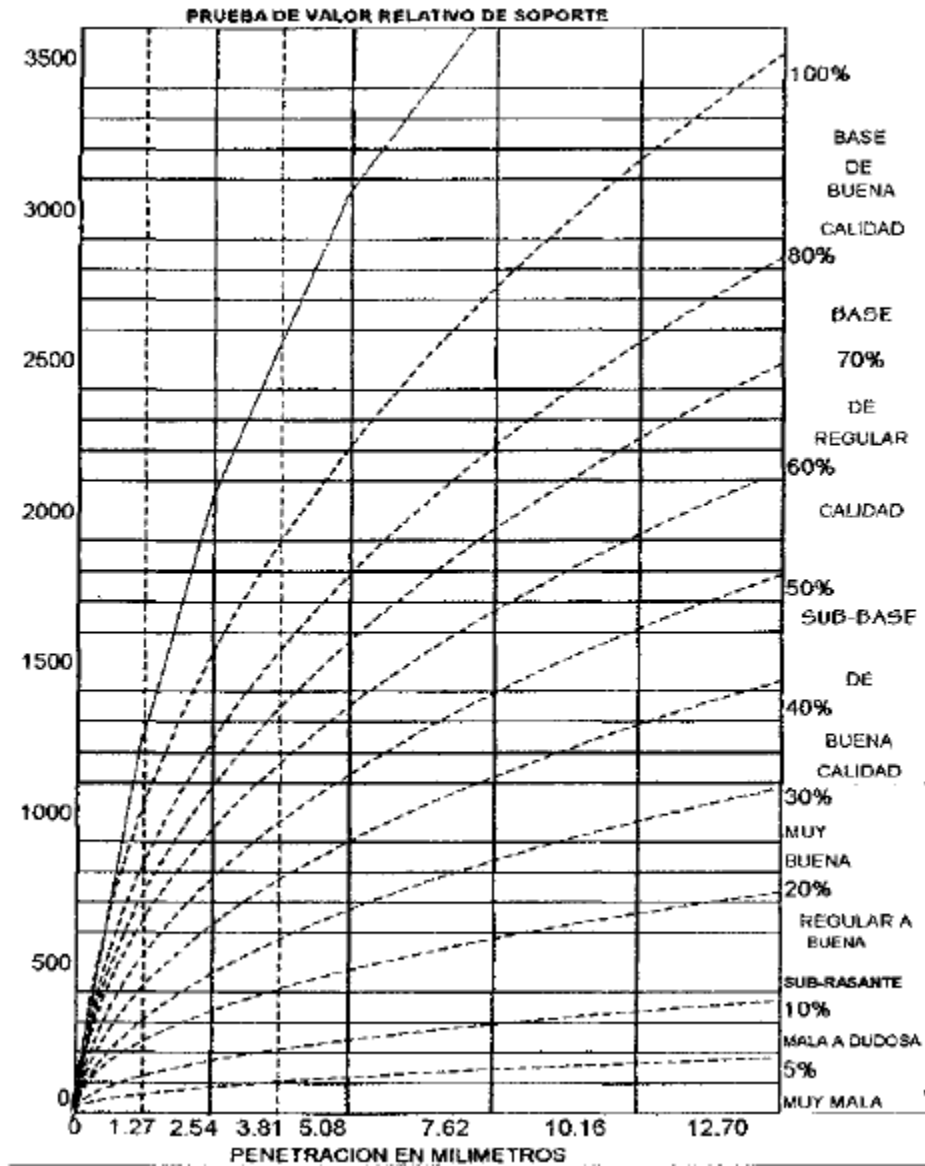


Imagen 5.1.- Gráfica del ensayo.

Fuente: Membrillo Fernández; 2004: [www.infonavit.janium.net](http://www.infonavit.janium.net)

### **5.3. Diseño de pavimento flexible por el método de la UNAM.**

Para el diseño de pavimento flexible por el método de la UNAM se realizó con ayuda del manual y con hojas de cálculo hechas en el programa de Excel en base al método de la UNAM.

Para este método se toman datos básicos como es el tipo de carretera, la vida de proyecto, el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), el número de carriles, además de las características del tipo de terreno y de materiales, también datos del clima, precipitaciones pluviales de la zona y nivel freático, además se toma en cuenta el estudio del Valor Relativo de Soporte (VRS) que se hizo en la zona.

Para obtener el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) se realiza del aforo vehicular un resumen de todos los vehículos que se tomaron en cuenta del lugar a pavimentar, las consideraciones se tomaron de acuerdo a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

En la tabla 5.4 se muestra la tabla del aforo vehicular resumido en tipos de vehículos Ap (autos), Ac (camionetas tipo pick up), C2 (camiones) de la siguiente manera:


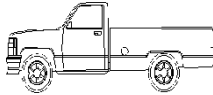
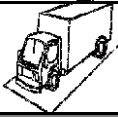
DIAS	HORA	Ap	Ac	C2
				
MARTES	5:00PM - 7:00PM	81	124	1
MIERCOLES	9:00AM - 11:00PM	58	118	4
JUEVES	3:00PM - 5:00PM	74	140	13
VIERNES	11:00AM - 1:00PM	84	107	2
SABADO	1:00PM - 3:00PM	96	133	7
TOTAL		393	622	27

Tabla 5.4.- Resumen del aforo vehicular.

Fuente: Propia.

La suma total de los vehículos es dividida entre 5, que son los días que se tomaron las lecturas del aforo vehicular, para así poder tener un promedio semanal. Una vez obtenido el promedio semanal es multiplicado por un periodo de 6 horas el cual es tomado así ya que las otras 12 horas que restan son las de la noche y el tránsito reduce de manera considerable, de acuerdo a estos procedimientos se obtiene un TDPA de 1250 vehículos, por lo tanto, el tránsito de vehículos se considera regular, por lo tanto, para el diseño se considera un TDPA de 1250 vehículos clasificado como camino tipo B.

Datos del aforo:

Número de carriles:	2	
Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA):	1250	carril de diseño

Distribución de porcentajes de vehículos:

TIPO	VEHICULOS	%
Ap	393	37.72
Ac	622	59.69
C2	27	2.59
suma	1042	100.00

Tasa de crecimiento (%): 20

Vida útil de proyecto (años): 20

Nivel de confianza Qu: 0.8

Tipo de camino: B

Determinación de los Coeficientes Combinados de Daño y ejes equivalentes actuales.									
Vehículos tipo	Vehículos en el carril de diseño	coeficiente de daño vehículos cargados				Ejes equivalentes de 8.2 ton.			
		Z=0	Z=15	Z=22.5	Z=30	Z=0	Z=15	Z=22.5	Z=30
Ap	393	0.005	0.000	0.000	0.000	1.965	0	0	0
Ac	622	0.034	0.042	0.011	0.010	21.148	26.124	6.842	6.22
B	27	2.000	1.150	1.100	1.100	54	31.05	29.7	29.7
	1042					77.113	57.174	36.542	35.92

Mediante la Imagen 5.2 de coeficiente de daño por tránsito para vehículos típicos, el volumen de tránsito real mezclado en combinación con el Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) se convierte a tránsito equivalente de 8.2 ton.

NOTA:  
 $K_1$ : Coeficiente de reducción para el vehículo vacío  
 $K_2$ : Coeficiente de reducción para el vehículo cargado

CARACTERÍSTICAS				COEFICIENTES DE DAÑO CARGADO, F				COEFICIENTES DE DAÑO VACÍO, F'			
Eje	Peso, ton		P <sub>0</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	CARGA, F				CARGA, F'			
	Cargado	Vacío		z=0	z=15	z=22.5	z=30	z=0	z=15	z=22.5	z=30
1	1.0	0.8	2.0	0.0023	0.000	0.000	0.000	0.0023	0.000	0.000	0.000
	1.0	0.8	2.0	0.0023	0.000	0.000	0.000	0.0023	0.000	0.000	0.000
	Σ	2.0	1.6	-	0.0046	0.000	0.000	0.000	0.0046	0.000	0.000
2	1.6	1.2	4.2	0.17	0.002	0.001	0.000	0.17	0.001	0.000	0.000
	3.3	1.2	4.2	0.17	0.040	0.010	0.010	0.17	0.000	0.000	0.000
	Σ	4.9	2.4	-	0.34	0.042	0.011	0.010	0.34	0.001	0.000
3	4.2	3.0	5.8	1.0	0.150	0.080	0.050	1.0	0.040	0.015	0.007
	8.3	7.0	5.8	1.0	1.000	1.020	1.050	1.0	0.600	0.500	0.500
	Σ	12.5	10.0	-	2.0	1.150	1.100	1.100	2.0	0.640	0.515
4	2.5	1.5	5.0	0.44	0.025	0.008	0.002	0.44	0.002	0.000	0.000
	6.8	2.7	5.0	0.44	0.440	0.440	0.440	0.44	0.025	0.008	0.003
	Σ	9.3	4.2	-	0.88	0.465	0.448	0.442	0.88	0.027	0.008
5	2.6	1.7	5.0	0.44	0.025	0.008	0.003	0.44	0.004	0.001	0.000
	14.0	5.2	5.0	0.44	0.650	0.650	0.650	0.44	0.040	0.010	0.006
	Σ	16.6	6.9	-	0.88	0.675	0.658	0.653	0.88	0.044	0.011
6	3.0	2.5	5.8	1.0	0.040	0.015	0.007	1.0	0.020	0.006	0.002
	8.0	3.6	5.8	1.0	0.900	0.900	0.900	1.0	0.080	0.030	0.020
	Σ	11.0	6.1	-	2.0	0.940	0.915	0.907	2.0	0.100	0.036
7	4.0	3.5	5.8	1.0	0.120	0.060	0.030	1.0	0.080	0.030	0.020
	8.5	4.0	5.8	1.0	1.000	1.020	1.050	1.0	0.120	0.060	0.030
	Σ	12.5	7.5	-	2.0	1.120	1.080	1.080	2.0	0.200	0.090
8	3.9	3.5	5.8	1.0	0.100	0.050	0.025	1.0	0.080	0.030	0.020
	13.0	5.4	5.8	2.0	0.600	0.500	0.500	2.0	0.040	0.015	0.007
	Σ	16.9	8.9	-	3.0	0.700	0.550	0.525	3.0	0.120	0.045

Imagen 5.2.- Coeficiente de daño por tránsito para vehículos típicos.

Fuente: La ingeniería de suelos en las vías terrestres; 198: 2005.

Se utilizará:

$T_0 = 77.11$  Ejes equivalentes de 8.2 ton.

$T_{15} = 57.17$  Ejes equivalentes de 8.2 ton.

### **Cálculo del tránsito equivalente acumulado.**

$$Ln = C' \times T$$

Donde:

Ln: Tránsito acumulado durante “n” años de servicio y “r” tasa de crecimiento.

C: Coeficiente de acumulación de tránsito para “n” años y “r” tasa de crecimiento.

T: Tránsito medio diario en actual.

Por lo tanto:

$$C' = \frac{[(1 + r)^p] - 1}{r} \quad (365)$$

$$C' = \frac{[(1 + 0.20)^{20}] - 1}{0.20} \quad (365)$$

$$C' = 68,141$$

Verificando en la gráfica correspondiente imagen 5.3:

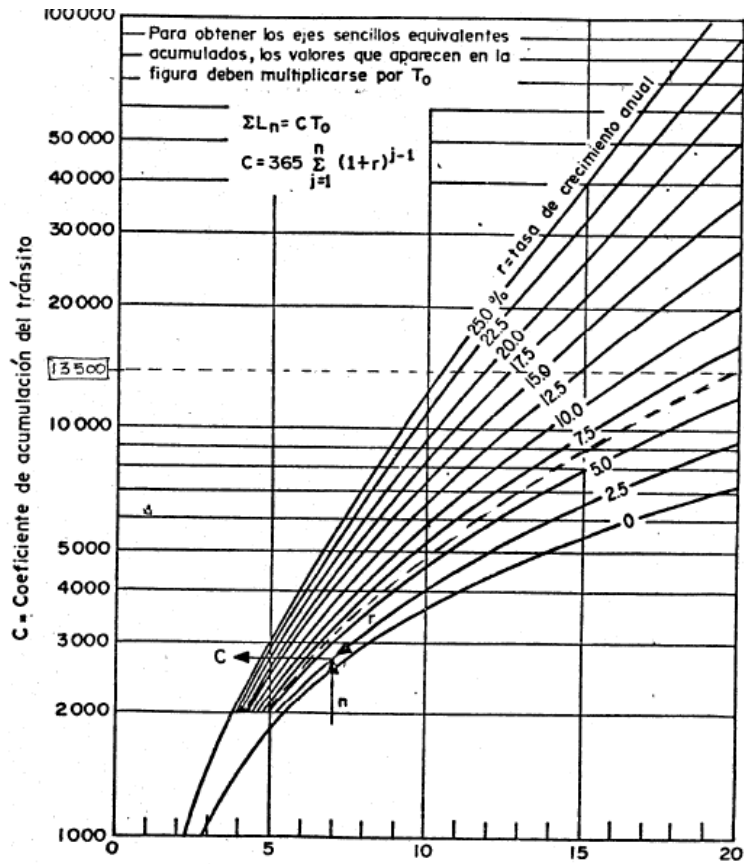


Imagen 5.3.- Gráfica para estimar el tránsito equivalente acumulado.

Fuente: La ingeniería de suelos en las vías terrestres; 201: 2005.

C' gráfica = 68,000

Por tanto, el tránsito equivalente a "n" años de servicio es de:

$L_0 = 5,254,556.93$  Ejes equivalentes de 8.2 ton.

$L_{15} = 3,895,893.53$  Ejes equivalentes de 8.2 ton.



## Determinación de espesores de diseño.

Nivel de confianza:

0.8

Por lo tanto C:

0.842

Variación de resultados de la prueba de VRS:

1

### Determinación del valor relativo de soporte de diseño (VRSc)

En la imagen 5.4 se obtienen los datos anteriores

Nivel de confianza %	75	80	85	90	95	99
C	0.675	0.842	1.037	1.282	1.645	2.326
Espesores mínimos recomendables, cm						
$\Sigma L$	$1.5 \times 10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$		
2D <sub>1</sub>	riego	10.0	17.5	25.0		
D <sub>2</sub>	15	12.5	12.5	12.5		

Imagen 5.4.- Tabla de diseño estructural de carretera con pavimento flexible (Instituto de Ingeniería de la UNAM).

Fuente: La ingeniería de suelos en las vías terrestres; 202: 2005.

$$VRSc = VRS (1 - (CxV))$$

Capa	VRS prom. en %		VRS proy. en %	ejes equivalentes de proyecto	espesores obtenidos de gráfica
Terreno Natural	46.68		7.37	3.89E+0.6	23 (Z4)
Subbase	60	min. Norma	9.48	3.89E+0.6	19 (Z3)
Base hidráulica	80	min. Norma	12.64	3.89E+0.6	13 (Z2)

Para efectos de diseño de pavimento flexible se toma el VRS saturado para un terreno natural, es decir el 46.68%, el VRS crítico y los ejes equivalentes de proyecto, se analizará en la siguiente imagen 5.5 en la cual se obtiene los espesores tentativos para diseñar y después obtener los espesores reales como se muestra más adelante.

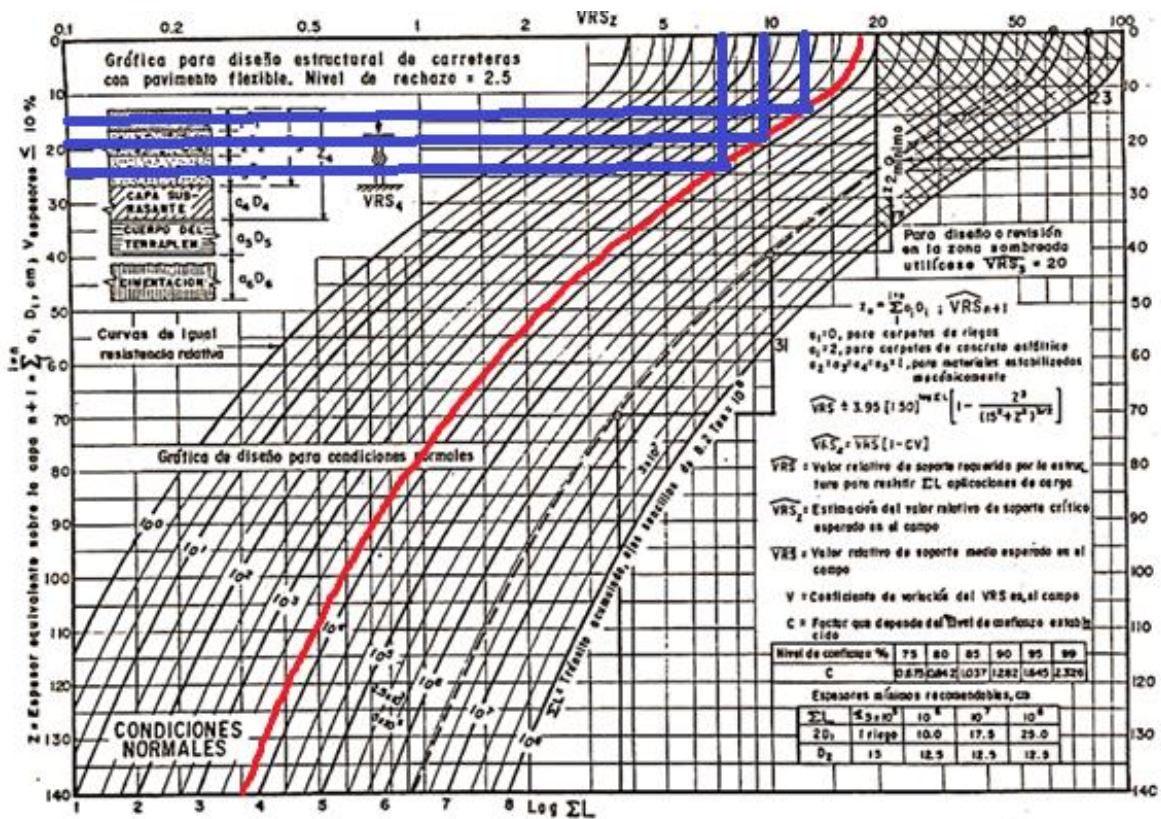


Imagen 5.5.- Gráfica de diseño estructural de carretera con pavimento flexible (Instituto de Ingeniería de la UNAM).

Fuente: La ingeniería de suelos en las vías terrestres; 202: 2005.

Obtenidos ya los espesores tentativos como consiguiente se pretende obtener los espesores reales.

Para la determinación del espesor real de las capas  $D_i$  se utilizará la ecuación siguiente:

$$Z_i = \sum 1 a_i * D_i$$

Donde:

$Z_i$  = Espesor equivalente.

$a_i$  = Coeficiente de equivalencia estructural.

$D_i$  = Espesor real.

Aplicando las siguientes especificaciones:

$a_1 = 0$  Para carpetas de riego.

$a_1 \geq 2$  Para carpetas asfálticas (se toma  $a_1 = 2$ ).

$a_2 = a_3 = a_4 = 1$  Para materiales estabilizados mecánicamente.

Se tiene que el diseño para carpetas asfálticas es:

$a_1 = 2$  y  $a_2 = a_3 = a_4 = 1$

**Espesor de la capa subbase, donde:**

$$D_{sb} = (Z_4 - Z_3) / a_3 = 4 \text{ cm.}$$

**Espesor de la capa base hidráulica y carpeta asfáltica donde:**

$$D_{carp} + D_{bh} = Z_4 - D_{sb} = 19 \text{ cm.}$$

$$24 = (a_1) D_{carp} + (a_2) D_{bh}$$

Donde:

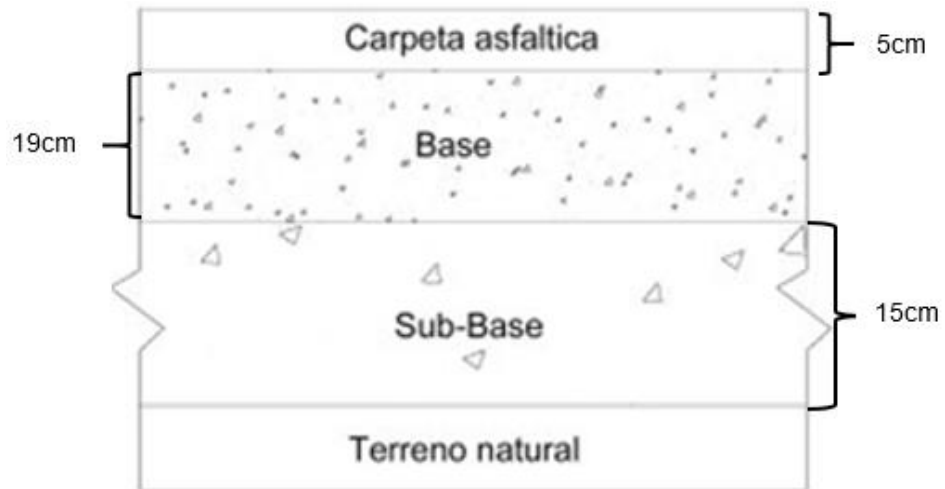
$D_{carp} = 5$  en cm para menos de  $5 \times 10^5$  ejes equivalentes.

$D_{bh} = 19$  en cm.

Por lo que la estructura de pavimento quedaría de la siguiente manera:

Capa	Esp. Calc.	Esp. mínimo	Esp. Prop.
Carpeta asfáltica	5	5	5
Base hidráulica	19	15	19
Subbase	4	15	15
Subrasante	-	-	-
Terreno natural	-	-	-

Tomando en cuenta el diseño de pavimento flexible por el método de la UNAM, el diseño óptimo para el pavimento flexible del camino viejo a la central hidroeléctrica de CFE es una sub-base de 15 cm, una base de 19cm, y la carpeta asfáltica de 5cm.



Estos datos son establecidos en relación con el aforo vehicular presentado en el tramo de estudio, en la tabla 5.4 se muestra que el aforo vehicular fue el siguiente:

DIAS	HORA	AUTOS	MOTOS	CAMIONETAS TIPO PICK UP	AUTOBUSES	CAMIONES	TRES O MÁS EJES	BICICLETAS	PEATONES
MARTES	5:00PM - 7:00PM	81	12	124	0	1	0	14	79
MIÉRCOLES	9:00AM - 11:00PM	58	6	118	0	4	0	24	31
JUEVES	3:00PM - 5:00PM	74	9	140	0	13	0	7	23
VIERNES	11:00AM - 1:00PM	84	8	107	0	2	0	3	18
SABADO	1:00PM - 3:00PM	96	23	133	0	7	0	16	62
<b>TOTAL</b>		<b>393</b>	<b>58</b>	<b>622</b>	<b>0</b>	<b>27</b>	<b>0</b>	<b>64</b>	<b>213</b>

Tabla 5.4.- Aforo vehicular.

Fuente: Propia.

Mediante las especificaciones del diseño de pavimento por el método de la UNAM en relación con estos datos tomados en el tramo de estudio es la manera de obtener el diseño ideal para el correcto funcionamiento del pavimento flexible.

#### **5.4. Proceso constructivo.**

En este tema se hablará del proceso constructivo de un pavimento flexible, el cual se mencionan los procedimientos de la siguiente forma primero realizando una limpieza, trazo y nivelación del lugar, se prepara el terreno haciendo un despalme para próximamente hacer el corte o excavación, se terraplena para después poner las capas del pavimento en forma ordenada que sería la siguiente: la sub-base, la base y la carpeta asfáltica.

#### **Limpieza, Trazo y nivelación.**

Primeramente, se realiza la limpieza del lugar, se considera un trabajo de mucha importancia para la preparación del terreno es sencillo y rápido de realizar además de que los costos de operación son bajos, algunas veces será necesario la tala de árboles para que no sean un obstáculo durante la operación, la limpieza puede hacerse en etapas de acuerdo al avance que se tenga esto sirve para que el terreno no se llegue a erosionar. Después se realiza el trazo del lugar a construir obteniendo la geotecnia del terreno y la información topográfica, utilizando la estación total para determinar los niveles del lugar donde se realizará el proyecto, aplicando normas y especificaciones por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).

#### **Despalme.**

Se realizará la remoción de la capa vegetal del lugar donde estará ubicado el proyecto se hace una pequeña remoción que puede variar de aproximadamente de 20 a 30cm utilizando el equipo mecánico necesario para este procedimiento.

### **Corte o excavación.**

Se hace un corte en el lugar que generalmente son excavaciones realizadas a cielo abierto en el terreno natural para obtener las secciones del proyecto, pueden ser realizadas las excavaciones con o sin explosivos en caso de tener materiales rocosos, además si el material que es excavado en el lugar cumple con las especificaciones necesarias, puede ser usado para la formación de terraplenes y esto reduciría costos en proyecto.

### **Terraplén.**

En seguida del corte se terraplena en los lugares necesarios para esto se puede usar el material producto del corte o también de bancos de material, generalmente para realizar estas funciones se debe tener la maquinaria necesaria. La maquinaria utilizada son las siguientes: camión volteo, motoconformadora, vibro compactador, cargador frontal y pipa.

### **Capa sub-rasante.**

De acuerdo con la página electrónica [www.biblioteca.usac.edu.gt](http://www.biblioteca.usac.edu.gt) (2016), una vez que se llega a la capa sub-rasante por medio del terraplén, el material empleado comúnmente es el material del corte compactándose al 95% de su peso volumétrico seco máximo. Una vez construida la capa es necesario escarificar la superficie a una profundidad no menor de 15cm y no mayor de 30 cm, para eliminar rocas mayores a los 10 cm, si es necesario se terraplena o se corta material hasta tener los niveles de sub-rasante de diseño.

### **Capa sub-base.**

Para la capa sub-base se forma de materiales pétreos triturados de 2" a finos mezclados con material de la sub-rasante. El espesor no debe de ser menor de 10 cm, ni mayor a los 70 cm, se debe colocar una línea de estacones a una separación de 20 m con la altura de acuerdo al diseño, colocándose además los estacones a lo ancho formando un prisma para que sea colocado el material, el llenado de material se hace por medio de volteos que dejará el material en bancos pequeños para que después la moto niveladora esparza el material a la altura marcada por los estacones, después sigue el trabajo de mezclado y homogenizado con la moto niveladora volteando el material hasta la sub-rasante hasta llegar al final de la sección regresando nuevamente para que quede el material homogenizado totalmente. Durante este proceso se debe checar el contenido de humedad. Al terminar se compacta el material por medio de los vibro compactadores, una vez terminada la capa se atará un cordel en los estacones para verificar que este a la altura determinada verificando si hay irregularidades en la superficie.

En caso de tener alturas mayores se utiliza la moto niveladora para obtener las alturas de diseño. Pero en caso contrario si existe depresiones se realiza nuevamente un mezclado y escarificado hasta llegar a la altura de diseño.



## **Capa base.**

De acuerdo con la página electrónica [www.biblioteca.usac.edu.gt](http://www.biblioteca.usac.edu.gt) (2016), para la colocación de la base si la capa es granular, de grava o de piedra triturada el procedimiento de trabajo es igual al de la sub-base tomando en cuenta que después de haber cumplido con todos los chequeos previos se debe proteger con un riego de impregnación, que es un asfalto líquido aplicado por medio de un riego a presión sobre toda la superficie de la base y los hombros de la carretera para protegerla, impermeabilizar y que tenga dureza de tal manera que tenga adherencia entre la base y la siguiente capa superior.

Después se aplica la imprimación con camiones distribuidores de asfalto que cuentan con sistema de bombas y aspersores que puedan cubrir toda la superficie, no se podrá aplicar si se encuentra lloviendo o si la humedad es mayor del 60% de la óptima.

La colocación del material secante se debe hacer con un distribuidor de agregados para que sea distribuidos uniformemente pero generalmente se hace lanzando el material con palas desde el camión en movimiento. Se coloca una base negra, siendo así que la sub-base es a la que se le tiene que imprimir, aplicar secante y el riego de liga, antes de la colocación de la base negra es muy similar a la capa de rodadura debe cumplir los mismos requisitos la diferencia es que el agregado pétreo de la base es más grueso y la cantidad de cemento asfáltico es menor. La base negra se coloca en caliente por medio de una máquina finalizadora de asfalto autopropulsada, que puede ser de neumáticos o de banda con oruga.

### **Capa carpeta asfáltica.**

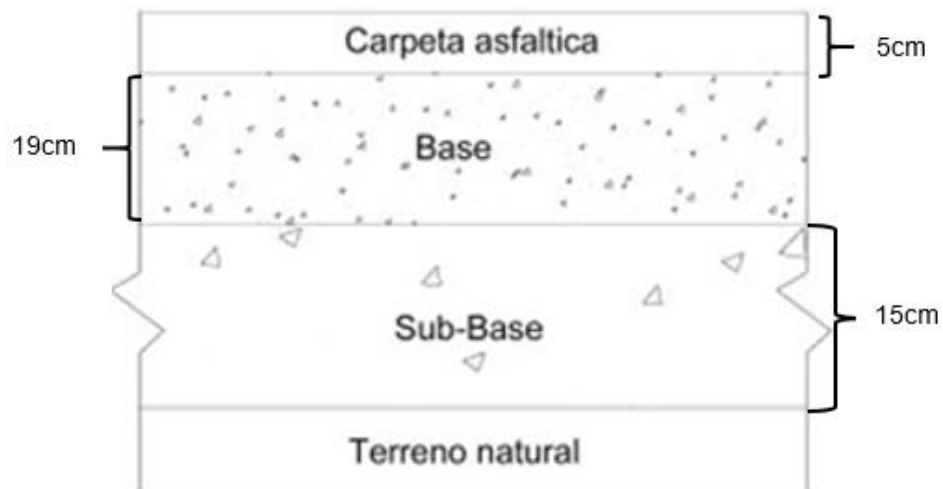
De acuerdo con la página electrónica [www.construaprende.com](http://www.construaprende.com) (2016), Antes de colocar la carpeta asfáltica, se efectúa un riego de emulsión asfáltica de rompimiento rápido conocido como riego de liga, esta capa de asfalto ayuda para generar adherencia entre la base y la carpeta, se barre el exceso de asfalto eliminando basura y materiales extraños, para evitar que sea que el riego de liga sea desprendido por los vehículos es recomendable agregar un riego de arena.

La mezcla asfáltica es vaciada en una máquina extendedora que forma la capa de mezcla asfáltica se requiere tener la cuadrilla de rastrillos para que en la superficie se tenga una textura adecuada. Después se le aplica la compactación con rodillo de entre 8 y 10 toneladas de peso, moviéndose paralelamente al eje del camino y de la orilla hacia el centro y del lado interior hacia el exterior de las curvas.

Después de compactar con el rodillo ligero se compactará con un rodillo más pesado, la compactación terminará hasta alcanzar el grado de compactación de proyecto (min. 95%). Durante la compactación y el tendido de la mezcla puede llegar a aparecer grietas y desplazamientos debido a varias causas puede ser como un riego de liga escaso o en exceso, la falta de viscosidad del asfalto producto del excesivo calentamiento o también porque el material pétreo no perdió totalmente su humedad. La carpeta deberá presentar un índice de permeabilidad menor del 10%.

“Por último en la carpeta se agrega un riego de sello, el cual consiste en una emulsión, la cual se cubre con un material pétreo, esto se compacta para que penetre en la carpeta y con ello evitar que se introduzca el agua en ella, además protege del desgaste y proporciona una superficie antiderrapante”.  
www.construaprende.com (2016)

La estructura de pavimento flexible que comprende del camino viejo a la central hidroeléctrica de CFE es la siguiente: una sub-base de 15 cm, una base de 19cm, y la carpeta asfáltica de 5cm.



## CONCLUSIONES

Como objetivo general es diseñar un pavimento flexible para el tramo carretero 0+000 al km 1+840 de la carretera “camino viejo a la central hidroeléctrica de CFE” en el municipio de Uruapan, Michoacán. La finalidad en el diseño de pavimento flexible es el obtener los espesores de las capas que conforman a la estructura de pavimento, las capas deben de cumplir los requerimientos para un buen funcionamiento el cual es el de recibir las cargas producidas por el tránsito vehicular además considerando las características de los materiales que se van a emplear en la estructura de pavimento.

Dentro de los objetivos particulares, estaba el determinar el tránsito vehicular el cual se obtuvo mediante un sondeo durante un periodo de 5 días, en el tramo carretero 0+000 al km 1+840 de la carretera “camino viejo a la central hidroeléctrica de CFE” en el municipio de Uruapan Michoacán. Los datos registrados en el lugar fueron los siguientes:

- 393 automóviles.
- 58 motocicletas.
- 622 camionetas tipo pick-up.
- 27 camiones.
- 64 bicicletas.
- 213 peatones.

Siguiendo con los objetivos era conocer la definición de vías terrestres, el cual se encontró que son obras de infraestructura de transporte, como son, por

ejemplo: caminos, carreteras, autopistas, o autovías, puentes, túneles y vías férreas, y sus obras de cruce y empalmes. Además, se entiende cómo vías terrestres a las carreteras, los ferrocarriles y las aeropistas que constituyen los elementos básicos de la infraestructura de una red nacional de transportes.

Dentro de los objetivos particulares, estaba el de conocer la definición de caminos y los tipos el cual resultado lo siguiente: un camino se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada.

Las carreteras se clasifican de varias maneras en diferentes partes, ya sea por su transitabilidad o con la función que con ellas se requiere. Las vialidades en el país mexicano se pueden clasificar en:

#### **Clasificación por transitabilidad.**

Partiendo lo dicho por Crespo (1996), los caminos se clasifican de la siguiente manera en base a su transitabilidad:

- ❖ Terracerías.
- ❖ Revestidas.
- ❖ Pavimentada.

### **Clasificación administrativa.**

Como indica Crespo (1996), las carreteras son administradas de la siguiente manera:

- ❖ Federales.
- ❖ Estatales.
- ❖ Vecinales.
- ❖ De Cuota.

### **Clasificación técnica oficial.**

De acuerdo con Crespo (1996), estas clasificaciones nos permiten distinguir la categoría del camino, ya que toma en cuenta volúmenes de tránsito, la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) los clasifica de la siguiente manera:

- ❖ Tipo especial.
- ❖ Tipo A.
- ❖ Tipo B.
- ❖ Tipo C.

Un objetivo más es el señalar las partes de un pavimento flexible las cuales son las siguientes: carpeta asfáltica, base, sub-base, subrasante y terreno natural.

Un objetivo era el señalar las velocidades de proyecto es una de las más importantes ya que determina el costo del camino, los costos se efectuarán en función de las velocidades de proyecto, los promedios de las inclinaciones del

terreno serán considerados de la manera siguiente: mayor del 4% montañoso, entre 2% y 4% ondulado o con lomerío, menor del 2% terreno plano, para escoger montañoso poco escarpado o muy escarpado dependerá de que se acerque o se aleje del 4%. Las relaciones del tiempo para la velocidad del proyecto se dividen en tres medidas de la siguiente manera:

- ❖ Una hora entre las 9 y las 12 horas.
- ❖ Una hora entre las 15 y las 18 horas.
- ❖ Una hora entre las 20 y las 22 horas.

El último objetivo era el conocer la definición de pavimentos es cual se obtuvo lo siguiente: se define como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento, en donde se debe tener una operación rápida y cómoda.

Al inicio de la presente tesis se planteó una pregunta de investigación la cual fue la siguiente: ¿Cuál será el diseño óptimo para el tramo carretero “Camino Viejo a la Central Hidroeléctrica de CFE” en el municipio de Uruapan, Michoacán? Esta pregunta se resolvió mediante el diseño por el método de la UNAM para pavimentos flexibles, el cual es uno de los más usados dando como resultado los siguientes datos:

- Carpeta asfáltica: 5 cm.
- Base hidráulica: 19 cm.
- Sub-base: 15 cm.

Por medio del tránsito promedio diario anual se obtuvo el total de vehículos que transitan sobre ese camino en ambos sentidos durante los 365 días del año y también en base a la composición del tránsito se obtuvo una clasificación de los vehículos que transitan sobre ese camino que hacen menos difíciles los cálculos de acuerdo a tipo Especial, tipo A, tipo B y tipo C, además por el espesor de pavimentos se pueden determinar por varios métodos el cual en México se utiliza el Valor Relativo de Soporte (VRS) debido a que califica con bastante precisión el grado de compactación del suelo además de establecer correctamente los requisitos que deben cumplir los terraplenes, bases y sub-bases.



## BIBLIOGRAFÍA

Alfonso Rico Rodríguez, Rodolfo Téllez Gutiérrez y Paul Garnica Anguas (1998).

Pavimentos flexibles problemática, metodologías de diseño y tendencias.

Ed. Sanfandila, Querétaro.

Crespo Villalaz, Carlos (1996).

Vías de Comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos.

Ed. Limusa, México.

Hernández Sampieri, Roberto y Colaboradores (2010).

Metodología de la Investigación.

Ed. Mc Graw, Hill, México.

José Alfonso Mier Suarez (1987).

Introducción a la ingeniería de caminos

Ed. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

Olivera Bustamante, Fernando (2006).

Estructuración de Vías Terrestres.

Ed. CECSA, México.

Leopoldo Ortega Lira (2015)

Diseño de pavimento flexible del tramo “Camino Viejo a Santa Rosa”, del km 0+000 al km 0+959 en el municipio de Uruapan, Michoacán.

Tesis inédita de la escuela de ingeniería civil de la Universidad Don Vasco, de la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Rico Rodríguez, Alfonso y Del Castillo, Hermilo (2005).

La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas.

Ed. Limusa, México.

Tamayo y Tamayo, Mario (2000).

El Proceso de la Investigación Científica.

Ed. Limusa, México.

## OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

[http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/EE\\_MICHOACAN\\_2005.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/EE_MICHOACAN_2005.pdf)

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM16michoacan/municipios/16102a.html>

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/16/16102.pdf>

[http://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Licenciatura/Membrillo\\_Fernandez\\_Omar\\_Tito\\_44732.pdf](http://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Licenciatura/Membrillo_Fernandez_Omar_Tito_44732.pdf)

<http://catarina.udlap.mx/>

[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3289\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3289_C.pdf)

<http://www.construaprende.com/docs/trabajos/310-pavimentos-flexibles?start=2>

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1125/Tesis.pdf?sequence=1>

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

<http://www.miloboss.galeon.com/>

<https://es.scribd.com/>

<http://www.eumed.net/>

[https://www.google.com.mx/search?q=michoacan&espv=2&biw=1517&bih=741&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjVoKiWspFOAhUJJR4KHWv2DfwQ\\_AUICcgD&dpr=0.9#imgsrc=kPLYb9VgzYI7dM%3A](https://www.google.com.mx/search?q=michoacan&espv=2&biw=1517&bih=741&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjVoKiWspFOAhUJJR4KHWv2DfwQ_AUICcgD&dpr=0.9#imgsrc=kPLYb9VgzYI7dM%3A) (2016).

[https://www.google.com.mx/search?q=uruapan&espv=2&biw=1517&bih=741&source=lnms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwjBrNHesPFOAhXLqR4KHc9oCVQ\\_Q\\_AUICCGD&dpr=0.9#tbm=isch&q=uruapan+mapa&imgsrc=tlbzbWsZHF\\_mM%3A](https://www.google.com.mx/search?q=uruapan&espv=2&biw=1517&bih=741&source=lnms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwjBrNHesPFOAhXLqR4KHc9oCVQ_Q_AUICCGD&dpr=0.9#tbm=isch&q=uruapan+mapa&imgsrc=tlbzbWsZHF_mM%3A)

<https://www.google.com.mx/maps/@19.4043882,-102.0449298,13z>

[http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Datos-Viales-2014/00\\_INTRODUCCION.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Datos-Viales-2014/00_INTRODUCCION.pdf)

[http://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Licenciatura/Membrillo\\_Fernandez\\_Omar\\_Tito\\_44732.pdf](http://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Licenciatura/Membrillo_Fernandez_Omar_Tito_44732.pdf)

[http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGRH/html\\_spc/formatos/manual\\_de\\_proyecto\\_geometrico\\_SCT.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGRH/html_spc/formatos/manual_de_proyecto_geometrico_SCT.pdf)