



UNIVERSIDAD  
DON VASCO, A.C.

# UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México

## Escuela de Ingeniería Civil

### REVISIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO CARRETERO PARANGARICUTIRO- ANTIGUO PUEBLO DE SAN JUAN NUEVO DEL KM 5+000 AL 8+000 EN LA LOCALIDAD DE SAN JUAN NUEVO

Tesis

Que para obtener el título de

Ingeniero civil

Presenta:

**Ramón Eduardo Morales Guillén**

Asesor:

**Ing. Guillermo Navarrete Calderón**

Uruapan, Michoacán, a 25 de Noviembre del 2016.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A mis padres:**

Ramón Morales Pérez y Silvia Elena Guillén Blanco por apoyarme en distintas formas, durante toda mi formación cultural, enseñándome y recordándome siempre los valores y el respeto que se tiene que lograr en la vida.

### **A mis hermanos:**

Que siempre estuvieron de acuerdo en mi decisión y me apoyaron y motivaron para estar estudiando y no rendirme, mostrándome los beneficios de mi carrera y en mi vida como persona.

### **A mis abuelos y familia:**

Fernando Franco y Graciela Blanco que se mostraron comprensivos en los momentos que no nos pude ver por el hecho que estudie fuera de mi hogar, pero siempre me apoyaron, así como Ma. de Jesús Pérez y Jesús Morales los cuales siempre me impulsaron para seguir adelante.

### **A dios:**

Por protegerme siempre, darme mis cualidades y medios para guiarme por el camino recto.

### **A mi director, Ing. Anastasio Blanco Simiano:**

Por brindarme su amistad y apoyarme en el transcurso de mi carrera, con todos sus conocimientos y experiencias aportados en la ingeniería Civil.

**A mi asesor el Ing. Guillermo Navarrete y profesores:**

Por brindarme la información y asesoría adecuada para lograr mi investigación, así como los conocimientos proporcionados.

**Al Ing. Esteban Brito y el Ing. Joaquín:**

Por prestarme su laboratorio de Mecánica de Suelos para realizar las pruebas, su tiempo para asesorarme y ayudarme en las practicas.

**Al Lic. Juan Luis Moreno:**

Por guiarme en buen tiempo con mis investigaciones, ayudándome a las correcciones, así como su amistad.

**A la Lic. Graciela:**

Por motivarnos siempre a todo el grupo y su atención personal, con el objetivo de seguir adelante en toda la carrera.

# ÍNDICE

## **Introducción**

Antecedentes. . . . .	1
Planteamiento del problema. . . . .	4
Objetivo. . . . .	5
Pregunta de investigación.. . . .	5
Justificación. . . . .	6
Marco de referencia. . . . .	6

## **Capítulo 1.- Estructuras del pavimento**

1.1.- Definición de Pavimento. . . . .	8
1.2.- Tipos de pavimentos.. . . .	10
1.3.- Pavimentos flexibles.. . . .	11
1.3.1.- Materiales pétreos. . . . .	17
1.3.2.- Emulsiones asfálticas. . . . .	23
1.3.3.- Rebajos asfálticos. . . . .	24
1.3.4.- Aditivos. . . . .	24
1.3.5.- Sistemas por riegos. . . . .	25
1.4.- Conservación y evaluación de las carreteras. . . . .	26
1.5.- Clasificación de las carreteras. . . . .	28

## **Capítulo 2.- Mecánica de suelos**

2.1.- Suelo. . . . .	34
2.2.- Fases del suelo. . . . .	39
2.3.- Clasificación de los suelos. . . . .	46
2.4.-Prueba de Valor Relativo de Soporte (VRS). . . . .	54

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

3.1.- Generalidades. . . . .	60
3.2.- Objetivo. . . . .	61
3.3.- Resumen ejecutivo. . . . .	62
3.4.- Entorno geográfico. . . . .	62
3.5.- Macro y micro localización. . . . .	65
3.6.- Hidrografía. . . . .	66
3.7.- Actividades de la región. . . . .	67
3.8.- Informe fotográfico. . . . .	67

## **Capítulo 4.- Metodología, Análisis e interpretación de resultados.**

4.1.- Método empleado. . . . .	71
4.1.1.- Método matemático. . . . .	71
4.2.- Enfoque de la investigación. . . . .	71

4.2.1.- Alcance de la investigación. . . . .	73
4.3.- Diseño de investigación. . . . .	74
4.4.- Instrumentos de recopilación de datos. . . . .	77
4.5.- Descripción del proceso de investigación. . . . .	78
4.6.- Análisis del tránsito acumulado para ejes sencillos de 8.2 ton.	80
4.7.- Determinación de los espesores del pavimento flexible. . . . .	89
4.8.- Estructuras de pavimento. . . . .	94
Conclusión. . . . .	98
Bibliografía. . . . .	101

Anexos

## INTRODUCCIÓN

### **Antecedentes.**

Los primeros caminos o veredas que existieron fueron de uso peatonal, ya que en aquellos tiempos no existían los vehículos, se cree que estos caminos fueron creados por el constante paso de los animales, pero está en duda ya que el hombre no siempre seguían la misma ruta que los animales para ir de un lugar a otro en busca de alimentos.

Después el hombre se volvió sedentario y tiempo después se creó la rueda, la cual cabe mencionar es un gran avance para la civilización ya que dio origen a los vehículos primeramente impulsados por personas o bestias como los caballos y después vehículos autosuficientes; por ende de aquí surgió el comercio el cual llevó a que se modificaran los caminos mejor conocidos en la actualidad como carreteras. Así como dichos camiones fueron utilizados para el comercio, brindar servicios, también para distintas cosas como el transporte de los religiosos y la conquista. Esto conllevó a que fueran creando caminos de mayor calidad con el fin de obtener más confort cada día así como aumentar la velocidad de transporte de los vehículos y reducir el tiempo de traslado de un punto a otro.

Así que comenzaron a ver que era necesario cambiar el tipo de suelo por otro de más calidad, ya que cuando se saturaba de agua se volvía muy barroso y fácilmente se atascaban los vehículos, por ejemplo en las arcillas; incluso con suelo seco se levantaba mucho polvo.



Las carreteras son la adaptación de capas de distintos materiales, sobre la superficie terrestre que debe de cumplir ciertas condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos y buena eficiencia y durabilidad.

Las vías terrestres son la infraestructura primordial y necesaria para el desarrollo del país, como por ejemplo: caminos, carreteras, autopistas, o autovías, puentes, túneles y vías férreas, y sus obras de cruce y empalmes, por lo tanto todos estos conflictos anteriores dan origen a que cada día se realicen caminos de mayor calidad, esto dependiendo de las necesidades de cada lugar y si es rentable hacer la inversión, conociendo previamente cuantas personas se verán económicamente beneficiadas.

Para realizar estas carreteras debemos colocar el pavimento o conector de vías de comunicación el cual es un conjunto de capas que se colocan sobre el terreno natural nivelado y está constituido por sub rasante, sub-base, base y capa de rodadura.

Se debe de tomar en cuenta que hay de dos tipos de pavimentos; los rígidos y los flexibles, de diferencia uno de otro porque el proceso constructivo es diferente y algunos materiales empleados, otra manera de acertar que tipo de pavimento es sabiendo cuáles son sus deformaciones y transmisiones de esfuerzos hacia las capas inferiores, esto cuando están transitando los vehículos sobre la capa de rodadura o superficial.

Sin embargo en algunas carreteras cada día más alto el tránsito vehicular, algunos muy pesados y otros muy rápidos los cuales provocan un deterioro considerable a la carpeta, esto obliga a realizar caminos de alto rendimiento, para esto existen diferentes clasificaciones de las carreteras y así poder seleccionar la correcta para diseñar futuras vías:

Una de las tres es la clasificación técnica oficial, esta toma en cuenta los volúmenes de vehículos sobre la carretera en un periodo de 20 años y las especificaciones geométricas que se tuvieron, después la SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes) clasifica las carreteras en; tipo especial, tipo A, Tipo B y Tipo C.

Por otro lado, se sabe que para realizar un pavimento, se tiene que diseñar utilizando pruebas como lo es la del VRS (valor relativo de soporte) que según la conclusiones de algunas tesis es una de las pruebas más económicas y la mejor opción para el diseño de pavimentos en México, comprobándolo con la conclusión de la tesis de Diseño de Pavimento Flexible del Camino Libramiento Oriente a la Colonia Manuel Pérez Coronado en Uruapan, Mich. Del autor Octavio Martínez Chávez, 2001.

Existen diferentes tipos de pavimentación, con los cuales se ha intentado hacer pruebas para ver cual tiene más vida útil y su costo de mantenimiento sea más bajo, de los cuales los más usuales son de concreto y el de asfalto; se encontraron la siguiente información de la tesis titulada Comparativa entre el Diseño del Pavimento Asfáltico e Hidráulico para el Proyecto Boulevard del Paseo de la Revolución en Uruapan, Mich. De los autores Cesar Ignacio Madrigal Alarcón y José Antonio Paz

Dávalos, 2003, del cual su objetivo fue el mencionado en el tema, y sus conclusiones fueron que pavimento rígido brinda mejor servicio, es más económico que el de asfalto, poco mantenimiento y no muy costoso, tiene mayor seguridad y una construcción más fácil. Dicha conclusión considerando que ellos se basaron en este tramo de Uruapan, sin embargo no quiere decir que en todos lados sea la mejor opción un concreto rígido, esto varía dependiendo la zona y por ende el tipo de suelo; por consecuente cambian las condiciones del terreno o incluso las necesidades vehiculares de este camino, etc.

### **Planteamiento del problema.**

Una carretera en malas condiciones, afecta demasiado a los habitantes de un lugar, por el transporte insuficiente y esto con lleva a malos servicios sociales, comunicación, comercio, el peligro del usuario, turismo, no hay confort, elevación de costos por transporte así como de fletes, desgaste desmedido de los vehículos, entre otros.

Por lo tanto no es el único problema la falta de redes carreteras o malas condiciones para el crecimiento económico de México, pero sí uno de los de mayor importancia.

Por esto se realizará una revisión del tramo carretero, para localizar donde está el problema y si no cuenta con la estructura adecuada para el tipo de suelo o el tránsito vehicular, agilizando el tráfico y generando un confort para el usuario también con el fin de evitar estos daños en la economía de un lugar o del país se deben prevenir, a futuros mediante la revisión de tramos carreteros y otros estudios, así

como tener estrategias administrativas para poder apoyar en los sectores principales y mejorar o extender las redes carreteras, y tener un buen y controlado mantenimiento de estas.

Con toda esta investigación deberá responderse la siguiente pregunta de la cual partirá todo el estudio:

¿Es el pavimento flexible existente es el adecuado para tramo carretero Parangaricutiro-Antiguo Pueblo de San Juan Nuevo en el km 5+000 al 8+000?

**Objetivo general:**

Revisar la estructura de pavimento flexible en el tramo carretero Parangaricutiro-Antiguo Pueblo de San Juan Nuevo para verificar si cumple con las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Objetivos específicos:

- Establecer el concepto de pavimento.
- Señalar los tipos de pavimento que existen.
- Definir el proceso constructivo.
- Señalar las ventajas y desventajas de cada pavimento.

**Pregunta de investigación.**

¿Es el pavimento flexible existente el adecuado para el tramo carretero Parangaricutiro-Antiguo Pueblo de San Juan del km 5+000 al 8+000 en la localidad de San Juan?

## **Justificación.**

Gracias a esta investigación se podrá deducir o diseñar cual será la estructura de pavimento más conveniente para este tramo carretero de Parangaricutiro-Antiguo Pueblo de San Juan Nuevo en el km 5+000 AL 8+000, y gracias a esto serán beneficiados los habitantes donde ase este tramo carretero así como algunos otros colindantes al camino tanto social como económicamente.

Dentro de los beneficios que existen para la sociedad con respecto a las vías terrestres se encuentran, reducción del costo de transporte, el mayor acceso a los mercados para los cultivos y productos locales, el acceso a nuevos centros de empleo, confiabilidad bajo diferentes condiciones climatológicas, mucho empleo para la realización de dichas carreteras, rápido acceso a la atención médica y otros servicios, así como el aumento de las economías locales. Por lo tanto el desarrollo de una región es tan grande como su sistema de comunicación se lo permite.

## **Marco de referencia.**

La localidad más cerca al tramo carretero Parangaricutiro-Antiguo Pueblo de San Juan Nuevo en el km 5+000 AL 8+000 es San Juan Nuevo un pueblo de origen Purépecha, formada por la mayoría de agricultores que trabajan el cultivo del aguacate o la tala de pinos y encinos que da lugar a los artesanos que realizan principalmente artículos y/o juguetes de madera como baleros, tablitas mágicas, carritos entre otros también se acostumbra la venta de rebozos, así como de batas hechas con tela grabada de cuadros, prendas muy tradicionales de la

región usadas por las mujeres de esta población, entre otros atuendos originarios de la región.

La comunidad de San Juan Nuevo se encuentra localizada en las coordenadas 19°24'00"N de la latitud norte y en 102°08'00" en la longitud oeste a una altitud de 1880 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

Este pueblo ubicado en el Estado de Michoacán México en la Meseta Purépecha muy cerca del Volcán Parícutín, fue reconstruido después de la destrucción que causó el volcán del Parícutín en 1943, por lo que el nombre oficial es Nuevo San Juan Parangaricutiro. En 1988 recibió la Concesión de Servicios Técnicos y Forestales y se afinó como una de las empresas sociales técnicamente más desarrolladas del país. Por lo cual se observa que esta localidad se solventa con estos recursos de la madera, con empresas generadoras de: as-tilla para la fabricación de celulosa, fábricas de muebles y molduras, destiladoras de resina, viveros forestales, programas agropecuarios-agrícolas, pecuario y frutícola. Todo esto dio origen al nuevo y rápido crecimiento del pueblo tras su caída por los daños del volcán.

La mayoría de sus calles están pavimentadas incluso algunas están muy bien trazadas con trazos rectos y modernos debido a que después de su resurgimiento es un pueblo no muy viejo, cuenta con muchas de las instalaciones y servicios urbanos indispensables así como el dinamismo de su economía, respecto con la carretera antes de llegar a esta localidad está conformada por pavimento flexible con muchas curvas. Cuenta con suministro de agua potable suficientes para abastecer el pueblo y drenajes adecuados en su mayoría.

# CAPÍTULO 1

## ESTRUCTURAS DEL PAVIMENTO

Para poder entender de qué están conformadas las vías terrestres, se debe conocer primero los materiales que la conforman es por esto que en este capítulo se hablará principalmente del pavimento, sus características, los tipos de pavimentos así como su comportamiento en diferentes situaciones y su composición. Para poder interpretar qué tipo de pavimento es conveniente en cada caso, ya sea el rígido o el flexible. También se analizarán y explicarán los factores que afectan en su vida útil y medidas para el mantenimiento del mismo. Cabe mencionar que se hablará primordialmente sobre un pavimento flexible debido que dicha investigación se realizará para este tipo de pavimento.

### **1.1.- Definición de pavimento.**

Se sabe que un pavimento es una estructura formada por varias capas de distintos materiales, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, el cual recibe cargas generadas por el tránsito en cada una de las capas, las cuales ayudan a disipar esta fuerzas y evitar que se presenten fallas o agrietamientos.

El propósito del pavimento es brindar una superficie de rodamiento uniforme, con textura o superficie de rodamiento apropiada resistente a las fuerzas ejercidas por el tránsito, el clima como lo es cuando existe presencia de humedad debe de haber buena adherencia de las llantas de los vehículos sobre esta superficie.

También se puede decir que el pavimento es una superestructura de obra vial que hace posible la llegada de un punto a otro de una manera más cómoda, segura, rápida y económica si se transportaran los vehículos por ejemplo para el comercio en una terracería.

Los elementos que componen esta pavimentación ofrecen una gran variedad de posibilidades o formas de hacerlo, así como seguridad tal cual que puede estar formada por una sola capa; esto con diferentes fines, alguno de ellos es brindar esta seguridad de forma que en algún accidente vial soporte estos esfuerzos destructivos del tránsito, así como los fenómenos naturales causantes del deterioro del pavimento el cual está sometido a grandes cambios de temperatura y como el desgaste y/o encharcamiento que puede producir la lluvia entre otros factores por el hecho de encontrarse al intemperie.

Para evitar estos daños al pavimento, es necesario realizar los correctos mantenimientos, y de la misma forma prolongar su vida útil, cubriendo a la vez la comodidad y seguridad del usuario, lo cual conlleva a mantener estable la economía de las zonas que ocupan el acceso de estas obras, incluso del mismo país.

Por otro lado, se debe de realizar la obra de tal forma que tenga un buen trazo geométrico, para garantizar que tenga buena visibilidad para el usuario al momento de transitarla, tanto en tramos rectos que cuente con una superficie de rodamiento uniforme, con cambios de pendiente adecuados, así como en las los cambios de dirección un buen radio de curvatura correcto, dependiendo el uso y tipo de carretera que se vaya a realizar.



Otro factor que influye para poder realizar un buen diseño y construcción de la carretera, es el tipo de terreno o suelo que se nos presente, lo cual varían los niveles de complejidad, y costo de construcción. Para esto ya es necesario realizar algún análisis y observar la relación entre costo-beneficio.

## **1.2.- Tipos de pavimentos**

Ya se ha mencionado que se deben emplear diferentes tipos de pavimentos dependiendo las necesidades de la obra, las condiciones del terreno, el presupuesto con el que se cuenta, la cantidad de vehículos que usarán dicha vía, entre otros aspectos.

Para esto se tienen dos opciones de pavimento, el rígido y el flexible, sin embargo no existe ningún límite preciso que determine si un pavimento flexible o rígido; pero son conocidos por rígidos al pavimento de concreto hidráulico, normalmente el más usado en las calles dentro de poblaciones, y los pavimentos flexibles los elaborados con carpetas asfálticas usadas en México regularmente en vías muy transitadas o con vehículos más pesados como en carreteras u autopistas. También existen pavimentos llamados semi-rígidos o semi-flexibles, pero los más empleados son los dos primeros ya mencionados.

Una forma importante para diferenciarlos tipos de pavimentos es por los materiales que están constituidos o su porcentaje de materiales pétreos, su elaboración, por la forma en que se distribuyen los esfuerzos y las deformaciones producidas por los vehículos a las capas inferiores como la base. En esta

investigación no se mencionará a fondo el pavimento rígido debido a que se hará énfasis al pavimento flexible.

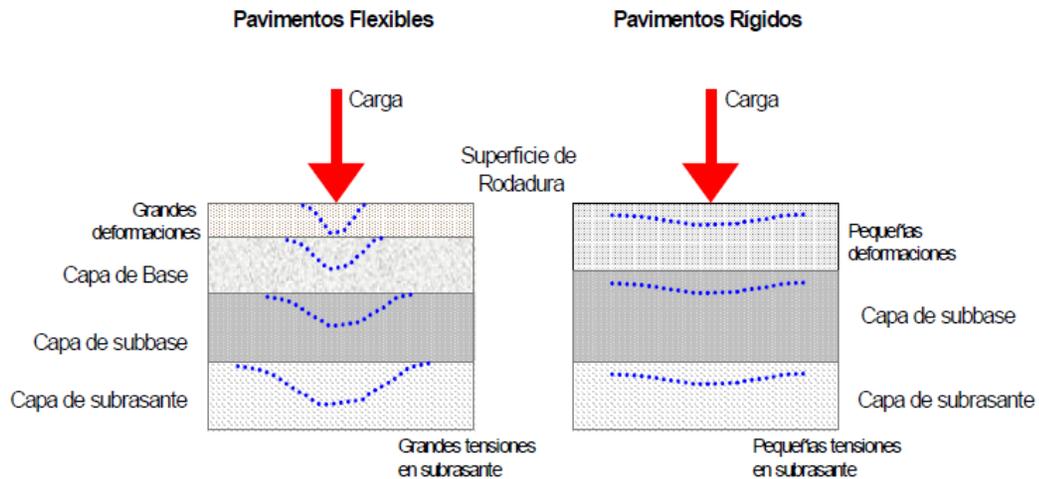


Imagen 1.1.- Comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos

Fuente: Jorge Coronado, 2002; 93.

### 1.3.- Pavimento flexible.

Se denomina pavimento flexible al conjunto de capas formadas por materiales pétreos apropiados, que van desde la sub-base, base y carpeta asfáltica con el fin de que se distribuyan las fuerzas aplicadas por los vehículos sobre dichas capas, dar una textura apropiada para lograr buena adherencia de las llantas sobre la superficie de rodamiento, así como el color y una superficie uniforme para mayor confort del usuario también capaces de soportar fuerzas por accidentes viales, fenómenos climatológicos como la lluvia o encharcamientos por la misma, cambios excesivos de temperatura; para brindar un alto nivel de durabilidad y seguridad a las personas.

El asfalto es extraído por medio de la destilación del petróleo, eliminando sus solventes volátiles y algunos aceites que los contienen.

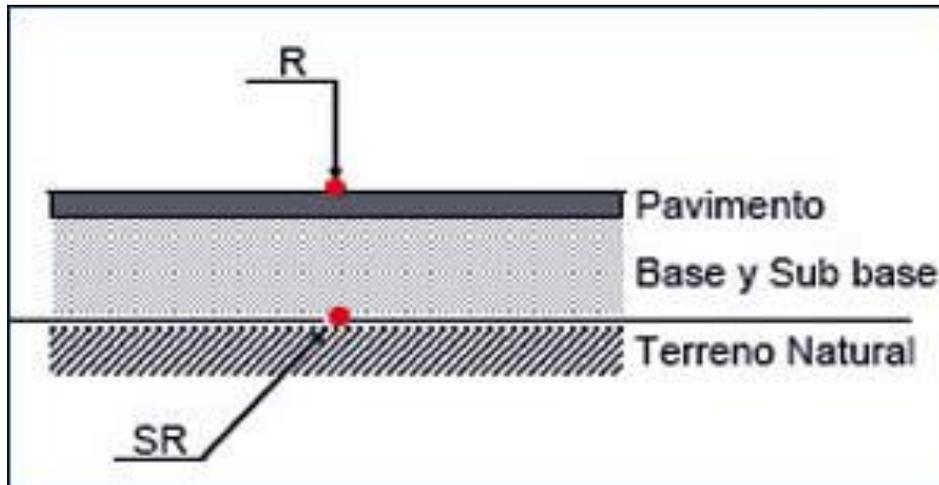


Imagen 1.2.- Pavimento flexible

Fuente: [www7.uc.cl/sw\\_educ](http://www7.uc.cl/sw_educ); 2015.

Para la realización de estos pavimentos flexibles se deben tomar en cuenta varios factores importantes como comparar los costos con la vida útil (esta depende del mantenimiento que se le dé), o visto de otra forma el costo-beneficio, dentro de estos costos se deben tomar en cuenta desde las condiciones climatológicas que se pueden presentar o se presentan normalmente en la zona, el mantenimiento de la carretera así como señalamiento, en fin condiciones que se requiera la reconstrucción en algunos tramos, el terreno con el que contamos como la dificultades que se presentaran al transcurso de la obra, por ejemplo grandes cortes de tierras, obras subterráneas, bancos para la obtención de materiales pétreos aprovechamiento de los cortes para terraplenar,etc. Todos estos factores se deben tomar en cuenta para hacer los trazos geométricos y así reducir el costo de la obra.

A continuación se mencionan los requisitos con los que debe cumplir el pavimento:

- Tener resistencia estructural.
- Ser deformable.
- Ser durable.
- Ser estable ante los agentes del intemperismo.
- Ser resistente a las fuerzas generadas por los vehículos.
- Contar con condiciones adecuadas de permeabilidad.
- Tener color y textura adecuada.
- Requisitos para la conservación.
- Cómodo y seguro.
- Ser económico.

Para lograr los requisitos anteriores se debe cumplir con una capa de material granular o materiales pétreos de muy buena calidad, y más que nada porque se pueden presentar no favorables para lograr los requisitos anteriores, esto genera colocar capas de mayores espesores y, por lo tanto, eleva significativamente costo de producción.

Los problemas que se tiene acerca del pavimento se deben a que no se puede hacer un diseño preciso de este, ya que existen varios factores que no se conocen o se pueden calcular, por lo tanto, no existe una solución teórica. Uno de estos factores es que no se puede calcular la distribución de esfuerzos y reducir las deformaciones en un sistema de muchas capas que se encuentra sujeto a cargas dinámicas.

Otro factor sería que los procedimientos constructivos no garanticen el refinamiento que ofrecen algunas de las teorías; así como no se puede ver con certeza las temperaturas a las cuales va estar expuesto el pavimento, la cantidad de tránsito en número de vehículos como en intensidad, peso y calidad. Entonces no se puede tener por regla la medida de un espesor de la carpeta, así como los materiales.

A continuación se describen los requisitos con los que debe contar el pavimento previamente mencionados:

#### Resistencia estructural.

Según menciona Guerrero (1976). Este es uno de los propósitos generales del pavimento resistir las cargas sometidas por el tránsito vehicular, generando esfuerzos normales y cortantes en toda la estructura. Además estos varían dependiendo la aceleración o el frenado, que a la vez al flexionar la estructura se presentan como cargas verticales, siendo afectados cualquier capa o componente de dicho pavimento, dependiendo los componentes del material o su correcta colocación, variando también por el clima que puede variar el contenido de agua en estas capas.

#### Deformabilidad.

Las deformaciones muy grandes pueden presentar fallas, por lo tanto el pavimento ya no cumplirá sus funciones adecuadas generándose por consiguiente inseguridad e incomodidad. Las deformaciones pueden ser de dos tipos: la primera en la cual la recuperación es rápida o instantánea la elástica, y la segunda en la cual

la deformación permanece inclusive cuando ya no existe presencia de carga y se conoce como plástica.

Para tener un control o un límite permisible existen criterios: El de AASHTO analiza cuando el pavimento ya no presta el servicio para el que fue diseñado, y el segundo el criterio británico, identifica cuando las deformaciones son grandes, teniendo que hacer una reconstrucción del pavimento observando previamente desde el punto de vista económico.

Durabilidad.

De este factor depende con qué frecuencia hay o no pérdidas generadas cuando se requiera interrumpir el paso vehicular por cierto tramo, para la reconstrucción del mismo. Estas pérdidas influyen en un gran número de sectores como lo son sector industrial, de transporte, comunicación, turístico, etc.

Económico.

Se debió analizar distintos factores para llegar a una decisión, en este caso se tiene la opción de realizar un pavimento flexible o un rígido. No es correcto dejarse llevar con la idea de que con el pavimento rígido lleva costos bajos en su conservación debido a que su deterioro es mínimo comparado con el flexible ya que en México puede ser dos veces más barato un pavimento flexible.

Se tiene la idea que el pavimento flexible es especial para carreteras especialmente de mucho tránsito, en la cual es importante que no se presente la interrupción de tráfico por deterioro, cabe recalcar que para elegir el pavimento más

factible y de menor costo, depende mucho de las condiciones del terreno y las necesidades de vialidad que tengamos, ya que "los pavimento rígidos, cuando están bien contruidos, ofrecen una mayor suavidad de operación que los pavimentos flexibles". (Guerrero; 1976:28)

Requisitos para la conservación.

Se debe tener en cuenta los factores climáticos en la zona donde se va pavimentar, buen diseño de drenajes, considerar la cantidad de tránsito que pasará, así como una estimación de tipos de vehículos pesados o ligeros los cuales puedan causar fatiga en la estructura debido a la contante aplicación de cargas y producir deformaciones plásticas. En la mayoría de las veces de usa una excusa de que no hay recurso económico para realizar esta conservación, esto es inaceptable ya que al momento de hacer el diseño se toma en cuenta una buena cantidad de dinero para la conservación de esta obra.

Por otra parte, se debe conocer la división de la superficie de rodadura, que a continuación se muestra.

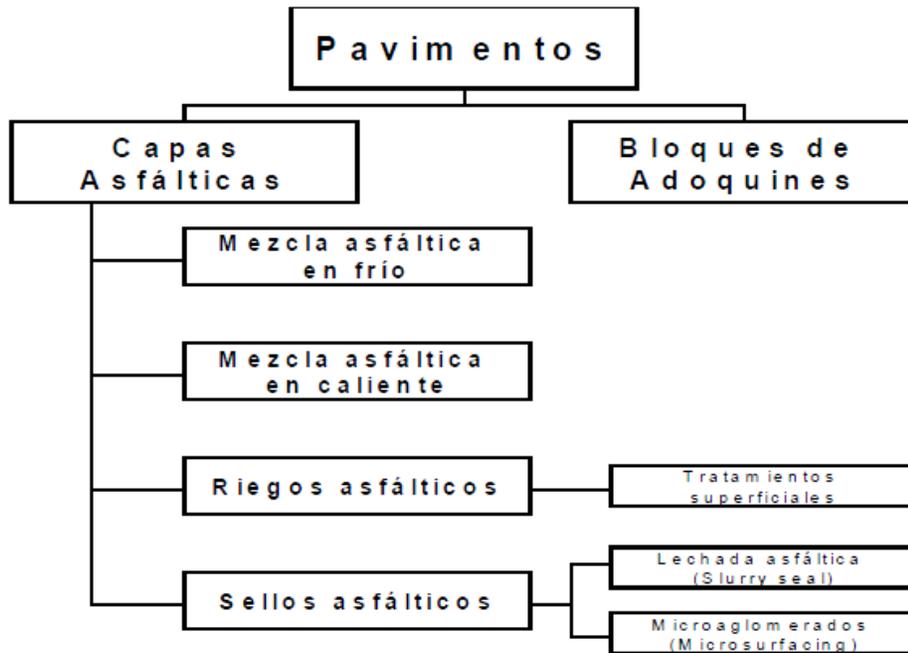


Diagrama 1.1.- Superficie de rodadura en pavimentos flexibles

Fuente: Jorge Coronado, 2002; 104.

### 1.3.1.- Materiales pétreos.

Para la elaboración de los pavimentos flexibles los materiales que se utilizan son pétreos y asfaltos, cuando estos son de mala calidad o se desea tener un pavimento de mayor calidad o cumplir incluso con las necesidades del tipo algún tipo especial de carretera es necesario emplear cemento, cal hidratada y aditivos. Entonces para poder elegir si se tienen materiales pétreos de mala calidad primero se debe conocerlos.

Los materiales pétreos son naturales obtenidos de las rocas, los cuales son adaptados o procesados por el hombre para la construcción de obras civil, como en



la pavimentación se utilizan por separado como lo es en la formación de las bases y sub-bases y en mezclado en la carpeta asfáltica.

Para poder cumplir con las normas de la construcción de una carretera se debe conocer sus características, clasificación, obtención y/o procesamiento donde interviene la mano del hombre.

Existen gran variedad de rocas las cuales se clasifican en tres tipos: rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Dentro de éstas existen más clasificaciones o familias. De todos estos tipos de rocas existen rocas adecuadas para la construcción es por eso se han de conocer sus características y saber desechar algunos materiales granulares como lo son las rocas porosas en una cimentación. Para esto a continuación se presenta en la tabla 1.1 los principales grupos áridos empleados en la carretera, las rocas más representativas de cada grupo y sus características genéricas.

El siguiente diagrama presenta su clasificación en su composición mineralógica, su procedencia y el tamaño de sus partículas:

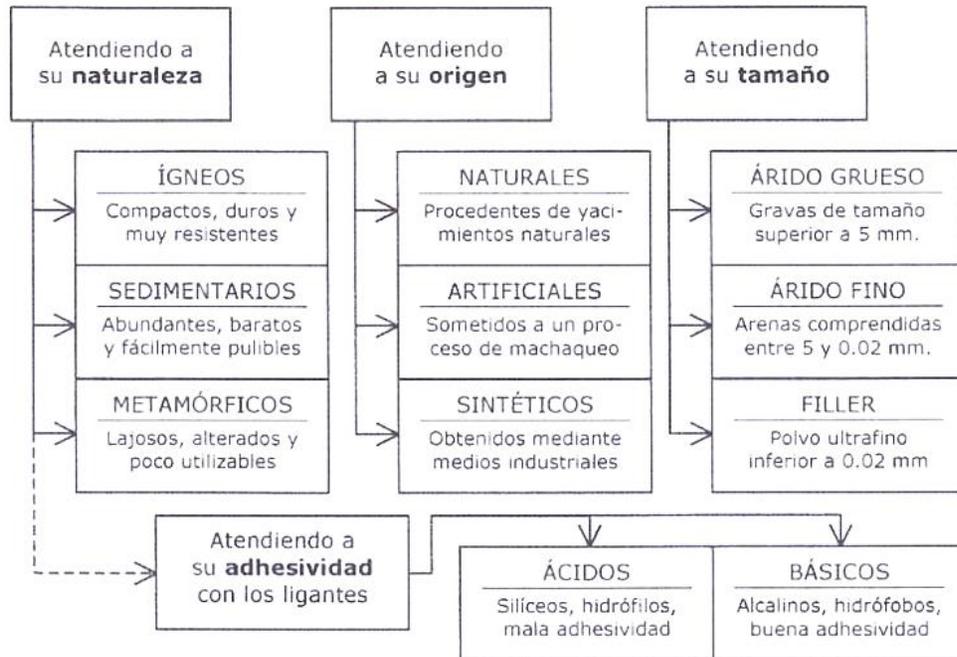


Diagrama1.2.- Clasificación de materiales pétreos

Fuente: [www.sirio.ua.es](http://www.sirio.ua.es); 2015.

CLASE/Grupo		Propiedades	Ejemplos	
<b>ÍGNEAS</b>	Básicas	<b>BASALTOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rocas máficas (oscuras)</li> <li>- Alta resistencia mecánica</li> <li>- Bajo desgaste al pulido</li> <li>- Buena adhesividad</li> </ul>	Basalto, andesita, diabasa, ofita, lampróvido y traquita
		<b>GABROS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buen comportamiento mecánico en carreteras</li> <li>- Durables y resistentes</li> <li>- Relativa escasez, zonificadas</li> </ul>	Gabro, diorita, gneis básico, peridotita y sienita
	Ácidas	<b>GRANITOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abundantes en la Península</li> <li>- Pueden presentarse alteradas</li> <li>- Rocas abrasivas, poco pulibles</li> <li>- Escasa adhesividad a los ligantes</li> <li>- Presentan cierta fragilidad</li> </ul>	Granito, cuarzdiorita, gneis, aplita granodiorita y pegmatita
		<b>PÓRFIDOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Textura adecuada para firmes</li> <li>- Bajo desgaste al pulimento</li> <li>- Problemas de adhesividad</li> </ul>	Pórfidos, dacita y riolita
<b>SEDIMENTARIAS</b>	Básicas	<b>CALIZAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy abundantes en España</li> <li>- Muy susceptibles al pulido</li> <li>- Buena adhesividad</li> <li>- Fácil extracción y tratamiento</li> </ul>	Caliza, dolomía y mármoles
	Ácidas	<b>ARENISCAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy resistentes al pulimento</li> <li>- Presentan un elevado desgaste</li> <li>- Buena adherencia a ligantes</li> <li>- Muy escasos en la Península</li> </ul>	Arenisca, arcosa, molasa, grauvaca, tobas y conglomerados
		<b>PEDERNAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy duras y quebradizas</li> <li>- Buena resistencia al desgaste</li> <li>- Dan áridos lajosos y cortantes</li> <li>- Muy susceptibles al pulimento</li> </ul>	Pedernal, sílex, cornubianita y ftanita
		<b>CUARCITAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy duras y resistentes</li> <li>- Difícil extracción y machaqueo</li> <li>- Pueden presentar alteraciones</li> <li>- Escasísima adhesividad</li> </ul>	Cuarcita, cuarzoarenita y cuarzo
<b>METAM</b>	<b>ESQUISTOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formas lajosos y alteradas</li> <li>- Elevado peso específico</li> <li>- Válidos si no contienen mica</li> </ul>	Esquistos, filitas y pizarras	
<b>INDUST</b>	<b>MATERIALES ARTIFICIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tratados industrialmente</li> <li>- Características específicas que complementan al árido natural</li> <li>- Potencian ciertas propiedades</li> </ul>	Escorias de alto horno, firmes reciclados y cenizas volantes	

Tabla1.1.- Grupos áridos empleados en carretera

Fuente: www.sirio.ua.es: 2015.

A continuación se presentan las siguientes características de los materiales pétreos:

#### Granulometría.

Esta se puede representar de gráfica o numéricamente, como se distribuyen las partículas que componen un material y sus diferentes partículas. Lo ideal de un material para la construcción es que su relación de vacíos sea menor, para poder lograr que no existan huecos, se deben cubrir con materiales de diámetros menores o partículas más finas, para poder realizar una prueba de granulometría exitosa se debe de tomar en cuenta que no existan materiales en formas de láminas o agujas, ya que se pueden presentar con estos una alta relación de vacíos.

El valor cementante debe tomarse en cuenta en los materiales ya que es muy importante principalmente en los revestimientos, bases y sub bases, que se abren al tránsito son protección.

#### Afinidad con el asfalto.

Para mejorar la adherencia de los materiales se recomienda lavar el material, para retirar el polvo, triturarlo para que no se presenten superficies lisas o usar aditivos, también se recomienda, es importante también conocer y estudiar los tipos de asfaltos ya que ya que su adherencia con los materiales pétreos puede variar.

#### Absorción.

Es importante conocer la absorción de un material cuando está completamente seco para determinar la humedad óptima que se le dará al material al momento de compactarlo y de esta forma no tener perdida de dinero como de tiempo

al pasar la compactadora las veces que ya no sea necesaria y en la elaboración de mezclas asfálticas.

El equivalente de arena.

En la mayoría de las construcciones se debe tener un control sobre los materiales finos y arcillas que se tienen, este caso principalmente en las bases y sub bases, evitando tener un exceso de estas generándose la fricción y que tengan buena estabilidad estas capas.

Valor relativo de soporte (VRS).

Durante el paso de los años se ha visto la gran necesidad de saber con qué material se cuenta o mejor dicho saber su resistencia a la penetración; el uso de esta prueba es muy común, rápido, sencillo, económico y requiere de muy poca información de campo. La cual sirve para poder dimensionar los pavimentos que se pretenden construir. Gracias a los resultados de esta prueba se puede concluir a la siguiente clasificación:

VRS		CALIDAD DEL MATERIAL
0	5	Sub-rasante muy mala
5	10	Sub-rasante mala
10	20	Sub- rasante regular
20	30	Sub-rasante muy buena
30	50	Sub-rasante buena
50	80	Base buena
80	100	Base muy buena

Taba 1.2.- Valor Relativo de Soporte

Fuente: Propia, 2015.

### **1.3.2.- Emulsiones asfálticas.**

Se consideran emulsiones asfálticas como micro dispersiones de cemento asfáltico en agua, mezclado con un agente emulsificador, que actúa como estabilizador del sistema, brindándole también una polaridad.

Según las cargas eléctricas, se dividen en:

- Emulsiones asfálticas Catiónicas
- Emulsiones asfálticas Aniónicas

Estas emulsiones son muy resistentes al contenido de humedad de los materiales pétreos. Estas emulsiones se hacen con el objetivo de cambiar la consistencia de asfalto y poderlo trabajar de una manera más fácil para cada tipo de aplicación y evitar tener que calentarlo a temperaturas muy elevadas, que es lo más común en mezclas tradicionales de asfalto.

Una de las principales ventajas de estas emulsiones asfálticas y de las más importantes es la reducción del costo de producción y conservación de caminos, esto se debe a que se puede trabajar a temperaturas más bajas, menores de 100 °C reduce un ahorro energético considerable, esto considerando también que las mezclas con estas emulsiones son de espesores menores a las usadas comúnmente, reduciendo así el uso de material, como son la utilización de maquinaria especial y los tiempos de construcción.

De forma parecida que los rebajos asfálticos estas emulsiones pueden ser de fraguado rápido, medio y lento, esto depende de la cantidad de material asfáltico que tengan.

Dependiendo con la cantidad y el tipo de emulsificador que se use, así mismo varia su tiempo de quiebre, a continuación se presentan las clasificaciones por quiebre:

- Emulsión de quiebre rapido (CRS)
- Emulsión de quiebre lento (CSS)
- Emulsión de quiebre controlado (CQS)
- Emulsión de quiebre medio (CMS)

Estas distintas emulsiones son empleadas para distintos casos, por ejemplo las de quiebre rapido (CRS) comunmente se utilizan en sellos y tratamientos superficiales, las de quiebre lento en (CSS) en riegos de liga, riegos neblina(Fog Seal) y lechadas asfálticas (slurry seals). En cambio las de quiebre controlado (CQS) se aplican en microaglomerados en frío( estas emulsiones deben ser modificadas con polimeros), y tambien en lechadas asfálticas. Todas las emulsiones pueden ayudar a la impregnacion de sub bases.

### **1.3.3.- Rebajos asfálticos**

“Los asfaltos rebajados son materiales asfálticos líquidos compuestos por un cemento asfáltico y un disolvente, según el tipo de disolvente (gasolina, kerosene, o aceite ligero), puede ser fraguado rápido, medio o lento” (Guerrero; 1976:33).

### **1.3.4.- Aditivos.**

Los aditivos ayudan a tener una mejor adherencia entre el asfalto y los materiales pétreos, preservándolo aun con presencia de agua, logrando una mayor vida útil del pavimento, mejor servicio para el usuario, ya que reduce el envejecimiento generado por el intemperismo generando mayor resistencia a la

fatiga. Los aditivos trabajan produciendo una actividad de tipo iónico en la superficie de las partículas, se aplica antes del mezclado de asfalto con los agregados.

### **1.3.5.- Sistemas por riegos.**

Este sistema consiste en la combinación adecuada de materiales pétreos y productos asfálticos. Este proceso para construir se realiza aplicar varias capas sobre la sub rasante, pero primero se da un riego de producto asfáltico sobre materiales pétreos los cuales primero serán los más gruesos que se aplicarán en este pavimento al hacer esto se debe compactar con el rodillo liso para que trabajen bien los materiales, este material cubrirá con tres capas la sub rasante.

A medida que se va avanzando se van utilizando materiales con diámetros menores como lo es en este segundo riego con materiales granulares con medidas medias comparadas con las tres dimensiones que se emplearán, en el cual se hace el mismo procedimiento que el anterior, aplicando también el compactador liso, para rellenar los espacios vacíos y trabaje exitosamente.

En este último riego se utilizarán los materiales pétreos finos, respetando el procedimiento que se ha hecho al colocar los demás, en general este método se realiza con el fin de acomodar bien la mezcla de materiales pétreos con asfalto por medio de compactador liso y así como se menciona sea eficiente estas mezclas que conforman el pavimento.

Para que alcance la resistencia estimada esta mezcla de materiales pétreos con asfalto y fragüe exitosamente se debe dejar reposar durante una semana para posteriormente realizar un barrido manual o de preferencia con maquinaria con el fin



de quitar los materiales finos que no se unieron con la mezcla y así brindar seguridad al usuario evitando accidentes por no tener buena adherencia los neumáticos con la superficie de rodamiento o dañar los vehículos por medio de las partículas que se desprenden y golpean a estos, entre otras causas perjudiciales.

Los materiales pétreos que se emplearon en este procedimiento no deben tener una diferencia de diámetros muy variable ya que se deben de calcular con el fin de que al ser compactados exista buena adherencia entre ellos no dejar espacios vacíos con aire evitando la filtración de agua por ellos y por ende que se generen baches, fracturas o deformaciones, etc.

Los materiales pétreos esta divididos en tres numeraciones, del 1 al 3; en el material 1 sus diámetros rondan entre los 25.4mm a 6.35mm, por otro lado en el 2 material varían entre 12.7mm y 2.38mm y en los materiales finos o bien el material numero 3 varían entre 9.51mm y 0.42mm.

Este procedimiento anteriormente mencionado de tres riegos no se aplica siempre, puede variar dependiendo de la transmisibilidad a la que estará expuesto o también influye las condiciones y/o características del terreno; si se tiene un terreno estable se puede colocar el pavimento hasta de un riego con el cual se realiza el único procedimiento y colocando material del número 3, si se desea colocar dos riegos se usaran materiales de número 2 y 3.

#### **1.4.- Conservación y evaluación de carreteras.**

La conservación de los caminos es de gran importancia para el desarrollo del país, del cual se puede lograr evitando y/o eliminando las causas que producen

malas redes carreteras como lo son: el empleo de materiales de mala o baja calidad, el empleo de asfalto inadecuados, procedimientos constructivos obsoletos, como realizar mezclas en frío en sitio con asfalto rebajado y motoconformadora, no utilizar la maquinaria adecuada; que a futuro se generan carpetas asfálticas de mala calidad que dan un mal comportamiento ante las cargas, desperdicio de material y alto costo de producción. Otra desventaja importante con la elaboración de la carpeta en lugar es la contaminación no controlable a la que se expone el medio ambiente al ser elaborado.

El estado en que se encuentren estos caminos afectan fuertemente costos de operación, fuerte depreciación de vehículos, más gasto de combustible, por lo tanto el costo de las mercancías que transportan aumenta, inseguridad, incomodidad y pérdida de tiempo para el usuario. Tomando en cuenta todas estas desventajas y en aumento vehicular velocidades y cargas que sufre la red vial han desarrollado las siguientes conservaciones:

Conservación normal.

Esta comprende los trabajos básicos necesario para que este le red con un buen servicio, este mantenimiento es para todas las partes de la carretera como los son: en base a la carpeta asfáltica (riegos de sello, sobre carpeta, nivelación, taponamiento de grietas, bacheos), referente a su elementos estructurales (superficie de rodamiento, acotaciones, drenaje, taludes, zonas laterales, señalamientos).

Rehabilitación o reconstrucción.

Se refiere aquella obra o conjunto que sea necesario reponer alguna de sus partes, algún tramo siempre y cuando se respete sus especificaciones geométricas o estructurales.

Mejoramiento o modernización.

Nos menciona tesis.uson.mx (1991) que se pretende aumentar el nivel de servicios, con el fin de resolver los problemas generados por un alto volumen de tránsito y las cargas de los mismos, de forma que se modifiquen sus la geometría de la estructura del camino.

### **1.5 Clasificación de carreteras.**

De acuerdo con Badillo (2004) Las carreteras se clasifican de distintas formas, así como en diferentes partes del mundo, todo depende de su transitabilidad o con el fin que se pretenda. En México existen diferentes clasificaciones, de las cuales algunas también están en otros países y son de las principales:

Clasificación por Transitabilidad.

De acuerdo con Badillo (2004), esta clasificación se refiere a las diferentes etapas de construcción de la carretera y están divididas por:

- Terracería.- este camino se podría decir que esta inconcluso para una red vial que será sometida a mucho tránsito vehicular, pero en el caso de poco tránsito se podría decir que esta conclusa ya que no es necesario un gasto más grande los pocos usuarios que serán beneficiados, por lo tanto se deja hasta su nivel de sub rasante, a cual es transitable o cumple un mejor servicio en tiempos de secas.

- Revestida.- se dice revestida cuando este camino de terracería ya ha tenido una o varias capas de materiales granulares, y no solo brinda servicio en tiempos de secas, también en tiempos de aguas.
- Pavimentada.- Cuando ya cuenta con todos sus capas de materiales pétreos y se ha colocado la carpeta adecuada.Las anteriores clasificaciones se representan universalmente en cartografía asi:



Imagen 1.3.- Clasificación por transitabilidad

Fuente: infoconstrucivil.blogspot.mx; 2015.

#### Clasificación Administrativa.

En esta clasificación depende de quien las construya y las supervise:

- Federales.- Cuando son construidas únicamente por la federación y por ellos mismo se hacen cargo o les dan el mantenimiento.
- Estatales.- Estas son construidas el 50% el Estado y el otro 50% la Federación, pero ellos no quedan a cargo de ellas sino la organización llamada Junta Local de Caminos.
- Vecinales o rurales.- Se construyen con un tercio de los recursos de los vecinos beneficiados a esta red, otro tercios la Federación y el otro el Estado.

Se quedan a cargo de la Junta Local de Caminos y ahora Sistema de Caminos.

- De Cuota.- Construida con recurso Federales pero se encargan de la red la dependencia oficial descentralizada denominada Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios y Conexos.
- Concesionadas.- Construidas por empresas privadas las mismas que se hacen cargo algunos años para recuperar la inversión y después pasan a ser propiedad de la Federación.

Clasificación técnica oficial.

En esta categoría se define o distinguen por las categorías físicas del camino pero en base al volumen de tránsito que pasara sobre esta red vial al final del periodo económico se considera durante 20 años y las especificaciones geométricas aplicadas. Las siguientes clasificaciones están dadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes:

- Tipo especial.- Diseñada para un tránsito promedio anual superior a 3,000 vehículos, un aproximado de un tránsito horario máximo anual a 360 autos o más o bien un 12% del Tránsito Promedio Diario (T.P.D). Estos pueden tener coronas de dos a cuatro carriles en un solo cuerpo, distribuyendo de forma A2 y A4 o colocando cuatro carriles en dos cuerpos distintos designándoles como A4, S.

- Tipo A.- Esta calculado para un tránsito promedio anual de 1,500 a 3,000 el cual equivale 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, lo cual se acerca a un aproximado de un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12% del T.P.D).
- Tipo C.- Esta pronosticada o diseñada para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, del cual en tránsito horario máximo anual seria de 6 a 60 vehículos (12% del T.P.D).

Para los cálculos de este tipo de carreteras se debe especificar qué tipo de vehículos se consideraron, debido a que esto varía de una manera radical porque hay diferentes medidas y pesos de estos. En lo anterior se tomó en cuenta un 50% de vehículos pesados, aproximadamente a tres toneladas por eje. Considerando estos vehículos en ambas direcciones sin calcular alguna variación de vehículos pesados a ligeros.

“En México, en virtud a la composición promedio del tránsito en las carreras nacionales, que arroja un 50% de vehículos comerciales, de los cuales solo 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 terreno montañoso” (Badillo; 2004: 3).

En caminos con tránsito pesado se deben de tener muchas soluciones y precauciones, teniendo en cuenta que son caminos de gran costo ya que así lo exige el tránsito, como también se pueden presentar caminos con máximas pendientes y radios de curvatura mínimos. Antes de realizar el camino como en muchas obras se debe realizar un estudio para señalar y tomar en cuenta ciertas normas mínimas para poder cumplir con los requisitos de nuestro camino, dichas normas son:

Alineamiento.

Uno de los importantes objetivos de un camino es que tenga la mayor superficie posible plana o recta, siempre y cuando se conserve la ruta general. Esto no es posible debido a la topografía del terreno ya que en nuestro país hay muchos lugares con zonas muy accidentadas, lo cual eleva mucho el costo de producción si se desea hacer totalmente recta ya que se generaría muchos cortes, terraplenes puentes, obras subterráneas, etc. Para realizar todos estos trazos se debe de tomar en cuenta que tipo de carretera se construirá ya que si se hace ocupa una carretera de tipo especial o sea con alto tránsito el cual circula a altas velocidades se debe de trazar de tal forma que se evite poner demasiadas curvas pero especialmente con el menor radio de curvatura en cada una de ellas, en general que exista un buen diseño, aquí ya es conveniente o incluso necesario hacer obras de corte y terraplén, para que cumpla con las necesidades del camino haciendo un estudio del costo-beneficio de esta red vial.

Velocidad.

La velocidad (V) es el tiempo (t) en que tarda en recorrer un objeto una distancia (d) o de un punto a otro. El cual se puede calcular con las fórmula  $V=d/t$ , en este caso se habla de la velocidad de un vehículo la cual varia constantemente debido al diseño mismo y características del carro, al conductor que lo opere, las características de la vía y por las condiciones atmosféricas que esté sometido dicho vehículo, por estas causas para poder realizar el diseño de la red vial se toma en cuenta los valores medios de la velocidad.

El usuario puede alterar el tiempo y velocidad a viajar pero sin embargo dentro del diseño se deben recomendar velocidades promedios a los usuarios, para realizar estas recomendaciones se debe conocer el terreno con que se cuenta si es plano, con lomerío o montañoso y relacionar con el tipo de carretera, en la siguiente grafica se muestran algunos cálculos de estas velocidades por la SCT para brindar mayor seguridad al conductor que las respete.

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	60	50	40
Tipo B	60	50	40	35
Tipo C	50	40	30	25

Imagen 1.4.- Velocidades de Proyecto

Fuente: Propia, 2015.



## **CAPÍTULO 2**

### **MECÁNICA DE SUELOS**

En este capítulo se hablará básicamente de los suelos, sus comportamientos dentro de las estructuras de ingeniería civil, sus composiciones o bien sus fases, las características de cada material como gravas, arenas y finos y como se pueden clasificar por medio del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), también las siglas para cada tipo de suelo dentro de este sistema. Es importante conocer que suelo se nos presenta en las distintas zonas para poder realizar las pruebas de compresión triaxial, para obtener la resistencia del suelo así tomar decisiones para el proceso constructivo para el pavimento, siempre y cuando se tomen en cuenta distintas características y en diferentes zonas del mismo suelo, ayudando también a saber que espesores y materiales llevarán las bases, sub-bases y carpeta asfáltica, teniendo un diseño exitoso de dicho pavimento flexible.

#### **2.1.- Suelo.**

La definición de suelo varía respectivamente de acuerdo a sus intereses o profesiones, pero se podría decir que un suelo es un agregado material no cementado proveniente de la desintegración física, química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que se encuentran sobre, dicho suelo no tiene ningún acomodo uniforme y varía vectorialmente, son materiales no conservativos ósea que no recupera su forma original al ser deformado, y sus

propiedades cambian mucho más lentamente en horizontal que en vertical. Estos suelos se clasifican por el tamaño de sus partículas.

En ingeniería civil se podría decir que el suelo es aquel sustrato que soportará las obras, son de gran importancia sus propiedades mecánicas y un poco las propiedades físico-químicas. Desde otro punto de vista se podría decir que el suelo se está formado por la descomposición desgaste o desintegración de las rocas durante las transformaciones durante su ciclo por agentes atmosféricos, y también formado por materiales orgánicos; estos desgastes de las rocas se van transportando hasta ser depositados formando así los suelos.

En la profesión de Agronomía el suelo es la superficie terrestre o delgada parte superior del manto de las rocas que cuenta con diferentes propiedades como los minerales ayudando a que las plantas penetren las raíces sobre dicho manto. Por lo tanto para nuestra investigación no sirven estos conceptos ya que no están relacionados con lo que se analizará.

Un elemento que altera las propiedades del suelo es el agua ya que el suelo es un material con arreglo variable el cual tiene muchos poros conectados desde la superficie hasta el interior de la masa, lo cual origina que se infiltre o no el agua dentro de él, las características que definen este factor es la permeabilidad ya que como se mencionó existen diferentes tipos de materiales con características muy distintas.

Por lo tanto, el agua escurre sobre el suelo y parte se infiltra por gravedad hacia las uniones de los poros, y llega en ocasiones a estratos impermeable

profundos formando la capa freática; el agua que se encuentra arriba de este manto acuoso se le conoce como nivel freático, en ocasiones se suspende el movimiento del agua que cae por gravedad y no llega por debajo de la capa freática, por lo tanto, queda retenida en los poros y sobre la superficie de las partículas, esto lo generan las fuerzas de tensión superficial y de adsorción, por lo tanto se le denomina como agua retenida, en el siguiente diagrama se muestra de una manera más clara como se divide o dispersa sobre el suelo.

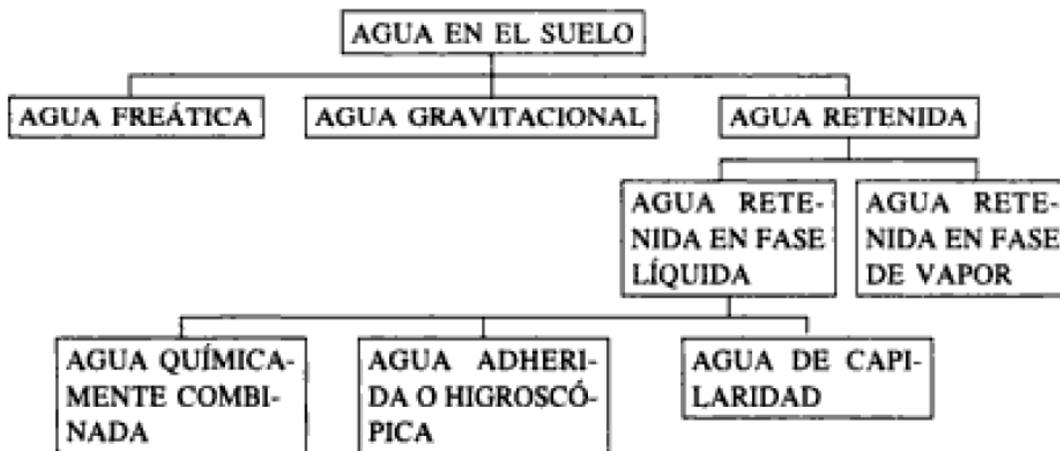


Diagrama 2.1.- Movimiento del agua en el suelo.

Fuente: Crespo; 2004: 143.

Uno de los principales factores que producen el suelo es el agua y el viento ya que gracias a estos se origina la desintegración de las rocas, dichos desgastes se producen por la desintegración mecánica y descomposición química. Cuando un suelo se desintegra por efectos físicos, conservara la misma composición de la roca, en cambio, cuando es por proceso químicos el suelo no tendrá la constitución mineralógica de la roca madre. Los factores físicos que producen la desintegración y

cambios en las rocas son el agua, el sol el viento y los glaciares, según lo mencionado por Crespo (2004).

#### Desintegración mecánica.

En general se logra gracias a todos los factores físicos antes mencionados los cuales afectan a las rocas gracias a la intemperización, como lo es cuando el agua penetra en las grietas de las rocas, baja la temperatura congelándose esta agua habiendo fuertes cambios de temperatura ya sea de altas a bajas o viceversa, el desgaste de las rocas cuando las raíces de las plantas entran o rosan estas.

El sol, al actuar sobre las rocas se calienta más el exterior de la roca que su interior lo cual genera una expansión diferente, por lo tanto esfuerzos desiguales, provocando la fractura o rompimiento de la capa exterior y su desprendimiento; proceso conocido como exfoliación. Este fenómeno es muy variable dependiendo la altura y o localización del terreno ósea la temperatura que hay en el lugar en cada época del año, y claro del tipo de roca. Este fenómeno tiene un efecto mayor en las rocas duras que son las ígneas como el granito, andesita y riolita, que en las rocas blandas óseas sedimentarias las cuales son caliza, travertino y dolomita, especialmente cuando contienen un grano grueso y tienen diversos minerales, lo cual afecta demasiado a los coeficientes de dilatación.

El agua cuando se encuentra en constante movimiento genera la erosión, cuando arrastra las rocas produciendo fricción, esto sucede especialmente con rocas o fragmentos angulosos que después del tiempo se convierten en cantos rodados o bien rocas con sus bordes redondeados; un impacto considerable de esto sería con

el fuerte oleaje de los mares. Otra causa del agua sobre los materiales pétreos en forma de lluvia se infiltra sobre el suelo para después abrir y saturar grietas de las rocas que después en algunos lugares se congela, ejerciendo una gran fuerza fracturándola y desintegrándola.

El viento también es causante de la erosión cuando arrastra materiales finos o arenosos, nombrados como suelos eólicos como lo es con los médanos y los loess. Un caso muy claro de esta erosión es cuando el viento golpea fuerte sobre taludes con suelos arenosos, desprendiendo las partículas y después acarreándolas o removiéndolas.

Aunque los fenómenos físicos tienen una gran influencia en la desintegración de las rocas y formación de los suelos, solo son capaces de reducir los fragmentos rocosos a menos de 0.01mm cada uno. Desintegraciones menores a estos tamaños solo las pueden hacer por procesos químicos. Los principales agentes químicos encargados de esta desintegración serían la oxidación, la carbonatación y la hidratación.

La oxidación es la reacción química más agresiva sobre todo en rocas color pardo rojizo que contienen hierro ya que trabaja de forma que el agua de la lluvia que cae hace reacción con el oxígeno del aire, habiendo presencia también de humedad.

La carbonatación actúa principalmente sobre las rocas ígneas, generalmente las de color rosado, debido a que la mayoría de estas contienen elementos como el

fierro, calcio, magnesio, sodio o potasio, los cuales sufren los ataques del ácido carbónico compuesto por anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

“La hidratación es la acción y efecto de combinar un cuerpo con agua para formar hidratos, o sea compuestos químicos que contienen agua en combinación. El agua se absorbe y se combina químicamente formando nuevos minerales” (Crespo, 2004; 20).

## **2.2.- Fases del suelo.**

El suelo consta principalmente por diferentes granulometrías, grado de plasticidad y como lo menciona el subtema diferentes fases, las cuales son sólida (partículas minerales, incluyendo la capa sólida adsorbida), líquida (agua generalmente aunque pueden presentar otros líquidos de menor significación), y la gaseosa (aire principalmente u otros gases como vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc.), existe otra capa viscosa la cual se puede incluir en esta fase gaseosa ya que presenta propiedades intermedias con la fase sólida y la líquida por lo tanto es susceptible a desaparecer cuando el suelo se somete a una fuerte secado o evaporación. En el siguiente esquema se representan las tres fases del suelo con sus respectivos términos para el momento de hacer los cálculos de cada una de dichas fases:

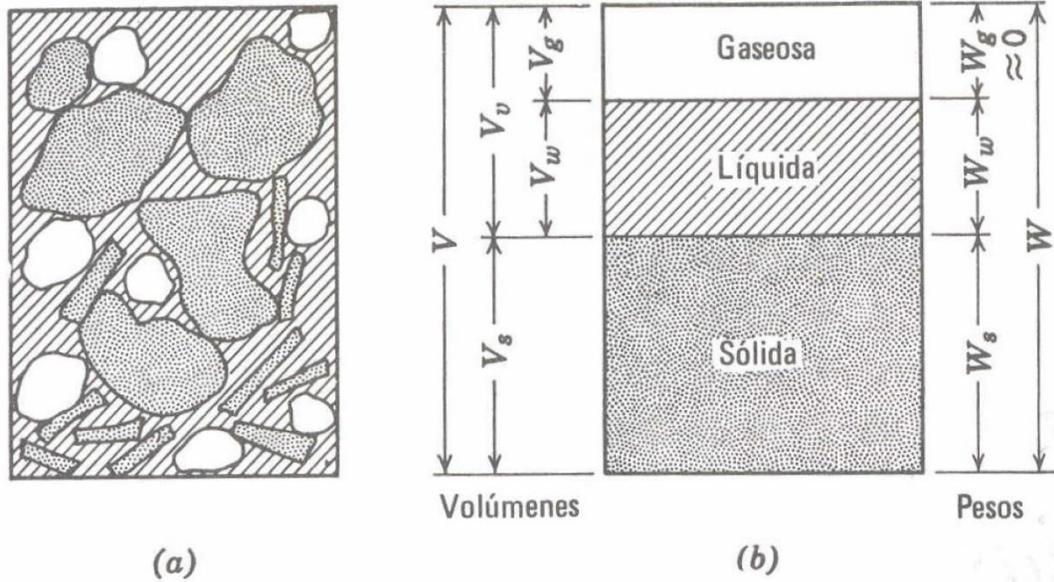


Imagen 2.1.- Fases del suelo en estado natural y por separado.

Fuente: [www.google.com.mx/search?q=fases+del+suelo](http://www.google.com.mx/search?q=fases+del+suelo) (2015).

Los términos representan de la figura representan:

V: Volumen total del elemento del suelo.

Vs: Volumen ocupado por las partículas del suelo.

Vw: Volumen ocupado por la fase líquida (agua).

Vg: Volumen ocupado por la fase gaseosa (aire).

Vv: Volumen ocupado por lo huecos (fase líquida+ fase gaseosa).

W: Peso total del elemento del suelo.

Ws: Peso de partículas del suelo.

$W_w$ : Peso de la fase líquida (agua).

$W_g$ : Peso de la fase gaseosa (aire)

La imagen anterior se puede observar del lado izquierdo el suelo natural con todas sus fases y en la parte derecha se muestran las fases por separadas para representarlas de una manera más sencilla y poder facilitar los cálculos de volúmenes dentro de este suelo. Ahora para calcular el volumen de cada una de estas fases se divide en otras tres fases: relación de vacíos, porosidad y grado de saturación.

A continuación se muestran las fórmulas correspondientes de cada una de las fases respecto al volumen del suelo:

Relación de vacíos:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Porosidad:

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Grado de saturación:

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$



Cierta capa del agua absorbida suele tener propiedades intermedias entre la fase sólida y la líquida; esta misma capa tiende a desaparecer cuando el suelo está expuesto a altas temperaturas ósea tiene un buen secado y se evapora el agua, es por eso que esta capa se considera al momento del cálculo en la fase líquida del suelo. Por otro lado según Juárez (2004) el Volumen de vacíos esta compuestos por las fases líquida y gaseosa del suelo, y el Volumen de vacíos solamente la fase sólida.

Un suelo está totalmente saturado ( $S= 100\%$ ) cuando los espacios vacíos están ocupados por agua, estos suelos se encuentran con mucho más frecuencia bajo el nivel freático. Y al contrario si el suelo se encuentra totalmente seco ( $S=0\%$ ), esto es posible casi siempre por influencia del hombre, (secado en horno o en cacerolas), ya que por seco que se vea el suelo casi siempre presenta humedad. Cuando el porcentaje se encuentra entre 0 y 100% se dice que el suelo esta semisaturado o parcialmente saturado.

Muchos suelo contienen materia orgánica, por lo que es muy necesario tomarlo en cuenta desde el punto de vista de las propiedades mecánicas, y que afecta significativamente al momento de colocar el pavimento, por esta y otras razones colocan las bases y subbases.

Las siguientes fórmulas que se muestran son la relación al peso:

Humedad:

$$W = \frac{W_w}{W_s}$$

Una forma muy aplicada y sencilla para obtener la humedad de un suelo es: se toma una muestra de un suelo natural y se pesa, se seca por completo por medio de un horno o calentador, se coloca un cristal sobre la muestra de suelo observando que no se empañe dicho cristal comprobando que este seco, esto se realiza al estarse sometiendo a la evaporación de sus partículas líquidas por medio del proceso de secado por algún sartén metálico y un calentador, en horno no se realiza este paso ya que con el tiempo que se deja es suficiente para quedar seco y por último se esa el suelo seco. Entonces se obtiene la diferencia de pesos del suelo húmedo o inicial con el suelo seco y se divide entre el suelo seco.

$$humedad = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$

Este método empleado es muy lógico y conciso ya que lo único que se puede perder al momento de aplicar calor e un suelo es el agua, siempre y cuando no se esté hablando de los suelos orgánicos o del asfalto, que se pierden elementos volátiles. Entonces como es más fácil en este caso sacar pesos que volúmenes se utiliza esta fórmula para así poder medir las deformaciones volumétricas.

Peso específico de las partículas:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

Peso específico del agua:

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

Peso específico seco:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{W_s}{V_s + V_v} = \frac{\gamma_s}{1 + e}$$

Peso específico saturado ( $V_v = V_w = e$ )

$$\gamma_{sat} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} = \frac{\gamma_s + e\gamma_w}{1 + e}$$

Compacidad o densidad relativa:

Una fórmula muy empleada para determinar la compacidad de un suelo granular es la densidad relativa, se representa como:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100 = \frac{\gamma_{d, max}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{d, min}}{\gamma_{d, max} - \gamma_{d, min}} \times 100$$

Donde:

$e_{max}$ : Índice de huecos del suelo en el estado más suelto.

$e_{min}$ : Índice de huecos del suelo en el estado más denso.

$e$ : Índice de huecos in situ.

$\gamma_d$ : Peso específico seco in situ.

$\gamma_{d, max}$ : Peso específico seco en el estado más denso.

$\gamma_{d, min}$ : Peso específico seco en el estado más suelto.

Los suelos granulares se dividen a partir de su densidad relativa la cual se indica en la siguiente tabla:

Densidad relativa (%)	Denominación
0-15	Muy suelto
15-35	Suelto
35-65	Medio
65-85	Denso
85-100	Muy denso

Tabla 2.1.- Densidad relativa de los suelos granulares.

Fuente: Propia.

#### Granulometría:

Es tamaño de las partículas de los suelos varía considerablemente, por lo tanto para poder distinguir un suelo de otro hay que conocer los porcentajes de su distribución granulométrica ósea de los distintos tamaños. Esta distribución se calcula mediante el análisis granulométrico por medio del tamiz, este comprende desde las partículas más grandes hasta las más pequeñas de hasta 0.08mm las cuales se deben extraer por sedimentación.

Este proceso de clasificación por tamizado se realiza colocando el suelo seco bien pulverizado y pasándolo a través de los tamices o mallas de distintos tamaños, iniciando por el más grande y así disminuyendo sus dimensiones a razón de 2 hasta llegar al chico, de modo que se deben agitar los tamices para que pueda pasar la tierra, para al último determinar con los cálculos y las pesadas el porcentaje que paso de cada tamiz.

### **2.3.- Clasificación de los suelos.**

En la ingeniería civil muchos de los problemas que se presentan tienen un inicio debido a que no se estudió el suelo sobre el que se realiza la obra, o porque cambiaron las características del mismo suelo de un sitio a otro, por esta y más razones muy importantes se deben de conocer las clasificaciones de los suelos.

Como existe una gran variedad de tipos de suelos es necesario emplear métodos completos que ayuden a calcular que tipo son de una forma más científica. En el pasado no se conocían o habían creado aun métodos para la clasificación de mecánica de los suelos por lo que su clasificación era simplemente de forma descriptiva, pero cuando se dieron cuenta que varias de las fallas de las estructuras se debían a la cimentación afectada por el suelo inestable surgió la necesidad de crear diferentes sistemas y clasificaciones y uno de ellos muy popular fue de características granulométricas del suelo. Depende del campo de aplicación así mismo se usa el sistema acorde sea a la necesidad. Entonces se plantea primero la clasificación más adecuada, algunas de estas pueden ser. La clasificación de acuerdo al tamaño de sus partículas, la clasificación de la Asociación americana de Funcionarios de Caminos Públicos (American Association State Highway Officials), la clasificación de la Administración de Aeronáutica Civil (C.A.A.), el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), etc. El SUCS es uno de los sistemas más utilizados y aceptados por las ingenierías, ya que abarca y satisface los diferentes campos de aplicación de la mecánica de suelos, así como cuenta con una gran cantidad de puntos para poder definir el tipo de suelo sobre el que se está trabajando.

Según Crespo (2004), la diversidad de sistemas de clasificación es quizá por el hecho de que los ingenieros civiles como los geólogos y agrónomos analizan el suelo de diferentes puntos de vista, cada uno con intereses diferentes; pero sin embargo para todas las ingenierías es necesario en las clasificaciones, analizar las propiedades mecánicas del suelo y así el ingeniero considere que tanto se va profundizar la investigación.

El sistema creado por el doctor Arthur Casagrande en la Universidad de Harvard propuesto en 1942, principalmente para aeropuertos. Este sistema detecta todas las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos que pasan por la malla número 200, los cuales pueden clasificarse de acuerdo a su plasticidad, y para los suelos que no pasan esta malla, dependen de la granulometría, la cual cabe mencionar no determina por completo el comportamiento del material, pero se puede usar como base para clasificar los materiales granulares. Por eso se podría decir que el método de Casagrande fue un gran avance para la mecánica de suelos ya que fue el principio para crear el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Dentro del SUCS existen dos fronteras para los suelos, la cual nos divide los materiales gruesos y los materiales finos, los materiales gruesos son los que pasan la malla de 3''(7.62cm) pero retienen más del 50% en la malla 200(0.74mm), y los materiales finos si más del 50% pasan la malla número 200.

Existe otra subdivisión, la cual está en los materiales gruesos; dividiéndose en gravas y arenas, las arenas se detectan cuando se criban y pasan la malla numero 4(4.76mm) y se retienen en la malla número 200, y los materiales gruesos pasan la malla de 3''(7.62cm), deteniéndose en la malla número 4.

Lo que más le interesa al ingeniero civil en estos estudios son los siguientes comportamientos del suelo: esfuerzo-deformación, velocidad de variación volumétrica, compresibilidad, permeabilidad, resistencia, entre otras.

La compresibilidad está muy ligada a las características de la plasticidad, y más que nada con el valor del límite líquido, la cual aumenta con el valor del límite líquido, mientras que todos los demás factores se encuentran constantes. Después de varios experimentos se puede decir con certeza que la compresibilidad depende de la forma y no el tamaño de las partículas, este dato se cumple más en suelos finos.

La plasticidad de un material depende de la forma laminar de las partículas coloidales que lo conforman. Los valores del límite del líquido menores que pertenecen a los suelos finos cuyo origen es volcánico. Esto se empleó con el fin de subdividir los dos grupos principales los de baja a media compresibilidad con límite líquido menor del 50% Y los de alta compresibilidad con límite líquido mayor al 50%. El contenido de agua en un suelo tiene un comportamiento plástico diferente, Juárez (2005) menciona que los estados plásticos del suelo con contenidos de agua decreciente.

- Estado líquido, con las propiedades de suspensión.
- Estado semilíquido, presenta propiedades de un flujo viscoso.
- Estado plástico, aquí se comporta plásticamente.
- Estado semisólido, disminuye el volumen del suelo debido al secado, aparentando estar seco pero conserva aún humedad.
- Estado sólido, aquí el volumen del suelo ya no varía con el secado debido a que ya perdió toda la humedad.

El suelo cuando se encuentra muy húmedo o saturado hasta cuando llega al secado tiene que pasar por todos estos estados, sin embargo no hay criterios exactos para poder definir en suelo en qué estado a cambio o se encuentra, ósea las fronteras entre los estados. El límite líquido de un suelo se conoce como la frontera que hay entre los estados semilíquido y plástico, esta definición se logró gracias al método de Casagrande, llegando a la conclusión que un suelo tenía el contenido de agua correspondiente al límite líquido cuando los Borques inferiores de la ranura se tocaban sin mezclarse, después de un cierto número de golpes.

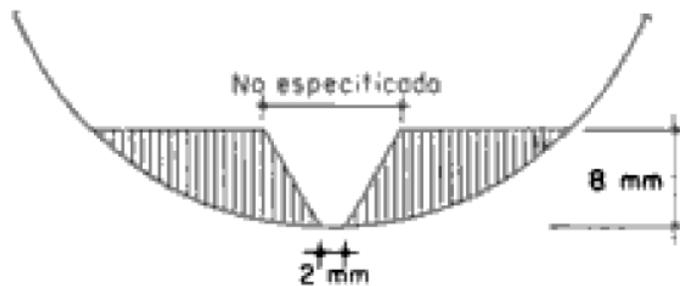
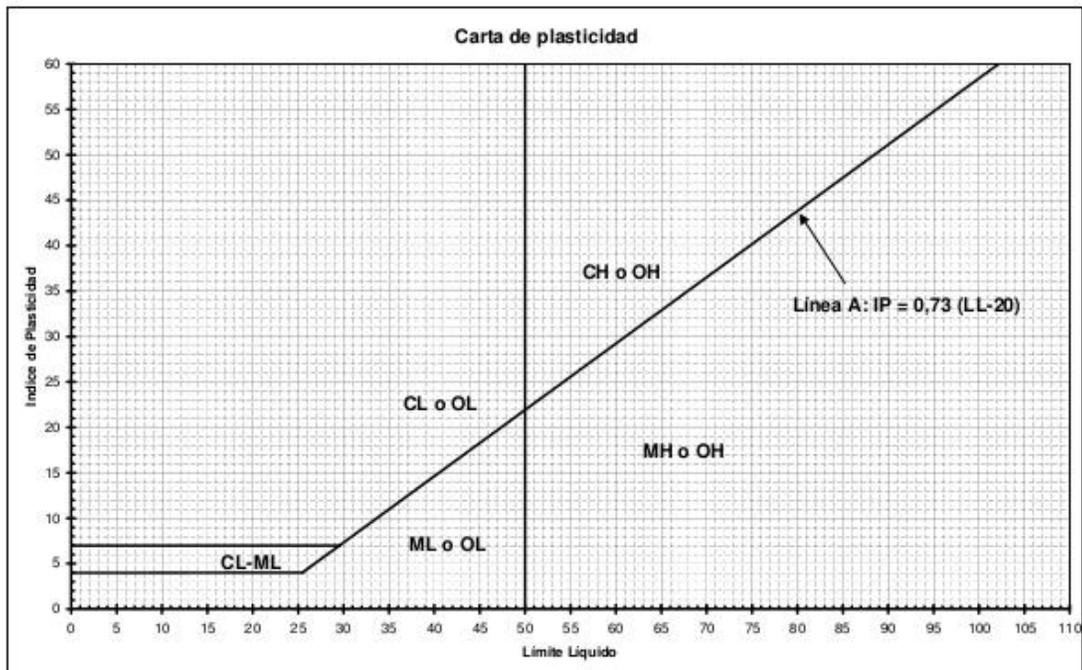


Imagen 2.2.- Determinación del límite líquido de un suelo por el método de casagrande.

Fuete: Juárez, 2005; 130.

El doctor Casagrande tuvo muchas investigaciones pero una de la más relevante y con un gran aporte que aún se usa en la actualidad, fue la carta de plasticidad.





Grafica 2.1.- Carta de plastiidad.

Fuente: [www.google.com.mx/search?q=carta+de+plasticidad&rlz=1C2AVNA](http://www.google.com.mx/search?q=carta+de+plasticidad&rlz=1C2AVNA).

Los suelos que presentan mayores características de plasticidad son aquellos con partículas finas y están colocados en la carta de plasticidad, la cual está creada para clasificar los suelos finos. En la de la parte superior de la línea inclinada situada en la gráfica, están los suelos finos; en cambio en la parte baja de la gráfica se encuentran los suelos con mucha materia orgánica así como los suelos finos de baja plasticidad.

Esta fue la razón por la que se creó una línea de frontera entre estos dos tipos de suelo está línea de frontera está descrita como línea A. Esta línea A en conjunto con una línea vertical trazada en el punto (0.5) dividen la gráfica en cuatro zonas que

son las que se conocen hoy en día por el SUCS. Sobre la línea A se encuentran los suelos de arcillas inorgánica señalados con la letra C y bajo esta línea A se ubican los suelos inorgánicos los cuales se consideran como limos y representados con la letra M.

Dentro de estos diferentes tipos de suelo se clasifican aquellos con alta compresibilidad (H) con media o baja compresibilidad (L). Y de esta forma es como se representan los seis grupos en la carta de plasticidad.

Posteriormente fue necesario agregar otros dos grupos a la carta debido a que algunos suelos con características diferentes no entraban o clasificaban dentro de los grupos ya existentes, los dos grupos que se agregaron por el doctor A. Casagrande fueron (SC) para suelos con arena con excelente cementante arcilloso o de otra característica, de tal forma que este tiene muy poca contracción y expansión y el segundo grupo (SF) creado para suelos con arenas con finos los cuales no clasifican en el grupo (SC).

A grandes rasgos el uso principal de la carta de plasticidad es para clasificar el suelo dentro de los seis grupos diferentes que se encuentran en esta Carta, para clasificar un suelo se toman en cuenta los parámetros del índice plástico y del límite líquido, una vez identificado el suelo en una de estas zonas se indicará las propiedades mecánicas hidráulicas con las que cuenta esta zona o grupo. Gracias a estos datos junto con la carta de plasticidad se logra obtener una forma rápida y económica y siempre te adquirir información importante e indispensable del suelo que se está analizando.

Se debe de tomar en cuenta que también es necesario analizar los suelos gruesos los cuales se distinguen de los finos a través del cribado de la malla 200 y, se consideran suelos gruesos si sus particular son más del 50%, de igual forma para suelos finos si el material contiene partículas finas mayores al 50%. Como ya se mencionó esta carta de plasticidad solamente sirve para suelos finos, por lo tanto se utiliza el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS para clasificar las partículas gruesas. Pero primero se debe conocer la simbología que maneja el SUCS, la cual está representada con letras mayúsculas que significan sus iniciales en inglés.

Cada grupo contiene dos letras mayúsculas las cuales son las siglas en inglés, en la primer letra se pueden encontrar grupos de grabas G (Gravel) o arenas S(Sand). La malla número 4 es la frontera o división de las grabas y arena, por lo tanto un material que se retenga mas del 50% en la malla número 4 seria grava G, y al contrario un material sería arena si más del 50% pasa la malla 200.

Tambien las gravas y arenas se subdividen, en cuatro tipos, con el fin de abarcar y cubrir con todos los materiales que se puedan presentar, a continuacion se presentan:

Materiales que se encuentran sin finos los cuales están bien graduados y son representados con el símbolo W (Well graded), y al ser mezclados con grabas o Arenas se convierten en GW y SW.

Materiales sin finos pero mal graduados que son representados con el símbolo P (Poorly graded) que al combinarse con grava y arena se conviertan en GP y SP.

Materiales con una cantidad considerable de finos plásticos representados con el símbolo M (del sueco (Mo y Mjala) que al combinarse con gravas y Arenas pasan hacer GM y SM.

Materiales que cuenta con muchos finos plasticos, representados con el símbolo C (Clay), y al mezclarse con gravas y arenas se convienrten en GC y SC.

Es de gran importancia conocer bien a fondo las características y comportamiento de cada material, por eso a continuación se mencionarán cada uno de ellos de forma detallada.

Grupos GW y SW.

En este grupo se encuentran suelos bien graduados y con pocos o completamente sin nada la pequeña cantidad que pueda tener de frenos no afectará las características de resistencia de la fracción gruesa ni afectar su capacidad de drenaje, El contenido del finos en este grupo debe ser menor al 5% del peso para asegurar que no habrá cambios en este grupo.

Grupos GP y SP.

Éste grupo aparenta tener materiales uniformes pero sin embargo es un suelo más graduado ya que predominan materiales de algún tamaño haciendo falta materiales de tamaño intermedio para ser considerado bien graduado. Está conformado este grupo por grabas uniformes las cuales las podemos encontrar en los arroyos o ríos también contiene arenas uniformes que se encuentran en las playas éstas pueden ser una mezcla de grabas un informes con la arena uniforme encontrándolas también en una excavación.

## **2.4.- Prueba de Valor Relativo de Soporte (VRS).**

El valor relativo de soporte es un índice de resistencia al esfuerzo cortante en ciertas condiciones, este valor depende de la humedad, y compactación del suelo así como las características del mismo, se mide como el porcentaje de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo respecto a la profundidad que penetre el pistón en una piedra tipo triturada. Esta prueba surgió en el departamento de carreteras del estado de California, este método es muy necesario para poder diseñar casi todos los pavimentos debido a los datos que nos arroja el problema son de gran ayuda.

Esta prueba permite a grandes rasgos calcular la expansión que se generará por causa de materiales saturados para terraplén, subyacente y subrasante, así como también el Valor Soporte de California (CBR) para especímenes compactados dinámicamente, observando que cumplan con las normas N-CMT-1-01, así como todas las demás normas de los elementos ya mencionados.

Todo esto se consigue por medio de una penetración hacia el suelo de la cual es originada por un vástago con un área de  $19.4\text{cm}^2$ , Éste vástago o pegote penetra a una velocidad de  $0.127\text{ cm/min}$  para posteriormente poder obtener la medición de la carga aplicada penetraciones las cuales varían  $0.25\text{ m}$ , a continuación se muestra una imagen con el primer proceso ya mencionado.



Imagen 2.3.- Prueba d V.R.S.

Fuente: Propia (2015).

La muestra necesaria para el molde se debe adecuar a un diámetro de 15.2cm con una profundidad de 20.3cm dicho un molde se tienen que llenar con tres capas de la muestras del suelo las cuales fueron compactadas previamente con un martillo especial creado para esta prueba. Para lograr que el material se encuentre bien confinado se recomienda hacer 25 golpes por capa. En la siguiente imagen se puede observar el martillo y el molde especial para esta prueba.



Imagen 2.4.- Golpeteo de martillo.

Fuente:Propia (2015).

Se puede observar en la siguiente imagen el martillo y el modelo especial para confinar:



Imagen 2.5.- Martillo y molde de V.R.S, Fuente:  
[www.google.com.mx/search?q=maquina](http://www.google.com.mx/search?q=maquina) (2015).

Después de haber concluido con estas dos pasos se tendrá que humedecer o saturar de agua dicha muestra durante 24 horas, esto con el propósito de acercarnos a una situación de las más favorables, Y que en un futuro no puedan dañar el pavimento diseñado. En esta imagen se puede observar el momento en que se saturó la muestra con agua.



Imagen 2.6.- Suelo saturado para prueba V.R.S.

Fuente: Propia (2015).

Ahora que se tiene el molde para la situación favorable se realiza la penetración del vástago de la maquinaria empleada. Cabe recalcar que se pueden presentar factores que afectan los valores arrojado de la prueba del valor relativo de soporte, los cuales serían: El contenido de humedad que presenta una muestra del



suelo, la textura de la muestra del suelo y la condición de compactación ya que en ocasiones no se hace correctamente por lo tanto los valores varían.

Cuando se tienen suelos friccionantes o que tiene una gran cantidad de arena no presenta la expansión cuando se satura el suelo debido a que la sobrecarga que se le aplica al molde con la placa reforzada la cual fue utilizada para el confinamiento de esta muestra, hay que tener en cuenta que no es significativo durante esta etapa de la prueba pero si afecta a la hora de la penetración con el vástago, debido a que varía mucho su resistencia o con el confinamiento hacia los suelos friccionantes, en el caso de una arcilla ocurre todo lo contrario.

Se dice que la penetración no es una forma correcta para el práctico ya que dentro de este influyen diversos cambios climáticos así como cargas de tránsito que pueden variar de gran forma por esta razón se dice que la prueba de VRS no se puede tomar en cuenta completamente como un valor para diseñar un pavimento. Por esta razón los valores arrojados de la prueba no podrán como muy confiables para el comportamiento de la estructura del pavimento.

Al ser aplicada la penetración del vástago en esta prueba debe VRS involucra de forma indirecta la resistencia de esfuerzo cortante del suelo gracias a esta penetración. Aun involucrándose la penetración con la resistencia de esfuerzo cortante es difícil establecer una relación cuantitativa con las resistencias debido a que la sustancia de esfuerzo cortante no sólo depende de este factor sino de otros que no se toman en cuenta en dicha prueba. El único factor relacionado con esta prueba es el de velocidad de aplicación de la carga por esto no es posible obtener valores cuantitativos de la resistencia del suelo o variación.

La prueba de ver si no se considera como un método exacto debido a que varía mucho al momento de estarla haciendo cada persona, debido a que aún con el conocimiento que tengan estos diferentes personas todos tienen distintos puntos de vista y gran parte de los resultados de la prueba se toman resultados a criterio, por ejemplo varia el tiempo en que realice una prueba y las mediciones de una persona con otra, así como la rapidez con la que penetren el suelo. Al final de la prueba se verá reflejado con valores distintos al de otra persona aun teniendo el mismo material o suelo.

A pesar de todos estos aspectos desfavorables el método es muy utilizado y confiable ya que usabas aspectos para llegar a un resultado. Éstos van los aspectos sin embargo no afectan en su valor teórico en su representación como modelo pero mucho menos en que esos aspectos de firmeza sean parecidos de los que se presentan en laboratorio comparados con los del campo.

Otra de las grandes ventajas de este método VRS si es que no es necesario información sobre el terreno se realiza con rapidez es muy fácil de hacerlo y muy económica, además hay que tomar en cuenta que hasta hoy en día se sigue usando debido que no se han creado métodos satisfactorios para esta necesidad.

## **CAPÍTULO 3**

### **RESUMEN EJECTIVO DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN**

En general, este capítulo contendrá la ubicación del tramo carretero que se estudia en esta investigación, de igual forma se señalará el estado y delegación donde se encuentra el mismo, así como mencionando las principales características físicas del proyecto, al igual se presentará un informe fotográfico y descriptivo del lugar, con el fin de darnos una idea más amplia de las condiciones físicas actuales del lugar del lugar del proyecto.

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

En esta investigación se verificará que las normas de construcción cumplan con el pavimento ya construido en la carretera Parangaricutiro-Antiguo pueblo de San Juan Nuevo del km 5+000 al 8+000 para posteriormente hacer una propuesta o diseño de pavimento con el fin de que tenga una mejor vida útil.

En ocasiones los espesores que tienen los pavimentos no son los adecuados, o quizá los espesores que se aplicaron fueron para un cierto periodo de años el cual pudo haber concluido y sigue en funcionamiento el pavimento entre otras causas; por lo que se deteriora fácilmente la estructura, presentado deformaciones, baches y agrietamientos en la carpeta, erosión o socavación en las capas internas,

Se realizara un aforo vehicular para una vida útil de 20 años, el cual ayudará a determinar el tipo de vehículos que transitan sobre la estructura y estimar si la estructura soportará todos estos años en buenas condiciones. No es fácil saber esto

ya que existen más factores que influyen en el deterioro de la estructura como los fenómenos naturales cambios climáticos, aumento y cambio de vehículos que circulan sobre la estructura, etc.

Por lo tanto también será necesario realizar una prueba de Valor Relativo de Soporte (VRS) para conocer cuanta carga puede soportar el terreno natural, si requiere mejoramiento o para saber que capas son necesarias o los espesores que llevarán cada una de ellas.

Un punto muy importante que se debe tomar en cuenta es la velocidad para la que está diseñada la carretera, es ahí donde se empiezan a analizar las normas del tipo de carretera que se tenga, así como también el aforo vehicular ya mencionado. Este estudio brinda la cantidad de vehículos que pasan por el tramo que se estudie en horas o días, se deben definir los tipos de vehículos los cuales están definidos en la normativa AASHTO, mostrados en la siguiente tabla.

### **3.2.- Objetivo.**

En general se pretende con esta investigación revisión y propuesta del pavimento flexible para el tramo carretero Parangaricutiro-Antiguo pueblo de San Juan Nuevo del km 5+000 al 8+000 y posteriormente la comparación del pavimento con las normas correspondientes de la SCT y detectar rápidamente que tan apto es el pavimento para este tramo y tipo de carretera y ofrecer mejoras para un buen funcionamiento del pavimento.

### **3.3.- Resumen ejecutivo.**

El tramo carretero que se está investigando está localizado cerca del municipio de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. El propósito de la investigación es verificar pavimento flexible y comparar sus dimensiones o características con las normativas de construcción para identificar en donde no están cumpliendo con las condiciones de transitabilidad, y finalmente justificar con hechos que ciertamente se está en lo correcto.

Para lograr con lo planificado anteriormente se debe de tomar en cuenta que el tramo se encuentra ahora en una zona se podría nombrar comercial por la cual circulan vehículos con pesos considerables, y recordando que la carretera en sus inicios no se construyó en base a esta necesidad por diferentes motivos. Se podría obtener una visión mucho mayor si se obtiene un aforo vehicular y así realizar la comparativa con las normas.

### **3.4.- Entorno geográfico.**

Se inicia señalando que el proyecto se encuentra en México un país de aproximadamente 2 millones de km<sup>2</sup> lo cual lo lleva a ser el decimocuarto lugar entre los países mundial con el mayor territorio, dicho país limita al norte con los Estados Unidos de América, al este con el Golfo de México y el Mar Caribe, al sur con Belice y Guatemala y al oeste con el Océano Pacífico. México contiene varias islas, entre las que destacan los archipiélagos de Revillagigedo y las islas Marías, en el pacífico, frente a baja California, la costa de Sonora y en la cuenca atlántica.



Imagen 3.2.- Localización de México ante el continente americano.

Fuente: [www.oas.org/electoralmissions/Portals/4/Skins/MOE2/mexicosm.jpg](http://www.oas.org/electoralmissions/Portals/4/Skins/MOE2/mexicosm.jpg)

Dentro de México se encuentra localizado el estado de Michoacán de Ocampo, el estado donde se está realizando proyecto, dicho estado tiene una extensión de territorio de 59,928.0 km<sup>2</sup> y dentro del país es el estado número 16 y cuenta con 113 municipios, cuenta con un patrimonio cultural y arquitectónico, junto con sus bellezas naturales, es uno de los mejores estados para el crecimiento y desarrollo de las actividades del sector primario.



Imagen 3.3.- Ubicación del estado de Michoacán de Ocampo en Mexico.

Fuente: [www.google.com.mx/search?q=caracteristicas+de+michoacan](http://www.google.com.mx/search?q=caracteristicas+de+michoacan).

Dentro del estado de michoacan se encuentra el municipio de Nuevo San Juan Parangaricutiro, localizado al oeste del Estado, en las coordenadas 19°25' de latitud norte y 102°08' de longitud oeste, a una altura de 1,880 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Uruapan, al sur con Parácuaro y Gabriel Zamora y al oeste con Peribán y Tancítaro. Su distancia a la capital del Estado es de 135 km. Cerca de este municipio está ubicado el tramo carretero en el que se está trabajando exactamente en el Km 5+000 al 8+000.



Imagen 3.4.- Ubicación del municipio de Nuevo San Juan Parangaricutiro dentro de México, Macro localización.

Fuente: Google Earth.

### **3.5.- Macro y Micro localización.**

En la imagen satelital anterior se puede apreciar lo mencionado anteriormente que efectivamente el tramo carretero se encuentra en el municipio de Nuevo San Juan Parangaricutiro dentro del estado de Michoacán de Ocampo, México, señalando ahora con ayuda de la imagen la macro localización del proyecto.



Es de vital importancia ubicar exactamente la zona de estudio, por esta razón en la imagen 3.5 se señala la micro localización en el Km 5+000 al 8+000.



Imagen 3.5.- Ubicación del tramo 5+000 al 8+000 PARANGARICUTIRO-ANTIGUO PUEBLO DE SAN JUAN, Micro localización.

Fuente: Google Earth.

### 3.6.- Hidrografía.

Cerca de la Región de San Juan Nuevo Parangaricutiro se encuentra el río los Conejos y el manantial del mismo nombre. A pesar de que cuenta con tierras muy arenosas de las cuales se filtra el agua muy rápido aun así cuenta con corrientes de ríos ya mencionada anteriormente, estas tierras arenosas son originarias principalmente por la erupción del volcán Parícutín en 1943.

### **3.7.- Actividades de la región.**

Esta zona de San Juan Nuevo es una zona de bosque por lo tanto mucho tiempo la gente se dedicó a la tala clandestina de árboles para obtener la madera y con esta fabricar diferentes objetos o incluso manualidades, con el paso de tiempo creció rápidamente el cultivo, que después sobresalió el del aguacate, que es estos tiempos es una de las principales actividades y fuentes de ingreso de los habitantes de toda la zona.

### **3.8.- Informe fotográfico.**



Imagen 3.6.- Tramo 5+000 al 8+000 Nuevo Parangaricutiro- Antiguo Pueblo San Juan.

Fuente: Elaboración Propia.

Rapidamente se puede observar en esta imagen la obra se encuentra en muy buen estado, ya que tiene poco tiempo concluida la construcción. Se ha visto en muchos lugares como la mayoría de la gente no tiene la cultura para depositarla basura en su lugar y la arroja sobre la carretera, por lo tanto se podría decir que este es un factor que indica que la carretera no tiene mucho conclusa o es muy poco transitada.



Imagen 3.7.- Vegetación del tramo 5+000 al 8+000 Nuevo Parangaricutiro- Antiguo Pueblo San Juan.

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede apreciar en esta imagen la vegetación que más predomina en este tramo carretero, abundan muchos pinos los cuales son de vital importancia ya que gran parte de la vegetación se ha ido acabando por mano del hombre para sembrar distintos principalmente el del aguacate como se aprecia en la imagen 3.8 en la parte izquierda. Toda esta escasez de la vegetación natural tiene como consecuencia distintos daños al medio ambiente, como lo podría ser la erosión y deslaves de los terrenos. Todos estos daños no solo dañan al medio ambiente si no generan un gasto extra al momento de hacer un proyecto de construcción, se podría decir que en los terrenos con deslaves, se tendría que rellenar cuando el pavimento tenga que pasar por dicha zona.



Imagen 3.8.- Vegetación del tramo 5+000 al 8+000 Nuevo Parangaricutiro- Antiguo Pueblo San Juan.

Fuente: Elaboración Propia.

En esta imagen se muestra claramente como en cada tramo existe variedad de vegetación pero sin embargo el pavimento asfaltico se encuentra en buenas condiciones en todo el tramo, pero sin embargo habría que analizar si las dimensiones de la base, sub-base y carpeta cumplen con las necesidades de los usuarios y el tipo de pavimento construido.



Imagen 3.9.- Entorno de tramo carretero 5+000 al 8+000 Nuevo Parangaricutiro- Antiguo Pueblo San Juan.

Fuente: Elaboración Propia.

Esta imagen sirve principalmente para tener una ubicación más amplia y exacta de este tramo, pero también como el beneficio de la obra para el usuario tiene algunos resultados.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGÍA, ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.**

En este capítulo se define en que consiste un método, así como lo tipos que hay, se definen los métodos empleados y lo procedimientos que se realizaron para analizar diferentes aspectos y finalmente cumplir con la solución de esta investigación, para lograr lo mencionado se aplicaron y presentaron los cálculos para el diseño del pavimento flexible.

#### **4.1.- Método empleado.**

Un método es un camino o procedimiento que ayuda a realizar algo de forma sistemática, organizada o estructurada, para poder llegar a un fin. Tamayo (2000) dice que la metodología es la parte instrumental de la investigación. Existen diferentes métodos como lo es, el método científico, método deductivo, método inductivo, método matemático entre otros.

Por lo tanto en esta investigación que requiere de diferentes cálculos y estudios cuantitativos para diseño del pavimento flexible, se aplicara el método matemático. En esta investigación se empleó la observación la cual nos ayudó a retener más conocimiento, en investigaciones muy profundas se requiere el empleo de aparatos especiales para esta observación, se supusieron distintas actividades sobre lo que se observó en campo por lo que se presentó la hipótesis, y para poder comprobar estas suposiciones y comprobar que sean certeras se realizó una experimentación, con esto se llega a la conclusión que se aplicó un método científico.

#### **4.1.1.- Método matemático.**

El método matemático es un método cuantitativo ya que toma en cuenta los números para analizar, comprobar información, y datos, este método trata de especificar y determinar asociación o correlación de los valores o cantidades que se tienen.

En la vida cotidiana y algunas actividades, se aplican distintos métodos por ejemplo cuando se cotizan o comparan distintos objetos los cuales tienen un valor económico, esta aplicación sería muy parecida para el pavimento flexible.

La ingeniería civil se debe encargarse de que el diseño de un pavimento flexible se debe tener cantidades casi exactas ya que no se pueden generar pérdidas es por lo tanto que es indispensable usar este método matemático, y por esta razón se le conoce como ciencias exactas.

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

Una investigación es una actividad con el fin de resolver un problema y/o llegar a un fin así como tratar de explicar algunas observaciones, esto gracias a la búsqueda u obtención de conocimientos en el área que se está estudiando o analizando. Como lo menciona Hernández y Cols (2010) el enfoque cuantitativo presenta un conjunto de procesos, es un método secuencial y probatorio. No se puede brincar o eludir ningún paso, el orden es riguroso, de las preguntas que van surgiendo durante la investigación se plantea una hipótesis, tomando en cuenta las variables, se crea un proceso o un diseño para desarrollarlas, se miden o calculan

las variables por métodos estadísticos. Este proceso se puede observar en el siguiente diagrama.

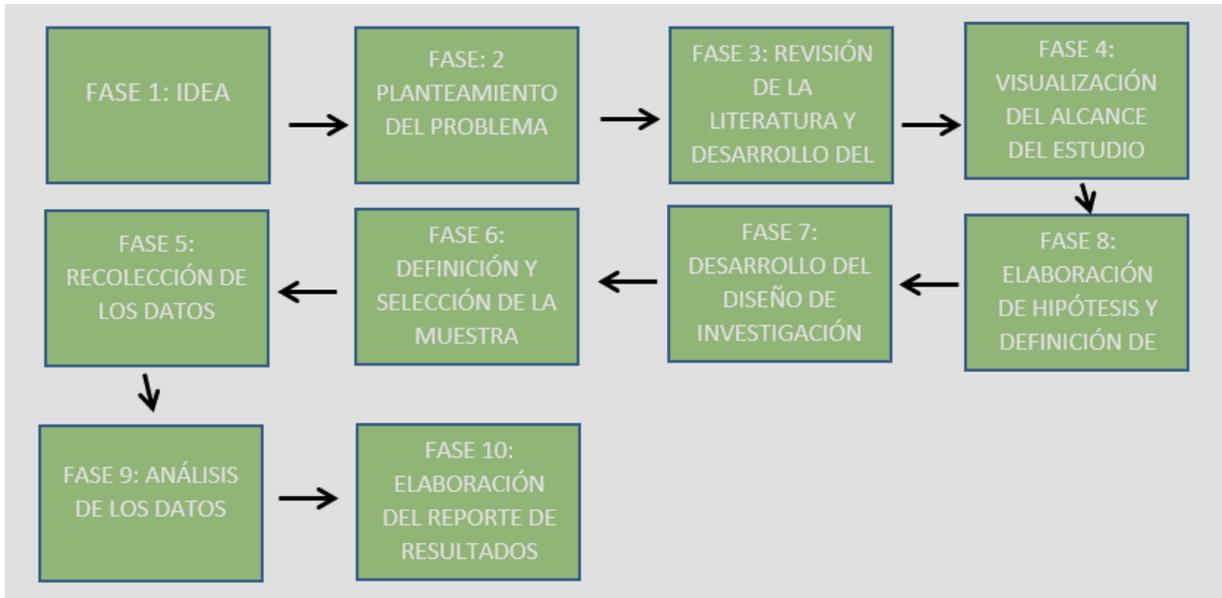


Diagrama. 4.1 El proceso cuantitativo.

Fuente: (Hernández Sampieri; 2010: 5).

En este caso toda la investigación está enfocada a los pavimentos flexibles y sus componentes y/o características. Por lo tanto se aplicará una investigación cuantitativa, ya que es un procedimiento de decisión usando cantidades numéricas las cuales pueden ser obtenidas mediante procesos de estadísticas, y así obteniendo resultados más certeros y confiables, con los que se puede tener un mayor control.

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

Se puede decir que en un alcance descriptivo “los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles importantes de



personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis''. (Hernández y cols; 2005; 117). Por lo tanto esta investigación se puede clasificar como alcance descriptivo, ya que en base al pavimento que se va a diseñar se necesita primero describir, y analizar distintas situaciones en las que se encuentre y/o los eventos.

Se puede describir esta investigación gracias a los distintos datos numéricos y de información obtenida, así como las diferentes mediciones, las cuales son indispensables para poder realizar el cálculo de diseño, por estas y otras circunstancias se utiliza el alcance descriptivo.

#### **4.3.- Diseño de investigación.**

Un diseño se realiza con el fin de estructurar la investigación mostrando las partes principales del proyecto de investigación, uno de sus fines es responder a las preguntas principales de la investigación. Se realiza un estudio de investigación diseñando los detalles forma de recolectar información indispensable para responder también preguntas en particular.

Existen tres tipos de diseño de investigación experimental, el no experimental y el casi (o cuasi) experimental. Los cuales tienen subdivisiones, en las cuales hablaremos solamente del diseño no experimental ya que se trabajará solamente con este. Pero sin embargo cabe mencionar las definiciones de cada tipo de investigación para poder comprender porque fue necesario aplicar esta investigación no experimental.

"En un estudio experimental se construye el contexto y se manipula de manera intencional a la variable independiente después se observa el efecto de esta manipulación sobre la variable dependiente". (Sampieri y Cols; 2010:150)

La investigación no experimental fue la que se aplicó en esta tesis, la cual es la que se realiza sin manipular deliberadamente variables, se trata principalmente de estudios donde no se varía de forma intencional las variables independientes para que surge un efecto sobre otras variables. Lo que se busca en la investigación no experimental es analizar fenómenos que se dan en su contexto natural y después poder analizarlos. Dentro de la investigación o diseño no experimental existen dos tipos de diseño, el diseño transeccionales y el longitudinal. Y estas también se subdividen. La transeccional en descriptivos, exploratorios y correlacionales, y la investigación longitudinal se subdivide en de tendencia y de evolución de grupo, como se muestra en el siguiente diagrama.

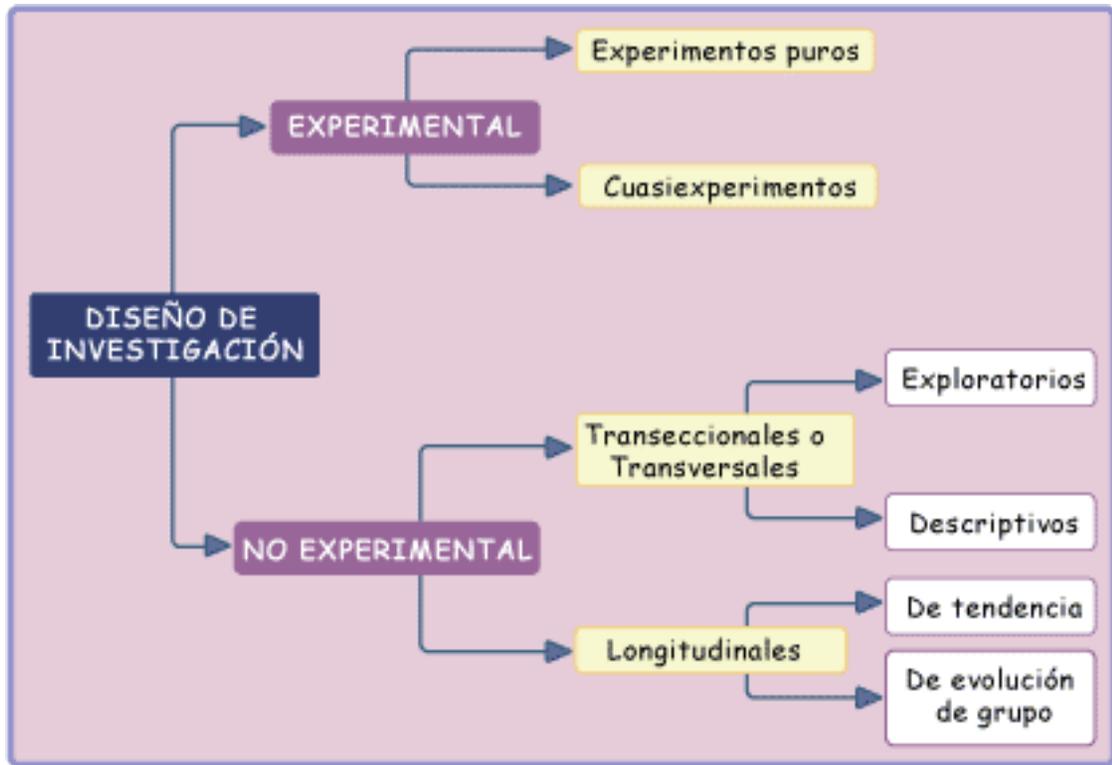


Imagen 4.1.- Clasificación de diseños de investigación.

Fuente: [www.google.com.mx/search?q=dise](http://www.google.com.mx/search?q=dise) (2015).

La investigación transeccional trabaja recolectando datos en un solo tiempo su función es describir variables y observar su incidencia en un tiempo determinado.

La finalidad de la investigación descriptiva es la observación que se presenta en el momento único Y poder obtener una descripción. Éste tipo de diseño se puede utilizar en algunas ocasiones como una descripción comparativa, por ejemplo se puede comparar nuestra investigación el pavimento flexible con otro del mismo material o tipo.

Con respecto al diseño transversal correlacionar sirve para hacer relaciones de una variable con otra en un momento único, pueden ser correlaciones dentro de este diseño correlacionarse se verifican objetos, categorías y variables.

Para esta investigación o tesis que se está realizándose considera que cuenta con datos recolectados en un momento único recaudando variables y analizando su incidencia, por esta razón se opta por elegir un diseño transversal o transeccional.

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

En esta investigación gracias a la observación cuantitativa se han ido almacenando datos gracias al aforo vehicular, el cual tienen como función realizar un conteo de vehículos que transitan en camino durante un tiempo determinado siempre y cuando se toman en cuenta los tipos de vehículos y sus características ya que algunos suelen ser ligeros, pesados, grandes y/o más pequeños. Debido a que el tramo que se está analizando es de tipo D no transitan sobre los vehículos muy pesados.

También hay vehículos de tipo turísticos, comerciales ligeros, industriales ligeros y pesados, entre otros, los vehículos industriales pesados cuentan con más capacidad de carga así como mayor número de ejes, esto se menciona para recordar que todas estas y otras características se deben tomar en cuenta en aforo vehicular.

Es conveniente apoyarse de todas las fuentes posibles para tener un exitoso aforamiento, en este caso del tramo carretero una fuente importante serían las personas que se encuentran cerca de su entorno, por ejemplo nos pueden dar una mayor visión y conocimiento de que tipo de vehículos transitan más seguido por este

tramo si no se realizara dicho aforo. Con ayuda del INEGI se pueden conocer el aproximado de vehículos que pasan por el tramo, claro que son valores aproximados ya que en ciertas horas y días de la semana el tránsito cambia constantemente; en este caso no se cuenta con información sobre el aforo por parte de la INEGI ya que es un tramo relativamente nuevo y aun no se le han aplicado los estudios, sin embargo más adelante se mostraran los resultados que se tuvo que realizar para poder realizar el diseño del pavimento.

Por otra parte es necesario tener las distintas vistas del tramo carretero, en el que se hizo un aforo vehicular, tratando de tener una idea clara y facilitar el análisis de dicho tramo, por lo que fue necesario trazar puntos y elaborar un plano en el programa AUTOCAD (mostrados al final de la investigación). Se ocuparon varias hojas de cálculo en el programa EXCEL, para poder diseñar y proponer nuevos espesores para el pavimento, basándose siempre en las normativas y especificaciones. Todo esto con el fin de detectar donde se podría mejorar dicho tramo respecto a sus espesores.

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

Una vez analizado que todo estuviera en regla en que no hubiera limitantes o complicaciones se procedió a hacer los cálculos para el diseño. Con la ayuda de los programas de computadora como los de la familia Microsoft office llamados Word y Excel así como algunos otros programas complejos, encausados o efectivos para la ingeniería civil Como lo es el AutoCAD; este es un programa es muy eficiente ya que

sirve para un diseño asistido por computadora y un pre dimensionamiento del proyecto que se deseé, así como una vista más clara y sencilla para el diseño.

Para hacer el diseño del pavimento flexible de esta investigación, se realizará mediante el método de diseño de la UNAM; tomando en cuenta las siguientes consideraciones; una vida útil de 20 años, así como una tasa de crecimiento del 1.5% anual y un Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 268 vehículos, de los cuales se dividen en la carga transmitida por cada uno de sus ejes; estos datos son para un camino de tipo D que cuenta con 2 carriles.

Para este diseño se puede tomar un nivel de confianza de 0 a 1, mientras descienda este nivel más se reduce el espesor del pavimento, y por ende se reducen los costos, pero se debe tomar un valor apropiado para que los espesores cumplan con las normativas; por lo tanto se tomará un nivel de confianza de 0.8. Para poder llegar a este valor se tomaron en cuenta varias consideraciones como la importancia que tendrá este pavimento, el tipo y cantidad de vehículos que transitaran sobre él, que tanto se conservara la estructura durante su vida útil de 20 años, así como los fenómenos externos o naturales que lo puedan afectar.

Al momento de estar diseñando se observarán los espesores de la base, subbase y subrasante cumplan con las normativas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). En ocasiones se presentan suelos con un VRS muy bueno, lo que genera que se reduzca considerablemente el espesor de la capas como la subrasante, incluso a veces no es necesario colocar dicha capa o hacer un mejoramiento de ésta.

Con los estudios de mecánica de suelos aplicados sobre el terreno natural se obtuvieron dos valores de VRS, uno con material seco de 66.56% y otro con material saturado de 74.12%. Se tomará para los cálculos el VRS de 66.56% ya que es el más desfavorable, esto con la finalidad de obtener un buen diseño del pavimento.

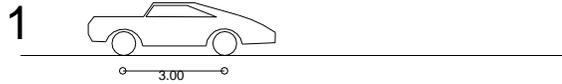
#### **4.6.- Análisis del tránsito acumulado para ejes sencillos de 8.2 ton.**

A continuación se presenta el cálculo realizado mediante el método de la UNAM, por medio de este se consideró una vida útil de 20 años con un tránsito variable  $\Sigma L$ , este tránsito representado en ejes sencillos de 8.2 ton.

Mediante tablas se muestra el aforo vehicular realizado durante 3 días, en distintas horas del día en el tramo carretero Parangaricutiro-Antiguo Pueblo de San Juan del km 5+000 al 8+000 en la localidad de San Juan; con el fin de observar y estimar la cantidad de vehículos que circulan a diferentes tiempos, y poder comprender como salieron cada uno de los valores.

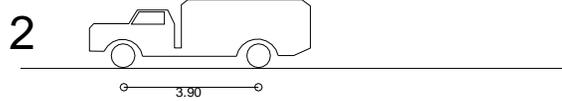
Primero se presenta la clasificación de los vehículos en base a su peso para poder entender cuántos pasaron por este tramo carretero en determinado tiempo, como lo muestra el aforo.

Ap



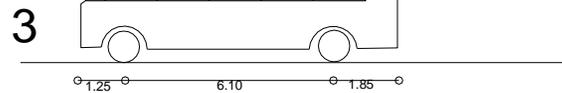
Ac

Carga =2.5 ton



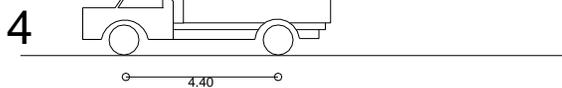
B

25 pasajeros



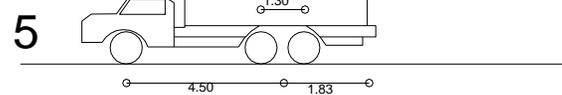
C2

Carga =5.1 ton



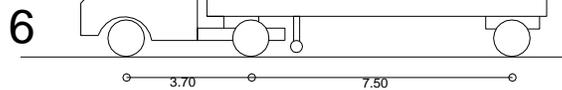
C3

Carga =9.7 ton



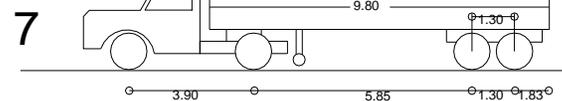
T2-S1

Carga =9.7 ton



T2-S2

Carga =13.3 ton



T3-S2

Carga =16.0 ton

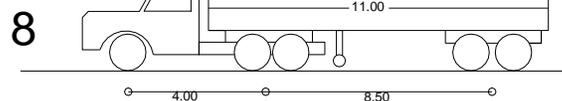


Imagen 4.2.- Conversión de vehículos a ejes equivalentes.

Fuente: [www.saferbo.com/nuevo/imagenes/mensajeria/camiones2.jpg](http://www.saferbo.com/nuevo/imagenes/mensajeria/camiones2.jpg)



Aforos vehiculares con los vehículos que transitan en este tipo de carretera:

Aforo Vehicular				
Día 1				
Tipo Vehículo	Mañana 1 Hr	Medio Día 1 Hr	Tarde 1 Hr	Promedio/Hr
Ap	8	4	2	4.67
Ac	18	22	24	21.33
B	2	0	1	1
C2 (2 EJE)	6	2	4	4
C3 (3 EJES)	2	0	0	0.67
T2-S1	0	0	0	0
TOTAL				31.67

Aforo Vehicular				
Día 2				
Tipo Vehículo	Mañana 1 Hr	Medio Día 1 Hr	Tarde 1 Hr	Promedio/Hr
Ap	10	5	4	6.33
Ac	20	19	22	20.33
B	1	2	0	1
C2 (2 EJE)	5	3	4	4
C3 (3 EJES)	2	1	2	1.67
T2-S1	0	0	0	0
TOTAL				33.33

Aforo Vehicular				
Día 3				
Tipo Vehículo	Mañana 1 Hr	Medio Día 1 Hr	Tarde 1 Hr	Promedio/Hr
Ap	9	3	5	5.67
Ac	18	24	21	21.00
B	2	2	1	1.67
C2 (2 EJE)	8	4	6	6
C3 (3 EJES)	1	1	2	1.33
T2-S1	0	0	0	0
TOTAL				35.67

En la siguiente grafica se muestran los tres días de aforo pero ya en resumen de las distintas horas en que se aplicó el aforo, y gracias a esto, se obtuvo el transito promedio diario anual (TPDA), el cual sirve también para calcular los coeficientes de daños de los vehículos que ejercen sobre la superficie, mostrados posteriormente en una tabla.

Tipo Vehículo	Día 1 Prom/ Hr	Día 2 Prom/ Hr	Día 3 Prom/ Hr	Prom total/ Hr	Porcentajes de vehículos	Vehículos en el carril de diseño
Ap	4.67	6.33	5.67	5.56	16.56	44.4
Ac	21.33	20.33	21	20.89	62.25	167.11
B	1	1	1.67	1.22	3.64	9.78
C2 (2 EJE)	4	4	6	4.67	13.91	37.33
C3 (3 EJES)	0.67	1.67	1.33	1.22	3.64	9.78
T2-S1	0	0	0	0	0	0.00
			Suma total	33.56	Total	
			TPDA	268.44	100.00	268.44

Por lo tanto la tabla describe que pasan aproximadamente 268 vehículos de distintas características cada día.

Se aplicara la fórmula de Coeficiente de Acumulación de Tránsito (CAT o C') para posteriormente calcular el mismo CAT o C' pero con ayuda de la gráfica.

Tomando en cuenta que se tiene una tasa de crecimiento (r) de 1.5% y considerando una vida útil del proyecto o años de servicio (P) de 20 años, se puede calcular el coeficiente de acumulación de tránsito (C' o CAT) con la siguiente fórmula.

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

Donde:

CAT o C': coeficiente de acumulación de tránsito.

r: tasa de crecimiento anual.

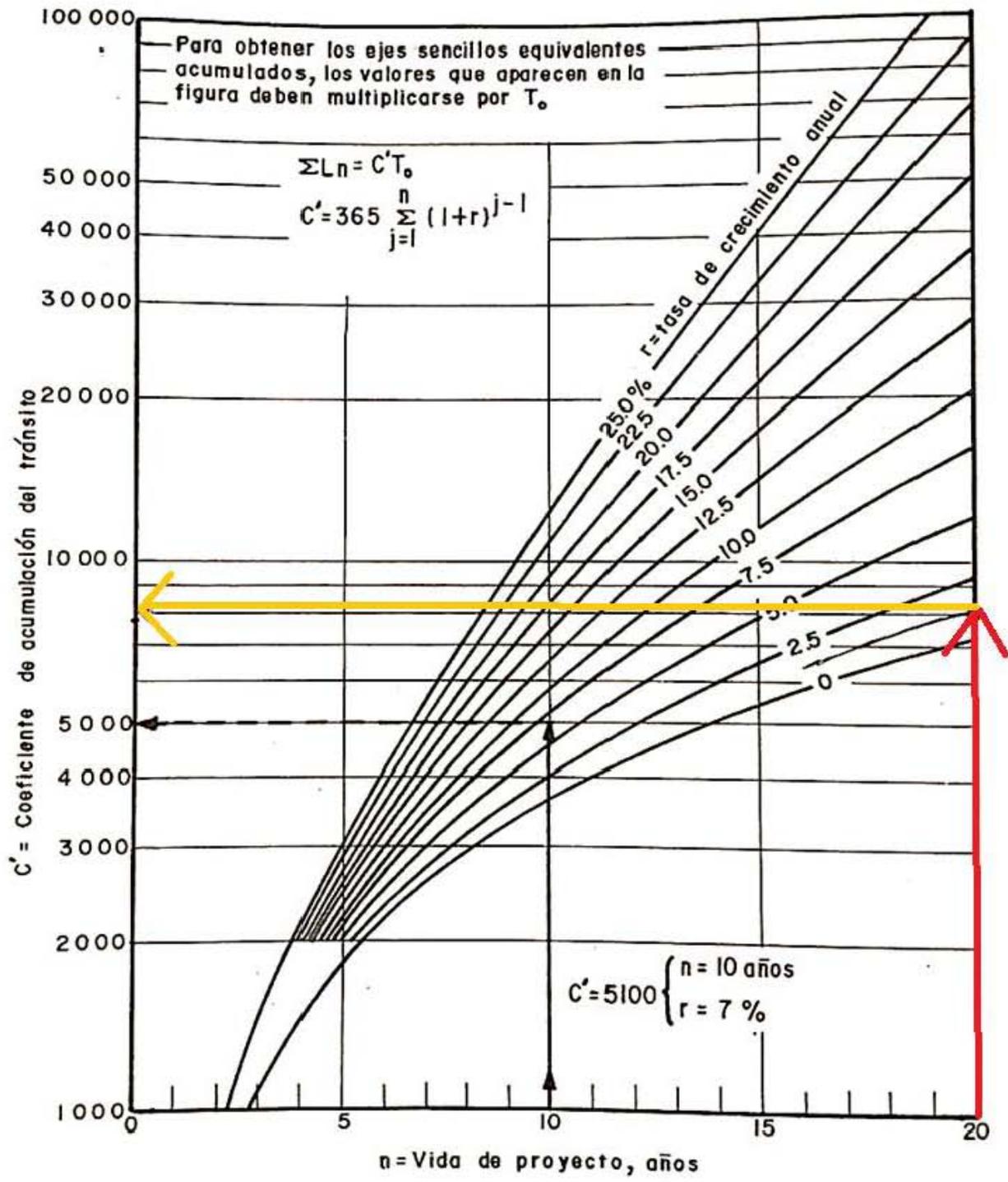
P: años de servicio.

$$C' = \frac{[(1+0.015)^{20}] - 1}{0.015} \quad (365)$$

Obteniendo como resultado un CAT o C' de 8440.

A continuación se calcula el valor del Coeficiente de Acumulación de Tránsito (CAT o C') por medio de la gráfica siguiendo los próximos pasos; se posiciona el valor de la vida útil del proyecto (P=20) en el eje horizontal, después se sube verticalmente hasta topar a la línea donde se encuentre la tasa de crecimiento (r=1.5%) y por último se desliza hacia la izquierda hasta topar con un nuevo valor arrojado de coeficiente de acumulación del tránsito CAT o C' el cual fue de 8300 aproximadamente, y por lo tanto es correcto ya que se asemeja al primer valor.

Se podría decir que el resultado de la gráfica ayuda para corroborar que sea correcto el resultado de CAT o C' primeramente obtenido por la fórmula, o bien que se encuentre dentro del mismo margen.



Grafica 4.1.- Gráfica para obtener ejes sencillos equivalentes.

Fuente: Propia.

Para poder obtener el daño que ejerce todo el tránsito sobre el pavimento se tiene que hacer el cálculo con la ayuda de valores ya establecidos en una tabla de coeficientes de daño y con el tránsito medio diario en anual (T).

Debido a que estos cálculos son necesarios para poder diseñar y/o hacer una propuesta de un pavimento flexible que cumpla con las normas, por lo tanto no se conocen los espesores de cada capa se considera lo siguiente:

Para el diseño de la carpeta y la base se calcula con una profundidad  $z=0$  cm.

En el diseño de la sub base y terracerías se calcula una profundidad  $z= 15$ cm

Por lo tanto primero se extraen de la tabla los coeficientes de daño de cada tipo de vehículo, registrándolos en la tabla que se muestra más adelante, y finalmente conocer los valores de los ejes equivalentes de 8.2 toneladas ( $T=0$ ) y ( $T=15$ ).

Estos se calcularon de la siguiente forma; multiplicando los coeficientes de las profundidades  $z=0$  y  $z=15$  por la cantidad de vehículos que se estiman pasarán sobre el tramo, y así sucesivamente con cada tipo de vehículo, finalmente se suman todos los ejes equivalentes para encontrar el valor total de ejes equivalentes en cada profundidad.

Vehículos	Vehículos en el carril de diseño	Coeficiente de daño vehículos cargados.				Ejes equivalentes de 8.2 ton.	
		Z=0	Z=15	Z=22.5	Z=30	Z=0	Z=15
Ap	44	0.005	0	0	0	0.2024	0
Ac	167	0.34	0.042	0.011	0.01	56.78	7.014
B	10	2	1.15	1.1	1.1	20	11.5
C2	36	0.88	0.465	0.448	0.442	31.68	16.74
C3	10	0.88	0.675	0.658	0.653	8.8	6.75
T2-S1	1	3	1.74	1.715	1.707	3	1.74
T2-S2	0	4	1.57	1.48	1.48	0	0
T3-S2	0	5	1.3	1.05	1.025	0	0
	268				Σ=	120.46	43.74

El diseño se realiza con ejes equivalentes de 8.2 ton. Por esa razón se usan solamente la sumatoria de las últimas dos columnas de la derecha, dicho de otra forma los dos totales del tránsito medio diario en anual,  $T_0$  y  $T_{15}$

T0=	120.46	Ejes equivalentes de 8.2 ton.
T15=	43.74	Ejes equivalentes de 8.2 ton.

Calculo del tránsito equivalente acumulado, con ayuda de la siguiente fórmula.

$$L_n = C' \times T$$

Donde:

$L_n$  : Tránsito acumulado durante "n" años de servicio y "r" tasa de crecimiento.

CAT o  $C'$ : Coeficiente de acumulación de tránsito para "n" años y "r" tasa de crecimiento.

T: Tránsito medio diario anual.

Sustituyendo valores:

Con T0

$$L_n = C' \times T$$

$$L_n = 8440 \times 120.46$$

$$L_n = 1,016,682.4$$

Con T15

$$L_n = 8440 \times 43.74$$

$$L_n = 369,165.6$$

Resultados del tránsito equivalente acumulado con profundidad de 0cm y 15cm.

$L_0 =$	1,016,682.4	Ejes equivalentes de 8.2 ton.
$L_{15} =$	369,165.6	Ejes equivalentes de 8.2 ton.

#### **4.7.- Determinación de los espesores del pavimento flexible.**

Después de obtener resultados del valor relativo de soporte del terreno natural por medio de los estudios de mecánica se obtuvieron valores altos de los cuales se usó el menor de 66.56% ya que la SCT señala que se deben usar siempre los mínimos o desfavorables. Entonces al comparar el VRS obtenido con la norma N-CMT-1-03/02 de la SCT que señala que el VRS mínimo para subrasante es de 20%, se deduce que no es necesaria la colocación de esta capa subrasante.

La norma N-CMT-4-02-002/04 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes el VRS mínimo para las bases hidráulicas es de 80%, y la norma N-CMT-1-02/02 el VRS mínimo para subyacentes es de 10% por lo tanto, al hacer el diseño se obtuvieron los espesores mostrados en la tabla siguiente. Recordando primeramente que el nivel de confianza se selecciona a criterio del diseñador, el cual se usó de 80% por lo tanto C es de 0.842; con estos datos ya se pueden calcular los valores de VRSz con la fórmula:  $VRSz = VRS(1-(C))$  por ejemplo con los datos del terreno natural sustituyendo  $VRSz = 66(1-(0.842)) = 10.428$ ; y así sucesivamente todos los valores los cuales servirán posteriormente para graficar.



Capa	Vrs prom. en % VRS		Vrs proy. en % VRSz	Ejes equivalentes de proyecto	Espesores obtenidos de grafica
Terreno Nat.	66		10.428	3.69E+05	Z5= 30
Subrasante	20	min. norma	3.16	3.69E+05	Z4= 60
Subbase	50	min. norma	7.9	3.69E+05	Z3= 35
Base Hidraulica	80	min. norma	12.64	3.69E+05	Z2= 25

Estos espesores se obtuvieron con la ayuda de la siguiente gráfica, así como los valores de la tabla anterior; todo esto con el fin de ir obteniendo una propuesta para el diseño del pavimento. Para obtener los espesores de cada una de las capas que conforman el pavimento, se ubicó en la parte inferior de la gráfica, los valores los ejes equivalentes, el cual es de 3.69E+05, después se ubica cada uno de los valores de VRSz en la parte superior de la gráfica. Ya obtenido el valor se va bajando en forma recta hasta topar con la curva y en el punto donde se intersecte con la curva deslizarse hasta la derecha hasta encontrar el espesor de cada de las capas del pavimento.



Primeramente se calcularon los espesores de las capas del pavimento mediante la gráfica, como lo son la de terreno natural, subrasante, subbase y base hidráulica; a continuación se pretenden volver a calcular pero ya no con graficas sino con fórmulas, con el propósito de ahora obtener el valor de la carpeta.

Es necesario sustituir los espesores (Z) anteriores de las capas en estas fórmulas para que arrojen los resultados los mismos espesores, pero ahora analizando y/o verificando que coincidan y sean aproximados a los anteriores.

Para poder calcular el espesor de la carpeta y la base hidráulica se tienen que aplicar las siguientes especificaciones, donde se obtienen algunos valores “a” dependiendo el tipo de carpeta que sea factible para el proyecto, sustituyendo los valores en las formulas.

a1 = 0	Para carpetas de riego.
a1 ≥ 2	Para carpetas asfálticas (se toma a1=2)
a2 = a3 = a4 = 1	Para materiales estabilizados mecánicamente

Nota: En las siguientes formulas los nuevos espesores de las capas y carpeta que se van a calcular se representa con la letra “D”

Espesor de la capa subrasante (Dsr).

$$Dsr = \frac{Z5 - Z4}{a4} = \frac{30 - 60}{1} = -30cm$$

Dsr= 0cm de Subrasante

Z5	30 cm
Z4	60 cm
a4	1 cm

Da un valor negativo, por lo tanto, no es necesaria a capa de Subrasante y se podría decir que  $D_{sr} = 0\text{cm}$ .

Espesor de la sub base ( $D_{sb}$ ).

$$D_{sb} = \frac{Z_4 - Z_3}{a_3} = \frac{60 - 35}{1} = 25\text{cm}$$

$D_{sb} = 25\text{cm}$  de Sub base.

$Z_4$	60 cm
$Z_3$	35 cm
$a_3$	1 cm

Espesor de base hidráulica ( $D_{bh}$ ) y carpeta asfáltica ( $D_c$ ).

Tomando en cuenta que  $a_1 = 2$  y  $a_2 = a_3 = a_4 = 1$ .

$$Z = (a_1)(D_c) + (a_2)(D_{bh})$$

$$35 = (2)(D_c) + (a_2)(D_{bh})$$

$$35 = 10 - D_{bh}$$

$$D_{bh} = 35 - 10$$

$$D_{bh} = 25\text{cm}$$

$$2D_c = 10$$

$$D_c = 10/2$$

$$D_c = 5\text{cm}.$$

Después, de realizar despejes y operaciones básicas de obtienen los espesores:

Espesor de base hidráulica es de 25cm.

Espesor de carpeta es de 5cm.

Revisando todas las normativas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) los espesores propuestos cumplen con los requisitos, para así poder brindar una vida útil mayor a la que tendría con el pavimento existente.

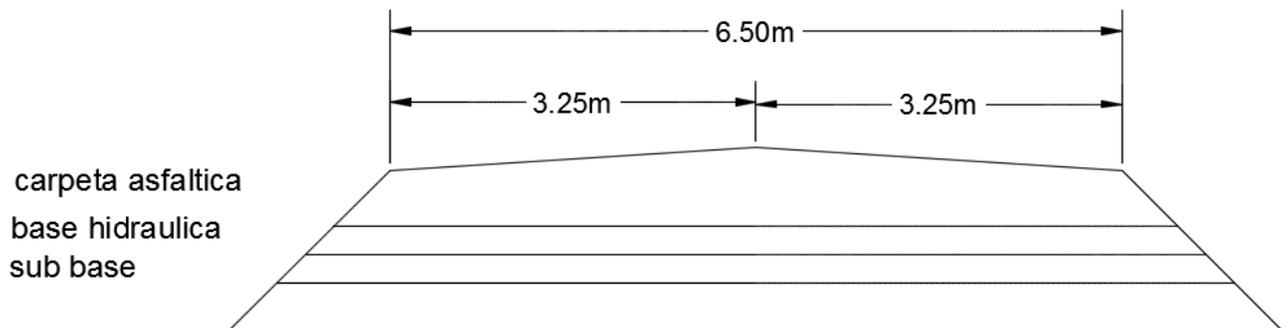
Capa:	Esp. calc.	Esp. mínimo.	Esp. Propuesto
Carpeta asf.	5	5	5 cm
base hidráulica	25	12.5	25 cm
subbase	25	15	25 cm
subrasante	-30	20	0 cm

#### **4.8.- Estructuras de pavimento.**

En el siguiente apartado se presentarán los espesores del pavimento flexible por medio de unas tablas, tanto del que se propuso con el ya existente, esto con el fin de poder localizar rápidamente los cambios que se hicieron en los espesores por medio de la propuesta de diseño.

**-Estructura del pavimento propuesto en esta tesis.**

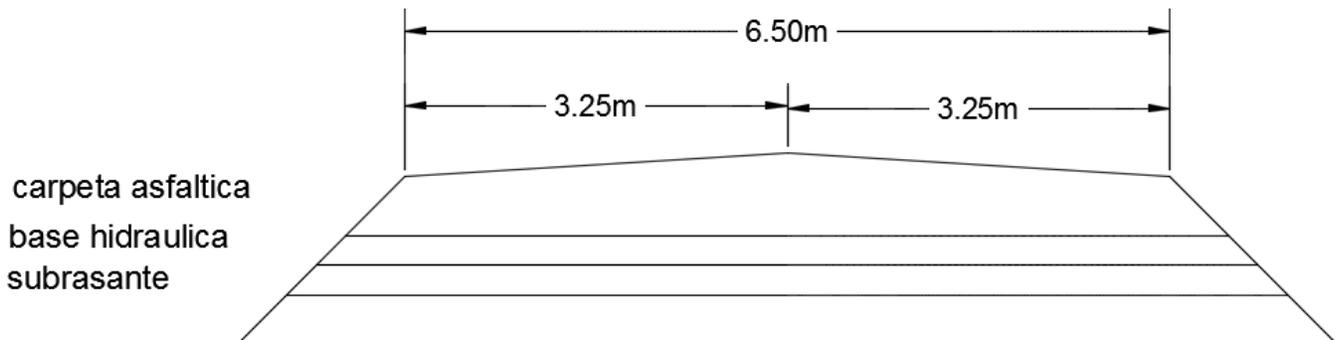
<b>Estructura del pavimento propuesto</b>	
Capa	Espesor (cm)
carpeta asfáltica	5
base hidráulica	25
Sub base	25
Subrasante	0



En la tabla anterior se mencionan los espesores (representados en centímetros) y el orden de las capas de la estructura de pavimento mostrada también en esta parte que cuenta con 2 carriles cada uno de 3 metros. Las cuales que se ocupan en la estructura son: carpeta asfáltica, base hidráulica y sub base.

**-Estructura del pavimento flexible existente en el tramo carretero Parangaricutiro-Antiguo pueblo de San Juan Nuevo del km 5+000 al 8+000.**

<b>Estructura del pavimento existente</b>	
<b>Capa</b>	<b>Espesor (cm)</b>
carpeta asfáltica	Doble riego de sello
base hidráulica	20
subrasante	20
cuerpo del terraplén	variable



En la estructura ya existente que se está analizando se pueden encontrar las capas del pavimento en el siguiente orden: carpeta asfáltica, base hidráulica, subrasante y cuerpo del terraplén, esta estructura está compuesta por dos carriles de los cuales cada uno tiene un ancho de 3.25 metros, por lo tanto el ancho total de los carriles es de 6.5 metros, mostrados en la figura anterior.

Para poder realizar el diseño del pavimento se tuvo que haber tomado en cuenta la problemática que se puede presentar con los espesores del pavimento ya existente. Este tipo de problemática se puede presentar por causa del intemperismo, efectos del agua, y por efectos del tránsito las cuales afectan el comportamiento mecánico de los materiales térreos.

Después se analizan las normas que van a regir o se necesitan emplear; y con ayuda de estas tener un porcentaje o rango de los espesores que se tendrán en cada una de las capas de la estructura; dependiendo los materiales térreos que se presenten en el terreno natural o los que se piensan trasladar del banco más cercano. Cada uno de estos materiales teniendo diferentes características con el propósito de realizar una estructura adecuada con el orden de las capas correspondiente y el empleo o aplicación de las mismas adecuado.

Muchas veces se tiene que tomar en cuenta los costos de conservación y operación del transporte, dependiendo la estructura que se use, también se tiene una referencia de la construcción inicial, pero en esta investigación no se habla de presupuesto, simplemente se hace una propuesta para la mejora del pavimento para que cumpla exitosamente con todas las cargas este tramo de pavimento flexible, para lograr ofrecer un buen servicio al usuario.



## **CONCLUSIÓN.**

En esta investigación se logran definir los conceptos generales de pavimentos flexibles como rígidos, dando más hincapié a los flexibles, ya que es de lo que trata investigación; gracias a esto se comprendieron las partes que conforman un pavimento como lo son las capas y/o elementos que conforman un pavimento, así como la importancia de cada una de ellas; las cuales son la carpeta asfáltica, base, sub base, subrasante, rasante, etc.

El objetivo general es explicar que es un pavimento flexible para posteriormente analizar el tramo carretero verificando que cumpla o no con las normativas, así como realizar una propuesta de diseño, la cual cumpla de manera exitosa con el tipo de carretera que se presenta, para poder lograr estos aspectos se tiene como objetivo particular la prueba de VRS, así como el aforo vehicular, analizar las normativas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), las cuales rigen parámetros como los espesores de las capas del pavimento dependiendo de distintas situaciones; para verificar que cumpla o no el pavimento flexible con las normativas ya mencionada y proponer un diseño de pavimento flexible sobre dicho tramo de Parangaricutiro-Antiguo Pueblo de San Juan Nuevo en el km 5+000 AL 8+000.

Se mencionó el impacto que tiene un pavimento ante la sociedad y dependiendo la zona donde se realice en que sectores beneficia más; se analizó cómo se comporta ante distintos factores ya sea de cargas o de intemperismo (acción combinada de procesos climáticos, biológicos, etc. Este factor afecta

demasiado una estructura por eso se debe de tener el correcto proceso al momento de construir un pavimento, para reducir el costo de mantenimiento de dicha estructura una vez concluida su vida útil, para la cual está diseñado, en este caso se utilizó para una vida útil de 20 años.

Se realizó un aforo vehicular, y con ejes equivalentes de 8.2 ton para poder estimar las cargas que se aplican sobre el pavimento y el coeficiente de daño que hacen los vehículos sobre dicho pavimento.

Una vez logrando tener la respuesta de lo siguiente, ¿Es el pavimento flexible existente adecuado para tramo carretero Parangaricutiro-Antiguo Pueblo de San Juan Nuevo en el km 5+000 AL 8+000? se puede dar por concluida esta investigación ya que fue el objetivo principal del tema.

Para obtener una respuesta se tuvo que analizar si el pavimento flexible ya existente en el tramo San Juan Nuevo del km 5+000 al 8+000 cumpla con los espesores adecuados y por ende con las normativas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); para esto se analizaron muestras de tierra del terreno natural para obtener un valor de VRS y después de distintas revisiones se llega a la conclusión de que los espesores del tramo carretero existente no son los óptimos para este tipo de carretera D; sin embargo si cumplen algunas capas con los espesores; las que no cumple son la carpeta asfáltica la cual solamente colocaron doble riego de sello, siendo que lo correcto hubiese sido colocar una carpeta con espesor mínimo de 5 centímetros. También se observó que no era necesaria la colocación de la subrasante ya que se encontró un Valor Relativo de Soporte (VRS) alto en el terreno natural, el cual es apropiado para sostener esta estructura y las

cargas de los vehículos; por esta razón se elimina la subrasante en la propuesta de pavimento, se aumentó el espesor de la base hidráulica y la sub base.

Por otro lado, se supo que hay distintos métodos para diseñar un pavimento pero el que se usó el método de la UNAM ya que es muy sencillo y seguro de usar. Cabe recalcar que los costos de los pavimentos flexibles son más bajos que los de un pavimento rígido, es por esta razón que en México en muchos Estados se emplea este pavimento flexible para tramos mucho más largos que los de zonas urbanas; aunque se debe recordar que el costo de mantenimiento es caro comparado con el pavimento rígido. Sin embargo en muchas ocasiones no se realiza dicho mantenimiento a los pavimentos flexibles por lo tanto se deterioran rápido por los factores climáticos como el agua o lluvias, cambios fuertes de temperaturas en las zonas desérticas.

Es de vital importancia que las distintas capas de materiales pétreos y la carpeta asfáltica, tenga los espesores adecuados para un ahorro económico, pero también para soportar las cargas de los vehículos y evitar que este se deteriore rápido, tratando siempre de reducir el constante mantenimiento del mismo pavimento.

## BIBLIOGRAFÍA.

Crespo Villalaz, Carlos. (2004)

MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES

Ed. Linmusa, México

Coronado Iturbide, Jorge. (2002)

Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos

Ed. Guatemala.

Cocco Guerrero, Christian Rafael (2012)

“Revisión de la estructura de pavimento flexible en el tramo carretero Carapan-Uruapan del Km 16+000 al 17+000 en la localidad de San Lorenzo.

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

Cuara Isidro, Jesús Alberto (2008)

“Propuesta del proceso constructivo de la construcción de la carretera Nuevo Parangaricutiro- Antigua Pueblo de San Juan Nuevo: del tramo 5+000 a km 11+000 del Municipio de Nuevo Parangaricutiro Michoacán “

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

Crespo, Carlos (2004)

## VÍAS DE COMUNICACIÓN

Ed. Limusa, México

Juárez Badillo, Eulalio. (2004)

## MECÁNICA DE SUELOS (tomo 1)

Ed. Limusa, México

Juárez Badillo, Eulalio. (2004)

## MECÁNICA DE SUELOS (tomo 2)

Ed. Limusa, México

Martínez Chávez, Octavio. (2001)

“Diseño del Pavimento Flexible del Camino Libramiento Oriente a la Colonia Manuel Pérez Coronado en Uruapan, Mich.”

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

Madrigal Alarcón Cesar Ignacio, Paz Dávalos José Antonio (2003)

“Comparativo entre el diseño del pavimento asfáltico e Hidráulico para el proyecto Boulevard Paseo de la Revolución en Uruapan Michoacán”

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

## OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN.

<http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/09/componentes-de-un-pavimento.html>

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7340/Capitulo7.pdf>

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/10761/Capitulo1.pdf>

<http://infoconstrucivil.blogspot.mx/2009/03/carretera.html>

<http://www.tecnicas-de-estudio.org/investigacion/investigacion42.htm>

<https://www.google.com.mx/search?q=sistema+unificado+de+clasificacion+de+suelo&biw>

[https://www.google.com.mx/search?q=fases+del+suelo&rlz=1C1AVNA\\_enMX609MX609&es](https://www.google.com.mx/search?q=fases+del+suelo&rlz=1C1AVNA_enMX609MX609&es)

<https://www.google.com.mx/search?q=maquina+para+obtener+valor+relativo+de+soporte&biw=960>

<http://www.oas.org/electoralmissions/MisionesElectorales/M%C3%A9xico2009/FichaT%C3%A9cnica/Informaci%C3%B3nGeneralsobreM%C3%A9xico/tabid/840/language/en-US/Default.aspx>

[www.oas.org/electoralmissions/Portals/4/Skins/MOE2/mexicosm.jpg](http://www.oas.org/electoralmissions/Portals/4/Skins/MOE2/mexicosm.jpg)

<http://normas.imt.mx/busqueda-desplegable.html#CAL>

# Anexos

