



# 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  
“CAMINO VIEJO A SANTA ROSA”, DEL KM 0+000 AL KM  
0+959 EN EL MUNICIPIO DE URUAPAN, MICHOACÁN.**

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

**Leopoldo Ortega Lira**

Asesor: I.C. Sandra Natalia Parra Macías

Uruapan, Michoacán a 02 de Marzo del 2015.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente y de manera muy especial, quiero agradecer a Dios por permitirme llegar hasta este punto en mi vida, por brindarme la familia que me ha dado, por darme las fuerzas necesarias para levantarme en cada tropiezo que he tenido, y sobre todo, por darme la salud para poder llegar y concluir un meta en mi vida tan importante como esta.

A mis padres, el Sr. Leopoldo Ortega Pérez y la Sra. Sandra T. Lira Gaspar, por ser el apoyo incondicional durante toda mi vida, por brindarme un hogar lleno de amor y respeto, por enseñarme que, para lograr todas tus metas tienes que trabajar fuerte y nunca dejar de intentarlo, porque siempre han estado ahí cuando los he necesitado, por la educación que con sacrificios y esfuerzos me han otorgado y por ser las fuentes de inspiración y motivación para poder seguir adelante.

A mi hermana, Sandra J. Ortega Lira por darme su compañía y su tiempo, por ser mi cómplice y hacer locuras juntos, por regalarme una sonrisa cuando las circunstancias no eran buenas, porque en los momentos que necesito su apoyo siempre está ahí, por compartir tristezas y alegrías, pero sobre todo por brindarme su amor incondicional.

A toda mi familia, abuelos, tíos, primos, que me han apoyado a lo largo de mi vida, por ser parte importante en mi formación tanto personal como académica y por siempre estar ahí cuando los necesito, por las alegrías, los buenos ratos, las convivencias, todos y cada uno son piezas fundamentales de que haya concluido esta etapa tan importante en mi vida.

A los profesores que a lo largo de mi formación académica me han apoyado, brindándome los conocimientos necesarios para concluir satisfactoriamente cada una de las etapas que se me han presentado, gracias a ellos por impulsarme a seguir adelante, a no conformarme y a seguir aprendiendo día a día. Al Ing. Joaquín Galván Sierra por el apoyo en la realización de este trabajo, y en especial quiero agradecer a mi asesora la Ing. Sandra Natalia Parra Macías, por ser quien me mostró lo maravillosa que es la carrera de ingeniería civil, por apoyarme en todo momento y ayudarme a concluir satisfactoriamente este objetivo en mi vida.

Por último pero no menos importante a cada uno de mis compañeros y amigos que me han acompañado a lo largo de toda mi preparación, por sus defectos y virtudes, los cuales me enseñaron el verdadero valor de la amistad, por ayudarme a conseguir mis objetivos, por enseñarme a levantarme cuando estoy caído y por todos los consejos y el apoyo que me han dado.

## 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 vía terrestre. . . . .	7
1.2.- Antecedentes históricos de los caminos. . . . .	8
1.3.- Las vías terrestres en México. . . . .	9
1.4.- Definición de camino . . . . .	10
1.4.1.- Clasificación de caminos. . . . .	10
1.5.- Alineamiento. . . . .	14
1.6.- Velocidad. . . . .	15

1.7.- Métodos de medición de velocidad.	19
1.8.- Tránsito.	21
1.8.1.- Tipos de tránsito.	22
1.9.- Clasificación de vehículos.	23
1.10.- Derecho de vía.	24
1.11.- Factores económicos y regionales en las vías terrestres.	24

## **Capítulo 2.- Pavimentos.**

2.1.- Concepto de pavimento.	26
2.2.- Generalidades de los pavimentos.	27
2.3.- Tipos de pavimentos..	31
2.3.1.- Pavimentos rígidos.	31
2.3.1.1.- Estructura de un pavimento rígido.	33
2.3.1.2.- Tipos de concreto hidráulico.	35
2.3.1.3.- Juntas en los pavimentos rígidos.	36
2.3.1.4.- Control de calidad en los pavimentos rígidos.	39
2.3.2.- Pavimentos flexibles.	40

2.3.2.1.- Capas de los pavimentos flexibles. . . . .	41
2.3.2.2.- Características de los pavimentos flexibles. . . . .	46
2.3.2.3.- Tipos de productos asfálticos. . . . .	50
2.3.2.4.- Tipos de carpetas asfálticas. . . . .	51
2.3.2.5.- Drenaje de pavimentos flexibles. . . . .	53
2.3.2.6.- Fallas en los pavimentos flexibles. . . . .	54

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

3.1.- Generalidades. . . . .	57
3.2.- Resumen ejecutivo. . . . .	59
3.3.- Macro localización. . . . .	60
3.4.- Micro localización. . . . .	64
3.5.- Informe fotográfico. . . . .	65

**Capítulo 4.- Metodología.**

4.1.- Método científico. . . . .	75
4.1.1.- Método matemático. . . . .	76
4.2.- Enfoque de la investigación. . . . .	76
4.2.1.- Alcance de la investigación. . . . .	77

4.3.- Tipo de diseño de la investigación..	78
4.3.1.- Investigación Transeccional.	79
4.4.- Instrumentos de recopilación de datos.	79
4.5.- Descripción del proceso de investigación.	80

## **Capítulo 5.- Análisis e interpretación de los resultados.**

5.1.- Levantamiento topográfico.	82
5.2.- Aforo vehicular.	85
5.3.- Valor relativo de Soporte (VRS).	90
5.4.- Diseño de pavimento flexible por el método de la UNAM.	91

<b>Conclusiones.</b>	<b>101</b>
----------------------	------------

<b>Bibliografía..</b>	<b>104</b>
-----------------------	------------

## **Anexos.**

# INTRODUCCIÓN.

## **Antecedentes.**

Se sabe que una de las principales necesidades de la existencia del ser humano ha sido tanto comunicarse como transportarse, comenzando por la creación de la rueda, hasta llegar a la invención de los vehículos motorizados.

En todas las culturas y todos los ámbitos los medios de transporte han jugado un papel muy importante, principalmente para el traslado de personas, mercancía, así como también el transporte de bienes y servicios. Es necesario mencionar que el transporte además de brindar los servicios antes mencionados, también es el principal medio para compartir y difundir la cultura propia que es donde radica la riqueza misma de alguna población.

“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; en América y México en particular, se tuvieron ejemplos de estos caminos en las civilizaciones maya y azteca en forma respectiva.” (Olivera; 2006:13)

La presente investigación desarrolla el tema de un proyecto de pavimentación flexible, presentando las cualidades, calidades y especificaciones en general de los elementos que constituyen una calle.

En la biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C. se encontraron distintas tesis en relación con el tema de vías terrestres, específicamente abordando el tema pavimento flexible, tanto de su revisión como de su diseño, las cuales se presentan a continuación:

La investigación realizada por Jesús Alberto Cuara con el título de: “Propuesta de diseño del proceso constructivo de la carretera Nuevo Parangaricutiro – Antiguo pueblo de San Juan Nuevo, del tramo 5+000 a km 11+000 del municipio de Nuevo Parangaricutiro, Michoacán, en el año 2008, la cual en su objetivo general fue diseñar una propuesta del proceso constructivo de la construcción de dicho tramo carretero para determinar los costos de ejecución y se llegó a la conclusión, dando respuesta a la pregunta de investigación y cumpliendo con el objetivo.

Por otro lado, Omar Medina Martínez abordó el tema, “Diseño del Proyecto geométrico de la carretera “El Capulin”, del tramo Km 0+000 al Km 2+274 en el municipio de Zitácuaro, Michoacán”, en el año de 2011. En el cual el objetivo general fue el de diseñar el proyecto geométrico del tramo carretero ya antes mencionado, llegando a la respuesta de la pregunta de investigación y de igual manera cumpliendo con el objetivo.

### **Planteamiento del problema.**

Es primordial mencionar que un proyecto de pavimento flexible abarca una gran cantidad de características importantes, para la construcción de un tramo carretero o alguna calle, en el cual se debe de tomar en cuenta la afluencia vehicular, la velocidad de proyecto, sólo por mencionar unas de las principales características.

En el tramo “Camino viejo a Santa Rosa” se cuenta con una brecha la cual es solamente terracería, afectando principalmente a los habitantes que viven a los alrededores de este camino. ¿Cuál será diseño ideal de pavimento flexible para el tramo “camino viejo a Santa Rosa”, en el municipio de Uruapan, Michoacán? Por ello la importancia de encontrar una solución viable de este problema y diseñar el proyecto de pavimento flexible para así remediar la situación.

### **Objetivo.**

En la presente investigación se tratará de cumplir con un objetivo general así como una serie de objetivos particulares.

### **Objetivo general.**

Diseñar el proyecto de pavimento flexible del tramo “Camino viejo a Santa Rosa” del Km 0+000 al Km 0+959 en el municipio de Uruapan, Michoacán.

### **Objetivos específicos.**

- 1.- Definir las vías terrestres.
- 2.- Indicar los tipos de caminos que existen.
- 3.- Definir pavimento flexible.
- 4.- Señalar las partes que conforman el diseño de un pavimento flexible.
- 5.- Determinar el aforo vehicular del tramo camino viejo a Santa Rosa del Km 0+000 al km 0+959.
- 6.- Señalar el impacto que ocasionará el uso del pavimento flexible.

## **Pregunta de investigación.**

La principal pregunta que guió la investigación fue: ¿Cuál es el diseño ideal para el proyecto de pavimento flexible del tramo “Camino Viejo a Santa Rosa” en el municipio de Uruapan, Michoacán?

## **Justificación.**

En la presente investigación se pretende realizar una aportación de conocimientos que se irán desarrollando a lo largo de la misma, principalmente para las personas que puedan tener acceso a ella.

Por otro lado, también se beneficiará a los habitantes de la colonia Santa Rosa, así como también a los de la colonia MAPECO y circunvecinos de éstas. No está por demás mencionar que el buen diseño de un pavimento flexible aumentará la seguridad y el buen funcionamiento de este tramo antes mencionado.

Por último, pero no menos importante, se beneficiara a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco, ya que se podrá tomar como referencia para una investigación posterior, así como a la comunidad estudiantil que esté interesada de este tema en específico.

## **Marco de referencia.**

De acuerdo con los resultados del Censo de Población y Vivienda de 2005 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el municipio de Uruapan tiene una población total de 315,350 habitantes, de los cuales 152,442 son hombres y 162,908 son mujeres.

El Municipio de Uruapan es uno de los 113 municipios en que se encuentra dividido el estado mexicano de Michoacán de Ocampo. Es el segundo municipio más poblado del estado, situada en el centro-occidente del territorio y su cabecera es la ciudad de Uruapan.

Se localiza en la zona centro-occidente del estado de Michoacán, tiene una extensión territorial total de 954.17 kilómetros cuadrados que equivalen al 1.62% de la extensión total del estado. Sus límites son al norte con el municipio de Charapan, el municipio de Paracho y el municipio de Nahuatzen, al este con el municipio de Tingambato, al municipio de Ziracuaretiro y el municipio de Tarentan, al sur con el municipio de Gabriel Zamora y al oeste con el municipio de Nuevo Parangaricutiro, con el municipio de Peribán, con el municipio de Tancítaro y con el municipio de Los Reyes.

El municipio se encuentra totalmente inmerso en el Eje Neovolcánico Transversal, por lo que su territorio es accidentado y montañoso, destacando los cerros Charanda, la Cruz, Jicalán y Magdalena, hacia el oeste, y ya fuera del municipio se encuentra el volcán Pico de Tancítaro, la mayor elevación del estado. Se encuentra a una altura al nivel del mar de 417.9 msnm como mínima y una altura Máxima de 1664 msnm.

La principal corriente del municipio es el río Cupatitzio, que nace en el territorio y fluye en sentido norte a sur, existen además los embalses de Caltzontzin, Salto Escondido y Cupatitzio y una cascada conocida como La Tzaráracua. Todo el territorio del municipio con excepción de su extremo más occidental, forma parte de

la Cuenca del río Tepalcatepec-Infiernillo y el extremo oeste a la Cuenca del río Tepalcatepec, ambas forman parte de la Región hidrológica Balsas.

El clima del municipio de Uruapan es uno de los más variados del estado de Michoacán pues se ve influenciado por las diferencias de altitud en el terreno, existen cinco tipos diferentes de clima. La zona norte tiene un clima Templado subhúmedo con lluvias en verano, en la zona central del municipio, la más elevada, tiene un clima Templado húmedo con abundantes lluvias en verano, en la misma zona central otro sector tiene clima Semi-cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, hacia el sur otra zona registra clima Semi-cálido subhúmedo con lluvias en verano y finalmente en el extremo sur del municipio el clima es clasificado como Cálido subhúmedo con lluvias en verano.

La temperatura media anual del territorio también se encuentra dividida en tres zonas, la zona norte del municipio tiene un rango de 12 a 16 °C, la zona centro y sur tiene un promedio entre 16 y 24 °C, y finalmente dos porciones del extremo sur registran de 24 a 28 °C; el centro del municipio de Uruapan es una de las zonas que registran mayor promedio pluvial anual en el estado de Michoacán, superando los 1,500 mm al año, hacia el norte y sur de esta zona el promedio va de 1,200 a 1,500 mm, y hacia el sur se suceden dos zonas más, donde el promedio es de 1,000 a 1,200 mm y de 800 a 1,000 mm.

# CAPÍTULO 1

## VÍAS TERRESTRES.

En el presente capítulo se aborda el tema de las vías terrestres, dando a conocer su definición y una pequeña reseña histórica de éstas; así como también se mencionará la definición de los caminos y sus tipos, el tránsito y/o la transitabilidad, entre otras características de las propias vías terrestres.

### 1.1.- Concepto de vías terrestres.

Para comenzar a hablar acerca de las vías terrestres es necesario conocer su definición, “se entiende como vías terrestres 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 la pista que dé servicio a aviones de retroimpulso en un gran aeropuerto que la pista destinada al tráfico de pequeñas avionetas.” (Rico y del Castillo; 2005: 17)

Por otro lado, de acuerdo con la página electrónica [miloboss.galeon.com](http://miloboss.galeon.com) (2013) 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.

## **1.2.- Antecedentes históricos de los caminos.**

Tomándose en cuenta las definiciones anteriores se conoce que los primeros caminos fueron de tipo peatonal, utilizados por las tribus nómadas para poder trasladarse por la región en busca de sus alimentos principalmente; una vez que estos grupos se volvieron sedentarios, los caminos se utilizaron para fines religiosos, comerciales y hasta de conquista. En América, y particularmente en México las civilizaciones mayas y aztecas utilizaron este tipo de caminos durante su expansión.

Las carretas jaladas por personas o bestias, fueron de los primeros medios de transporte, consecuencia de la invención de la rueda, debido a esto fue necesario acondicionar los caminos, para que los viajes fueran lo más rápido y cómodo posible, de esta manera los espartanos y los fenicios hicieron los primeros caminos de los que se tiene noticia.

Por otro lado, los romanos construyeron estos caminos tanto en la Península Itálica como en varios puntos de Europa, África y Asia ya que de este modo fue una manera más eficaz de expandir sus dominios. Estos caminos se revestían de tal forma que las ruedas no se hundieran en el terreno, los materiales utilizados para este revestimiento eran desde piedras machadas hasta empedrados, con el fin de que las vías recibieran las cargas sin ruptura estructural, así como distribuir esfuerzos en zonas cada vez más amplias.

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

Dentro de la República Mexicana los españoles introdujeron las carretas, así, fray Sebastián de Aparicio, construyó los primeros caminos, en forma de brechas y veredas, de esta manera, hubo comunicación con el puerto de Veracruz, Puebla, Acapulco entre otras ciudades importantes del país.

La construcción de vías férreas, que tuvo su auge en la segunda mitad del siglo XIX, dentro del gobierno de Porfirio Díaz. El ferrocarril hoy se encuentra en decadencia debido a la mala administración y desconocimiento de la utilidad de este medio como transporte cuando se administra de una manera adecuada, además de que una de las principales razón por la cual no se le da un constante uso al ferrocarril es por los altos costos que éste reporta.

Olivera (2006) indica que, a principios del siglo XIX se introdujeron al país los primeros automóviles, que utilizaron principalmente los caminos de carreteras o reales; sin embargo, a partir de 1925 empezó la construcción de vías con técnicas avanzadas. Los primeros caminos de este tipo iban de la ciudad de México a Veracruz, a Laredo y a Guadalajara.

Estos caminos fueron proyectados y construidos por firmas de Estados Unidos, pero desde 1940 los ingenieros mexicanos se han encargado de este tipo de trabajos. Se conoce que para el año de 1980 ya se contaba con 85 000 km de caminos pavimentados y 120 000 km de caminos secundarios, con superficie de rodamiento revestida; esto brinda una mayor seguridad a los vehículos en todo momento.

#### **1.4. Definición de camino.**

“Se conoce como camino a las vías que se construyen para permitir el desplazamiento de hombres o vehículos.” (definicion.de/camino/; 2013). Por otro lado, se conoce que un camino es una franja de terreno adoptada y acondicionada para la circulación de los vehículos. Este término se aplica desde finales del siglo XIX, cuando los principales caminos fueron arreglados para la circulación vial.

“Algunos acostumbran denominar CAMINOS a las vías rurales, mientras que el nombre de CARRETERAS se lo aplican a los caminos de características modernas destinadas al movimiento de un gran número de vehículos.” (Olivera; 2006: 1). Tomando como referencia estas definiciones y una vez comprendidas se puede adentrar en aspectos más específicos como lo son los siguientes.

##### **1.4.1. Clasificación de caminos.**

Las carreteras (caminos) se han clasificado de diferentes maneras en diferentes lugares del mundo, ya sea con arreglo al fin que con ellas se persigue o por su transitabilidad. En la práctica vial mexicana se pueden distinguir varias clasificaciones entre las que se encuentran: clasificación por aspecto administrativo, clasificación por transitabilidad y clasificación técnica oficial.

### **a) Clasificación por aspecto administrativo.**

Esta clasificación dada por Crespo (2005), indica principalmente a que autoridad le compete la administración de la carretera.

- 1) Federales: Cuando son costeadas íntegramente por la federación y por ende están a cargo de la misma.
- 2) Estatales: Construidas por un sistema vinculado, aportando un 50% el estado y el otro 50% la federación, quedando a cargo de la junta local de caminos.
- 3) Vecinales o rurales: Cuando son constituidos con la cooperación de los vecinos beneficiados pagando estos un tercio de su valor, los otros 2 tercios lo aportan la Federación y el Estado. La junta local de camino, ahora llamada Sistema de Caminos es la encargada tanto de la ejecución como de la conservación.
- 4) De Cuota: Están a cargo de la dependencia social descentralizada, aportando los recursos para la construcción, llamada CAPUFE (Caminos y Puentes Federales), siendo la inversión recuperada por medio de cuotas de peaje.
- 5) Concesional: Construidas por particulares encontrándose a su cargo por un determinado periodo de tiempo hasta recuperar la inversión y obtener las ganancias establecidas previamente.

## **b) Clasificación por transitabilidad.**

Según Olivera (2006), la clasificación por transitabilidad corresponde a las etapas de construcción de la carretera y se divide en:

- 1) Terracerías: Cuando se ha construido la sección de proyecto hasta su nivel de subrasante transitable en tiempo de secas.
- 2) Revestida: Cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo el tiempo.
- 3) Pavimentada: Es cuando se construye totalmente el pavimento sobre la subrasante.

Esta clasificación es usada universalmente en cartografía y se representa de la siguiente manera:



Grafico 1.1.- Clasificación universal

(Crespo; 2006: 3)

## **c) Clasificación técnica oficial.**

Considerando lo que menciona Crespo (2005) ésta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino al final del periodo económico del mismo

(20 años) y las especificaciones geométricas aplicadas. En México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.), las clasifica de la siguiente manera:

- **Tipo especial:** para tránsito promedio diario anual superior a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más (o sea un 12% de T.P.D.) estos Caminos requieren de un estudio especial, pudiendo tener corona de dos o de cuatro carriles en un solo cuerpo, designándoles A2 y A4, respectivamente, o empleando cuatro carriles en dos cuerpos diferentes designándoseles como A4, S.

- **Tipo A:** para un tránsito promedio diario anual de 1,500 a 3,000 equivalentes a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos (12% del T.P.D.).

- **Tipo B:** para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1,500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12% de T.P.D.)

- **Tipo C:** para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12% del T.P.D.)

En la clasificación técnica anterior, que ha sufrido algunas modificaciones en su implantación, se ha considerado un 50% de vehículos pesados igual a tres toneladas por eje. El número de vehículos es total en ambas direcciones y sin considerar ninguna transformación de vehículos comerciales a vehículos ligeros.

“En México, en virtud a la composición promedio del tránsito en las carreteras nacionales, que arroja un 50% de vehículos comerciales, de los cuales un 15% está constituido por remolques, se ha considerado conveniente que los factores de transformación de los vehículos comerciales a vehículos ligeros en caminos de dos carriles, sea de dos para terreno plano, de cuatro en lomeríos y de seis en terrenos montañosos.” (Crespo; 2005: 3)

Se deben analizar a fondo todas las necesidades del camino, en especial si se pretende que sea una red caminera de proyección nacional; desde si es necesario un camino muy costoso con mucho tráfico, hasta si es un camino de tierra estabilizada con las máximas pendientes y los mínimos radios posibles.

### **1.5.- Alineamiento.**

De acuerdo a lo establecido por Crespo (2005), siempre que se construye un camino se busca siempre, que la línea de proyecto que de alojada en su mayoría en un terreno plano, siempre que esté dentro de una ruta general. Lamentablemente esto no es siempre posible, ya que, la topografía de los terrenos es, por lo común irregular y así cuando llegamos al pie de una cuesta la pendiente del terreno es mayor que la máxima permitida para ese camino y es necesario entonces desarrollar la ruta.

Sin embargo, debe tratarse siempre, hasta donde sea posible que el alineamiento entre dos puntos obligados sea lo más recto que se pueda tomando en

cuenta la topografía de la región, así como el tránsito actual y el futuro del camino en efecto de que las mejoras que se le hagan al alineamiento posteriormente no sean causa de una fuerte pérdida, al tener que abandonar tramos del camino en el cual se haya invertido fuertes sumas de dinero.

Otra de las cosas que se deben considerar principalmente en los tramos rectos de más de 10 km, es el cansancio que causa a la vista, llegando al grado de crear una hipnosis en el conductor y ser la causa de accidentes. También es recomendable crear caminos que pasen por las afueras de las ciudades y no por las calles del centro, evitando así el tráfico y creando avenidas de rápida y eficaz fluencia vehicular.

## **1.6. Velocidad.**

“La velocidad es una magnitud física de carácter vectorial que expresa la distancia recorrida por un objeto por unidad de tiempo. Se representa por  $\vec{v}$  o  $\mathbf{v}$ ”. (es.wikipedia.org/wiki/Velocidad; 2013).

En relación con este concepto se encuentra también que, “se define 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 velocidad constante por la fórmula:  $V = d/t$ ”. (Crespo; 2005: 5)

Se dice que la velocidad que desarrolla un vehículo varía constantemente, debido a que está directamente afectada por sus propias características, como el tiempo y la distancia, por las características del conductor y de la vía, por el volumen de tránsito y por las condiciones atmosféricas; esto obliga a trabajar con valores medios de velocidad.

Cuando una persona cambia la velocidad, se puede cambiar el tiempo de recorrido; con esto se indica que, el tiempo de recorrido de un lugar a otro depende directamente de la velocidad. Se entiende que a mayores velocidades se obtendrá un ahorro en el tiempo, pero el tiempo que se ahorra en un recorrido es menor a medida que se aumenta la velocidad, principalmente después de los 90 km/hr, al ir aumentando la velocidad, los ahorros de tiempo se van haciendo más pequeños. Es por esto que la velocidad debe de ser estudiada, regulada y controlada, para poder darle el uso ideal.

Como referencia de lo dicho en Crespo (2005), se analizan 3 tipos de velocidades, las cuales son: velocidad de punto, velocidad del recorrido total y la velocidad de proyecto.

**a) Velocidad de punto.**

La velocidad de punto es aquella velocidad de los vehículos en determinado sitio de un camino o de una calle. El estudio de esta velocidad se brinda la información relativa a la velocidad por grupo de usuarios en un determinado lugar.

Como ejemplo se puede tomar una sección de un camino de dos carriles se pueden obtener los datos correspondientes a las velocidades que desarrollan los usuarios tomando una muestra considerable en un punto del camino. Se tomará un promedio aritmético de las velocidades obtenidas de todos los vehículos en este tramo. La velocidad de punto es utilizada principalmente para establecer las restricciones de velocidad, que den seguridad en las curvas, así como también, ayudan al análisis de los accidentes relacionados con la velocidad.

#### **b) Velocidad de recorrido total.**

Según lo establecido en Crespo (2005), la velocidad de recorrido total, por otro lado, se determina dividiendo la distancia recorrida, de principio a fin del viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla. Se toma en cuenta en el tiempo recorrido, las variaciones de velocidad que haya tenido el vehículo, las paradas que tuvo el conductor, no siendo éstas por causas ajenas a la vía.

Conocer la velocidad de recorrido total sirve para evaluar la eficiencia de la vía y puede determinar el grado de congestionamiento que hay en ella. Mediante esta velocidad se pueden calcular índices de congestión, y una vez que se cuenta con estos índices, hacer comparaciones con la fluidez en ciertas rutas, así como valorar la efectividad de ciertas medidas para regular el tránsito, como el prohibir el estacionarse en ciertas zonas, el uso de señales luminosas, entre otras.

### c) Velocidad de proyecto.

Esta velocidad es considerada la última de las tres y es de suma importancia, es la llamada velocidad de proyecto o velocidad directriz que no es otra cosa que aquella velocidad que ha sido escogida para gobernar y correlacionar las características y el proyecto geométrico de un camino en su aspecto operacional. “La velocidad de proyecto es un factor de primordial importancia que determina normalmente el costo del camino y es por ello por lo que debe limitarse para obtener costos bajos”. (Crespo; 2005: 6). Los elementos del camino deben estar basados en la velocidad de proyecto, es por esto que, esta velocidad es primordial para el desarrollo armónico del camino y no ofrezca sorpresas al conductor. Las velocidades de proyecto recomendables por la Secretaria de Obras Publicas y ahora la Secretaria de Comunicaciones y Transportes son las siguientes:

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

Tabla 1.1.- Velocidades de proyecto recomendables.

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

En general, se considera un terreno montañoso cuando el promedio de inclinación del terreno, en una longitud de 30 km, sea mayor de 4%; si el promedio de inclinación ronda entre el 4% y el 2%, será considerado ondulado o lomerío; si es menor del 2%, se considerara como terreno plano. La diferencia entre usar el montañoso muy escarpado y poco escarpado dependerá de si el promedio de inclinación del terreno en la longitud de 30 km se acerque o se aleje del valor dado de 4%. Como referencia para realizar las mediciones de velocidades en cuestión del tiempo se divide en 3 partes que constan de una hora. La primera en una hora entre las 9 y las 12 horas, la segunda hora entre las 15 y 18 horas; y la tercera entre las 20 y las 22 horas.

### **1.7.- Métodos de medición de velocidades.**

Cabe señalar que los siguientes métodos de medición son aplicables al estudio de la velocidad de punto, y son los siguientes: el método del cronometro, el método del enoscopio y el método del radar.

#### **a) Método del cronómetro.**

Se considera el método más antiguo y económico del cual se tiene conocimiento, consiste en medir el tiempo mediante el uso de un cronometro. En una distancia determinada, se marca en el pavimento con dos rayas de pintura normalmente entre 30 y 100 metros, se le da inicio al cronometro cuando el vehículo pasa por la primera línea marcada y se detiene cuando el mismo cruza por la

segunda línea marcada. La velocidad será igual al espacio recorrido entre el tiempo empleado en recorrerlo.

### b) Método del enoscopio.

Los enoscopios consisten en una caja en forma de L abierta en sus extremos dotada de un espejo que permite girar 90 grados los rayos luminosos. Para la medida de la velocidad se colocan estos aparatos a una distancia conocida con un brazo de la L perpendicular al recorrido que llevan los vehículos y el otro se apunta hacia el que esta observando que se ubica del otro extremo de la distancia conocida. El observador, provisto de un cronómetro mide el tiempo transcurrido entre el paso del vehículo por las dos secciones marcadas por los enoscopios. El paso del vehículo se detecta con facilidad gracias al espejo de cada enoscopio.

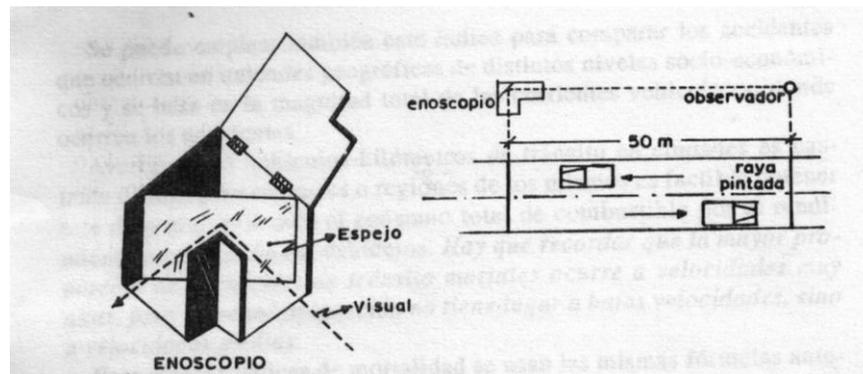


Imagen 1.1.- Enoscopio

Fuente: (Crespo; 2005: 8)

### **c) Método del radar.**

Se conforma de un equipo accionado por la batería de un vehículo y está basado en el principio del radar. El equipo emite ondas de alta frecuencia las cuales rebotan en el vehículo que se va acercando, al regreso de la onda se hace un registro y dependiendo de la intensidad del regreso se determina la velocidad a la que viaja el vehículo.

### **1.8. Tránsito.**

“El tránsito vehicular o automovilístico (también llamado tráfico vehicular, o simplemente tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Se presenta también con muchas similitudes en otros fenómenos como el flujo de partículas (líquidos, gases o sólidos) y el de peatones.”  
([es.wikipedia.org/wiki/Tr%C3%A1nsito\\_vehicular](http://es.wikipedia.org/wiki/Tr%C3%A1nsito_vehicular); 2013)

Según Crespo (2005), se entiende por volumen de tránsito, a cierta cantidad de vehículos que circulan por un camino en determinado tiempo y que llevan un mismo sentido. Las unidades que cotidianamente se usan son: vehículos por hora o por día. Se le llama T.P.D. (tránsito promedio diario) a la cantidad promedio de volúmenes que circulan por un punto del camino en un periodo de 24 horas.

El tránsito promedio diario es comúnmente utilizado en los estudios económicos, ya que estos representan la utilización de la vía y sirve para efectuar distribuciones de fondos, mas no se puede emplear para determinar las

características geométricas del camino, pues no es un valor que indique los cambios de volúmenes y no indica las variaciones del tránsito que puedan presentarse en las horas, días y meses del año. Para obtener los volúmenes horarios basta con dividir el número de vehículos que transitan por un punto establecido en un periodo, entre el valor del periodo en horas.

### **1.8.1.- Tipo de tránsito.**

Como menciona Crespo (2005), la clase de vehículos que transitarán por un camino varía según el tipo de camino de que se trate; de esta manera para un camino donde su principal finalidad sea conducir a turistas a zonas arqueológicas, en su mayoría serán vehículos de pasajeros, mientras que en un camino minero, la mayoría de los vehículos serian de carga dependiendo de lo que amerite la situación.

Se debe de tomar en cuenta y analizar muy cautelosamente el tipo de tránsito que circulará por el camino, ya que éste influye de una manera decisiva en el proyecto de un camino, principalmente en la parte del análisis geométrico. Un buen análisis geométrico puede reducir costos a la hora de la construcción del camino; por el contrario si no se hace un buen análisis geométrico se pueden elevar los costos de construcción y la finalidad del camino no será la planeada.

### 1.9.- Clasificación de vehículos.

De acuerdo a la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, la SCT, existen diferentes maneras de clasificar los vehículos, dependiendo de la finalidad y el país. Así pues, se diferencian según el sistema de propulsión, el tamaño, el peso, su movilidad, etc. En México para la realización de los aforos y estudios del tráfico, se utiliza la siguiente clasificación:

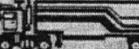
TIPO DE VEHICULO		Núm. de Ejes	ESQUEMAS		
			PERFIL	PLANTA	
VEHICULOS LIGEROS	Automoviles	2			Ap
	Camionetas				Ap
VEHICULOS PESADOS	Autobuses	2			B
	Camiones	2			C2
					C3
		3			T2 - S1
					T2 - S2
					T3 - S2
		5			T2 - S1
			R2		

Tabla 1.2.- Clasificación de los vehículos en México (SCT)

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

### **1.10.- Derecho de vía.**

De acuerdo con el manual de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, el derecho de vía, es la franja de terreno en la cual están alojados todos los elementos que constituyen la infraestructura de las carreteras, autopistas y puentes, asimismo puede alojar obras e instalaciones de carácter diverso. En virtud de lo anterior el uso adecuado del derecho de vía y su preservación es cada día más importante.

En la actualidad, las vías generales de comunicación son cada vez más complejas, ya que a las tradicionales obras de vías férreas y carreteras se suman una serie de obras adicionales, tales como tendidos de líneas eléctricas, telegráficas y telefónicas, fibra óptica, ductos y cableados de muy diversa naturaleza e importancia económica y social. Adicionalmente, el derecho de vía se puede constituir en una verdadera zona de protección ecológica, ya que con una adecuada forestación, se pueden construir barreras rompe-vientos que protejan a los campos de cultivo aledaños. La preservación del paisaje y la mejora constante del derecho de vía, permite ir mejorando el ambiente.

### **1.11.- Factores económicos y regionales en las vías terrestres.**

De acuerdo con Olivera (2006) las obras de ingeniería civil deben realizarse en la forma más económica posible, pero siempre cumpliendo con la finalidad para la cual fueron proyectadas. Una obra se considera económica cuando los costos de

construcción, conservación y operación son mínimos en relación con otras alternativas. La principal misión de un ingeniero es proyectar y construir obras con el menor costo posible, y que cumplan con los objetivos para los cuales se concibieron. Las vías terrestres forman gran parte de la infraestructura del país; son aquellas obras que por lo general están a cargo del gobierno y contribuyen al desarrollo. Entre las obras de infraestructura se encuentran las de irrigación, instalación de energía eléctrica, introducción de agua potable, drenaje, entre otras.

## **CAPÍTULO 2**

### **PAVIMENTOS**

En el presente capítulo se presenta una definición de lo que son los pavimentos, tomando en cuenta los tipos de pavimentos que existen, como son: rígidos y flexibles. Así como también se menciona por qué reciben dicho nombre de pavimentos rígidos y flexibles. Además se mencionan algunas de las características que se deben de tomar en cuenta para poder realizar un diseño adecuado de estos, e indicar en qué casos es más adecuado usar uno u otro tipo de pavimento, tomando en cuenta su capacidad de carga, deterioro, mantenimiento, entre otros factores que los afectan.

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

Según Olivera (2006) un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

Por otro lado, se encuentra que: “El pavimento es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar

su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos”. (wikipedia.com /2013)

Dicho de otra manera, el pavimento es una super estructura de la obra vial, que hace posible el tránsito que exigen los vehículos como la comodidad, seguridad y economía previstos por el proyecto.

## **2.2.- Generalidades de los pavimentos.**

La estructura o disposición de los elementos que los constituyen, así como las características de los materiales empleados en su construcción, ofrecen una gran variedad de posibilidades, de tal manera que se puede estar formado por una sola capa o, más comúnmente por varias que a su vez, dichas capas pueden ser de materiales naturales seleccionados y sometidos a distintos tratamientos; la superficie de rodamiento propiamente puede ser una capa asfáltica, una losa de concreto hidráulico o estar formada por acumulaciones de materiales pétreos compactados.

La rigidez o flexibilidad que un pavimento muestra no es fácil de definir tan adecuadamente como para permitir una diferenciación precisa entre uno u otro tipo de pavimento; es bastante cuestionable precisar qué tan rígido puede ser un pavimento flexible o qué tan flexible puede llegar a ser un pavimento rígido.

El hecho es que los pavimentos se diferencian y definen en términos de los materiales de los que están constituidos y de cómo se estructuran esos materiales y no por la forma en cómo se distribuyen los esfuerzos y las deformaciones producidos

por los vehículos a las capas inferiores, lo que quizás constituirá un criterio de clasificación más correcto.

Tomándose en cuenta lo dicho por Olivera (2006) se considerará un pavimento rígido aquel cuyo elemento fundamental resistente sea una losa de concreto hidráulico; en cualquier otro caso, el pavimento se considerará flexible. Se considera esta clasificación como la que concuerda bastante con la generalmente aceptada.

Se sabe que por naturaleza un terreno no ofrece jamás las condiciones de rodamiento que exigen los modernos medios de transporte. A medida que los vehículos evolucionaron en peso, velocidad, comodidad y autonomía, así mismo la necesidad que se fue adquiriendo para que estos tuvieran un mejor desarrollo, como lo fue mejorar la superficie de circulación en los diferentes aspectos; primeramente se mejoraron las condiciones de curvatura, pendiente, visibilidad, solo por mencionar algunos, esto debido a que la demanda era cada vez mayor y los automóviles o medios de transporte modernos lo exigían.

Uno de los principales factores para la construcción de los pavimentos es la economía, debido a esto se emplearon las terracerías para así disminuir espesores de las capas, esto llevó desde un principio a la utilización de suelos y fragmentos de roca. La superficie de rodamiento obtenida de las terracerías formadas solo por materiales naturales pétreos, solo soportaban las cargas para el tránsito solo si era muy pequeño y sólo por periodos de tiempo cortos.

Se puede definir un camino de escaso tránsito aquel en donde pasan menos de 200 vehículos diarios, las razones económicas impondrá el uso de la superficie de rodamiento de bajo requerimiento, formadas por fragmentos de roca o revestimientos bien compactados, es de esta manera que se puede obtener una superficie de bajo costo que pueda proporcionar durante algún tiempo condiciones de transitabilidad.

La Secretaría de Obras Publicas de México considera una serie de características importantes que las superficies de rodamiento deben cumplir; entre las más importantes se encuentran:

- Tener una textura apropiada al rodamiento.
- Ser resistente a la acción de las cargas a las que será sometida debido al tránsito.
- Ser económica.
- Ser durable.
- Ser estable antes los cambios que pueden surgir en la temperatura.
- Cumplir con las condiciones adecuadas referentes a la permeabilidad.

Las características mencionadas anteriormente, hacen la labor de usar los materiales más convenientes para que la construcción de esta capa sea de excelente calidad, claramente se conoce que no será materiales del todo naturales, es aquí donde la economía se ve afectada debido al uso de los materiales naturales.

La superficie de rodamiento es la capa que por lo general tiene un mayor costo, es por eso que es necesario hacer un buen diseño de esta superficie,

obteniendo normalmente espesores pequeños. Es necesario mantener un equilibrio costo-calidad es por eso que se toman principalmente dos intereses con respecto a la capa de pavimento:

- 1) La capa de rodamiento se construye con suficiente espesor y de una calidad tal que se logra que los esfuerzos transmitidos a la terracería sean compatibles con la calidad de esta.
- 2) La superficie de rodamiento se logra mediante una carpeta bituminosa relativamente delgada, de alto costo y de alta calidad, pero entre ella y la terracería se tiene un sistema de capas de varios materiales seleccionados; la calidad de estos, por lo común, va disminuyendo con la profundidad conjuntamente con los niveles de esfuerzos producidos por el tránsito que siguen esa misma ley.

El problema a cerca del diseño de la superficie de rodamiento consiste en variar el espesor y el tipo de material empleado en las capas que lo conforman; por lo regular este es el criterio que se sigue en el diseño de un pavimento flexible, buscando la economía variando los espesores de sus capas tomando en cuenta la acción de los esfuerzos producidos en ésta.

### **2.3.- Tipos de pavimentos.**

Los pavimentos se engloban en dos grandes clasificaciones, las cuales se denominan como: pavimento rígido (concreto hidráulico) y pavimento flexible (asfalto). Entre las principales características que presentan estos tipos de

pavimentos se encuentra la resistencia que presenta a la flexión y las capas de materiales que los conforman.

Entre otras características se encuentra el costo que tiene construir carreteras con uno u otro tipo de pavimento, por eso es necesario hacer un buen análisis y estudio de aforo vehicular, tipo o tipos de vehículos que transitaran por la carretera para elegir el tipo de pavimento ideal para el proyecto.

### **2.3.1.- Pavimentos rígidos.**

Los pavimentos rígidos son aquellos formados por una losa de concreto sobre una base, o directamente sobre la sub-rasante. Estos difieren de los pavimentos flexibles o de asfalto, que poseen una resistencia considerable a la flexión, además que, están afectados directamente por la temperatura. Según Crespo (2004) los pavimentos rígidos están sujetos a los esfuerzos siguientes:

- 1) Esfuerzos abrasivos, ocasionados comúnmente por las llantas de los vehículos.
- 2) Esfuerzos directos de compresión y cortamiento causados por las cargas de las ruedas.
- 3) Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- 4) Esfuerzos de compresión y tensión provocados por la expansión y contracción constante del suelo.
- 5) Esfuerzos de compresión y tensión pero esta vez debido a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

Cuando un pavimento rígido está diseñado y construido correctamente tomando en cuenta los esfuerzos ya mencionados y las especificaciones requeridas tales como: Volumen, tipo y peso de tránsito, VRS (valor relativo de soporte), clima de la región y la resistencia y calidad del concreto a emplear; su vida útil será larga y además los costos del mantenimiento se consideran bajos. Si alguno de estos puntos mencionados no son tomados en cuenta como por ejemplo, el espesor de la capa de concreto sea muy grande, la capacidad de carga será muy superior a la necesaria. Su comportamiento será satisfactorio pero su costo muy elevado, por el contrario si los espesores son muy pequeños el costo inicial será bajo, pero la vida útil de la obra será corta.

### 2.3.1.1.- Estructura de un pavimento rígido.

Para una estructura de un pavimento rígido se consideran principalmente los siguientes elementos: una losa de concreto hidráulico, un material de sub-base y una subrasante, como se puede mostrar en la siguiente imagen.

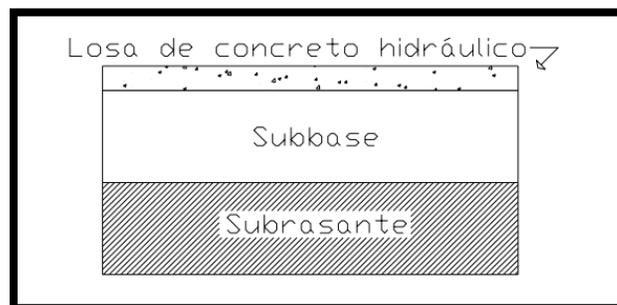


Imagen 2.1. Capas que forman un pavimento rígido.

Fuente: Olivera; 2006: 7.

La losa de concreto hidráulico está apoyada sobre una capa de material previamente seleccionado que se le nombre sub-base, si en dado caso la subrasante tuviera una calidad suficientemente buena, la losa podrá colocarse directamente sobre ella. El propósito es que la losa de concreto tenga un apoyo suficientemente uniforme y estable, evitando que haya una falta de soporte local, es por esto que depende de las capas de suelo por proporcionar y de una adecuada selección de los materiales que intervendrán, niveles de compactación y condiciones de clima y drenaje.

Las losas de concreto hidráulico son elaboradas con cemento tipo Portland (por lo regular) y tienen una resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 200 y 400 kg/cm<sup>2</sup>. Tiene una alta rigidez y un elevado módulo de elasticidad. El concreto hidráulico es quien se encarga de distribuir de mejor manera las cargas hacia la estructura del pavimento; este concreto puede ser concreto simple, siendo este aquella mezcla de concreto con agregados pétreos sin tener ningún refuerzo de acero en la losa; el concreto hidráulico reforzado se distingue en las losas de estos pavimentos debido a que tiene un refuerzo de acero (varilla) para evitar el agrietamiento por los cambios de volumen en el concreto, el refuerzo puede ser longitudinal o transversal, este último se utiliza con el objetivo de controlar el ancho de las grietas longitudinales. Cuando el agrietamiento longitudinal no es muy considerable se puede omitir el refuerzo transversal.

La sub-base está constituida por una o más capas compactadas de material granular o estabilizado, está colocada entre la capa subrasante y la losa de concreto. Sus principales funciones son: ser un apoyo uniforme, estable y permanente para

sentar la losa de concreto, incrementar la capacidad de valor soporte de los suelos de apoyo, con relación a las terracerías y a la capa subrasante; reducir al mínimo las consecuencias de los cambios volumétricos que puedan originarse en el suelo que forme la terracería y la capa subrasante.

El material con el que se deben construir este tipo de bases deben ser materiales granulares no cementados, deben ser de buena calidad y con variedad de tamaños que proporcionen una estabilidad cuando este sea compactado.

Por último la capa subrasante es la capa superior de la terracería y por lo regular esta capa es parte del terreno natural; en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse de forma directa sobre la subrasante, pero se considera necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento debido al tránsito vehicular, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla de las losas. Si las características del material del terreno no son las adecuadas para que pueda cumplir con los requisitos de una capa subrasante, se procede a realizar un mejoramiento de suelo trayendo el material necesario del banco más cercano y de esta manera hacer que la capa sea adecuada y desempeñe las funciones necesarias sin ningún inconveniente.

Por lo general los espesores de la losa de concreto son de 15 cm, esto cuando el tráfico vehicular es ligero, sin embargo, el espesor de este y de las capas inferiores dependen principalmente del tránsito al que será expuesto, la losa puede llegar a tener espesores de hasta 40 cm, esto en el caso de las autopistas donde el tránsito vehicular es demasiado elevado.

### **2.3.1.2.- Tipos de concreto hidráulico.**

#### a) Concreto hidráulico simple

No contiene armadura de varillas de acero en la losa y el espaciamiento entre juntas es pequeño (entre 2.50 a 4.50 metros ó 8 a 15 pies). Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas (dovelas).

#### b) Concreto hidráulico reforzado

Tienen espaciamientos mayores entre juntas (entre 6.10 y 36.60 metros ó 20 a 120 pies) y llevan armadura distribuida en la losa a efecto de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción.

#### c) Concreto hidráulico reforzado continuo

Tiene armadura continua longitudinal y no tiene juntas transversales, excepto juntas de construcción. La armadura transversal es opcional en este caso. Estos pavimentos tienen más armadura que las juntas armadas y el objetivo de esta armadura es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que éstas permanezcan cerradas.

### **2.3.1.3.- Juntas en los pavimentos rígidos.**

De acuerdo con Olivera (2006), en los pavimentos rígidos existen diferentes tipos de juntas las cuales sirven para unir elementos de concreto hidráulico. Entre estas juntas se encuentran:

- Juntas de contracción.

Estas juntas son necesarias para que el agrietamiento que un pavimento rígido no sea de manera irregular, sino de la forma perpendicular al eje colado y asegurar el trabajo en conjunto de las losas a distancias predeterminadas. De acuerdo al tipo de juntas de contracción que se utilicen, se pueden utilizar de tres tipos:

- a) De concreto simple.
- b) De concreto con pasa juntas de sujeción.
- c) De concreto armado.

Se dice también que un pavimento rígido es de concreto simple cuando no se usa dentro de la masa ninguna otra cantidad de acero, para asegurar que las grietas no se abran más de 3 mm, se debe tener en cuenta una relación de largo a ancho de las losas menor de 1.25, siendo por esta razón muy usual el valor de 1.15. Es por tradición que las losas no sean mayores en este caso, de 4.5 m.

La grieta puede ser inducida efectuando una muesca por aserrado en la parte superior de la losa de 5 cm como mínimo de profundidad y de 4 a 6 mm de ancho. Esto se hace con la intención de disminuir el costo del aserrado, ya que el desgaste del disco de diamante de tungsteno es significativo, se puede introducir una lámina delgada a todo lo ancho de la losa cuando el concreto todavía no fragua, retirándola de 10 a 15 min después y rellenando la ranura con lechada fresca. Utilizando las llanas de los operarios, para que al paso de 24 horas, en el mismo lugar, se efectúe

la muesca de aserrado. Con este procedimiento se evitaban cortes en las gravas, que fueron desalojadas hacia los lados.

También se puede reducir la profundidad del aserrado si en la parte inferior, sobre la base impregnada en los mismos sitios en donde se va a aserrar, son colocados pequeñas tiras de madera de sección triangular, con una arista hacia arriba.

- Juntas de dilatación.

Para evitar que cuando las losas de concretos lleguen a su punto de dilatación, se tengan fuertes esfuerzos de compresión al chocar con algún obstáculo, que pueden ser tanto paredes como las columnas de alguna bodega, o el pavimento rígido de una avenida importante intercepta al de una secundaria, o la unión de una pista de aterrizaje y una calle de rodaje en un aeropuerto, se deben colocar juntas de expansión. Este tipo de juntas pueden ser de dos tipos, a tope o con pasajuntas de transferencia de carga.

Las juntas de expansión a tope son colocadas en donde un pavimento rígido se encuentra con algún obstáculo. Estas juntas son elaboradas dejando un espacio de 2 a 4 cm entre ellas, el cual se rellena después con cartón o fibras asfálticas que son comprimidas cuando se presentan los esfuerzos de compresión y se expanden, aunque sea parcialmente, al cesar los esfuerzos ejercidos. En aquellas zonas en donde son cercanas al lugar en el cual se tiene algún obstáculo, se pueden colocar juntas de expansión con pasajuntas para con esto reducir la abertura que se tenga en la junta a tope.

Un ejemplo claro sería en una calle de rodaje en donde se puedan colocar juntas de expansión, una a 2 losas y otra a 4 losas antes de llegar a la pista, en donde se tendrá la junta a tope, solo que a aquellas, se les colocarán pasajuntas que aseguren la transmisión de las cargas de una losa a las siguientes. A este tipo de juntas son llamadas de expansión con pasajuntas de transferencia de cargas.

“Estas juntas se forman haciendo que la sección transversal de las losas sea vertical (aunque también pueden ser aserradas) y se colocan varillas lisas que queden embebidas aproximadamente a 40 cm en cada una de ellas hacia el centro del espesor y para asegurar el libre movimiento, en un extremo de las varillas se coloca un casquillo metálico engrasado.” (Olivera; 2006: 145)

- Juntas de construcción

De conformidad con Olivera (2006), dentro de estos tipos de juntas se encuentran las juntas transversales las cuales se forman cuando por algún motivo en específico se suspende el colado del concreto fresco, estos motivos pueden ser de carácter fortuito o por procedimiento de construcción. Dentro de los motivos fortuitos se pueden encontrar que se terminen los áridos o que se descomponga la mezcladora que se esté utilizando, o que el concreto premezclado no llegue a su debido tiempo, o bien, empiece un fuerte aguacero y que el colado se suspenda por más de 30 min, etc. Y por procedimiento de construcción, se puede suspender un colado al terminarse la jornada de trabajo o al terminarse el ancho de la franja del colado.

Cuando es suspendido el colado por alguna situación de emergencia que se presente, o porque se finalizó la franja del colado o se terminó la jornada de trabajo , se procurará que de alguna manera se cuele una losa de manera completa, en donde se le forma una sección vertical lisa y se insertan varillas corrugadas, que a la vez no permiten alguna abertura de la grieta, también sirven como transmisoras de carga, la varilla debe ser embebida 40 cm dentro de la losa ya construida y deberán quedar 40 cm hacia afuera, los cuales serán cubiertos por el nuevo concreto que se pondrá al reanudar el colado.

El otro tipo de juntas que se encuentran en este tipo son las juntas longitudinales de construcción las cuales al colocar las franjas de las losas, lateralmente se debe colocar una cimbra que contenga el concreto fresco y forma estas juntas que son de tipo machimbrado, llamado también bisagra. En algunas ocasiones también se colocan pasajuntas de liga, cuya separación a lo largo de la junta se puede encontrar por medio de gráficas. Cuando son coladas las franjas laterales, se coloca cemento asfáltico en la parte lateral de la junta de las losas de la franja colada con cierta anterioridad.

#### **2.3.1.4.- Control de calidad en los pavimentos rígidos.**

En lo mencionado por Olivera (2006), para que se efectúe un el control de calidad adecuado es necesario que se realice la prueba de revenimiento en muchas ocasiones, con esto se podrá tener una idea de la calidad del concreto que se ha estado utilizando, si se están obteniendo asentamientos aceptables y en algún

momento cambian, por distintas razones, será indicativo de que no se están efectuando las cantidades y especificaciones requeridas. Una de las causas por las cuales cambie el revenimiento, es que la humedad de los agregados varíe con el paso del tiempo, por esta razón es recomendable tenerlos saturados y superficialmente húmedos de forma prolongada, para reducir este efecto.

Otro elemento de control de calidad puede hacerse elaborando especímenes para verificar el módulo de ruptura y la resistencia a la compresión simple. Por cada  $10 \text{ m}^3$  se elabora un par de cilindros y por cada  $50 \text{ m}^3$  un par de vigas. Con el primer punto se podrá tener indicios de la resistencia a los 28 días, a los 2 días, si se usa curado a vapor o a los 7 días si se curan en cámara húmeda o se saturan en agua.

También es importante tener un control de los siguientes elementos geométricos: ancho de la franja, pendientes transversales, profundidad de depresiones y espesor de la losa, terminado de la superficie de rodamiento, ejecución del aserrado y sellos de juntas de contracción y dilatación.

### **2.3.2.- Pavimentos flexibles.**

De acuerdo con Olivera (2006) los pavimentos flexibles son aquellos que se encuentran en contacto superficial con la capa subyacente, los cuales están compuestos por una capa delgada de mezcla asfáltica, construida sobre una capa conocida como base, la cual a su vez es construida sobre una capa de sub-base, que usualmente son construidas de material granular, las capas mencionadas

anteriormente descansan sobre la capa de terreno natural, la cual es mejor conocida como subrasante.

La superficie de rodamiento está conformada por una capa delgada que recibe el nombre de carpeta asfáltica. Como ya se mencionó, dichos pavimentos están conformados por diversas capas de material, las cuales reciben cargas en su parte superior que se extiende sobre la misma y son transmitidas a la siguiente capa inferior de la estructura del pavimento, por lo cual la capa que se encuentra más debajo de la estructura es la que recibe menos carga, ya que las que se encuentran sobre la misma van disipando la energía capa por capa.

Cabe señalar que la superficie de rodamiento o la capa superior, es la que recibe mayor carga por lo que resulta ser la más cara, por lo tanto se emplearán materiales que cuenten con mayor capacidad de carga, en cambio, para la capa que se encuentra en la parte inferior se podrán utilizar materiales con menor capacidad, los cuales podrán ser los existentes en el lugar.

### **2.3.2.1.- Capas de los pavimentos flexibles.**

La estructura o las capas de un pavimento flexible se componen en su mayoría por material granular, las cuales se construyen en orden ascendente iniciando por la subrasante, sub-base, base y finalizando con la construcción de la superficie de rodamiento que se le conoce comúnmente como la carpeta asfáltica.

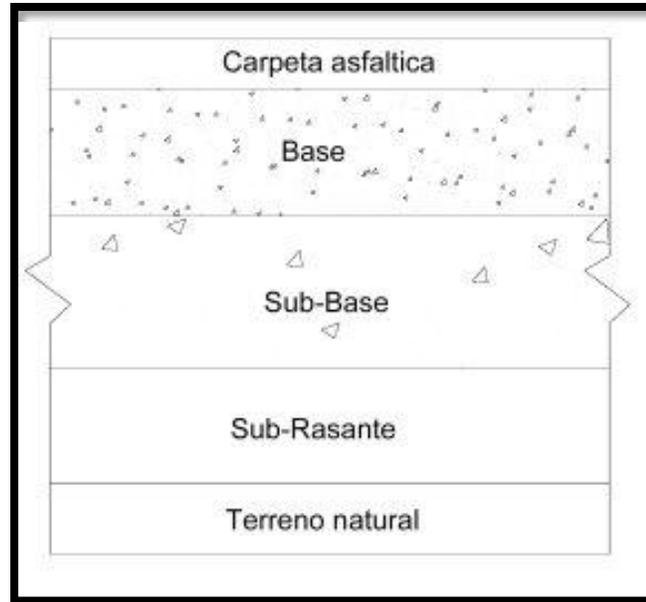


Imagen 2.2.- Capas de los pavimentos flexibles.

Fuente: [www.pasionporvolar.com](http://www.pasionporvolar.com) (2014).

Partiendo de lo dicho por Badillo y Rodríguez (2004), dentro de los pavimentos flexibles se encuentran las siguientes capas:

- Subrasante.

Es el suelo subyacente el cual sirve como cimentación para un pavimento flexible, esta capa puede estar compuesta del suelo existente en la zona de proyecto o de una capa de materiales seleccionados, los cuales se compactan hasta una profundidad debajo de la superficie de la sub-base.

- Sub-base.

Es la capa que se encuentra entre la subrasante y la base, la cual por lo regular está compuesta por una capa de material granular compactado y algunas veces por una capa de suelo la cual ha sido tratada con un aditivo adecuado.

Esta capa se diferencia de la capa de base porque se sujeta a especificaciones menos estrictas en cuanto a la resistencia, los tipos de agregados y la granulación, además, si la subrasante es de buena calidad, tal que cumpla con los requisitos para ser sub-base, esta se puede omitir.

Otra de las funciones con que cuenta la sub-base es la de servir de transición entre el material de base, por lo general granular más o menos grueso dependiendo de las necesidades y la propia sub-rasante. La subflexible se trata de lo económico. En esta capa se trata de formar un espesor requerido del pavimento con el material más económico y funcional posible. Todo el espesor podría construirse con un material de calidad como el usado en la base, pero se prefiere hacer aquella más delgada y sustituirla en gran parte por una sub-base de menos calidad, sin importar que con esto traiga un error y la base actúa como filtro de esta e impide la incrustación en la subrasante.

La sub-base puede ser también colocada para absorber deformaciones que perjudiquen en la subrasante, un ejemplo claro sería en cambios volumétricos asociados a los cambios de humedad, impidiendo con eso que se reflejen en la superficie del pavimento. La sub-base también sirve como dren para desalojar el

agua que se filtre al pavimento y con esto impedir la capilaridad hacia la base de agua procedente de la terracería.

- Base.

En la base existe una función también de índole económica ya que permite reducir el espesor de la carpeta que es más costosa, aunque la función fundamental de la base de cualquier pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente para que transmita a la sub-base y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad debidamente apropiada.

Las especificaciones para los materiales de los que se integra la base son más estrictas que para los de la sub-base, los cuales deben contemplar la resistencia, la estabilidad, la dureza, los tipos de los agregados y la granulación. Según lo dicho por Olivera (2006), la base debe cumplir con algunas funciones principales las cuales son:

- Contar con la resistencia estructural adecuada para la transmisión de las presiones producidas por las cargas que son provocadas por los vehículos.
- Tener un espesor suficiente para poder transmitir las cargas hacia la sub-base.
- No presentar cambios volumétricos que perjudiquen la estructura del pavimento ante la presencia de humedad.

- Carpeta asfáltica.

La carpeta asfáltica tiene las funciones de proporcionar una superficie de rodamiento adecuado, con textura y color conveniente, así como resistir y transmitir las cargas aplicadas por el tránsito; impedir que el agua superficial penetre el pavimento, proporcionar una superficie resistente al patinaje y aportar una superficie adecuada para poder transitar en ella. Otra característica importante que debe cumplir esta capa superficial es que debe ser durable, sin importar en qué condiciones climatológicas se encuentra.

Las capas superficiales usualmente son materiales bituminosos y algunos agregados minerales graduados adecuadamente, con un tamaño máximo de agregado que por lo regular es de  $\frac{3}{4}$  a 1 pulgada de diámetro. Es recomendable que los materiales tengan forma esférica ya que aquellos que presentan forma de laja o similar a una aguja suelen romperse fácilmente afectando la granulometría de la mezcla.

Partiendo de lo dicho por Olivera (2006), las funciones principales con las que deben cumplir las carpetas asfálticas son las siguientes:

- Proporcionar una superficie de rodamiento que permita a los usuarios transitar de forma, que facilite el tránsito y sobre todo que cuente con un grado de seguridad adecuado.
- Impedir la filtración de agua de lluvia a las capas inferiores.
- Ser resistente a los esfuerzos producidos por la circulación vehicular

Como ya se mencionó anteriormente, la carpeta asfáltica está constituida por una combinación de materiales bituminosos y agregados minerales. Al hablar de materiales bituminosos se entiende como los materiales que están compuestos por asfalto, por lo cual la cantidad necesaria de asfalto para la carpeta, es aquella que envuelve a los materiales granulares o agregados minerales, para que sean resistentes a los efectos de intemperismo y que cuenten con un espesor adecuado, ya que de ser mayor se perdería resistencia y estabilidad.

#### **2.3.2.2.- Características de los pavimentos flexibles.**

De acuerdo con Rico y del Castillo (2005), las características más importantes que deben de tomarse en cuenta para el diseño de un pavimento flexible son las siguientes:

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

- La resistencia estructural: Es la principal característica que se deben cumplir, la cual hace referencia a que los pavimentos deben de soportar las cargas generadas por el tránsito vehicular, que se manifiestan mediante cargas normales y cortantes en la estructura. Los métodos utilizados para el análisis de la resistencia se realizan mediante estudios de mecánica de suelos, los cuales han determinado que la causa principal por las que falla la estructura de un pavimento flexible son principalmente por los esfuerzos cortantes, además de estos, se han considerado esfuerzos adicionales producidos tanto por la aceleración y el frenado de los automóviles, como por los esfuerzos de tensión que se generan en las capas superiores de la estructura, próximas a donde se encuentra el área cargada.

La resistencia de un pavimento se ve afectada por la relación de la estructura con las capas que lo conforman, ya que si los materiales de las terracerías son de baja calidad no podrían soportar los esfuerzos transmitidos desde la superficie, ya que serían mayores a los de la capacidad de carga de ese nivel.

Por lo cual para mejorar la capacidad de resistencia de cada capa, es necesaria la exigencia para la utilización de materiales de terracerías que cuenten con mayor calidad, a los cuales se les dé un tratamiento adecuado, que la protección contra el agua sea considerada y que exista el rechazo de los materiales que no cumplan con estas características. Cuando los materiales del pavimento no tienen resistencia a la tensión, deberá tomarse en cuenta el espesor de las capas, ya que es muy

importante para transmitir los esfuerzos a la capa inferior, esto debido, a que el incremento individual en cada capa mejora la resistencia, por lo que transmitirá esfuerzos de menor intensidad a las capas subyacentes.

- La deformabilidad: La deformabilidad es un factor que se propaga hacia el interior de las capas por agentes naturales y por la estructuración de los mismos materiales, la cual se presenta por lo regular en las terracerías, provocado por los esfuerzos actuantes en la superficie del pavimento que generan deformaciones tolerables. Las deformaciones son de suma importancia ya que de ser excesivas causarían un estado de falla para el pavimento, ya que, si este es deformado puede dejar de cumplir con su correcto funcionamiento, independientemente de que la deformación no haya provocado el colapso del mismo. Las deformaciones pueden ser elásticas, las cuales al aplicársele un esfuerzo sobre el pavimento aparecen, pero éste regresa a su estado original; por otro lado esta las deformaciones plásticas las cuales permanecen en el pavimento después de aparecer el esfuerzo.

- La durabilidad: En cuanto a la duración de los pavimentos flexibles, depende en la mayoría de los casos de los factores económicos y del aspecto social, así como la importancia que se le dé a éste. En la mayoría de las ocasiones en los pavimentos de caminos que no son muy transitables es más fácil estar realizando reparaciones y mantenimientos por el costo y el tiempo, siendo este un factor muy importante para la transitabilidad del tráfico vehicular.

- El costo: Como en la mayoría de las obras de ingeniería, en la construcción de un pavimento existen prioridades que se deben tomar en cuenta, ya que estas representan que la construcción sea resistente y presente estabilidad necesaria, las cuales van ligadas con el costo que pueda alcanzar su elaboración. En la construcción de un pavimento flexible la inversión inicial realizada es menor con relación a la construcción de un pavimento rígido, pero el costo de conservación resulta ser más elevado, ya que el mantenimiento que se requiere es por periodos de tiempo más cortos. Cabe señalar que la elección de cuál tipo de pavimento se debe de utilizar, es dependiendo de las necesidades y características con las que se cuenten.

- Los requerimientos de la conservación: Los factores climáticos son los principales responsables que influyen en la vida de los pavimentos, a su vez, la intensidad del tránsito vehicular genera un desgaste considerable sobre la superficie de rodamiento, por lo que deberá tomarse en cuenta el crecimiento a futuro tanto del número como el tipo de vehículo que transitarán por dicho pavimento. Sin embargo, el factor que más se descuida en la etapa de la operación del pavimento es el mantenimiento o conservación, ya que por lo regular éste no se hace presente y llevan al pavimento al término de su vida útil.

- La comodidad: Este aspecto de los pavimentos flexibles es un factor que influye de manera directa en los conductores, ya que, si el pavimento presenta ondulaciones en la superficie, el vehículo tiende a realizar movimientos bruscos que incomoden al conductor durante su trayecto, ya que, de acuerdo a la velocidad de proyecto con la que se diseña se debe mantener sin ninguna complicación para un mejor desempeño del tránsito vehicular.

### **2.3.2.3.- Tipos de productos asfálticos.**

De acuerdo con lo dicho por Olivera (2006), existe una gran variedad de productos asfálticos que se emplean de acuerdo con los requerimientos en la construcción de una obra, por lo que a continuación se mencionarán algunos de ellos, de igual manera se presentará la definición de los productos mencionados.

- **Cemento asfáltico:** Es el material que también es conocido como asfalto, el cual es el último residuo producto de la destilación del petróleo que a temperaturas normales se encuentra en estado sólido y cuenta con color café oscuro.
- **Concreto asfáltico:** Es la mezcla entre cemento asfáltico y agregados pétreos que por lo regular es material triturado. Para que se puedan mezclar dichos materiales se deben alcanzar temperaturas superiores de 140 °C; se debe de

tomar en cuenta las especificaciones del proyecto para los porcentajes adecuados del contenido óptimo que requiere la mezcla.

- Rebajados asfálticos: Son los que se fabrican diluyendo el concreto asfáltico en gasolina, tractolina, diesel o aceites ligeros. Para realizar la mezcla entre rebajados asfálticos y materiales pétreos, es necesario que estos se encuentren bien secos ya que de lo contrario no existiría adherencia con el asfalto.
- Emulsiones asfálticas: Son mezclas de asfalto con emulsificantes (compuestos orgánicos de relativamente muy alto peso molecular) que al mezclarse con agua, permiten realizar el tendido de la carpeta en frío, esto quiere decir en temperaturas menores a los 100 °C. La ventaja que presenta este tipo de mezclas es principalmente su manejabilidad.

#### **2.3.2.4.- Tipos de carpetas asfálticas.**

Partiendo de lo dicho por Olivera (2006), en México existen tres tipos de carpetas las cuales son las más utilizadas en la construcción de un pavimento flexible, y son las siguientes:

- Por riegos: Las carpetas están constituidas de entre uno y hasta tres riegos de impregnación de acuerdo al tipo de tránsito existente en la zona. Sobre la base impregnada se da un riego con producto asfáltico el cual se cubre con un riego de material pétreo grueso el cual deberá ser compactado con el equipo

adecuado. Después se repite la operación, solo que esta vez el material pétreo debe de ser de dimensiones menores que el que empleo anteriormente, posteriormente se repite la operación empleando ahora el material pétreo más fino el cual se acomoda con un rodillo liso, una vez realizado este procedimiento se deja fraguar el material por una semana y posteriormente se utiliza una barredora para retirar el material que no se adhirió en el proceso.

- Mezclas en el lugar o en frío: Según Olivera (2006) para la elaboración de las mezclas se debe hacer una elección de los bancos, en donde se extraerán los materiales que se utilizarán en la construcción y una vez conociendo sus características se realizara un tratamiento a los materiales extraídos, siempre y cuando sea necesario dicho tratamiento. Se utilizan materiales pétreos de granulometría continua, los cuales se mezclan a la temperatura ambiente mediante la adición de un rebajado asfáltico que se caliente a la temperatura adecuada o en su defecto se empleará una emulsión. La mezcla se realizará empleando motoconformadoras o mezcladoras fijas.
- Concretos asfálticos: Las carpetas de concreto asfáltico son mezclas de material pétreo y cemento asfáltico recubierto el cual debe de ser calentado hasta los 140 °C y la vez el material pétreo se calienta a 160 °C. Debido a las características del cemento asfáltico, este tipo de carpetas cuenta con propiedades elásticas, con ruptura de tipo frágil y poca resistencia, las cuales

aparecen cuando las temperaturas de la zona donde se encuentran son muy bajas. En la mayoría de los casos el material pétreo empleado en su elaboración es roca triturada de basalto, andesita o reolita, aunque en algunos casos puede provenir de bancos de grava-arena.

#### **2.3.2.5.- Drenaje de pavimentos flexibles.**

Se sabe que el agua es uno de los elementos que causa daños de gran consideración en los pavimentos flexibles, ya que disminuye la resistencia de los suelos, lo cual origina la existencia de fallas en terraplenes, cortes y sobre la superficie de rodamiento, es por esto que, el drenaje debe ser construido para captar y conducir el agua de manera que no afecte el funcionamiento del pavimento.

Los drenajes artificiales dentro de un camino se clasifican en superficiales y subterráneos. El drenaje superficial se clasifica en longitudinal y transversal con respecto al eje del camino. Los drenajes longitudinales tienen como objetivo captar los escurrimientos para evitar que lleguen al camino o permanezcan en él, conduciendo las corrientes de agua a obras de drenaje transversal o algún cauce natural; se caracterizan por ser obras que tienden a seguir en forma paralela la línea sub-rasante o el eje del camino, como son: cunetas, contracunetas, canales auxiliares, cajones de entrada, desarenadores, cunetas entubadas y bordos.

Los drenajes transversales tienen como objeto dar paso al agua que cruza de un lado u otro de una carretera, o bien, retirar lo más pronto posible el agua de su

corona. Algunos ejemplos de drenajes transversales pueden ser: las alcantarillas de tubos o bóvedas, bombeo, vado, puentes y lavaderos.

#### **2.3.2.6.- Fallas en los pavimentos flexibles.**

De acuerdo con Rico y del Castillo (2005), las fallas en los pavimentos suelen ser el resultado de la deformación bajo esfuerzos cortantes o de la deformación por consolidación o por aumento de compacidad; estos fenómenos se pueden presentar en cualquiera de las capas del pavimento o aún en la terracería. A continuación se presentan algunas de las fallas más comunes en los pavimentos flexibles.

##### 1) Agrietamiento en “piel de cocodrilo”.

Este tipo de agrietamiento se extiende sobre toda la superficie de rodamiento o, por lo menos, sobre una parte considerable de ella, por el cual dicha superficie toma el aspecto que le da nombre al fenómeno. Esta condición se da, debido al movimiento excesivo de una o más de las capas del pavimento o de fatiga, muchas veces en la propia carpeta.

El agrietamiento en “piel de cocodrilo” es común en pavimentos flexibles contruidos sobre terracerías resilientes o dentro de los cuales, la subrasante muestre resiliencia. También es típico de bases débiles o insuficientemente compactadas.

## 2) Deformación permanente en la superficie del pavimento. Surcos.

En la mayoría de los casos éste tipo de deformación está asociada a un aumento de compacidad en las capas granulares de base o sub-base, debida a una carga excesiva, carga repetida (aumento de compacidad por vibración) o a una rotura de granos; también puede deberse a consolidación en la subrasante o aun en el cuerpo de la terracería.

La deformación a que se hace referencia debe distinguirse del surco que se produce por simple desplazamiento lateral de una carpeta defectuosa; la señal que lo distingue es que en este último caso el material se eleva a los dos lados del surco, en tanto que en un surco de origen profundo, éste se produce sin dichas ondulaciones.

## 3) Fallas por cortante.

Las fallas por cortante están asociadas en su mayoría a la falta de resistencia al esfuerzo cortante en la base o sub-base del pavimento y es menos común en la subrasante. Consisten generalmente en surcos profundos, nítidos y bien marcados, cuyo ancho no excede mucho del de una llanta. En este caso suele haber también elevación del material de carpeta a ambos lados del surco, pero la falla se distingue fácilmente de un simple desplazamiento de carpeta por la mayor profundidad afectada.

#### 4) Agrietamiento longitudinal.

Consiste en la aparición de grietas longitudinales de no gran abertura, las cuales son comúnmente el producto del movimiento de las capas de pavimento que tienen lugar predominantemente en dirección horizontal; el fenómeno puede ocurrir en la base, en la sub-base o, con cierta frecuencia, en la subrasante. Son indicativos de fenómenos de congelamiento y deshielo o de cambios volumétricos por variación del contenido de agua, sobre todo en la subrasante.

#### 5) Consolidación del terreno de cimentación.

La consolidación de terrenos de cimentación blandos puede producir distorsión del pavimento, independientemente de los espesores o de la condición estructural del mismo. Las deformaciones de la sección transversal pueden producir agrietamientos longitudinales. Cuando por falta de resistencia en el terreno de cimentación, se comprende la estabilidad de los terraplenes, también se producen agrietamientos típicos con trayectoria circular, marcando lo que podrá llegar a ser la cabeza de la falla eventual; estas grietas perjudican al pavimento.

## CAPÍTULO 3

### RESUMEN DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN

Dentro del capítulo se plantea la información necesaria referente al entorno geográfico del camino viejo a la colonia Santa Rosa, el cual se encuentra ubicado dentro de la República Mexicana en el estado de Michoacán de Ocampo, en la ciudad de Uruapan del progreso, dando a conocer su ubicación geográfica, su vegetación, hidrografía, sus diferentes tipos de climas, entre otras características.

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

Para términos de este trabajo es necesario ubicarse en el estado de Michoacán que es uno de los 31 estados de la República Mexicana, en la ciudad de Uruapan uno de los 113 municipios del estado. La cual está catalogada como la segunda ciudad más importante del estado.

De acuerdo con lo establecido en la página electrónica [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) (2013), el estado de Michoacán se ubica en el centro-oeste del territorio mexicano. Limita al norte con los estados de Guanajuato y Querétaro, al este con el estado de México, al sur con Guerrero al suroeste con el Océano Pacífico y el noroeste con Colima y Jalisco. Cuenta con una superficie de 58,585 km<sup>2</sup>, que representa el 3% de la superficie total del país, ocupando el lugar número 16 en extensión entre las 32 entidades federativas de México.

Se encuentra ubicado entre las coordenadas 17° 55' y 20° 24' de latitud norte, y las coordenadas 100° 04' y 103° 44' de longitud oeste. Teniendo como capital la ciudad de Morelia, anteriormente llamada Valladolid en honor al héroe de la independencia José María Morelos y Pavón.

En cuestión de hidrografía, el estado de Michoacán cuenta con 228 km de costas, siendo sus costas unas de las más montañosas y accidentadas del país. Los principales lagos del estado son: el lago Cuitzeo, el lago de Pátzcuaro, el lago de Zirahuén, una parte del lago de Chapala, y la Presa Infiernillo. Su río más importante es el río Lerma, el cual nace en el Estado de México y abastece a la presa de Tepuxtepec para regar las tierras del valle de Maravatío y producir energía hidroeléctrica. Le siguen en importancia el río Balsas con numerosos afluentes, como el río Cupatitzio el cual alimenta las caídas de agua de La Tzaráracua y el río Tepalcatepec. Se tiene una precipitación media anual de 806 mm, lo cual constituye a la entidad como la decimosexta más lluviosa del país. Por otra parte, la temperatura promedio anual es de 22.2 °C, teniendo como extremos temperaturas mínimas anuales de 14.7 °C y de 29.6 °C, lo cual la constituye en la décimo tercer entidad federativa más cálida del país.

La orografía del estado es una de las más accidentadas de México y contiene numerosos volcanes que forman parte del Eje Volcánico Transversal (44,98 % de su superficie) y de la Sierra Madre del Sur (55,02 % de la superficie). La principal elevación con la que cuenta es el llamado Pico de Tancitaro que cuenta con una altura de 3,840 msnm.

La vegetación en el estado se resume en: agrícola 27.99 % de la superficie estatal, pastizales 1.80 %, bosques 26.68 %, selva 34.78 %, matorrales 5.08 %, otros 1.66 %, escorias 0.77%.

### **3.2.- Resumen ejecutivo.**

Para realizar el presente trabajo de investigación se visitó el tramo en estudio conforme la misma investigación lo solicitó, en primera instancia para realizar el levantamiento topográfico, y al mismo tiempo obtener las muestras necesarias para realizar el análisis de laboratorio correspondiente a la mecánica de suelos que predomina en los diseños de pavimentos.

Basándose en la teoría ya obtenida previamente, se hace un aforo vehicular de la zona en la cual se planteara el diseño de pavimento, realizado en las horas pico en diferentes días para obtener valores máximos de tránsito los cuales se tomaran en cuenta para diseño en situaciones más desfavorables. La información se recopila, y es objeto de análisis para un buen desarrollo de la pavimentación.

Una vez reunidos los elementos necesarios para que la investigación se muestre completa, se define una solución para la incógnita que da origen a la misma investigación, dándose una solución para los problemas de vialidad y tránsito vehicular del tramo de pavimentación elegido. En la presentación de la información se destacan los medios usados para poder obtener el objetivo de la investigación así como la manera en que se llega a su solución.

### 3.3.- Macro localización.

Uruapan es uno de los 113 municipios que comprende el estado de Michoacán, es por esto necesario ubicar primeramente el estado de Michoacán dentro de la República Mexicana.



Imagen 3.1.- Localización de Michoacán de Ocampo.

Fuente: [www.travelbymexico.com](http://www.travelbymexico.com) (2013)

Como se puede apreciar en la imagen 3.1., Michoacán se ubica al centro-occidente del territorio nacional, colinda con los estados de Colima y Jalisco al noroeste, al norte con Guanajuato y Querétaro, al este con México, al sureste con el estado de Guerrero y al suroeste con el Océano Pacífico. Cuenta con una extensión territorial de 58,585 kilómetros cuadrados.

La ciudad de Uruapan se sitúa a 1,620 msnm y es considerado como el segundo municipio más poblado del estado de Michoacán, que cuenta con un clima templado, exuberante vegetación y principalmente con una gran producción anual de aguacate con calidad de exportación, siendo esta la razón por la cual que, además de conocerle como “la perla del Cupatitzio” también se le conoce como “la capital mundial de aguacate”. A su vez se considera como el punto intermedio entre la zona llamada “tierra caliente” y la meseta Purépecha.

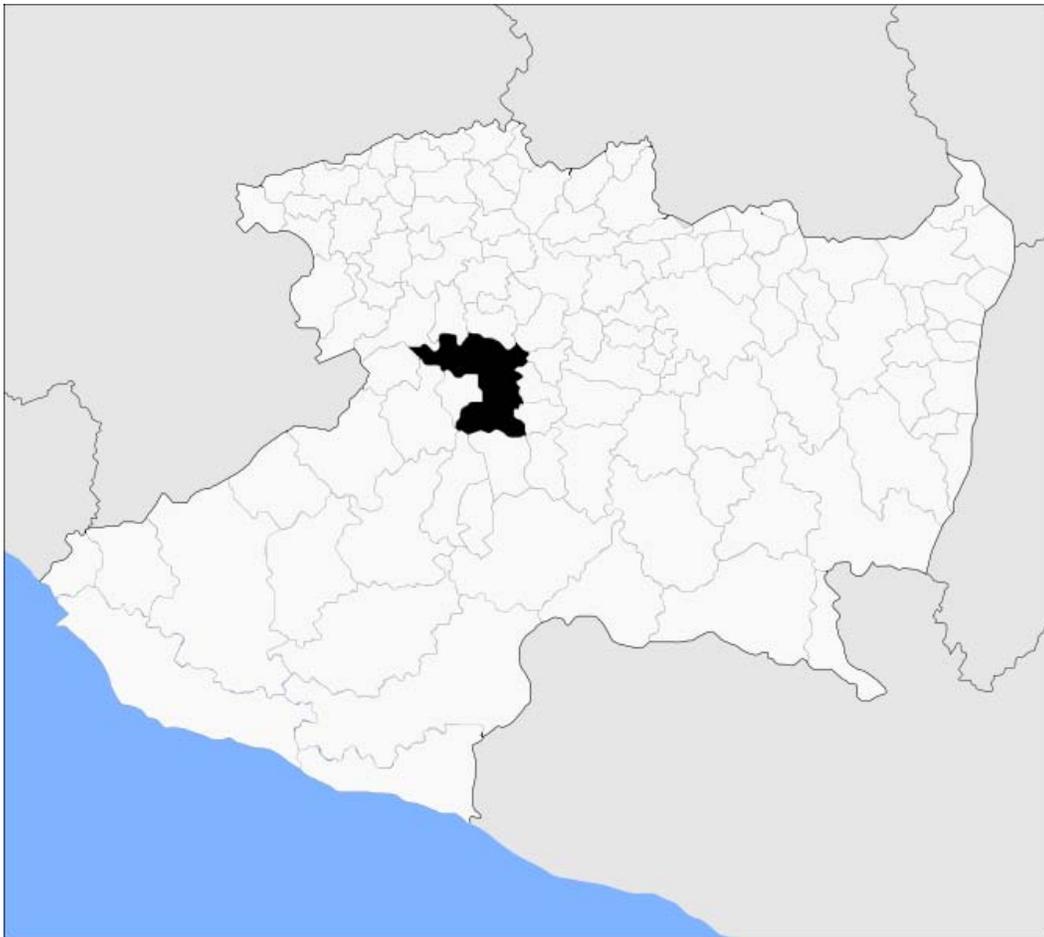


Imagen 3.2.- Ubicación de Uruapan del Progreso.

Fuente: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) (2013)

Como se puede apreciar en la imagen 3.2., y tomando en cuenta lo que nos dice la página electrónica [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) (2013), el municipio de Uruapan se localiza en la zona centro-occidente del estado de Michoacán, tiene una extensión territorial total de 954.17 kilómetros cuadrados que equivalen al 1.62% de la extensión total del estado. Sus límites son al norte con el municipio de Charapan, el municipio de Paracho y el municipio de Nahuatzen; al este con el municipio de Tingambato, al municipio de Ziracuaretiro y el municipio de Taretan; al sur con el municipio de Gabriel Zamora y el municipio de Parácuaro; al oeste con el municipio de Nuevo Parangaricutiro, con el municipio de Peribán, con el municipio de Tancítaro y con el municipio de Los Reyes. En cuestiones orográficas Uruapan se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 417.9 metros como mínima y una altura máxima de 1664 msnm. Está dentro del Eje Neovolcánico Transversal, por lo que su territorio es accidentado y montañoso, destacando los cerros Charanda, la Cruz y Jicalán.

Hidrológicamente Uruapan tiene como principal corriente el río Cupatitzio, que nace en el territorio y fluye en sentido norte a sur, existen además los embalses de Caltzontzin, Salto Escondido y Cupatitzio y una cascada conocida como La Tzaráracua. Todo el territorio del municipio con excepción de su extremo más occidental, forma parte de la Cuenca del río Tepalcatepec-Infiernillo y el extremo oeste a la Cuenca del río Tepalcatepec, ambas forman parte de la Región hidrológica Balsas.

Basándose en información obtenida en la página [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx) Uruapan cuenta con un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (27.97%), templado húmedo con abundantes lluvias en verano (21.93%), semicálido

húmedo con abundantes lluvias en verano (14.43%), semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (13.49%), cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (11.98%), cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (5.99%) y semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (4.21%). Cuenta con una vegetación de bosque (54.19%), pastizal (4.00%) y selva (5.43%).

Unos de los aspectos importantes de la región de Uruapan es su flora y su fauna; principalmente hacia el centro y norte, se dedican a la agricultura, el resto del municipio se encuentra cubierto por bosque, en el que en las zonas más elevadas se encuentran pino y encino y ya en la parte más baja pegada a Tierra Caliente la flora es muy parecida a Tierra Caliente poca precipitación y más escasa vegetación que el Norte ya no hay pino solo hayamos especies como parota, guaje, mezquite, nopales, cascalote y cirrián. Su fauna se conforma principalmente por coyote, zorrillo, venado, zorra, cacomixtle, liebre, tlacuache, conejo, pato, torcaza y chachalaca. Y por otro lado en la zona sur también podemos hallar especies de Tierra Caliente tal como el alacrán, besuconas, armadillo, gavilán, víbora de cascabel, entre otros.

De acuerdo con los resultados del Censo de Población y Vivienda de 2010 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el municipio de Uruapan tiene una población total de 315,350 habitantes, de los cuales 152,442 son hombres y 162,908 son mujeres.

### 3.4.- Micro localización.

El camino viejo a Santa Rosa comprende la zona sur-oriente de la región, y es una alternativa de entrada y salida para las colonias zapatista, laguna del ahogado, bosques del oriente así como otra opción de entrada para el Hospital Regional, además es la única entrada para los campos llamados “La Magueyera” los cuales se son de gran auge durante los fines de semana ya que reúnen tanto a las familias de los alrededores como a las de colonias vecinas.

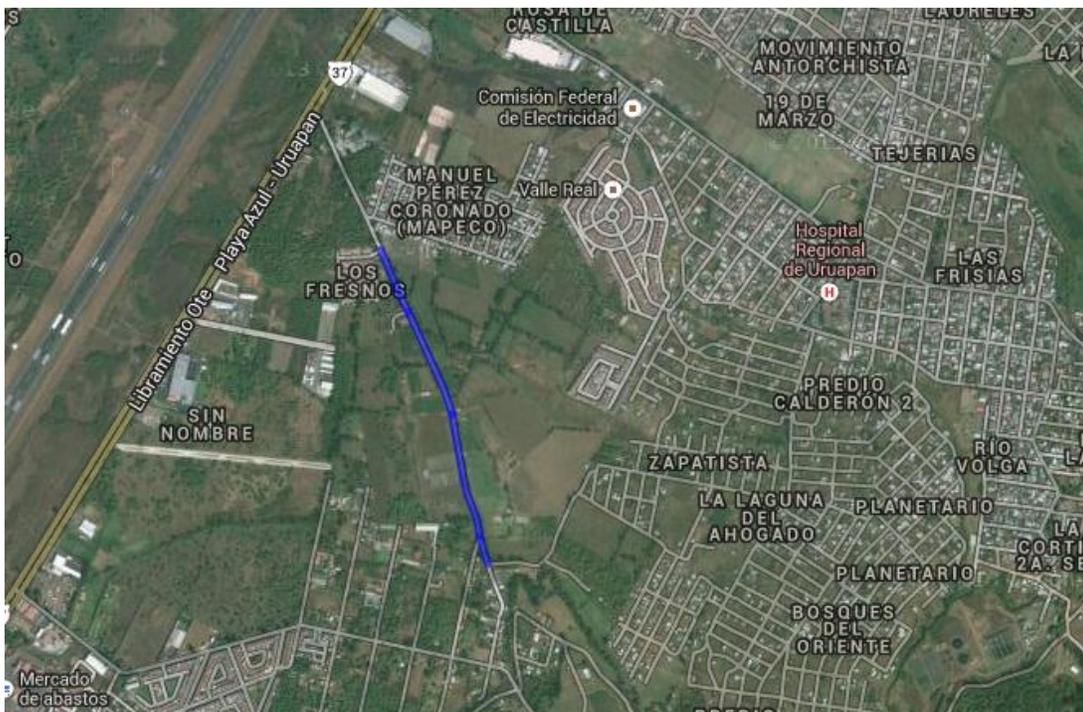


Imagen 3.3.- Localización del predio en estudio.

Fuente: [www.googlemaps.com](http://www.googlemaps.com) (2013)

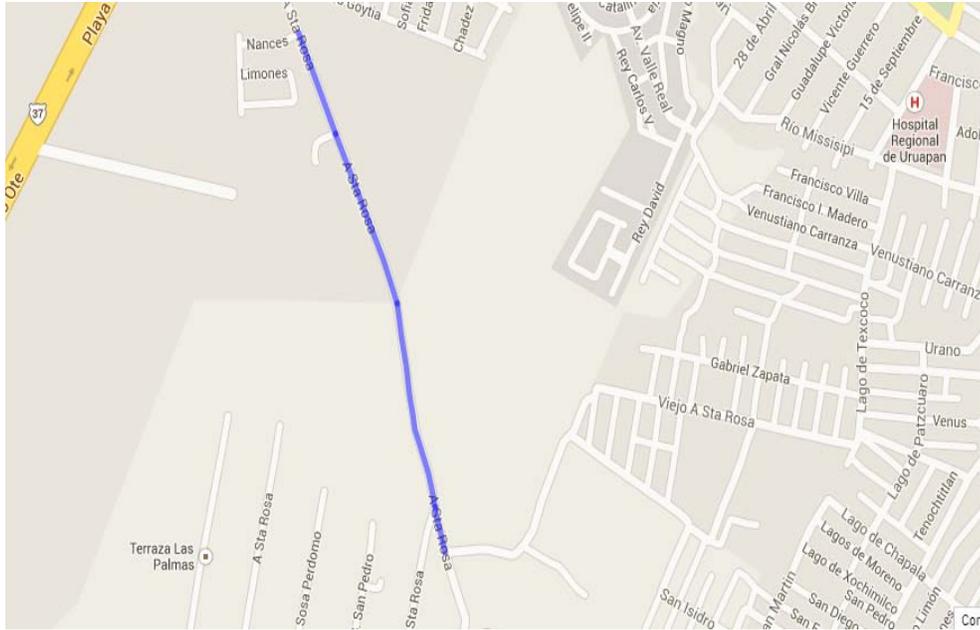


Imagen 3.4.- Localización del tramo en estudio.

Fuente: [www.google.com/maps](http://www.google.com/maps) (2013)

En las imágenes 3.3 y 3.4 se puede apreciar de una manera más tangible la ubicación de la zona en estudio, como se puede ver es un tramo que comprende desde la entrada del fraccionamiento “los fresnos” hasta 200 metros después de la entrada a los campos “la magueyera”.

### 3.5.- Informe Fotográfico.

En la imagen 3.5 se puede observar el inicio del tramo a pavimentar, el cual da acceso a la Colonia Santa Rosa, es necesario mencionar que existe un tramo ya pavimentado, es por eso que se quiere dar continuidad con el trabajo antes realizado y dar una solución a la problemática que existe en el lugar.



Imagen 3.5.- Acceso al Tramo Camino a Santa Rosa.

Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente imagen se puede observar la parte frontal del tramo, así como el camino de acceso, se puede apreciar que consta con una vialidad conformada con diferente superficie de rodamiento, empedrado y terracería, el cual se tendrá que evaluar y de ser necesario, mejorar para conformar una vialidad funcional y cómoda para las personas que transitan dicho tramo.



Imagen 3.6.- Acceso al tramo, parte frontal.

Fuente: Elaboración Propia.

En las imágenes 3.7 y 3.8 se puede observar la vegetación y pastizal que hay en ambos lados del camino, de acuerdo al proyecto de pavimentación que se proyecta en esta investigación, se realizará previamente una limpieza y despalle de dicha vegetación para el correcto funcionamiento y desarrollo de este proyecto.



Imagen 3.7.- Vegetación a los costados del camino.

Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.8.- Vegetación a los costados del camino.

Fuente: Elaboración Propia.

En las imágenes 3.9, 3.10 y 3.11 se muestra los encharcamientos y escurrimientos ya que no existe un drenaje en el sitio, el cual provoca que se hagan charcos en la superficie de rodamiento y por consecuencia se deforma la terracería.



Imagen 3.9.- Escurrimiento del agua.

Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.10.- Esguerrimiento del agua.

Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.11.- Esguerrimiento del agua.

Fuente: Elaboración Propia.

En las imágenes 3.12, 3.13 y 3.14 se muestra el tránsito recurrente del tramo en estudio, el cual principalmente se compone de gente caminando, motocicletas y algunas veces camionetas tipo pick-up.



Imagen 3.12.- Tránsito en el tramo.

Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.13.- Tránsito en el tramo.

Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.14.- Tránsito en el tramo.

Fuente: Elaboración Propia.

Por último en las siguientes imágenes se pueden apreciar algunos de los predios y terrenos que se verán directamente beneficiados con la realización de este proyecto, principalmente en el aspecto económico, ya que, gracias a la pavimentación la plusvalía de estos terrenos sube.



Imagen 3.15.- Acceso a terreno.

Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.16.- Acceso a terreno.

Fuente: Elaboración Propia.



Imagen 3.17.- Acceso a deportivo.

Fuente: Elaboración Propia.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA**

El concepto de metodología hace referencia a aquellos procedimientos que son basados en principios lógicos. Forma parte del proceso de investigación que sigue a la propedéutica y que posibilita la sistematización de los métodos y de las técnicas concretas necesarias para realizar una investigación, las cuales son utilizadas con la finalidad de alcanzar objetivos planteados dentro de una investigación científica. Dentro de la metodología se analizarán subtemas tales como: Método científico, enfoque de la investigación, alcance de la investigación, el tipo de diseño de la investigación así como los instrumentos de recopilación de datos.

#### **4.1.- Método científico.**

El método científico se define como “un procedimiento para descubrir las condiciones en que se presentan sucesos específicos, caracterizados generalmente por ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica” (Tamayo: 2000; 35). Gracias a su procedimiento se puede descubrir en qué condiciones se presentan sucesos específicos, caracterizado por ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica; aplicando la lógica a las realidades o hechos observados.

Este método es el usado en esta investigación ya que es meramente una investigación con fines de estudio, así como ser objetiva, ya que los datos que se utilizaron son sustentables y reales.

#### **4.1.1.- Método matemático.**

Según Mendieta Alatorre (2005) el método matemático consiste en el uso de los elementos matemáticos para resolver o estudiar un fenómeno de la realidad partiendo de hipótesis. De esta manera es como se está aplicando éste método. El método matemático se considera como uno de los principales conceptos que el ser humano tiene presentes en todo momento, así como tener conocimiento de lo que es la cantidad ya que, siempre está presente en su vida, incluso inconscientemente.

En cualquier investigación donde se presenten números de relaciones constantes se emplea este método; como se presenta en esta investigación, debido a que se dará interpretación a los resultados numéricos que se arrojan al final de los procedimientos utilizados.

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

El enfoque de investigación hace referencia a un conjunto de estudios realizados por los investigadores de un tema en especial, con la finalidad de construir un conjunto de teorías, las cuales dan resolución a un problema.

El enfoque cuantitativo es aquel que se caracteriza por recolectar datos numéricos de los fenómenos implicados en la investigación, que se obtendrá a partir de una hipótesis, además se establece una conclusión a partir de una pregunta de investigación. Éste es el enfoque utilizado, ya que los elementos utilizados son magnitudes expresadas en números y otras unidades, las cuales son cuantificables y pueden ser comparadas en investigaciones posteriores.

Aun cuando se pudiera utilizar un enfoque cualitativo solo para enriquecer el estudio realizado con entrevistas y/o encuestas, se toma la decisión de que el enfoque sea cuantitativo, ya que ofrece la posibilidad de generalizar los resultados ampliamente; además de que es considerado uno de los más usados por ciencias como la geología, física, química, entre otras ciencias exactas.

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

El alcance o propósito de la investigación es de carácter descriptivo, ya que se basa en describir situaciones, eventos y hechos. Se dice que es de carácter descriptivo porque, se dará pie para la medida de los datos necesarios para determinar los fenómenos que sigue la investigación.

Se determina que el alcance de esta investigación es de tipo descriptivo, por lo cual el mismo enfoque que se da, que es de enfoque cuantitativo ayuda a resolver las variables que caracterizan al fenómeno en estudio, se busca obtener los valores máximos en los aforos que se realizan para obtener los datos correspondientes para el diseño óptimo del objeto de investigación. Además en esta investigación, cada uno

de los conceptos investigados deben tener una información colectada la cual podrá ser independiente entre ellos o conjunta, posteriormente la información podrá ser integrada para describir el proyecto en análisis.

#### **4.3.- Tipo de diseño de la investigación.**

Basándose en lo dicho por Tamayo (2000), el diseño de la investigación es la estrategia que utiliza el investigador para plantear las posibles respuestas a las preguntas que dan pie a la investigación. El diseño que se utiliza para la investigación es de tipo no experimental; ya que éste no manipula ninguna variable, debido a que se analizan los objetos de estudio para dar un dictamen acerca de lo observado.

La investigación no experimental es considerada como una investigación empírica y sistemática en la cual no se tiene un control directo sobre las variables independientes porque sus manifestaciones ya han ocurrido o porque son inherentemente no manipulables.

Se centra en conceptos o variables en un momento dado, realizándose la determinación de la relación que tienen las diferentes variables que participan en dicho momento. En este tipo de investigación no experimental se encuentran dos clasificaciones; diseño transeccional y diseño longitudinal.

#### **4.3.1.- Investigación Transeccional.**

Según Tamayo (2000) las investigaciones no experimentales transeccional son aquellas en las cuales la recolección de los datos se realiza en un tiempo único, describiendo las variables y analizar cuáles son los acontecimientos más probables que puede tener el fenómeno.

Trata una exploración inicial en un momento específico, aplicada en problemas de investigación nuevos o poco conocidos; recolecta datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su interrelación en un momento dado.

Debido a esto es que se define la investigación, del tipo transeccional ya que, se determinan los valores necesarios para dar una estructuración de un pavimento de acuerdo a la recolección de los datos obtenidos con relación al tráfico vehicular que se presenta en la zona estudiada, de esta manera poder analizarlos e indagar sobre los hechos relevantes.

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

La recolección de datos implica utilizar uno o un conjunto de métodos o instrumentos, de tipo cualitativo o cuantitativo, esto en función del enfoque que se tenga en el estudio o investigación, así mismo de los alcances que se requieran obtener de la investigación; aplicar los métodos, para obtener mediciones o datos analizarlos y después poder obtener un resultado.

Los programas digitales tienen una gran función en esta investigación, haciendo de la recopilación de datos algo más sencillo y de esta manera se puedan manipular más cómodamente.

Uno de los software más utilizado es el autocad, el cual es de gran utilidad ya que en este programa se puede desarrollar de una manera más rápida y simple lo que son los planos que se utilizaron en la investigación. Un aditamento para o herramienta extra es el civilcad en el cual se pueden arrojar los datos del levantamiento del terreno en forma digital.

Excel es una hoja de cálculo en la cual se pueden realizar las fórmulas de una manera rápida y sencilla, agilizando los procesos para la obtención de los resultados necesarios.

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

Antes de comenzar con la presente investigación fue necesario llevar a cabo un proceso o plan de obra como bien se conoce dentro de la Ingeniería Civil, así como una serie de pasos ordenadamente para tener una investigación buena y correcta.

Se eligió el tema de pavimento flexible, ya que es uno de las mejores soluciones a la problemática que se tiene en el tramo camino viejo a Santa Rosa, tales como acortamiento en tiempos, mejoramiento del acceso ya que actualmente la terracería que se encuentra en dicho camino está en muy mal estado y es necesario

el mejoramiento de dicho tramo, y así como el congestionamiento vehicular que se ocasiona.

Se plantearon algunos antecedentes del dicho tema, así como el problema que se quería resolver, utilizando objetivos principales y secundarios para poder generar una pregunta de investigación y con esto justificar el por qué era importante dar solución a la problemática ya mencionada anteriormente.

Posteriormente se realizó una visita al tramo para identificar la micro y macro localización, y así hacer un levantamiento topográfico para obtener los niveles, áreas de despalme, perímetros y longitud total del tramo, etc. Y a su vez tomar fotografías para tener de manera gráfica y representativa el problema. Para realizar los cálculos correctos fue necesario elegir uno de los métodos de diseño existentes; se eligió el método de la UNAM para el diseño del pavimento flexible, siguiendo los pasos de manera ordenada de dicho método para la elaboración del diseño adecuado de pavimento flexible así como de su proceso constructivo tomando en cuenta los datos obtenidos del levantamiento, para tener un trabajo correcto y una solución al problema.

## **CAPÍTULO 5**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se presentarán los análisis y los procedimientos necesarios para el diseño de pavimento flexible para el camino viejo a Santa Rosa, indicando los principales elementos que se tomaron en cuenta para que el desempeño del pavimento sea el adecuado. Así como también se describirá el método utilizado para dicha pavimentación.

#### **5.1.- Levantamiento topográfico.**

Siguiendo con lo dicho por Bannister (2002), la topografía se puede definir como el arte o tecnología de hacer mediciones de las posiciones relativas de accidentes naturales y todas aquellas obras hechas por el hombre sobre la superficie de la Tierra, así como la representación gráfica o numérica de esta información. Se puede llamar entonces levantamiento topográfico, al conjunto de operaciones ejecutadas sobre el terreno, con los instrumentos adecuados, el levantamiento topográfico necesita una serie de mediciones y triangulaciones, que luego nos permitirá la elaboración de un plano.

Este plano resulta esencial para situar correctamente cualquier obra que se desee llevar a cabo, así como para elaborar cualquier proyecto técnico. Si se desea conocer la posición de puntos en el área de interés, es necesario determinar su ubicación mediante tres coordenadas que son latitud, longitud y elevación o cota.

Para realizar levantamientos topográficos se necesitan varios instrumentos, aunque los principales son el nivel y la estación total.

El levantamiento topográfico es el punto de partida para poder realizar toda una serie de etapas básicas dentro de la identificación y señalamiento del terreno a edificar, como levantamiento de planos (planimétricos y altimétricos), replanteo de planos, y demás. Existen dos grandes modalidades:

- Levantamiento topográfico planimétrico: es el conjunto de operaciones necesarias para obtener los puntos y definir la proyección sobre el plano de comparación.
- Levantamiento topográfico altimétrico: es el conjunto de operaciones necesarias para obtener las alturas respecto al plano de comparación.

La realización de un levantamiento topográfico de cualquier parte de la superficie de la tierra, constituye una de las actividades principales de la labor cotidiana de los topógrafos. En todo trabajo han de utilizarse los métodos fundamentales de la topografía, la intersección, el itinerario y la radiación, aprendiendo a escalonarlos adecuadamente unos con otros y evitando la acumulación de errores.

Todo levantamiento topográfico tiene lugar sobre superficies planas, limitándose a pequeñas extensiones de terreno, utilizando la denominación de “geodesia” para áreas mayores. Sin embargo, debemos puntualizar que en la topografía clásica, para dar coordenadas a un punto, no se utiliza directamente un sistema cartesiano tridimensional, sino que se utiliza un sistema de coordenadas

esféricas que posteriormente nos permiten obtener las coordenadas cartesianas. La altimetría utiliza métodos y procedimientos que determinan la altura o cota de cada punto. Se realiza sobre un plano de referencia, sobre el nivel medio del mar en y sirve para la representación del relieve terrestre, es decir para el curvado de los planos.

Los mapas topográficos utilizan el sistema de representación de planos acotados, mostrando la elevación del terreno y utilizando líneas que conectan los puntos con la misma cota respecto de un plano de referencia, denominadas “curvas de nivel”. Dicho plano de referencia puede ser o no el nivel medio del mar, pero en caso de serlo se hablará más propiamente de altitudes en lugar de cotas.

Antes de concretar la delimitación de la zona donde vamos a realizar el levantamiento, o bien cuando éste sea muy extenso en superficie o en forma lineal, como se ha comentado, se debe situar dentro de un contexto general más amplio, para lo cual se debe proceder a situar nuestro levantamiento dentro del campo de la Geodesia.

La práctica de la Geodesia se basa en una serie de puntos denominados “vértices geodésicos”, que a su vez forman redes de triángulos. Estas redes se denominan de “triangulación” y por su importancia y tamaño son denominadas de primero, segundo y tercer orden. La de primer orden suele tener las distancias mayores; son los triángulos básicos, donde nos apoyamos con las posteriores de segundo y tercer orden. Esta red de tercer orden es la que sirve con mayor asiduidad, por lógica, de apoyo a la red topográfica, aunque podamos -para la

situación inicial- apoyarnos en cualquier vértice que tengamos dentro de la zona de influencia del trabajo.

Utilizando, pues, ésta o la que nos convenga, por medio de la técnica de varios itinerarios entre los diversos vértices, realizaremos lo que denominamos “poligonal o poligonación”. Esta poligonal, que calculamos y compensamos por los diferentes métodos existentes en topografía, nos permite obtener una red de puntos de apoyo o base de orden menor, desde la que pasamos a otra más densa denominada “de relleno”, desde donde, por medio de la radiación y del itinerario, tomaremos todos los detalles del terreno.

Propiamente para el diseño del pavimento flexible del camino viejo a Santa Rosa, se realizó un levantamiento topográfico en el cual se utilizó una estación total, la cual es un aparato electro-óptico utilizado en la topografía y cuyo objetivo es la de medir ángulos, distancias y niveles mediante puntos. Estos puntos fueron bajados desde la estación total al software AutoCAD y con ayuda del software CivilCAD se mostró con esto como se encuentra el camino viejo a Santa Rosa, mostrando el perfil del terreno con elevaciones a cada 40 m. Este levantamiento topográfico se muestra en los anexos.

## **5.2.- Aforo vehicular.**

Tomando en cuenta lo que menciona Crespo (2004), se entiende por volumen de tránsito a la cantidad de vehículos de motor que transiten por un camino en determinado tiempo y en el mismo sentido. Las unidades comúnmente usadas son:

vehículos por día o vehículos por hora. Es llamado tránsito promedio diario (T.P.D.) al promedio de los volúmenes de tránsito que circulan durante 24 horas en un determinado periodo, normalmente este periodo es el de un año, a no ser que se indique otra cosa.

El conocimiento del volumen y tipo de vehículos que circulan en alguna de las distintas carreteras, permite determinar el grado de ocupación y las condiciones en que opera cada segmento de dicha red; el análisis de su evolución es fundamental para definir las características de su crecimiento y para planear con oportunidad las acciones que se necesitan para evitar que deje de funcionar de acuerdo como fue diseñada; que deje de prestar el nivel de servicio que demanda el tránsito usuario.

La clase de vehículos que transitan o transitarán por un camino variará según el tipo de camino que se vaya a tratar. El ingeniero necesita saber cuál es la capacidad práctica de trabajo de un camino tanto para los nuevos que va a construir y en los cuales puede prever los volúmenes de tránsito que va a alojar, como para los caminos viejos los cuales pueden llegar a un punto de saturación.

En la siguiente tabla se puede apreciar de una manera más clara la clasificación de vehículos según lo que establece la SCT.

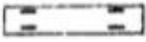
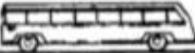
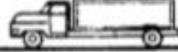
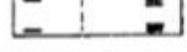
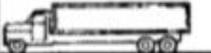
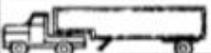
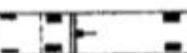
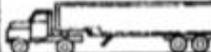
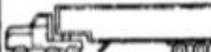
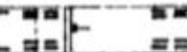
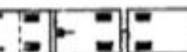
TIPO DE VEHICULO		NUM. DE EJES	ESQUEMAS		SIMBOLO	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE CAMIONES		PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL DE VEHICULOS		
			PERFIL	PLANTA						
VEHICULOS LIGEROS	AUTOMOVILES	2			Ap	—	46	58		
	CAMIONETAS				Ac					12
VEHICULOS PESADOS	AUTOBUSES	2			B	—	12	42		
	CAMIONES	2			C2	73	100			30
		3			C3	13				
					T2-S1					
		4			T2-S2	7				
		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 de los vehículos en México (SCT)

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

De una manera más resumida también se muestra otra tabla de esta misma clasificación.

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 los vehículos en México (SCT)

Fuente: Datos viales 2013, SCT; 2013.

Teniendo conocimiento de la clasificación de los vehículos en México se presenta a continuación el aforo vehicular obtenido por método manual, del predio camino viejo a Santa Rosa, en el cual se indica: el día, la hora, la cantidad y el tipo de vehículo que se registró.

DIAS	HORA	AUTOS	MOTOS	CAMIONETAS TIPO PICK UP	AUTOBUSES	CAMIONES	TRES O MÁS EJES	BICICLETAS	PEATONES
									
Jueves 26 de Septiembre	08:00 - 09:00	2	8	4	0	1	0	3	12
Sábado 28 de Septiembre	13:00 - 14:00	1	12	5	0	2	0	5	9
Domingo 29 de Septiembre	10:00 - 11:00	10	14	15	0	1	0	8	22
Miércoles 2 de Octubre	19:00 - 20:00	3	5	10	0	1	0	1	5
Viernes 4 de Octubre	14:00 - 15:00	5	9	8	0	2	0	4	6
<b>TOTAL:</b>		<b>21</b>	<b>48</b>	<b>42</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>21</b>	<b>54</b>

Tabla 5.3.- Aforo Vehicular

Fuente: Propia.

Previo a un análisis de la tabla anterior es necesario mencionar que la SCT no toma en cuenta las motos, bicicletas ni los peatones en sus clasificaciones. Teniendo conciencia de esto, se puede apreciar que el día con mayor concurrencia en el predio es el día domingo 29 de Septiembre, esto debido a que el tramo, camino viejo a Santa Rosa, es el acceso principal para los campos denominados “La magueyera”, y siendo el domingo un día que se torna “familiar”, la gente lo aprovecha para ir a realizar actividades deportivas a dicho campo. Cabe mencionar que este tramo no solo implica el acceso a este campo, si no también, como su nombre lo dice, anteriormente era la única opción para llegar a la colonia llamada Santa Rosa, pero debido al deterioro y al mal estado de este los habitantes de la colonia, ingresan a ella por otra avenida la cual si se encuentra pavimentada.

### **5.3.- Valor Relativo de Soporte (VRS).**

Apoyándose en lo mencionado por Rico y Del Castillo (2005), el valor relativo de soporte de un suelo se obtiene de una prueba de penetración en la que, un cilindro metálico de 19.35 cm<sup>2</sup> de área se hace penetrar en un molde con un suelo que es previamente compactado a 2,000 psi, la penetración de dicho vástago se realiza con una velocidad de 0.127 cm/min (0.05 plg/min), registrando la carga de penetración a cada 0.25 cm (0.1”).

El espécimen de suelo en el cual se realiza el ensaye, está confinado en un molde de acero de 15.2 cm (6”) de diámetro, y una altura de 20.30 cm (8”), el suelo se prepara cribando el material seco por la malla de 2.54 cm (1”), para después agregar el agua necesaria para con esto obtener la humedad óptima de compactación, pesando 4kg de material húmedo el cual se colocará en el molde distribuido en tres capas varillas, es decir poner 1 capa por vez y penetrando con una varilla por varias veces hasta completar las 3 capas, para posteriormente colocarlo en una prensa que le aplicará una carga de 140 kg/cm<sup>2</sup>, carga aplicada uniformemente en la superficie del suelo al interior del molde, este proceso se denominaba ensaye Porter, en la actualidad con la aplicación del ensaye AASHTO tanto Estándar como Modificado, se debe igualar las características de Masa Volumétrica Seco Máximo y Humedad óptima de compactación obtenidas en los ensayos previos, y posteriormente aplicar la penetración que determinará el VRS del material que se está estudiando.

El valor relativo de soporte o vrs que se obtuvo para este predio fue de 35%, que es un porcentaje bastante lo cual nos indica una subrasante de muy buena calidad, sin embargo, para efectos de diseño se calculó un segundo vrs, el cual es saturado y nos arroja un porcentaje de 12%, es entonces con este resultado con el que se diseñara el pavimento flexible.

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

Basándose en el manual para el diseño de pavimento flexible por el método de la UNAM y con ayuda del programa Excel se creó una hoja de cálculo para el diseño de pavimento flexible basándonos en dicho método.

Este método considera como datos de entrada básicos el tipo de carretera, el número de carriles, la vida de proyecto, el tránsito diario promedio anual (TDPA), tasa de crecimiento y variables adicionales sobre características del terreno y materiales, así como de climas, nivel freático y precipitación pluvial. Se recomienda la estimación de un Valor Relativo de Soporte Crítico.

Para obtener el TDPA se realiza un resumen de los vehículos registrados en el aforo, tomando en cuenta las consideraciones de SCT como se muestra en la tabla siguiente.

DIAS	HORA	Ap	Ac	C2-C3
				
Jueves 26 de Septiembre	08:00 - 09:00	2	4	1
Sábado 28 de Septiembre	13:00 - 14:00	1	5	2
Domingo 29 de Septiembre	10:00 - 11:00	10	15	1
Miércoles 2 de Octubre	19:00 - 20:00	3	10	1
Viernes 4 de Octubre	14:00 - 15:00	5	8	2
<b>TOTAL:</b>		<b>21</b>	<b>42</b>	<b>7</b>

Tabla 5.4.- Resumen de aforo.

Fuente: Propia

Los totales de los vehículos se dividen entre los días que se tomaron las lecturas de los aforos es decir entre 5, para crear un promedio semanal; una vez que se tiene este promedio se multiplica por un periodo de 12 horas las cuales son tomadas en cuenta debido a que las 12 horas restantes son de noche y el tránsito baja considerablemente. De esta manera obtenemos un TDPA de 120, como se puede apreciar a simple vista en la tabla 5.3 es muy poco el tránsito que circula por este camino, es por esto que el TDPA da muy poco, por lo tanto y para efectos de diseño se considera un TDPA de 350.

Datos del aforo:

Número de carriles:	2
Tránsito diario promedio anual (TDPA):	350 Carril de diseño

Distribución de porcentajes de vehículos:

Tipo	vehiculos	%
Ap	130	37.14
Ac	165	47.14
B	15	4.29
C2	20	5.71
C3	17	4.86
T2-S1	1	0.29
T2-S2	1	0.29
T3-S2	1	0.29
suma =	350	100.00

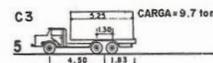
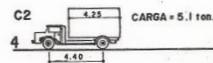
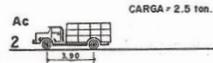
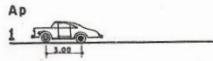
(considerando minima)  
(considerando minima)  
(considerando minima)

Tasa de crecimiento (%):	2.5
Vida útil de proyecto (años):	20
Nivel de confianza Qu:	0.8
Tipo de camino:	C

Determinación de los Coeficientes Combinados de Daño y ejes equivalentes actuales.									
Vehiculos tipo	Vehiculos en el carril de diseño	Coeficiente de daño vehiculos 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	130.00	0.005	0	0.000	0	0.5980	0.0000	0.0000	0.0000
Ac	165.00	0.034	0.042	0.011	0.01	5.6100	6.9300	1.8150	1.6500
B	15.00	2.000	1.15	1.100	1.1	30.0000	17.2500	16.5000	16.5000
C2	20.00	0.880	0.465	0.448	0.442	17.6000	9.3000	8.9600	8.8400
C3	17.00	0.880	0.675	0.658	0.653	14.9600	11.4750	11.1860	11.1010
T2-S1	1.00	3.000	1.74	1.715	1.707	3.0000	1.7400	1.7150	1.7070
T2-S2	1.00	4.000	1.57	1.480	1.48	4.0000	1.5700	1.4800	1.4800
T3-S2	1.00	5.000	1.3	1.050	1.025	5.0000	1.3000	1.0500	1.0250
	350.00					80.77	49.57	42.71	42.30

En el procedimiento del volumen de tránsito real mezclado (TDPA) se convierte a tránsito equivalente de ejes sencillos de 8.2 toneladas, mediante la aplicación adecuada de los coeficientes de daño por tránsito para vehículos típicos los cuales se muestran en la siguiente imagen.

NOTA  
 $K_v$ : Coeficiente de equivalencia para el vehículo vacío  
 $K_c$ : Coeficiente de equivalencia para el vehículo cargado



CARACTERISTICAS				COEFICIENTES DE DAÑO				COEFICIENTES DE DAÑO			
Eje	Peso, ton		P <sub>0</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	CARGADO, F				VACIO, F <sup>1</sup>			
	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
2	1.0	0.8	2.0	0.0023	0.000	0.000	0.000	0.0023	0.000	0.000	0.000
3											
Σ	2.0	1.6	-	0.0046	0.000	0.000	0.000	0.0046	0.000	0.000	0.000
1	1.6	1.2	4.2	0.17	0.002	0.001	0.000	0.17	0.001	0.000	0.000
2	3.3	1.2	4.2	0.17	0.040	0.010	0.010	0.17	0.000	0.000	0.000
3											
Σ	4.9	2.4	-	0.34	0.042	0.011	0.010	0.34	0.001	0.000	0.000
1	4.2	3.0	5.8	1.0	0.150	0.080	0.050	1.0	0.040	0.015	0.007
2	8.3	7.0	5.8	1.0	1.000	1.020	1.050	1.0	0.600	0.500	0.500
3											
Σ	12.5	10.0		2.0	1.150	1.100	1.100	2.0	0.640	0.515	0.507
1	2.5	1.5	5.0	0.44	0.025	0.008	0.002	0.44	0.002	0.000	0.000
2	6.8	2.7	5.0	0.44	0.440	0.440	0.440	0.44	0.025	0.008	0.003
3											
Σ	9.3	4.2	-	0.88	0.465	0.448	0.442	0.88	0.027	0.008	0.003
1	2.6	1.7	5.0	0.44	0.025	0.008	0.003	0.44	0.004	0.001	0.000
2	14.0	5.2	5.0	0.44	0.650	0.650	0.650	0.44	0.040	0.010	0.006
3											
Σ	16.6	6.9	-	0.88	0.675	0.658	0.653	0.88	0.044	0.011	0.006
1	3.0	2.5	5.8	1.0	0.040	0.015	0.007	1.0	0.020	0.006	0.002
2	8.0	3.6	5.8	1.0	0.900	0.900	0.900	1.0	0.080	0.030	0.020
3	7.8	3.0	5.8	1.0	0.800	0.800	0.800	1.0	0.040	0.015	0.007
Σ	18.8	9.1	-	3.0	1.740	1.715	1.707	3.0	0.140	0.051	0.029
1	4.0	3.5	5.8	1.0	0.120	0.060	0.030	1.0	0.080	0.030	0.020
2	8.5	4.0	5.8	1.0	1.000	1.020	1.050	1.0	0.120	0.060	0.030
3	12.1	3.8	5.8	2.0	0.450	0.400	0.400	2.0	0.010	0.002	0.001
Σ	24.6	11.3	-	4.0	1.570	1.480	1.480	4.0	0.210	0.092	0.051
1	3.9	3.5	5.8	1.0	0.000	0.050	0.025	1.0	0.080	0.030	0.020
2	13.0	5.4	5.8	2.0	0.600	0.500	0.500	2.0	0.040	0.015	0.007
3	13.0	5.0	5.8	2.0	0.600	0.500	0.500	2.0	0.030	0.010	0.005
Σ	29.9	13.9	-	5.0	1.300	1.050	1.025	5.0	0.150	0.055	0.032

Imagen 5.1.- Coeficiente de daño por tránsito para vehículos típicos.

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

utilizaremos :

$T_0 =$	80.77	Ejes equivalentes de 8.2 ton.
$T_{15} =$	49.57	Ejes equivalentes de 8.2 ton.

## Cálculo del tránsito equivalente acumulado

Donde:

$$L_n = C' \times T$$

$L_n$  : 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 diaria en actual.

por lo tanto:

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

$C' = 9324$

Verificando en grafica correspondiente:

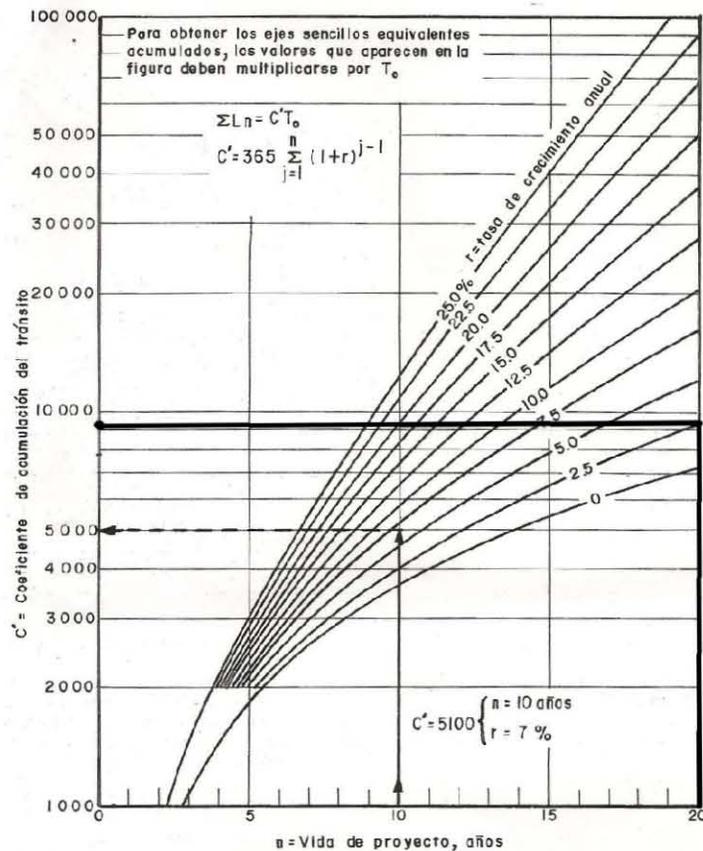


Tabla 5.5.- Gráfica para estimar el tránsito equivalente acumulado

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

C' gráfica = 9300 se utilizará C'

Por lo tanto el tránsito equivalente a "n" años de servicios es de:

L<sub>0</sub>= 753064.68 ejes equivalentes de 8.2 ton.  
 L<sub>15</sub>= 462134.15 ejes equivalentes de 8.2 ton.

**Determinación de espesores de diseño.**

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

Nivel de confianza: 0.8  
 Por lo tanto C : 0.842 Como se ve en la imagen  
 Variación de resultados de la prueba de VRS: 1

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						
ΣL	≤ 5 x 10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>		
2D <sub>1</sub>	I riego	10.0	17.5	25.0		
D <sub>2</sub>	15	12.5	12.5	12.5		

Imagen 5.2.- Gráfica de diseño estructural de carretera con pavimento flexible (Instituto de Ingeniería de la UNAM)

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

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

Capa	Vrs prom. en %		Vrsc proy. en %	Ejes equivalentes de proyecto	Espesores obtenidos de grafica	
Terreno Nat.	12		1.896	4.62E+05	81	Z5
Subrasante	20	min. norma	3.16	4.62E+05	63	Z4
Subbase	50	min. norma	7.9	4.62E+05	38	Z3
Base Hidraulica	80	min. norma	12.64	4.62E+05	30	Z2

Para efectos de diseño se toma en cuenta en vrs saturado para terreno natural, es decir, se toma en cuenta el 12% y tomando en cuenta el vrs crítico y los ejes equivalentes de proyecto, se analiza la siguiente gráfica y se obtienen los espesores tentativos para el diseño de del pavimento para después sacar los espesores reales como se muestra a continuación.

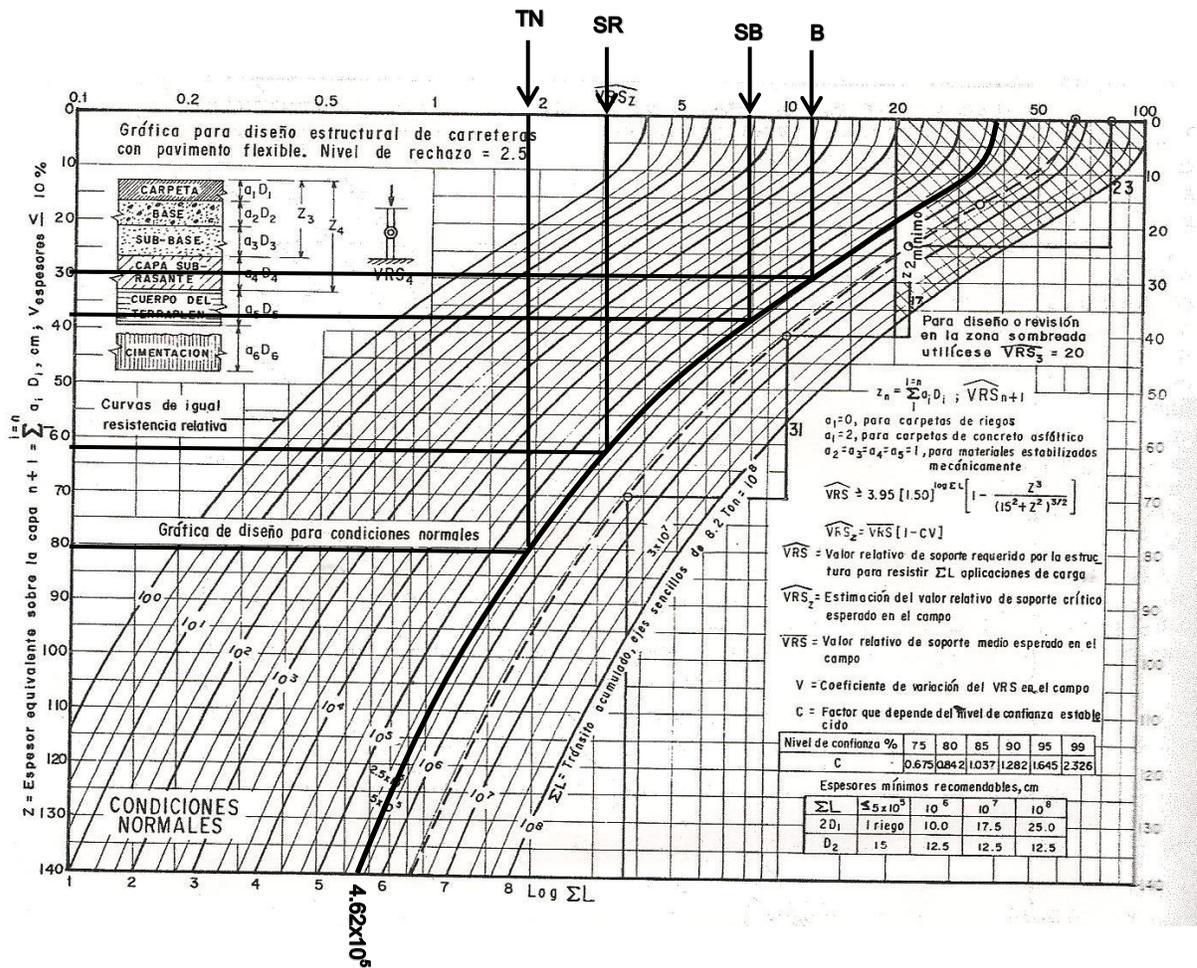


Imagen 5.2.- Gráfica de diseño estructural de carretera con pavimento flexible (Instituto de Ingeniería de la UNAM)

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

Una vez que se tienen los espesores tentativos se prosigue a obtener los espesores reales.

Para determinar el espesor real de las capas  $D_i$  se utiliza la ecuación:

$$Z_i = \sum a_i * D_i$$

Donde:

$Z_i$  = Espesor equivalente.

$a_i$  = Coeficiente de equivalencia estructural.

$D_i$  = Espesor real.

Donde aplicaremos 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

Comenzando con el diseño tenemos que:

Para carpetas asfálticas  $a_1 = 2$  y  $a_2 = a_3 = a_4 = 1$

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

$$D_{sr} = (Z_5 - Z_4)/a_4 = 18 \text{ en cm.}$$

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

$$D_{sb} = (Z_4 - Z_3)/a_3 = 25 \text{ en cm.}$$

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

$$D_{\text{carp}} + D_{\text{bh}} = Z_5 - D_{\text{sb}} - D_{\text{sr}} = 38 \text{ en cm.}$$

$$38 = (a_1)D_{\text{carp}} + (a_2)D_{\text{bh}}$$

dónde:

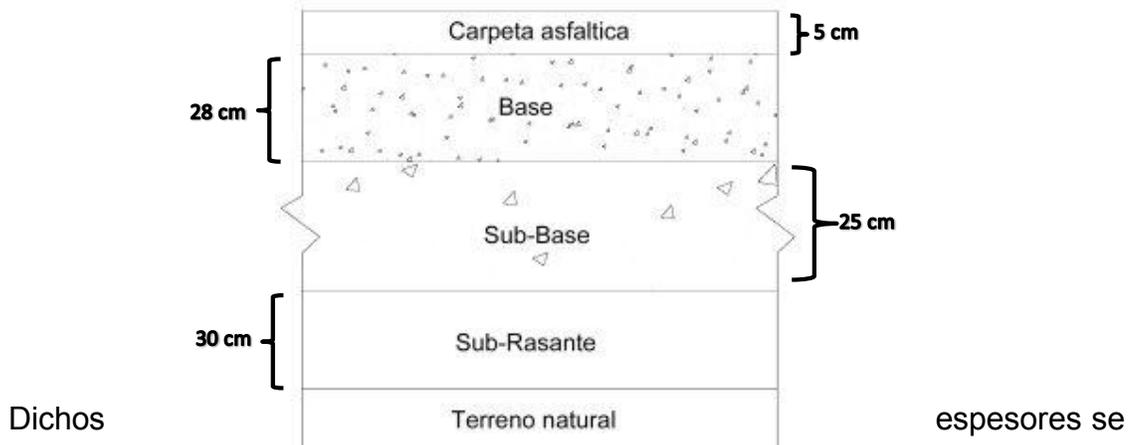
$$D_{\text{carp}} = 5 \text{ en cm para menos de } 5 \times 10^5 \text{ ejes equivalentes}$$

$$D_{\text{bh}} = 28 \text{ en cm.}$$

por lo que, la estructura de pavimento es de:

capa:	Esp. calc.	Esp. minimo.	Esp. prop.
carpeta asf.	5	5	5
base hidraulica	28	15	28
subbase	25	15	25
subrasante	18	30	30
terreno natural	-	-	-

Tomando en cuenta los resultados del diseño de pavimento flexible por el método de la UNAM, se puede observar que de esta manera es como queda conformado el diseño del pavimento flexible del camino viejo a Santa Rosa, con una subrasante de 30cm, una sub-base de 25cm, una base de 28cm y una carpeta asfáltica de 5cm.



establecen principalmente en relación al aforo vehicular que presenta el tramo en estudio, que fue siguiente:

DIAS	HORA	AUTOS	MOTOS	CAMIONETAS TIPO PICK UP	AUTOBUSES	CAMIONES	TRES O MÁS EJES	BICICLETAS	PEATONES
									
Jueves 26 de Septiembre	08:00 - 09:00	2	8	4	0	1	0	3	12
Sábado 28 de Septiembre	13:00 - 14:00	1	12	5	0	2	0	5	9
Domingo 29 de Septiembre	10:00 - 11:00	10	14	15	0	1	0	8	22
Miércoles 2 de Octubre	19:00 - 20:00	3	5	10	0	1	0	1	5
Viernes 4 de Octubre	14:00 - 15:00	5	9	8	0	2	0	4	6
TOTAL:		21	48	42	0	7	0	21	54

En relación a estos resultados y conforme a las especificaciones que presenta el método de la UNAM para pavimentos flexibles es como obtiene el diseño idóneo para el correcto funcionamiento del pavimento flexible en el tramo en estudio.

## CONCLUSIONES

La finalidad de un diseño de pavimento, ya sea flexible o rígido, es la de obtener los espesores de las capas de la estructura que los conforman, siendo estos espesores los ideales para el correcto funcionamiento del pavimento, el cual, es diseñado para recibir las cargas del tránsito, tomando en cuenta que las características de los materiales a emplear sean las adecuadas.

Dentro de la presente tesis, se planteó una pregunta de investigación la cual era: ¿Cuál es el diseño ideal para el proyecto de pavimento flexible del tramo “Camino Viejo a Santa Rosa” en el municipio de Uruapan, Michoacán? La cual se pudo resolver de manera adecuada siguiendo el método de la UNAM para pavimentos flexibles, el cual es uno de los más utilizados dentro del país. Gracias a este método se pudo tener el diseño adecuado para el buen desempeño del tramo antes mencionado. Las dimensiones fueron las siguientes:

- Carpeta asfáltica: 5 cm.
- Base hidráulica: 28 cm.
- Sub-base: 25 cm.
- Subrasante: 30 cm.

Siguiendo con uno de los objetivos planteados el cual era conocer la definición de vías terrestres, se encontró que 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.

Otro de los objetivos cumplidos dentro de la tesis es el de: indicar los tipos de camino que existen. Se encontró que en la práctica vial mexicana se pueden distinguir varias clasificaciones entre las que se encuentran: clasificación por aspecto administrativo, clasificación por transitabilidad y clasificación técnica oficial. Dentro de los administrativos están los federales, estatales, vecinales o rurales, de cuota y los concesionales. Por otro lado dentro de la clasificación por transitabilidad están los caminos conocidos como: terracerías, revestidos y pavimentados. Por último se tiene la clasificación técnica oficial que es la utilizada por la SCT en la que se pueden encontrar los caminos tipo especial, tipo A, tipo B, y tipo C; siendo este último donde entra el camino estudiado de esta tesis.

Se cumplió también con el objetivo de conocer el aforo vehicular del tramo camino viejo a Santa Rosa del Km 0+000 al km 0+959, el cual se realizó mediante un sondeo de una hora durante 5 días. Las cantidades totales y los vehículos que fueron tomados en cuenta para este sondeo son las siguientes:

- 21 automóviles.
- 48 motocicletas.
- 42 camionetas tipo pick-up.
- 0 autobuses.
- 7 camiones.
- 0 camiones de tres o más ejes.
- 21 bicicletas.
- 54 peatones.

A pesar que se puede apreciar que la calle no es muy transitada se espera que su transitabilidad crezca considerablemente, cuando ya se encuentre pavimentada, debido a que, como ya se mencionó anteriormente, este camino es un acceso más para la colonia llamada Santa Rosa y otras colonias aledañas.

Es necesario mencionar que se considera un impacto social bueno como resultante de este proyecto, ya que se beneficiara, tanto a los habitantes del fraccionamiento “los fresnos”, como a los usuarios del deportivo “la magueyera” y principalmente a los habitantes de la colonia Santa Rosa así como a sus colonias circunvecinas.

Por último, como conclusión final, se puede decir que los proyectos de pavimentación en calles y carreteras son indispensables para los seres humanos, ya que gracias a estos es posible llegar a lugares y/o destinos de una forma más segura y rápida; sin importar que un pavimento sea flexible o rígido, se debe de cuidar que el proceso de construcción y los materiales que se usan en dicho proyecto sean los señalados por las normas de construcción, ya que, en la mayoría de los casos donde se presenta una falla del pavimento, es por algún error en el proceso de construcción, o, el uso inadecuado de los materiales.

## BIBLIOGRAFÍA

Bannister, A., Raymond. S. y Baker R. (2002)

Técnicas Modernas en Topografía.

Ed. Alfaomega, México.

Crespo Villalaz, Carlos (2005).

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

Ed. Limusa, México.

Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso (2004)

Mecánica de Suelos.

Ed. Limusa, México.

Mendieta Alatorre, Ángeles (2005)

Métodos de Investigación y Manual Académico

Ed. Porrúa, México.

Olivera Bustamante, Fernando (2006).

Estructuración de Vías Terrestres.

Ed. CECSA, México.

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

[www.google.com](http://www.google.com)

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

[www.inegi.com](http://www.inegi.com)

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

[www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

# **ANEXOS**

