

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 CARAPAN-URUAPAN DEL KM 16+000 AL 17+000 EN LA LOCALIDAD DE SAN LORENZO.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Christian Rafael Cocco Guerrero.

Asesor:

Ing. Sandra Natalia Parra Macías.

Uruapan, Michoacán, 17 de Abril de 2012.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS.

A Dios:

Primeramente por darme las cualidades con las que cuento y por ser la guía que me ha llevado por el buen camino.

A mi madre:

Laura E. Cocco Gro. por darme la oportunidad del estudio y las grandes enseñanzas que me ha inculcado a través del tiempo y por brindarme un gran hogar en el cual siempre se han inducido buenos valores.

A mi abuela, hermanos y familia:

Evelia Guerrero, Laura Fernanda y Brian Santiago, por ser mi motivación para alcanzar mis objetivos y por brindarme su cariño y tanto apoyo que me han dado.

A mi director, Ing. Anastasio Blanco Simiano:

Por ser una gran persona muy de confianza la cual nos brinda siempre su experiencia y conocimientos en el ámbito de la ingeniería, también se agradece su generosidad y amistad.

A mi asesora de tesis, Sandra Natalia Parra Macías:

Por ser una gran modelo a seguir y por su asesoramiento durante la presente investigación, y por su amistad.

Al Lic. Juan Luis Moreno:

Por su asesoramiento y disposición durante todo el lapso de la investigación y por su amistad, también por su paciencia.

Al Ing. Esteban Brito y su personal:

Por su asesoramiento y apoyo para las pruebas necesarias dentro de la presente tesis, y a su grupo de personal de igual manera por su asesoramiento.

ÍNDICE.

Introducción.

Antecedentes.	1
Planteamiento del problema.	4
Objetivo.	5
Pregunta de investigación.. . . .	5
Justificación.	6
Marco de referencia.	7

Capítulo 1.- Estructura del pavimento.

1.1 Definición del pavimento.	8
1.2 Características de los materiales pétreos.	10
1.3 Tipos de pavimentos.	12
1.4 Pavimentos flexibles.	12
1.4.1 Rebajos asfálticos.	22
1.4.2 Emulsiones asfálticas.	23
1.4.3 Carpetas asfálticas.	24
1.4.3.1 Sistema por riegos	24
1.4.3.2 Mezclas en el lugar o en frío.	26
1.4.3.3 Carpetas de concreto asfáltico.	29
1.5 Pavimento rígido.	34

Capítulo 2.- Mecánica de suelos.

2.1.- Suelo.	38
2.2.- Fases del suelo	43

2.3.- Clasificación de suelos.	47
2.4.- Prueba de Valor Relativo de Soporte (VRS).	58

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

3.1.- Generalidades.	64
3.2.- Objetivo.	66
3.3.- Resumen ejecutivo.	66
3.4.- Entorno geográfico.	67
3.5.- Macro y micro localización.	68
3.6.- Hidrografía.	70
3.7.- Actividades de la región.	70
3.8.- Informe fotográfico.	70

Capítulo 4.- Metodología, análisis e interpretación de resultados.

4.1.- Método empleado.	75
4.1.1.- Método matemático.	75
4.2.- Enfoque de la investigación.	76
4.2.1.- Alcance de la investigación.	76
4.3.- Diseño de la investigación.	77
4.4.- Instrumentos de recopilación de datos.	79
4.5.- Descripción del procedimiento de investigación.	79
4.6.- Análisis e interpretación de resultados.	81
4.7.- Análisis del tránsito acumulado para ejes sencillos de 8.2 ton.	82
4.8.- Determinación de los espesores del pavimento.	84
4.9.- Estructuras de pavimento.	88

Conclusión..	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	90
Bibliografía..	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	92
Anexos.											



INTRODUCCIÓN.

Antecedentes.

Los primeros caminos creados por el hombre no fueron hechos para uso vehicular sino para el uso peatonal que las tribus utilizaban para la obtención de sus alimentos, los cuales después que estas se convirtieron en sedentarias estos caminos fueron tomados para fines comerciales, religiosos y para conquista.

En el momento en el que se crea la rueda la cual dio lugar a las carretas ya sea que fuesen jaladas por animales o humanos era necesario adecuar caminos mucho más cómodos y rápidos para el transporte de estas carretas.

Desde tiempos pasados los humanos ya tenían la noción de cómo mejorar sus caminos, cuando las tribus se encontraban con un camino de barro el cual les impedía un rápido desplazamiento ellos colocaban piedras en él para evitar que sus pies y carretas resbalaran o se hundieran dentro del suelo arcilloso.

Como se sabe las vías terrestres son la infraestructura fundamental y primordial para el desarrollo del país las cuales en lo general estas estructuras se encuentran en su mayoría a cargo del gobierno, también es importante saber que esta infraestructura es importante para las demás, debido a que con la comunicación de las vías terrestres es más fácil proporcionar el resto de los servicios.

Por otra parte también se sabe que las vías terrestres deben de evaluarse y diseñarse de acuerdo a las necesidades de la sociedad en la cual van a ser económicamente beneficiada.

Desde la creación de los automóviles el ser humano ha tenido la necesidad de desplazarse sobre una superficie de rodamiento la cual lo ayude a transportarse de forma más rápida y cuidando que el vehículo sufra el menor desgaste posible para darle una mayor vida a este. Para esto el hombre ha creado los pavimentos los cuales brindan mayor eficacia de desplazamiento para los usuarios.

Se dice que el pavimento es “la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendida entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento”. (Rico; 1994; 99). Se dice que el pavimento es la superestructura de una obra vial, el pavimento hace posible que los vehículos que circulen en él tengan seguridad, comodidad y un buen rendimiento económico.

Los pavimentos pueden estar conformados por una o varias capas de una gran variedad de materiales que se emplean en la construcción los cuales de los más importantes son materiales naturales como lo son los materiales pétreos.

También es necesario saber o tener siempre en cuenta que hay dos diferentes tipos de pavimentos los rígidos y los flexibles de los cuales no es nada fácil saber adecuadamente cuál de estos es más flexible o más rígido. Por lo cual estos pavimentos se diferencian mediante los materiales por los cuales están constituidos y como estos materiales están estructurados, aunque la manera más acertada para clasificar los pavimentos es saber cuáles son sus deformaciones y transmisiones de esfuerzos a las capas inferiores al momento en el cual transita un vehículo sobre la capa superficial.

A medida que los vehículos van evolucionando cada vez son más rápidos y de menor peso para los pavimentos hay una mayor exigencia en su diseño los cuales deben de proporcionarle mayor comodidad, estabilidad, pendientes, curvatura y visibilidad.

Las capas más comunes con las que cuenta un pavimento flexible es la capa sub rasante, sub base, base y la carpeta asfáltica.

Por otra parte, con respecto a la lectura de esta investigación, cabe decirse que se encontraron algunas tesis relacionadas con el tema de esta investigación tal es el caso de Diseño del Pavimento Flexible del Camino Libramiento Oriente a la Colonia Manuel Pérez Coronado en Uruapan, Mich. Del autor Octavio Martínez Chávez, 2001, cuyo objetivo es el ya mencionado tema, el cual llega a la conclusión de que el método de VRS (valor relativo de soporte) es la prueba más económica y la mejor opción para el diseño de los pavimentos en México.

También se encontró la investigación titulada COMPARATIVO ENTRE EL DISEÑO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO E HIDRÁULICO PARA EL PROYECTO BOULEVARD DEL PASEO DE LA REVOLUCIÓN EN URUAPAN, MICHOACÁN. De los autores César Ignacio Madrigal Alarcón y José Antonio Paz Dávalos, 2003, cuyo objetivo es el ya mencionado tema, llegan a la conclusión de que un pavimento rígido es más económico, brinda mejor servicio, su mantenimiento es muy poco y no costoso, su construcción es más fácil, y tiene mayor seguridad. Pero también debemos de tener en cuenta que esta investigación fue hecha específicamente para

este tramo lo cual no quiere decir que para todos los casos el pavimento rígido sea la mejor opción varía dependiendo de las condiciones y necesidades del lugar.

Planteamiento del problema.

Como ya se sabe que un camino en malas condiciones no es muy apto para ser transitado debido a que puede causar daños a los vehículos aparte de que no se transitaría con seguridad lo cual presenta un grave peligro para el bienestar del usuario, para esto es necesario contar con un buen pavimento que garantice primeramente seguridad y confianza así como también la certeza de que el usuario se desplazará con mayor agilidad.

Toda población cuenta con ciertas necesidades, una de las más importantes es la de la comunicación con otras poblaciones, los caminos son uno de estos medios de comunicación muy necesarios para el desarrollo de cada población, lo cual para este tramo al que se le hará un diseño de pavimento tiene el problema de que no cuenta con una estructura adecuada para el tránsito vehicular que tiene y para eso mismo se realiza esta investigación para proporcionarle un pavimento que sea apropiado para su correcto funcionamiento y agilizar mas el trafico de los vehículos que circulan en este camino, también para brindar una mayor comodidad al usuario cuando este transite en él, y pueda tener un mejor rendimiento de combustible. Por lo anterior en esta investigación habrá de responderse a la siguiente pregunta que emitirá el problema de estudio:

¿Es el pavimento flexible existente adecuado en el tramo carretero Carapan-Uruapan del km 16+000 al km 17+000 en la localidad de San Lorenzo?

Objetivo general:

Revisar de la estructura de pavimento flexible en el tramo carretero Carapan - Uruapan del km 16+000 al km 17+000 en la localidad de San Lorenzo para verificar si cumple con las normativas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Objetivos específicos:

- a) Establecer el concepto de pavimento.
- b) Señalar la conformación de los tipos de pavimentos.
- c) Señalar las ventajas y desventajas de cada pavimento.
- d) Identificar los elementos de cada pavimento.

Pregunta de investigación.

¿Es el pavimento flexible existente adecuado en el tramo carretero Carapan-Uruapan del km 16+000 al km 17+000 en la localidad de San Lorenzo?

Justificación.

Por medio de esta investigación se podrá diseñar una estructura de pavimento flexible adecuada para dicho camino la cual será muy importante para la población de San Lorenzo que se verá beneficiada tanto económicamente como socialmente debido a que habrá una mayor facilidad de comunicación y comercio con las poblaciones vecinas.

Beneficiará a los trabajadores que tengan la necesidad de trabajar fuera de su localidad por medio de este camino podrán movilizarse con mayor agilidad y comodidad.

Para pequeñas o grandes empresas de esta población que sean usuarios de este camino les será más rápido el transportar sus productos lo cual les puede aumentar su productibilidad por efecto de la agilidad de esta vía terrestre.

No sólo el comercio se beneficiará sino que también las personas aquellas que usen el camino para ir de regreso a casa se verán afectadas, las cuales llegarán más rápido a sus hogares y viajarán con mayor comodidad y seguridad para asegurar que lleguen sanos y salvos a su destino.

Marco de referencia.

La localidad más cercana al tramo carretero Carapan-Uruapan en el km 16+000 al 17+000 es San Lorenzo, una comunidad indígena conformada en su mayor parte por artesanos y agricultores, la ciudadanía de esta localidad está sustentada en su mayor parte por la tala de árboles de los cuales la región esta rodeada de grandes bosques de pinos y encinos.

La comunidad de San Lorenzo se encuentra dentro de las coordenadas 19°31'51" de la latitud oeste y en 102°05'40" en la longitud oeste a una altitud de 2157 metros sobre nivel del mar (m.s.n.m.).

Esta comunidad no cuenta con un sistema de drenaje la mayoría de sus casas cuentan con letrinas, cuentan con alumbrado público pero no en su totalidad, también cabe mencionar que sus calles muestran una gran ausencia de pavimentación.

Otra parte importante de esta localidad es que no tiene un buen suministro de agua potable ya que en sus cercanías no existe ningún tipo de lago o afloramiento de agua potable que se suministre a esta región.

CAPÍTULO 1

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Dentro de este capítulo se tratará sobre pavimentos. También se mencionarán cuántos y cuál es cada uno de éstos, así mismo como las características principales o sobresalientes, y los elementos que conforman cada uno de ellos. De igual manera también se darán algunas razones sobre cuál pavimento es más conveniente para cada caso, así como los factores que alteran su vida útil. Habrá un enfoque mayor dentro de lo que es un pavimento flexible debido a que esta investigación es un diseño de él mismo.

1.1.- Definición de pavimento.

Primeramente, como se sabe, un pavimento es una estructura que recibe de forma directa las cargas de tránsito hacia los estratos inferiores de esta estructura en forma disipada, la parte superior de esta estructura es conocida como superficie de rodamiento la cual debe de ser funcional y soportar las cargas transmitidas ya sea por vehículos o personas sin que esta falle o presente agrietamientos, también debe de contar con una superficie que brinde adherencia con las llantas de los vehículos aun cuando haiga presencia de humedad.

Los pavimentos deben de estar diseñados para soportar los esfuerzos destructivos del tránsito como son accidentes viales, así como también el deterioro por efectos de la intemperie e incluso el desgaste causado por el agua en lluvias, inundaciones u otros factores relacionados.

Otra parte importante con la que debe de contar un pavimento es el tener una buena visibilidad para los que transiten en él, y si es posible contar con un paisaje agradable para evitar que los conductores se fatiguen al transitarlo.

Un pavimento está integrado por una o varias capas que van desde la parte superior de las terracerías hasta la superficie de rodamiento, estas capas suelen estar compuestas por materiales naturales, la capa superior puede ser de concreto hidráulico, carpeta asfáltica o simplemente de materiales pétreos compactados.

Normalmente las capas superiores de un pavimento son hechas con materiales de más calidad que las capas inferiores, por eso mismo también suelen ser las capas más delgadas a comparación de las que cuentan con materiales de menor calidad.

La división de capas en un pavimento es debido a un factor económico, y por eso es que se busca el espesor mínimo posible de cada capa pero siendo está lo suficientemente resistente para transmitir las cargas directas hacia las capas inferiores sin que presente una falla, otro elemento importante económicamente es el procedimiento constructivo que depende de la humedad necesaria y la compactación adecuada.

Las carpetas asfálticas suelen combinarse los materiales pétreos con productos asfálticos mientras que las losas de concreto hidráulico se combinan materiales pétreos con cemento Portland.

1.2.- Características de los materiales pétreos.

De acuerdo con Olivera (1986) estos materiales pétreos provienen de ríos, minas o bancos de rocas las cuales necesitan un proceso de trituración y tienen que ser cribadas para su empleo en la elaboración de pavimentos, en otras palabras los materiales pétreos son simplemente gravas y arenas.

También el autor menciona las características más relevantes con las cuales deben de brindar los pétreos a la carpeta asfáltica como es tener una buena granulometría así como también que cuenten con gran adherencia y claramente deben de contar con una gran rigidez.

Estos materiales cuentan con una propiedad muy importante que es la dureza la cual es la resistencia a la rozadura, ralladura y penetración de otro material, otra de sus propiedades importantes es la resistencia a la compresión, que es la aplicación de una fuerza sobre el material pétreo la cual trata de reducir su volumen en una dirección.

De acuerdo con Crespo (2010), los materiales pétreos tienen 3 diferentes procedencias las cuales son; ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Las rocas ígneas “Son las más antiguas y se han formado por el enfriamiento y consolidación de magmas fundidos, y según que se haya producido en el interior de la corteza terrestre o sobre ella, se llaman intrusivas o plutónicas (mucho profundidad), filoneanas (poca profundidad) o extrusivas o volcánicas (superficiales).” (Crespo; 2010; 20).

También el autor menciona algunas de las rocas ígneas más sobresalientes; el granito es una roca plutónica abundante que está constituida por cuarzo, feldespato, mica y ortosa, la sienita que es muy parecida al granito pero esta cuenta con menos cantidad de cuarzo, la diorita que es de colores blancos, verdes y grises muy empleada en carreteras, los pórfidos que también son muy parecidos al granito con aplicaciones similares, y por último el basalto que es una roca volcánica de tono oscuro y esta es muy resistente se emplea mucho en los adoquines.

Las rocas sedimentarias “Se han formado debido al transporte, acarreo depósito y acumulación de materiales, principalmente provienen de rocas ígneas y metamórficas.” (Crespo; 2010; 21).

Se menciona que las principales rocas sedimentarias son; el yeso que es una roca de origen químico que es de consistencia blanda y también soluble en agua, las calizas que son rocas de sedimentación química por insolubilidad esta roca es muy utilizada dentro de la construcción se emplea tanto en edificaciones como en terraplenes y es la constituyente fundamental del cemento, las margas son rocas arcillosas con carbonatos que también son parte importante ya que de ellas se obtiene la materia prima para la fabricación del cemento.

Ahora bien, de acuerdo a la tercera procedencia, “Las rocas metamórficas se originan por metamorfismo fundamentalmente de las rocas sedimentarias. Recibe el nombre de metamorfismo el proceso por el que se producen ciertas modificaciones de la composición mineralógica y de la estructura de una roca a consecuencia

principalmente de los incrementos de presión y temperatura que aquella experimenta cuando alcanza niveles profundos de la corteza terrestre.” (Crespo; 2010; 23).

Este autor hace mención de las rocas metamórficas sobresalientes o principales dentro de las cuales están: las pizarras que son arcillas metamórficas homogéneas, compactas e impermeables que son muy empleadas en la fabricación de pavimentos así como es uno de los materiales pétreos más importantes dentro de la construcción y decoración, los mármoles que son rocas calizas metamórficas, que son muy empleados en la pavimentación o decoración, el color de este material resalta debido a su tono de gran delicadeza.

Así pues, estas son algunas de las características de forma muy general de los materiales pétreos utilizados dentro de la construcción.

1.3.- Tipos de pavimentos.

Como ya se ha mencionado antes, hay dos tipos de pavimentos: los rígidos y los flexibles. Los pavimentos flexibles son comúnmente más usados para la construcción de carreteras o autopistas, mientras que los rígidos son más utilizados dentro de las poblaciones para la pavimentación de las calles, no se abordará a detalle el pavimento rígido ya que la presente investigación se enfoca a pavimento flexible.

1.4.- Pavimento flexible.

Rico (1993) define un pavimento flexible como un conjunto de capas formado por materiales apropiados que va desde la sub rasante hasta la rasante de un

camino, el cual su principal función es dar una uniforme superficie de rodamiento tanto como un color y textura apropiados para su transitabilidad así como resistente al tránsito e intemperismo. El pavimento es la superestructura de una obra vial la cual brinda comodidad, economía y seguridad al usuario. La carga debido al tránsito que debe de soportar un pavimento así como los efectos climáticos deben de quedar en niveles bajos, no destructivos.

Dentro de los pavimentos flexibles son un factor importante los costos y la vida útil, dentro de un proyecto como este se debe de tener en cuenta las condiciones de servicio o condiciones que ameriten composturas o reconstrucción. Todas estas variantes deben de ser previamente analizadas para considerar que es más caro o más barato, para esto es necesario examinar diversos factores relacionados con la inversión y la calidad de servicio que el proyecto va a presentar.

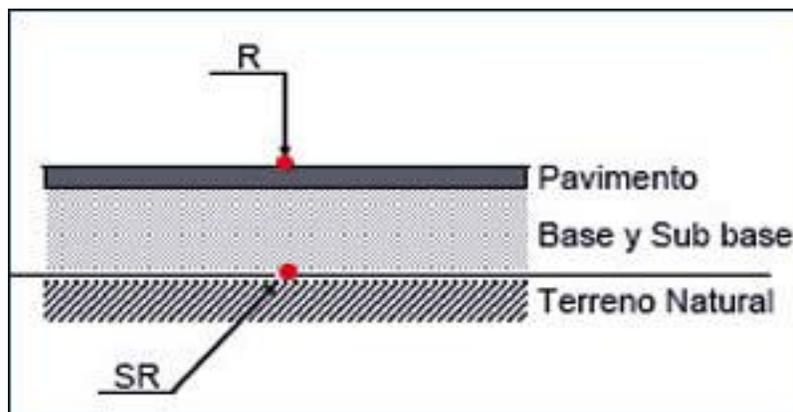


Imagen 1.1.- Pavimento flexible.

Fuente: http://www.uc.cl/sw_educ/construccion/urbanizacion/html/concepto.html.

A continuación se hará mención de las características fundamentales con las que debe de contar un pavimento flexible.

La primer característica es la resistencia estructural, la cual el pavimento debe de ser lo suficientemente resistente para soportar las cargas directas que el tránsito de vehículos transmite sobre él, estas cargas actúan como esfuerzos normales y cortantes sobre toda la superficie de rodamiento, con la ayuda de la mecánica de suelos se sabe cuál es la resistencia a esfuerzo cortante de un suelo y debido a esto es que se considera en un pavimento flexible la principal causa de falla es este esfuerzo, entonces la resistencia del suelo a esfuerzos cortantes es la propiedad fundamental.

Ahora bien, no sólo los esfuerzos cortantes son los que actúan sobre el pavimento si no que también existen otros esfuerzos adicionales que son producidos por la aceleración y el frenado de los vehículos y algunos esfuerzos de tensión que se presentan en la superficie de rodamiento a una distancia cercana del lugar donde se aplica la carga que deforma la superficie en forma vertical.

Los materiales que conforman un pavimento flexible son muy importantes desde dos puntos de vista; primeramente la capacidad de carga que logran desarrollar las varias capas del pavimento para resistir las cargas aplicadas del tránsito, y por otra parte, la capacidad de carga que logran desarrollar la capa subrasante, que forma la unión entre el pavimento y la terracería que soporta las cargas transmitidas de las capas superiores y a su vez las transmite a la terracería con niveles más bajos.

Estos puntos mencionados, según Rico (1993), son de gran importancia en la selección de los materiales que van a conformar el pavimento flexible y comenta es un requisito de mayor importancia para las capas que se encuentran más cercanas a la superficie de rodamiento, para llenar estos ciertos requisitos para una sola capa del pavimento es muy independiente de su espesor, ya que una capa delgada puede soportar los mismos esfuerzos de carga que una capa más gruesa, el inconveniente es que la capa delgada transmitirá a la capa inferior a ella esfuerzos muy altos, mientras que la capa de mayor grosor aumentara un poco su resistencia al esfuerzo debido a su mayor espesor pero también transmitirá esfuerzos de mucho menor magnitud que la capa delgada sobre la capa inferior. En caso de que una capa tenga la necesidad de resistir esfuerzos a tensión esto no dependerá del espesor de esta si no que más bien lo importante es la resistencia a tensión del material que conforma la capa.

Ahora bien, el autor menciona que si se cuenta con una subrasante muy resistente esta tendrá la capacidad de soportar grande esfuerzos, esto implica que puede reducirse la superficie de rodamiento y de las carpetas cercanas a esta sin afectar la estabilidad general de todo el pavimento flexible lo cual llevaría a grande ahorros de costos sobre las carpetas puesto que el costo por carpeta va creciendo conforme se acerca a la superficie de rodamiento.

La siguiente característica fundamental con la que debe de contar un pavimento es la deformabilidad, siendo esta característica lo contrario a lo ya mencionado como resistencia estructural, pues dentro de la estructura del pavimento la deformabilidad suele crecer hacia abajo principalmente en lo que se conoce como

terracería, consecuentemente la capa subrasante es más deformable que las capas superiores, entonces esta característica es importante en la subestructura del pavimento ya que la superestructura presenta deformaciones tolerables inclusive si se presentan grandes cargas sobre la superficie de rodamiento.

Dentro de la ingeniería estas deformaciones impactan desde dos puntos de vista; cuando en un pavimento se presenta una deformación puede ocasionar un colapso de la estructura y por otra parte si se presenta una deformación que no llegue al colapso puede afectar la función primordial del pavimento.

También se debe saber que un pavimento puede presentar diferentes tipos de deformaciones, cuando un vehículo que transita sobre del debido a la carga que transmite al pavimento este puede deformarse pero se recupera de manera instantánea, a esta deformación se le denomina elástica y cuando las deformaciones no se recuperan de manera instantánea es decir que perduran después de que la carga ya se ha dejado de aplicar, se le denomina deformación plástica. Cuando la deformación plástica se acumula repetidas veces en un mismo lugar del pavimento llega a tener valores inadmisibles de deformación y en ocasiones este pavimento fallado puede ser mucho más resistente que el original debido a que se presentan densificaciones en los materiales.

Las deformaciones elásticas pueden llegar a causar falla por fatiga a las capas de un pavimento que cuentan con materiales resistentes a la tensión, esto quiere decir que las capas más afectadas por las cargas repetidas de los vehículos son la

superficie de rodamiento así como las capas inferiores a ella, los materiales más propensos a esta falla por fatiga son los pétreos de origen volcánico.

Hoy en día existen varias formas de estimar las deformaciones elásticas, así que conocidos los materiales que conformarán el pavimento se puede obtener su módulo de deformación con diferentes pruebas de campo en las cuales pueden hacerse terraplenes en las condiciones más críticas.

Así como hay formas de estimar la deformación elástica también las hay para las plásticas, los criterios para las deformaciones plásticas son empíricos los cuales en base a las experiencias o resultados estadísticos realizados sobre carreteras reales, que son sometidos al tránsito de vehículos clasificados. En base a experimentos estos métodos fijan una deformación máxima con la que se diseña y esta de presentarse solo al final de la vida útil de la estructura.

También se sabe que hay dos métodos con los cuales obtener la deformación máxima permisible; primeramente el método con el cual las condiciones del pavimento pierden sus características de servicio llegando al fin de su vida útil, es denominado criterio AASHO o índice de servicio, el segundo método toma en cuenta que se presente una deformación la cual ya no haga funcional la estructura y requiera de una reconstrucción dependiendo que tan costeable sea, este es denominado el criterio británico.

La tercera característica fundamental con la que debe de contar un pavimento es la durabilidad, no se puede definir con precisión la durabilidad de un camino, depende mucho de factores económico y sociales. En un camino que cuente con un

tránsito no muy importante puede que se requiera una inversión inicial baja con materiales de no muy buena calidad, y dentro del cual sus reparaciones no sean más costosas que el fabricar inicialmente un pavimento de mayor calidad, en caso contrario si se habla de una carretera que tenga una transitabilidad importante requiere de un pavimento de alta calidad, aunque su inversión inicial sea costosa pero que las reparaciones compensen esta inversión, siendo éstas las mínimas posibles y a un costo muy bajo, también tomando en cuenta que debido a estas reparaciones se ve afectado el tránsito que no circula de la manera que fue diseñado por causa del mantenimiento de esta estructura, que de manera indirecta afecta económicamente al tránsito que tiene la necesidad de esta vía.

Por otra parte, la durabilidad de un pavimento depende mucho de los acontecimientos climáticos los cuales perjudican la estructura, ya sea con lluvias, viento, terremotos, etc. Puede ser que un pavimento a lo largo de su vida útil siempre este expuesto a tormentas ciclónicas o algún otro evento natural, o también puede suceder que nunca se presenten este tipo de eventos dentro de su vida útil, es por eso que no hay algún método que fije con exactitud la durabilidad de un pavimento.

La siguiente característica fundamental con la que debe contar un pavimento es el costo, todas las estructuras dentro de la ingeniería deben de presentar un balance, por una parte deben de ser funcionales, resistentes y estables para satisfacer las necesidades por el cual requiere de su construcción y la otra parte es que esta estructura debe de tener el mínimo costo posible, entonces estas dos partes son fundamentales para la construcción de un pavimento.

Ahora bien, los costos depende mucho del tipo de pavimento que se desea construir, para los pavimentos rígidos los costos de mantenimiento son muy bajos debido a que presentan gran resistencia al intemperismo así como al desgaste de los vehículos, pero su inversión inicial es demasiado alta ya que este necesita materiales de buena calidad y maquinaria especial para su construcción, de lo contrario los pavimentos flexibles son mucho más costosas sus reparaciones o mantenimientos pero con una inversión inicial muy baja.

De acuerdo a lo mencionado se cree que es por esa causa que los pavimentos rígidos son empleados dentro de las zonas urbana como en calles y avenidas por su buena resistencia al desgaste, y los pavimentos flexibles son utilizados en carreteras y autopistas por su inversión inicial baja, la cual debe cubrir grandes distancias de tramos de estas mismas.

Después de que se hizo la selección del pavimento es necesario escoger qué materiales los van a componer, en algunas ocasiones el material que se necesita para la construcción de esta estructura suele ser abundante alrededor donde ésta va a ser construida, lo cual sólo se necesita explotar un banco para poder extraerlo, en otras ocasiones los materiales que el pavimento exige son muy escasos y no abundan alrededor, entonces el costo de los materiales se eleva.

Otra de las partes donde se reflejan mucho los costos es en la explotación de un banco de materiales, la cual se les debe de dar un cierto tratamiento a estos materiales, así como también la selección de estos. El material que queda como residuo también presenta otro costo extra sobre la explotación del banco.

Ya obtenidos los materiales para la fabricación del pavimento el siguiente factor que implica otro apreciable costo es la compactación, este costo es muy variable para cada fabricación de pavimento debido a que la compactación se realiza en base a la experiencia y sentido común del ingeniero.

La siguiente característica fundamental que debe de tener un pavimento es la conservación, el factor principal que afecta a la conservación de un pavimento es el clima, este como se ha mencionado antes puede generar un gran desgaste en la estructura, lo cual es necesario tomar en cuenta este factor en el diseño del pavimento. Para tomar en cuenta el impacto del clima en el pavimento se es necesario hacer muchas estimaciones, también la experiencia del diseñador es muy importante así también son muy importantes los antecedentes climáticos que tenga la localidad donde se va a construir la obra.

El tránsito de vehículos es un factor más que afectará al pavimento a lo largo de su vida útil, puesto que éste incrementará con el paso de los años el número de vehículos y las velocidades que estos alcanzarán serán mayores por lo que también es necesario tomarlo en cuenta en el diseño.

Las terracerías son un punto crítico dentro de la conservación del pavimento debido a que estas pueden presentar deformaciones o derrumbes en el transcurso de la vida útil de la estructura y causar graves problemas y fallas dentro de él.

Los drenajes y subdrenajes de las vías terrestres son las partes más importantes para la conservación del pavimento debido a que estas obras evitan la acumulación de agua sobre la carpeta de superficie de rodamiento así como también

la función de los drenajes es desalojarla de la estructura. Si la obra se va a realizar por el cruce de un cauce natural el agua podría afectar de manera grave a las carpetas entonces es necesario hacer un drenaje para evitar que esta actúe directamente sobre el costado de las carpetas y que no se presente socavaciones en la terracería, esto nos indica que los drenajes son parte fundamental para la conservación de una vía terrestre.

La última característica fundamental que todo pavimento debe tener y para la mayoría de los usuarios es muy importante, es la comodidad, dentro de ésta también se considera con gran importancia la seguridad del usuario seguidamente por la estética. Todos estos aspectos son necesarios para que el conductor pueda desplazarse a la velocidad de diseño de la carretera o autopista.

Retomando el tema del concepto de un pavimento flexible se sabe que la carpeta que va a conformar la superficie de rodamiento está compuesta por materiales pétreos y productos asfálticos, siendo el cemento asfáltico el residuo de la destilación del petróleo, que a temperaturas ambiente éste es sódico que se torna de un color café. Para que la mezcla de este residuo de petróleo pueda combinarse con los materiales pétreos es necesario calentar el sódico hasta 140°C para lo cual es necesario una planta que lo lleve hasta estas altas temperaturas, pero como es muy difícil trabajar el asfalto a altas temperaturas es necesario rebajarlo para hacerlo más fluido y debido a esto es que se han empleado rebajados y emulsiones asfálticas.

1.4.1.- Rebajos asfálticos.

Un asfalto es un material de color oscuro muy viscoso constituido por hidrocarburos (compuesto orgánico formado por átomos de carbono e hidrógeno), este material es derivado del petróleo y obtenido por medio de destilación del crudo del mismo. El proceso de destilación se lleva a cabo mediante la separación de fracciones livianas de la base asfáltica mediante el proceso de vaporización, condensación y fraccionamiento de este.

Los rebajos asfálticos también son denominados asfaltos líquidos, estos se encuentran constituidos por cemento asfáltico mas hidrocarburos de diferente destilación, que este depende de acuerdo al tipo de curado que se requiere ya sea medio o rápido.

Para poder hacer estos rebajados hay tres maneras de hacerlo, la primera forma de hacerlo es diluyendo el concreto asfáltico con gasolina o tractolina y de éste se obtiene el rebajado de fraguado rápido, denominado FR, cuando se diluye con diesel el rebajado es de fraguado medio, denominado FM, y en el tercer caso cuando este es diluido con aceites ligeros se crea un rebajado de fraguado lento, denominado FL. Dentro de cada uno de estos tres fraguados hay cinco denominaciones que van del 0 al 4 y de acuerdo con estas denominaciones el número 4 es el que contiene más cantidad de cemento asfáltico y conforme disminuye su cantidad también lo hace su denominación.

Para que se pueda hacer una mezcla homogénea de los materiales pétreos con el rebajo asfáltico es necesario que los pétreos se encuentren perfectamente secos de lo contrario estos no tendrán una buena adherencia con el rebajo asfáltico.

1.4.2.- Emulsiones asfálticas.

Una emulsión asfáltica es una combinación de asfalto con emulsificante y agua que hace estable esta mezcla, el emulsificante es un compuesto orgánico de gran peso molecular y es soluble en el asfalto.

Las emulsiones asfálticas son de gran importancia debido a que estas hacen mucho más fácil la fabricación de los pavimentos asfálticos por que se pueden hacer a menores temperaturas o a menos de 100 C°, creando así un gran ahorro al no necesita de maquinaria especializada ni una planta que mezcle el asfalto a altas temperaturas.

Si se tienen materiales pétreos húmedos, para poder mezclarlos con el cemento asfáltico es necesario hacerlo con un emulsificante y un estabilizador. Dependiendo de cuál sea la emulsión que se use así mismo se obtendrán emulsiones aniónicas y emulsiones catiónicas de las cuales son muy resistentes al contenido de humedad que contengan los pétreos. Al igual que con los rebajos asfálticos las emulsiones pueden ser de fraguado rápido, medio y lento dependiendo de la cantidad de cemento asfáltico que contengan.

Estas emulsiones también son utilizadas muy frecuentemente para la estabilización de materiales así como para la impregnación de sub bases.

1.4.3.- Carpetas asfálticas.

Las carpetas asfálticas son las ya antes mencionadas como pavimentos asfálticos, sin embargo, la carpeta superior que forma la superficie de rodamiento es la única que cuenta con material asfáltico. Para su construcción se hará mención de los diferentes sistemas de construcción de estas mismas.

Dentro de México se conocen tres diferentes tipos de carpetas asfálticas: por riegos, mezclas en el lugar y los concretos asfálticos.

1.4.3.1.- Sistema por riegos.

Este tipo de sistema consiste en aplicar sobre la sub rasante varias capas sucesivas de materiales pétreos y productos asfálticos.

El proceso para construir con este sistema se realiza primeramente con un riego del producto asfáltico y sobre del un riego de materiales pétreos los cuales deben de ser los más gruesos que se vallan a emplear para la construcción de todo el pavimento, con la ayuda de un compactador comúnmente es un rodillo liso, se acomoda el material de manera que se hagan tres cubrimientos sobre la sub rasante.

Para el siguiente riego se emplea el mismo método o procedimiento solamente que ahora en lugar de emplear materiales pétreos gruesos se utilizan los de dimensiones medias o menores que los pétreos del primer riego y de igual manera se hace uso del compactador.

Dentro del tercer riego es esencialmente el procedimiento que se ha seguido en los riegos anteriores, de igual manera ahora se deben de emplear los pétreos más

finos, este procedimiento es básicamente regar con producto asfáltico seguido de otro riego de material pétreo y con ayuda del rodillo liso hacer el acomodo adecuado de la mezcla.

Ya una vez completada la operación del sistema por riegos es necesario dejar en reposo durante una semana para que fragüe la mezcla de productos asfálticos con los materiales pétreos, concluida esta semana se realiza un barrido sobre el pavimento este puede ser de forma manual o mecánica para remover los materiales finos que no quedaron adheridos con la mezcla, este barrido se hace con la finalidad de dar seguridad a los usuarios debido a que con estos pequeños materiales sueltos dentro de la base de rodamiento pueden afectar los parabrisas de los vehículos, cuando una rueda tiene contacto con material suelto este puede salir despedido hacia el vehículo que venga atrás pudiéndolo afectar, por este motivo es necesario después del fraguado aplicar un barrido a la superficie de rodamiento.

El proceso mencionado se denomina de tres riegos, de los cuales los materiales pétreos deben de tener una granulometría uniforme, esto quiere decir que no hay mucha diferencia entre las dimensiones de los materiales.

De acuerdo con Olivera (1986) los materiales pétreos se dividen en numeraciones del 1 al 3, para el material 1 sus dimensiones están alrededor de 25.4mm a 6.35mm, para el material 2 sus dimensiones andan entre 12.7mm y 2.38mm, y el último más fino el material 3 alrededor de 9.51mm a 0.42mm.

No solamente se pueden aplicar carpetas de tres riegos sino también existen las de dos y la de un riego, se emplea el mismo procedimiento que se mencionó

anteriormente para la de tres riegos solo con la diferencia de que para las carpetas de dos riegos solamente se aplican los materiales pétreos 2 y 3, y para la carpeta de un solo riego se aplica únicamente el material 3. Esto de darle uno, dos o tres riegos dependen mucho de su transitabilidad y del uso que se le quiere dar a este pavimento.

1.4.3.2.- Mezclas en el lugar o en frío.

Para la ejecución de una mezcla en el lugar o en frío se emplean materiales pétreos de dimensiones continuas, esta mezcla se puede hacer con rebajos asfálticos rápidos que se estén calentados a la temperatura adecuada o también se pueden mezclar con emulsiones asfálticas de fraguado medio, esta mezcla comúnmente se realiza con motoconformadora.

Primeramente, antes de comenzar con la elaboración de la mezcla en el lugar o en frío es necesario hacer una exploración en el área donde se va a elaborar el pavimento, para así mismo poder ubicar de donde conviene obtener los materiales necesarios para su construcción.

Estos materiales pueden ser extraídos de ríos, materiales de minas, bancos de conglomerados o de rocas que se encuentren alrededor del lugar donde se realizara la obra, después se debe de saber cuál es el contenido optimo de asfalto para el material a emplear y así mismo sabiendo la calidad que se obtendrá de esta mezcla y también se toma en cuenta los estudios económicos para poder elegir el o los bancos que se van a explotar para la elaboración del pavimento.

Ahora bien, si los bancos son de materiales conglomerados o rocas sumamente grande es necesario atacarlos con explosivos, palas mecánicas o dragas, después para remover los materiales se utilizan comúnmente maquinaria como las palas mecánicas.

La mayoría de las veces el material que se extrae de los bancos queda con dimensiones muy irregulares para esto es necesario tratarlos en plantas trituradoras que les brinden las dimensiones optimas para poder hacer una mezcla adecuada o queden de acuerdo al diseño de esta.

Una vez que se tiene listo el material pétreo hay que trasportarlo al lugar de la obra lo cual se hace por medio de vehículos de carga, una vez que el material llegue al lugar donde se creara el pavimento el material es acamellonado en la sub rasante por medio de una motoconformadora, estando acamellonados se mide el volumen de material y se hace un ajuste si es que hay de más o hace falta material, y así mismo poder calcular la cantidad de asfalto que se va a emplear.

Ya que se cuenta con la cantidad necesaria de asfalto que se va a emplear, por medio de la motoconformadora se riega el material pétreo sobre toda la superficie de la corona de la estructura para así mismo poder aplicar el asfalto por medio de una petrolizadora, con el material que aun se encuentra acamellonado se realiza el mismo proceso se abre nuevamente con la motoconformadora y se pasa de nuevo la petrolizadora que regara otra cierta porción de asfalto. Este proceso es repetitivo hasta que se riegue todo el asfalto necesario. Durante este proceso la motoconformadora segura pasando y mezclando el material pétreo con el asfalto

hasta que quede una mezcla completamente homogénea de estos. Si la mezcla presenta un contenido de solventes mayor o igual a 0.09 de acuerdo a la cantidad de cemento asfáltico utilizado, la motoconformadora seguirá abriendo y mezclando los materiales hasta que este índice este más bajo de ese valor mencionado.

El siguiente procedimiento que se hace ya una vez teniendo regada la mezcla, se barre la base impregnada para poder dar un riego de liga con un rebajo asfáltico con una proporción de 0.7 litros sobre metro cúbico, de forma inmediata se acamellona de nuevo la mezcla ya con el rebajo en el centro de la corona de la estructura y con la motoconformadora se va abriendo nuevamente hacia las orillas de forma cuidadosa y lenta para que los materiales no se segreguen.

Ahora que se cuenta con la mezcla regada en toda la corona se procede a realizar la compactación, ya sea por medio de rodillos lisos o neumáticos que normalmente andan entre las 15 toneladas, se debe alcanzar el 95% de acuerdo a la prueba Porter. Si se hizo uso de un rodillo neumático al final de que se termina de compactar la mezcla quedarán las marcas de los neumáticos es necesario que estas sean borradas de la superficie lo más práctico es el uso de un rodillo liso para desaparecer estas marcas.

Pasado ya un par de días se hace la prueba de permeabilidad del pavimento de acuerdo con Mier (1987) si la permeabilidad resulta mayor al 10 % es necesario aplicar un riego de sello, el cual menciona el autor que un elemento de material asfáltico que cubre una capa de material pétreo que impermeabiliza la carpeta asfáltica y a su vez la protege contra el desgaste del tránsito e intemperismo.

1.4.3.3.- Carpetas de concreto asfáltico.

Estas carpetas son solamente una mezcla de materiales pétreos y cemento asfáltico, el cual a temperatura ambiente es sólido. Para poder mezclarlos con los pétreos es necesario una planta que lleve al cemento asfáltico a una temperatura de 140 °C y entonces para que estos elementos se puedan mezclar correctamente también es necesario elevar la temperatura de los materiales pétreos hasta los 160 °C dentro de la misma planta.

El cemento asfáltico tiene como característica principal el ser un material de tipo elástico lo cual es de muy poca resistencia y cuenta con rupturas frágiles, esto se presenta cuando esta a bajas temperaturas. Por lo cual debe de ser tendido sobre una base natural muy rígida y con un modulo de elasticidad muy bajo, esta terracería puede rigidizarse por medio de cemento Portland o cal.

Los materiales más adecuados para emplear en este tipo de pavimentos son las rocas trituradas de tipo basalto, reolita o andesita, así como también el uso de las gravas y arenas de bancos y ríos, el triturado de las rocas hace que estas presenten una superficie mas rugosa garantizando la mejor adherencia con el asfalto y así mejorar su calidad de pavimento.

Como todos los anteriores tipos de carpetas llevan un diferente procedimiento de construcción, primero como en los procedimientos anteriores es necesario buscar un banco de materiales, para este tipo de carpetas de concreto asfáltico los materiales más usados son; calizas, basaltos, riolitas, andesitas entre algunos otros mas, estos bancos puede ser aglomerados o conglomerados de roca. En caso de

que el material que se extraiga del banco cuenta con superficies muy lisas este tiene que llevar un procedimiento de trituración por medio de una planta trituradora aunque no sea necesario la reducción del tamaño del material pero si para proporcionarle a esté una superficie mas rugosa para que tenga una mejor adherencia a la hora de la mezcla.

Para poder establecer un banco de materiales se realiza un sondeo de la zona y se hacen los muestreos necesarios para llevarlos al laboratorio e identificar qué clase de material es a su vez escoger el idóneo para la fabricación de la carpeta.

Seguidamente de este procedimiento ya obtenidas las muestras se realiza un proyecto de granulometría para poder obtener un contenido adecuado del cemento asfáltico que se empleará, de acuerdo a la granulometría de los materiales pétreos se debe de calibrar la planta que los mezclara.

Lo que procede ahora es extraer el material del banco que se ha designado para explotarlo, si se trata de conglomerados de roca muy dura es necesario la utilización de explosivos para tronar la roca y que las palas mecánicas puedan extraer el producto de la explosión de manera eficaz. El material una vez cargado en un camión transportador se llevara a la planta de de trituración (Esquema 1.2.) donde este será triturado y seleccionado a la vez, es conveniente que se cuente con varios tamaños de los materiales en la planta.



Imagen 1.2.- Planta de trituración para el material pétreo que se utilizara en las carpetas de concreto asfáltico.

Fuente: <http://www.metso.com/es>

Debido a que se cuenta con varios tipos de diámetros de los materiales pétreos, estos son llevados a la planta de mezclado (Esquema 1.3.) para poder combinarlos con el cemento asfáltico, siendo los pétreos cargados dentro de las compuertas de las plantas por medio de cargadores frontales, lo cual se hace antes de añadir el cemento asfáltico para que no se presenten interrupciones por falta de material pétreo de algún tamaño.

Una vez encontrándose el material dentro se seca y calienta a temperaturas entre 150 °C y 170 °C. La planta de mezclado puede producir gran cantidad de polvo que elevara hacia la atmósfera.



Imagen 1.3.- Planta de mezclado de concreto asfáltico.

Fuente: <http://www.ablisa.com>

Cuando el material pétreo se encuentra a las temperaturas optimas éste será cribado y se transportará a 3 ó 4 tolvas con diferentes diámetros del material, ésta a su vez será pesada para poderse llevar a la zona donde se mezclara con el cemento asfáltico que se encuentra a una temperatura de los 130 °C a los 140 °C, esto se va a estar mezclando hasta que se homogenicen los materiales con el cemento, una vez ya listos se acarrearán en un camión de carga a un lugar determinado para depositarlo provisionalmente.

A la hora de llevar la mezcla al tramo donde se vaciará se debe contar con una temperatura mayor a los 110 °C. La mezcla antes de ser colocada en la superficie es necesario que a esta se le proporcione un riego de liga como ya se menciono antes este tipo de riego.

La mezcla del cemento asfáltico con los materiales será depositada en una máquina denominada finisher (Esquema 1.4.), la cual se encargará de extender el material a lo largo del tramo evitando que la mezcla se segregue y a la vez le propiciará una cierta compactación, una vez que el camión de carga que contiene la mezcla sea vaciado por completo se parará esta máquina para adaptarle el siguiente camión y continuar con el proceso de extendido, pero esto presenta un problema de discontinuidad de la carpeta es por eso que se requiere un grupo de personas llamados rastrilleros que den esta continuidad de carpeta para asegurar una junta conveniente.



Imagen 1.4.- Máquina finisher para el extendido de la mezcla asfáltica.

Fuente: http://arrendadoraconstructo.com/html/03_16_RentaEquipo.html

Una vez extendida la franja de mezcla asfáltica se procede a ser compactada a una temperatura de más o menos 90 °C por medio de un rodillo liso de unas 7 toneladas que éste compactará la superficie de rodamiento para poder dar entrada a

otro rodillo de más peso hasta unas 15 toneladas el cual no se emplea desde el comienzo de la compactación debido a que este puede generar un desplazamiento de la mezcla, el grado de compactación debe de quedar al 95% como mínimo.

Pasado unos 2 ó 3 días del extendido de la carpeta se hace una prueba de permeabilidad para saber si esta ocupa un riego de sello que haga la superficie de rodamiento mas impermeable, pero comúnmente no es necesario este riego.

1.5.- Pavimento rígido.

Los pavimentos rígidos están constituidos por losas de concreto hidráulico que es colocado sobre la sub base de un tramo que proporcionara la superficie de rodamiento.

Primeramente, sabiendo que “el concreto hidráulico es un material pétreo artificial, elaborado al mezclar parte de agua con cemento Portland con arenas y grava, en proporciones tales que se produzca la resistencia y la densidad deseadas.” (Olivera; 1986; 211).

Este mismo autor menciona que las propiedades principales de los materiales pétreos son: dureza, sanidad, plasticidad, granulometría y la forma de la partícula.

Las arenas y las gravas que conformaran este concreto deben de tener una plasticidad igual a 0, al igual que su contracción. También hay ciertas normas que debe de cumplir como su durabilidad y dureza la cual garantiza que no se desgastaran tan fácilmente ya sea por el transito que transmitirá cargas sobre el o por el factor del clima.

La característica de la forma de los materiales pétreos es muy importante, y se refiere a que deben de contar con una superficie lo suficientemente rugosa para que pueda tener una buena adherencia con la pasta conformada con agua-cemento, si no se cuenta con esta superficie rugosa no habrá una buena resistencia y causará la falla del pavimento antes de que cumpla con su vida útil.

Por otra parte, también es importante dentro de la resistencia del concreto la granulometría de los materiales debido a que cuando un concreto ya está endurecido, dentro de él pueden quedar vacíos que afecten la densidad y resistencia del concreto, siendo entonces necesario entonces variar las proporciones de los materiales para obtener un buen resultado y que el número de oquedades del pavimento sean las mínimas posibles.

Los pavimentos rígidos cuentan con dos tipos de juntas: juntas longitudinales y transversales que cada una de ellas cuenta con una función en particular lo cual las hace ser importantes y necesarias en este tipo de pavimento.

Crespo (2004) señala que las juntas longitudinales son aquellas que van paralelamente con el eje del tramo en el cual se construirá el pavimento, y también menciona que estas juntas tienen como función permitir el movimiento relativo de las losas de concreto hidráulico esto con el fin de que ellas no presenten un choque entre sí. Estas juntas dependen del número de carriles con las que va a contar la obra, así mismo será el número de juntas longitudinales.

Dentro de estas juntas existen las de tipo macho y las de tipo hembra, como se observa a continuación:

CONCRETO HIDRÁULICO

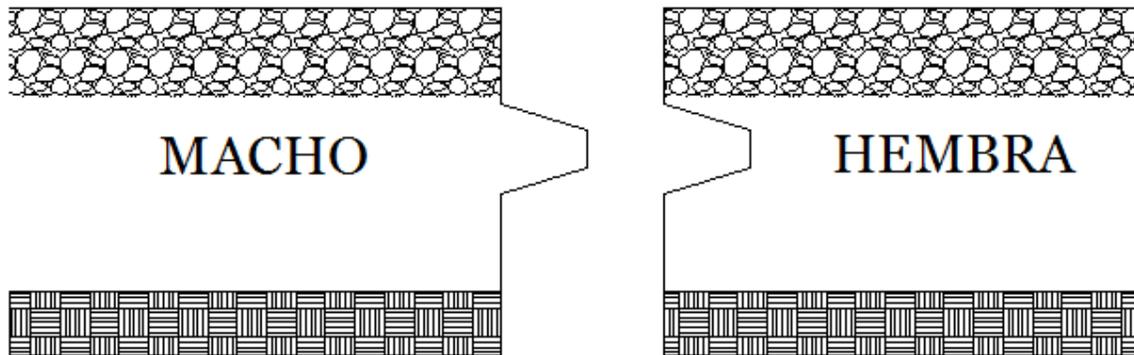


Imagen 1.5.- Juntas longitudinales tipo macho y hembra.

Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de juntas son hechas a base de moldes, los cuales son más convenientes que los moldes sean de acero y no de madera debido a que esta debe de aceitarse primero para que no se adhiera al concreto.

El siguiente tipo de junta es transversal, la cual va de forma perpendicular de la longitudinal, y la función de esta es que no se presenten esfuerzos de agrietamientos dentro del concreto por la contracción de las losas.

También los pavimentos rígidos cuentan con una serie de diferentes bordes o cunetas. Los cuales se presentan a continuación:



Imagen 1.6.- Bordes y cunetas de un pavimento rígido.

Fuente: <http://caralampio.com.mx/?m=urbanizacion>.



Imagen 1.7.- Bordes y cunetas de un pavimento rígido.

Fuente: <http://caralampio.com.mx/?m=urbanizacion>.

Ahora bien, como fue mencionado desde el comienzo de este capítulo, no se hace una mayor profundización sobre el tema de pavimentos rígidos debido a que el enfoque es más hacia pavimentos flexibles por la razón de que en esta investigación se hará una revisión de pavimento flexible, lo cual las losas de concreto hidráulico no son de gran relevancia dentro de este diseño.

CAPÍTULO 2

MECÁNICA DE SUELOS

Dentro de este capítulo se explica qué es un suelo de acuerdo a una definición aplicable dentro de la ingeniería civil, cómo está compuesto, así como también se mencionan las fases que lo componen. Se abordarán también temas como la clasificación de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), en el cual se clasifican los suelos en gravas, arenas y finos. También se describirán las características de cada material y con qué siglas se pueden encontrar dentro de la tabla del SUCS. Ya que este capítulo es de mecánica de suelos, se hará mención de la prueba de compresión triaxial, ya que ésta es necesaria aplicarla para poder obtener la resistencia de un suelo, el cual es necesario saber para poder aplicar los datos obtenidos de la prueba para el diseño del pavimento flexible que en la presente tesis es un dato fundamental.

2.1.- Suelo.

Una definición muy común sobre el suelo, es que son diversas partículas orgánicas e inorgánicas que no cuentan con una organización. Pero científicamente éste sí cuenta con una organización determinada al igual que con determinadas propiedades, que de forma vertical estas propiedades varían demasiado y de manera horizontal los cambios que se presentan son menores.

Dependiendo de la profesión, así mismo es la definición del suelo, por ejemplo para un geólogo, el suelo son todas aquellas partículas que por medio del desgaste

de rocas junto con materiales orgánicos que quedan depositados en la superficie del terreno crean el suelo; para los agrónomos, es la superficie de la corteza terrestre que cuenta con la capacidad de generar vida; en tanto que para los ingenieros civiles estas definiciones son demasiado incompletas, ya que éstas no hablan sobre materiales transportados o residuales.

Para esta investigación se tomará la definición de suelo como todo aquel material terroso, rellenos con desperdicios de otros suelos, también así como areniscas cementadas y lutitas suaves. Aquellas rocas que presentan un menor desgaste por medio de la intemperie, como son las rocas metamórficas, rocas ígneas o rocas sanas, quedan fuera de esta clasificación.

Otro elemento que es muy importante en el comportamiento de un suelo que se considerará como parte de él, es el agua, la cual hace que varíen demasiado las deformaciones del un suelo cuando no está presente que cuando sí lo está.

Gran parte de la corteza terrestre se ve afectada principalmente por el agua y el viento, estos son los principales agentes generadores del suelo porque causan un gran desgaste de las rocas, pero para todos estos desgastes comenta el autor Juárez (2004) que se pueden integrar en dos grupos: desintegración mecánica y descomposición química.

Primero la desintegración mecánica comprende a todos aquellos agentes físicos que afectan a las rocas por medio de la intemperización así como puede ser la congelación del agua sobre grietas o juntas de rocas, cambios de temperatura, también el desgaste de estas por medio de organismos o plantas, entre otros. Debido

a estas causas las rocas llegan a generar arenas, limos y en casos muy especiales las arcillas.

Ahora por descomposición química, ésta se efectúa por medio de la alteración de minerales o cambios químicos de las rocas, principalmente el agente más destacado de este grupo es el agua, ya que ésta puede oxidar, hidratar o carbonatar una roca, aunque también los organismos como plantas de una u otra manera afectan también de manera química. Lo que llegan a producir estos agentes ya al final de la descomposición son arcillas.

La temperatura dentro de la descomposición química también juega un papel importante, por ejemplo: las arcillas se presentan con más frecuencia en zonas tropicales o húmedas y las arenas o agregados más gruesos son encontrados en lugares fríos, en desiertos debido a la falta de agua no se presentan descomposiciones por lo cual las arenas conforman el suelo de este debido a los grandes cambios de temperatura que hay entre el cambio de día a noche, así como también los esfuerzos de compresión y tensión que presentan las rocas.

Cuando alguno de estos agentes mencionados actúa sobre una roca generando un desgaste sobre ella y el residuo del desgaste queda depositado sobre la roca o en la superficie donde está la roca, a este suelo se le denomina como suelo residual. En otros casos donde el desgaste producido por el intemperismo genera residuos, pero estos son removidos por los mismos agentes y lo depositan en otra zona que pueden ser de otras composiciones mineralógicas se les denomina suelos transportados.

Algunos de los principales agentes transportadores de suelo son ríos, mares, viento, acción de la gravedad, corrientes de agua superficial.

En montañas o colinas los depósitos de taludes en las faldas de estos son creados por las corrientes de agua o por la gravedad, generalmente estos suelos transportados suelen ser heterogéneos, la mayoría materiales gruesos así como también suelen estar muy sueltos.

Dependiendo de la velocidad que lleva una corriente de agua así mismo es la capacidad de arrastre del suelo que tendrá a una mayor velocidad puede llevar esta corriente consigo misma una gran cantidad de gravas gruesas y cuando cuenta con una velocidad baja es mayor el número de finos que lleva o arrastra.

Las corrientes de agua como los ríos acarrear diferentes granulometrías de materiales que dependiendo de la velocidad que éste lleve va depositando en su camino con medida que va disminuyendo su velocidad va dejando los materiales gruesos en zonas muy planas donde lleva poca velocidad va depositando los finos. Así es como un río transporta los suelos desde su origen a otra zona cuando el río está más próximo a su desembocadura los materiales son aun más finos como limos y arcillas.

No solamente el agua transporta a varios kilómetros los materiales, sino que también el viento tiene la capacidad de acarrear materiales de diferentes granulometrías desde limos hasta arenas de granulometría gruesa y pueden ser depositados a mucha distancia del lugar de origen.

Hay dos tipos principales de suelo formado por el arrastre del suelo, lo comenta Juárez (2004): el loess y los médanos.

El loess es un depósito eólico de finos que característicamente están conformados por partículas de cuarzo, feldespato y limos, que suelen ser muy cohesivos, estos materiales se encuentran mezclados de manera uniforme. La cohesión de estos materiales se debe a que cuentan con partículas de carbonato de calcio y parece ser que también cuentan con partículas cementantes que actualmente se dice que sólo son grumos de arcillas que se encuentran adheridos en las partículas o granos.

Los médanos, son depósitos que suelen ser arenas que fueron arrastradas a poca distancia del origen por medio del viento y que en su mayoría estas fueron depositadas debido a algún obstáculo que no les permitió continuar con su ruta, suelen ser arenas muy uniformes que cuentan con compuestos de cuarzo y mica.

Así como los suelos transportados se dividen de acuerdo a la manera que son arrastrados en los suelos residuales, hay dos conceptos que son muy importantes dentro de este tipo de suelo, los cuales son: el perfil de meteorización y el conjunto de estructuras heredadas.

El primer tipo que es la meteorización, son materiales que cuentan con diferentes propiedades, y que son afectados tanto como por la desintegración mecánica como la descomposición química y el material que se genera varía dependiendo del tipo y la estructura de la roca que los crea, también de la topografía, la erosión y el clima.

El segundo tipo de las estructuras heredadas depende de las exfoliaciones, grietas, juntas, fallas y otras alteraciones que presenta el suelo donde está depositado este material y que refleja las características con las que contaba la roca que genera estas partículas. Dentro de este tipo no se puede considerar que una muestra intacta de este suelo contenga las mismas propiedades que la roca del cual surgió la muestra. Y de esta manera es como el suelo residual es dividido en dos partes.

2.2.- Fases del suelo.

El suelo es considerado como un conjunto de partículas discontinuas y éste a su vez cuenta con diferentes fases, diferentes granulometrías y grado de plasticidad. La aplicación de las fases dentro de la mecánica de suelos es muy importante para el cálculo de los esfuerzos.

El autor Lambe (1994) menciona que las fases del suelo son: sólida (partículas minerales), líquida (generalmente agua) y gaseosa, estas fases son las que principalmente se presentan en un suelo natural. Para poder facilitar el estudio de estas diferentes fases se separan de la manera que a continuación se muestra:

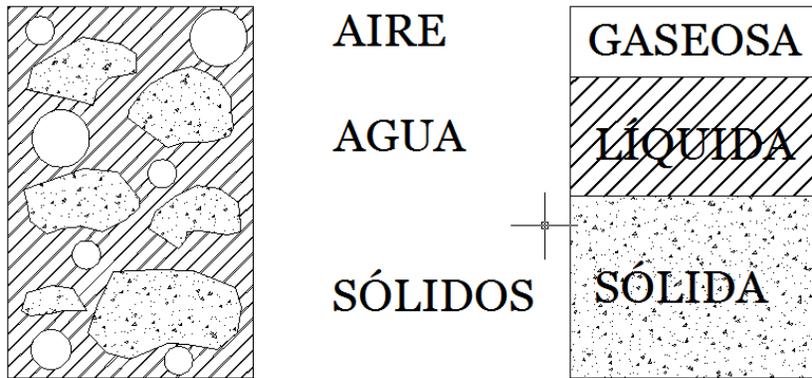


Imagen 1.8.-Fases del suelo.

Fuente: Elaboración propia.

En la parte izquierda de la imagen 1.8. se muestra cómo normalmente se encuentra un suelo natural y como se decía que se separan las diferentes fases para facilitar su estudio, se muestra en la parte derecha del esquema.

Ahora bien, en relación con el volumen existen tres fases: relación de vacíos, porosidad y grado de saturación. En cuanto a la porosidad es la relación que hay entre volumen de huecos y el volumen total del suelo o de la muestra de suelo, y su fórmula es:

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

Donde:

n : Porosidad del suelo.

V_v : Volumen de huecos del suelo.

Vs: Volumen total del suelos.

Por otra parte, la relación de vacíos es el cociente entre el volumen de huecos ó vacíos y el volumen total del suelo, esta relación de vacios generalmente se multiplica por 100 para que arroje los resultados en porcentaje, esta relación se expresa en forma decimal como por ejemplo para un 55% se expresa 0.55, la cual se indica con la siguiente fórmula:

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

Donde:

e: Relación de vacios del suelo.

V_v: Volumen de huecos del suelo.

V_s: Volumen total del suelos.

La relación de vacíos y la porosidad siempre se expresan como un porcentaje relativo del volumen de poros con el que cuenta una muestra de suelo. Por lo general, los vacíos del suelo se encuentran llenos, ya sea de agua, gas o algún otro fluido, pero la mayoría de las veces es agua.

Hay una cierta relación entre lo que es la porosidad (*n*) con la relación de vacíos (*e*):

$$n = \frac{e}{1+e} \quad \text{y} \quad e = \frac{n}{1-n}$$

La tercer fase con respecto al volumen es el grado de saturación el cual nos indica cuanto es el volumen de huecos que se encuentra lleno con agua y lo expresa en porcentaje, si se cuenta con un suelo totalmente saturado entonces: $S=100\%$ y en caso contrario si está totalmente seco: $S=0\%$, cuando el porcentaje se encuentra entre 0 y 100% entonces se dice que es un suelo semisaturado o parcialmente saturado.

En cuanto a la relación de pesos la fase más importante o la que es más usada es el contenido de agua o la humedad, el cual es el peso del agua dividido por el peso de partículas sólidas en una muestra de suelo, la fórmula es:

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

Donde:

S: Relación de pesos del suelo.

V_v : Volumen de huecos del suelo.

V_s : Volumen total del suelos.

La forma en la que se puede obtener la humedad de una muestra de suelo es: se toma la muestra de suelo natural y se pesa, luego se seca por completo la muestra por medio de un calentador, ya estando totalmente seca la muestra se pesa nuevamente. Se calcula entonces la humedad, la diferencia de los pesos, suelo inicial y suelo seco y el resultado se divide entre el suelo seco:

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

La aplicación de este método es razonable ya que lo único que se puede evaporar en un suelo es el agua con excepción de suelos orgánicos y suelos que contienen elementos volátiles como el asfalto.

Cuando se cuenta con un suelo saturado, es decir con $S=100\%$, la relación de vacíos y la humedad están relacionados directamente, entonces como es más fácil sacar pesos que volúmenes se utiliza la variación de humedad de un suelo saturado para poder medir las deformaciones volumétricas.

2.3.- Clasificación de los suelos.

Dentro de la ingeniería siempre han existido y existirán los problemas con los suelos los cuales para poder resolverlos primeramente se debe saber las características del suelo con el que se está tratando.

Debido a la gran variedad y complejidad de suelos es necesario sistematizarlos de forma científica para lo cual se debe de tener un procedimiento de clasificación completo. Para este problema de clasificación la mecánica de suelos con el paso del tiempo ha ido desarrollando diferentes sistemas y clasificaciones, en un principio cuando se trato de hacer estas clasificaciones todo era basado en criterios descriptivos, después surgieron varios sistemas y uno de ellos que resulto muy popular fue el de características granulométricas del suelo.

Hoy en día para poder cubrir las normas y sugerencias que dentro de la ingeniería se presentan es necesario tener un sistema que esté basado en las propiedades mecánicas de los suelos pero a la misma vez hacer un procedimiento como este llevaría como consecuencia una excesiva complicación así como una

difícil aplicación dentro de la práctica, pero sin embargo la finalidad de un sistema de clasificación de suelos es dar la mayor información normativa para que el ingeniero pueda decidir en qué dirección va a profundizar la investigación.

Uno de los sistemas más completos que cubren con la mayoría de los campos de aplicación de la mecánica de suelos es el de Casagrande, de la Universidad de Harvard, que también es conocido como sistema de clasificación de aeropuertos llamado así en aquel entonces debido a que iba orientado en el uso de estas estructuras.

Este sistema de Casagrande reconoce que todas las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos que pasan la malla número 200 pueden definirse de acuerdo a su plasticidad y que para los suelos que no pasan esta malla el criterio también depende de la granulometría pero no es determinante para el comportamiento de este material y se puede usar como base para la clasificación dentro de los materiales granulares.

El sistema creado por el doctor Casagrande fue la base del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el cual este sistema del SUCS es dividido en dos grandes fracciones: materiales gruesos y materiales finos.

Los materiales gruesos están formados por partículas mayores a la malla número 200 (0.74mm) y materiales menores que la malla de 3" (7.62cm), y para los materiales finos son aquellos que pasan la malla número 200.

Los materiales gruesos se subdividen en gravas y arenas, las gravas van de la malla de 3" (7.62cm) a la malla del numero 4 (4.76mm) y las arenas de esta malla hasta la del numero 200.

Para el ingeniero las principales características de las que debe tener información son las propiedades mecánicas e hidráulicas de un suelo tomando en cuenta que primero está la calidad y después la cantidad, algunas de las características son: esfuerzo-deformación, resistencia, compresibilidad, velocidad de variación volumétrica, permeabilidad, entre algunas otras.

Una de las grandes investigaciones del doctor Casagrande que realizó en Harvard fue la carta de plasticidad, con la cual se entra con coordenadas de limite líquido y índice plástico, dentro de esta carta se encuentra dividida por la línea A y la línea B en cuatro zonas que son conocidas hoy en día como el SUCS.

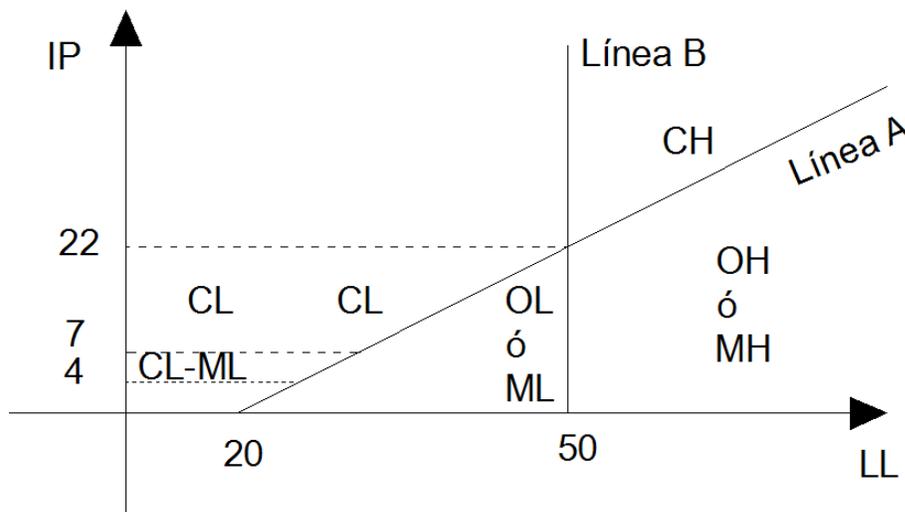


Imagen 2.1.-Carta de plasticidad.

Fuente: Mecánica de Suelos tomo 1; Juárez; 155.

La carta de plasticidad está hecha sólo para la identificación de suelos finos. Dentro de la imagen 2.1. se muestran sobre la línea A las arcillas inorgánicas, todas las arcillas están representadas con la letra C (de Clay en inglés). Bajo la línea A están situados los limos inorgánicos, representados con el símbolo M (Mo y Mjala en sueco), también dentro de esta línea están situados suelos finos con poca materia orgánica, para los cuales se les representa con el símbolo O.

Dentro de este esquema también se diferencian los suelos con alta compresibilidad representados con la letra H (High compressibility en inglés) de los que cuentan con media o baja compresibilidad representados con la letra L (Low compressibility en inglés) así es como se encuentran estos seis grupos repartidos en las cuatro zonas de la tabla.

El principal objetivo y uso de la carta de plasticidad es clasificar un suelo dentro de los seis grupos que esta contiene dependiendo de los parámetros de límite líquido e índice plástico, una vez colocado el suelo en una de estas zonas indicara que cuenta con las propiedades mecánicas e hidráulicas de este grupo, entonces por medio de esta carta es fácil de obtener un modo simple, rápido y económico de obtener información valiosa sobre el suelo que se está analizando.

Para que un suelo sea considerado grueso debe de tener más del 50% de partículas gruesas y en caso contrario para que un suelo sea denominado fino el peso de las partículas finas debe de ser más del 50%.

Ahora bien, dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos se manejan suelos gruesos y finos de los cuales se dividen en varios grupos.

Primeramente describiremos el grupo de los suelos gruesos y posteriormente el de los suelos finos.

Primeramente se debe saber que el símbolo de cada grupo está representado por dos letras mayúsculas que son las iniciales del nombre en inglés, la primera letra se refiere a:

- a) Gravos o suelos en los que predominan estas, su símbolo es G (Gravel).
- b) Arenas y suelos arenosos, su símbolo es S (Sand).

Las gravas y las arenas son divididas por la malla número 4, los materiales que se encuentran retenidos antes de esta malla son las arenas y los que están retenidos entre esta malla y hasta la malla del número 200 son las arenas.

Ahora las gravas y arenas se subdividen en cuatro tipos:

1. Materiales que se encuentran libre de finos, son los bien graduados y su símbolo es W (Well graded). Y con combinación de gravas y arenas da lugar a GW y SW.
2. Materiales que se encuentran libres de finos, pero mal graduados y su símbolo es P (Poorly graded). Y con combinación de gravas y arenas da lugar a GP y SP.
3. Materiales que cuentan con una gran cantidad de finos no plásticos, su símbolo es M (Mo y Mjala en sueco). Y con combinación de gravas y arenas da lugar a GM y SM.

4. Materiales que cuentan con una gran cantidad de finos plásticos, su símbolo es C (Clay). Y con combinación de gravas y arenas da lugar a GC y SC.

Para una mejor identificación de estos suelos se describirán con mayor detalle cada uno de los grupos mencionados.

Grupos GW y SW

Este grupo es bien graduado y con presencia de escasos finos, los cuales no deben afectar la resistencia de los materiales gruesos ni tampoco producir cambios en su capacidad de drenaje. Para poder garantizar que en este grupo no se presentaran cambios apreciables debido al contenido de finos este debe de ser menor al 5% del peso.

Grupos GP y SP

Este es un grupo de materiales mal graduados que presentan una apariencia uniforme pero en realidad tienen predominio de materiales de algún tamaño haciendo faltantes otros materiales de tamaño intermedio para que este sea considerado como bien graduado. En este grupo entran las gravas uniformes como las que se encuentran en los lechos de los ríos o arroyos así como las arenas uniformes como las que se tienen a la orilla del mar en las playas o también pueden ser la mezcla de gravas uniformes con arenas uniformes que sean producto de una excavación.

Grupos GM y SM

Dentro de este grupo se ven afectadas las características de resistencia, esfuerzo-deformación y capacidad de drenaje de los materiales gruesos por los materiales finos, con base en experiencias se ha observado que esto ocurre cuando el porcentaje de finos es mayor al 12% en el peso total de la muestra de suelo y este porcentaje es el que se toma como frontera para este tipo de grupo, y la plasticidad de los finos de este grupo varía entre media y nula.

Grupo GC y SC

En este grupo como en el anterior el porcentaje de finos debe de ser mayor al 12% del peso pero con la diferencia que aquí los finos son de media y de alta plasticidad.

Dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, a los suelos que contengan finos entre el 5% y 12% se les considera como casos de frontera a los cuales se les proporciona un símbolo doble como por ejemplo: GW-SW este se utilizara para un material bien graduado con gravas y arenas de iguales proporciones y con menos del 5% de finos.

Ahora para los suelos finos, también se agrupan como los suelos gruesos y tienen una clasificación muy similar con dos letras mayúsculas y sus divisiones son:

- a) Limos inorgánicos, con símbolo M (Mo y Mj en sueco).
- b) Arcillas inorgánicas, con símbolo C (Clay).
- c) Limos y arcillas orgánicas, con símbolo O (Organic en inglés).

Estos tres tipos se subdividen dependiendo su límite líquido en dos grupos:

Si se tienen suelos que presenten un límite líquido menor al 50% se habla de suelos de compresibilidad baja o media, se representa con el símbolo L (Low compressibility), con esta combinación se tienen los grupos de ML, CL o OL. Y por lo contrario si se tienen suelos con más del 50% de límite líquido se habla de un suelo de alta compresibilidad, y su símbolo es H (High compressibility), con combinaciones de MH, CH o OH.

Algo que se debe tener en cuenta es que la L y H no indican alta o baja plasticidad, sino más bien se dice alta o baja compresibilidad ya que la plasticidad depende del índice plástico y límite líquido, entonces se debe saber que la compresibilidad está directamente relacionada con el límite líquido, esto quiere decir que en un suelo con alto límite líquido su compresibilidad será mayor que un suelo con bajo límite líquido.

Ahora bien, los suelos altamente orgánicos como los pantanosos, extremadamente compresibles, tienen su propio grupo independiente que se representa con el símbolo Pt (Peat; turba en inglés).

A continuación se describirán estos suelos finos con mayor detalle para su fácil identificación de acuerdo con los símbolos mencionados.

Grupo CL y CH

Como se mencionó antes, éste es el grupo de arcillas inorgánicas. En la imagen 2.1. se observa que la carta de plasticidad para finos, el grupo CL se sitúa

sobre la línea A que está definida por un LL (límite líquido) menor del 50% y un Ip (índice plástico) mayor al 7%.

El CH está definido por un LL mayor al 50%, estas son las arcillas correspondientes a cenizas volcánicas.

Grupo ML y MH

El ML está por debajo de la línea A y se encuentra definido por un LL menor al 50% y una pequeña porción por sobre la línea A que cuenta con un Ip menor al 4%. Y el grupo MH se sitúa por debajo de la línea A con un LL mayor al 50%.

Al igual que en el grupo de los suelos gruesos estos pueden llegar a tener un símbolo doble como por ejemplo suelos que tengan un Ip entre el 4% y el 7% se les considera como caso de frontera y se le asigna un símbolo CL-ML como se aprecia en la imagen 2.1.

Grupos OL y OH

Este grupo se encuentra situado bajo la línea A al igual que los grupos ML y MH muy cerca de la línea A.

Aquí el único inconveniente con este grupo es que con una pequeña cantidad de materia orgánica hace que el límite líquido de una arcilla inorgánica crezca demasiado lo cual desplaza la ubicación hacia la derecha dentro de la carta de plasticidad alejándose de la línea A.

Grupos Pt

Para este grupo en la mayoría de estos suelos puede ejecutarse las pruebas de limite liquido ya que suelen estar entre el 300% y 500%, lo cual queda dentro de la carta de plasticidad muy por debajo de la línea A ya que el limite plástico normalmente anda entre el 100% y 200%.

Este grupo dentro del SUCS no se ubica dentro de los anteriores debido a que cuenta con su descripción de si mismo así como tanto cuando esta alterado como cuando no lo está.

DIVISION PRINCIPAL		SIMBOLO DE GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	% MAS FINO QUE EL TAMIZ No. 200	REQUISITOS SUPLEMENTARIOS	
SUELOS DE GRANO GRISES (MAS DEL 50% DEL MATERIAL NO PASA EL TAMIZ No. 200)	GRAVAS (MAS DEL 50% DE LA FRACCION GRUESA ES MAYOR QUE EL TAMIZ No. 4)	GW	GRAVAS BIEN GRADUADAS, MEZCLAS DE GRAVA Y ARENA CON MUY POCO O NINGUN CONTENIDO DE FINOS	0 - 5 *	$\frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $1 < \frac{(D_{30})^2}{D_{60} D_{10}} < 3$	
		GP	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE GRAVA Y ARENA CON MUY POCO O NINGUN CONTENIDO DE FINOS	0 - 5 *	CUANDO NO SE CUMPLEN LAS DOS CONDICIONES DADAS ARRIBA PARA GW	
		GM	GRAVAS LIMOSOS Y MEZCLAS DE GRAVA, ARENA Y LIMOS	> 12 *	PARA LA FRACCION FINA EL INDICE DE PLASTICIDAD MENOR DE 4 O PUNTO DEBAJO DE LA LINEA "A"	
		GC	GRAVAS ARCILLOSAS Y MEZCLAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA	> 12 *	PARA LA FRACCION FINA EL INDICE DE PLASTICIDAD MAYOR DE 7 O PUNTO POR ARRIBA DE LA LINEA "A"	
	ARENAS (MAS DEL 50% DE LA FRACCION GRUESA ES MENOR QUE EL TAMIZ No. 4)	ARENAS LIMPIAS (MUY POCO O NINGUN FINO)	SW	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS GRAVOSAS CON POCO O NINGUN CONTENIDO DE FINOS	0 - 5 *	$\frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $1 < \frac{(D_{30})^2}{D_{60} D_{10}} < 3$
			SP	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS GRAVOSAS CON POCO O NINGUN CONTENIDO DE FINOS	0 - 5 *	CUANDO NO SE CUMPLEN LAS DOS CONDICIONES DADAS ARRIBA PARA SW
		ARENAS CON FINOS (CANTIDADES APRECIABLES)	SM	ARENAS LIMOSAS Y MEZCLAS DE ARENA Y LIMOS	> 12 *	PARA LA FRACCION FINA EL INDICE DE PLASTICIDAD MENOR DE 4 O PUNTO DEBAJO DE LA LINEA "A"
			SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS DE ARENAS Y ARCILLAS	> 12 *	PARA LA FRACCION FINA EL INDICE DE PLASTICIDAD MAYOR DE 7 O PUNTO POR ARRIBA DE LA LINEA "A"
			LIMOS Y ARCILLAS (LIMITE LIQUIDO < 50)	ML	LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS, POLVO DE ROCA, ARENAS FINAS ARCILLOSAS O LIMOSAS, LIMOS ARCILLOSOS	* PARA SUELOS EN LOS QUE EL PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ No. 200 ESTA ENTRE 5 Y 12% SE USAN SIMBOLOS DOBLES, COMO GW-GC NOTAS 1. TODOS LOS SUELOS NATURALES SE UBICAN DEBAJO DE LA LINEA "U". 2. D _{xx} ES EL DIAMETRO DE PARTICULA PARA EL CUAL EL xx PORCIENTO DEL MATERIAL ES MAS FINO QUE D _{xx} .
				CL	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A BAJA, ARCILLAS GRAVOSAS, ARENOSAS O LIMOSAS, ARCILLAS POCO PLASTICAS	
OL	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD					
LIMOS Y ARCILLAS (LIMITE LIQUIDO > 50)	MH	LIMOS INORGANICOS, SUELOS LIMOSOS Y ARENOSOS, LIMOS ELASTICOS	LINEA "A" Horizontal a Pi=4 hasta LL=25.5, entonces Pi=0.73 (LL- 20) LINEA "U" Vertical a LL=16 hasta Pi=7, entonces Pi=0.9 (LL- 8)			
	CH	ARCILLAS INORGANICAS DE ALTA PLASTICIDAD				
	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA, LIMOS ORGANICOS				
	PT	SUELOS CON MATERIA ORGANICA FIBROSA				

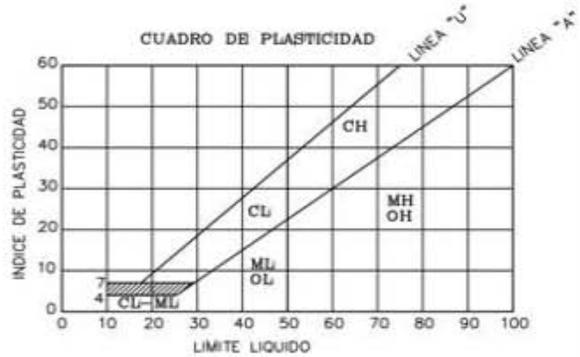


Imagen 2.2.-Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Fuente: <http://search.4shared.com>.

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

Esta prueba nace en el estado de California dentro del departamento de carreteras en el mismo estado, este método es muy empleado en el diseño en casi todos los pavimentos del mundo ya que los resultados que nos arroja dicha prueba son muy útiles para el cálculo de un pavimento.



Imagen 2.3.- Prueba V.R.S.

Fuente: Elaboración propia.

La prueba del V.R.S. consiste en que ésta es una prueba de penetración en el suelo, en la cual un vástago con un área de 19.4 cm^2 de área penetra la muestra de suela a una velocidad de 0.127 cm/min y después se hace la medición de la carga

aplicada para penetraciones que varían en 0.25 cm. Como se muestra en la siguiente imagen:



Imagen 2.4.- Prueba V.R.S.

Fuente: Elaboración propia.

La muestra necesaria para el suelo se debe de confinar en un molde con un diámetro de 15.2 cm y una profundidad de 20.3 cm. El molde se llena con tres capas de la muestra de suelo las cuales son compactadas con un martillo especial para esta prueba, para cada capa se le aplican una serie 25 golpes para asegurar que el material este bien confinado. En la siguiente imagen se muestra el molde y el martillo mencionados.



Imagen 2.5.- Martillo y molde V.R.S.

Fuente: <http://www.alein.com>.

Después de haber preparado la muestra de la manera en que se menciona anteriormente, ésta se expone a una saturación de agua por un tiempo de 24 horas (como se muestra en la imagen 2.6.), para así poder representar las condiciones más desfavorables que pueda llegar a presentar el suelo que está a prueba y que pudieran afectar al futuro pavimento que se llegase a construir. Seguidamente de la preparación de de la muestra del suelo dentro del molde se procede con la penetración del vástago de la máquina del V.R.S.



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

Fuente: Elaboración propia.

Existen factores que pueden llegar a afectar los valores obtenidos de la prueba de Valor Relativo de Soporte los cuales son: la textura de la muestra de suelo, el contenido de humedad que presenta la muestra de suelo y la condición de compactación que tienes la muestra de suelo.

Para los suelos friccionantes o que cuentan en su gran parte con arenas no se presenta expansión cuando se satura el suelo por lo que la sobrecarga que se le aplica al molde con la placa perforada que se utiliza para el confinamiento de la muestra no es significativa durante esta etapa de la prueba pero si influye a la hora de la penetración con el vástago de la maquina del V.R.S. ya que el confinamiento

para suelos friccionantes desfavorece mucho su resistencia, lo cual para una arcilla sucede totalmente lo contrario.

La penetración es una manera extraña de trabajar los cuerpos térreos y se considera que no es una forma de correcta de comparación de trabajo práctico, ya que dentro de éste influyen los cambios climáticos y cargas de tránsito que pueden ser extremadamente variables para lo que se dice que la prueba de V.R.S. no puede considerarse como un modelo de un pavimento. Por lo cual no podrán considerarse los resultados de esta prueba como aplicables al comportamiento de la estructura del pavimento.

A fin de cuentas, la prueba del V.R.S. consiste en cual sea la resistencia del suelo a la penetración del vástago, y aunque esta prueba no sea necesariamente de resistencia involucra de manera indirecta la resistencia al esfuerzo cortante del suelo por medio de la penetración del vástago. Pero para esto es imposible establecer una relación cuantitativa con la resistencia, ya que la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos depende de muchos otros factores que no se incluyen dentro de la prueba del V.R.S. y tal vez el único factor que se utiliza sea la velocidad de aplicación de la carga, y eso por esto que no se hace posible el medir valores cuantitativos de resistencia o variaciones del suelo.

A pesar de que la prueba de V.R.S. no es una prueba de lo más exacta ya que presenta diferentes variaciones dependiendo de cada una de las personas que la realizan, si por ejemplo contamos con la misma muestra de suelo pero se le da a dos diferentes personas que sean expertas y muy competentes en este ámbito es

extremadamente difícil que ambas obtengan los mismos resultados ya que estos dependen de varios factores tanto como el tiempo que tardan en hacer la prueba y tomar las mediciones así también como la rapidez con la que penetren el suelo.

Este método que al parecer cuenta con varios aspectos que pueden formar parte de una crítica es muy utilizado y confiable. Estos meritos no radican en su valor teórico, ni en su representatividad como modelo y mucho menos en que sus características de firmeza sean iguales las que presentan la prueba de laboratorio con las que se presentan en el campo.

Entonces se piensa que la popularidad de la prueba del V.R.S. se deba a que esta prueba fue el primer esfuerzo por hacer una estructuración correcta de un pavimento por medio de la ciencia y dejando atrás el capricho personal del individuo que realiza el diseño, entonces desde ese momento los ingenieros comenzaron a utilizar este método del V.R.S. junto con su experiencia personal para el diseño de las estructuras de pavimentos flexibles.

Otro de los grandes méritos del V.R.S. es que no es necesario contar con demasiada información sobre el terreno natural, es muy fácil de realizar este método, se realizar con gran rapidez y lo mas importantes que es muy económico el emplear esta prueba. Por otra parte es muy popular ya que hasta el día de hoy los ingenieros no han sido capaces de crear un nuevo método que remplace a este y esté exento de las limitaciones con las que el V.R.S. cuenta.

CAPÍTULO 3

RESUMEN EJECUTIVO DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN

Dentro de este capítulo se presentará la ubicación del tramo carretero que se analiza en la presente investigación, así como también el estado y delegación en el cual se encuentra.

3.1.- Generalidades.

La presente investigación para la comparación del diseño de pavimento flexible con el ya construido en la carretera Carapan-Uruapan Km 16+000 al 17+000, el diseño de la presente tesis es realizado para comparación y así mismo obtener datos que ayuden a conocer el estado en el que se encuentra y revisar si fue construido de acuerdo a las normativas requeridas.

Ya concluido el diseño del pavimento flexible dentro de la presente investigación se realizará la comparación de los espesores de cada una de las capas que conforman ambos pavimentos para los cual es necesario hacer el uso de la reglamentación necesaria para diseñar pavimentos flexibles.

Una de las variantes que podrá presentar el diseño son los estudios de mecánica de suelos para lo cual son necesarios su realización para así poder obtener el valor resistente del suelo (VRS), del cual fueron tomadas 3 muestras en el orden denominado "a 3 bolillos", la primer muestra fue tomada a la altura del Km 16+300, la segunda en el Km 16+600 y la tercera en el Km 16+900.

Otra variante importante dentro de ambos diseños es el aforo, el cual proporciona el número de vehículos que pasan por dicho tramo en horas o días, dentro del aforo hay variaciones entre vehículos de acuerdo a la normativa AASHTO como se muestra en la imagen 3.1.

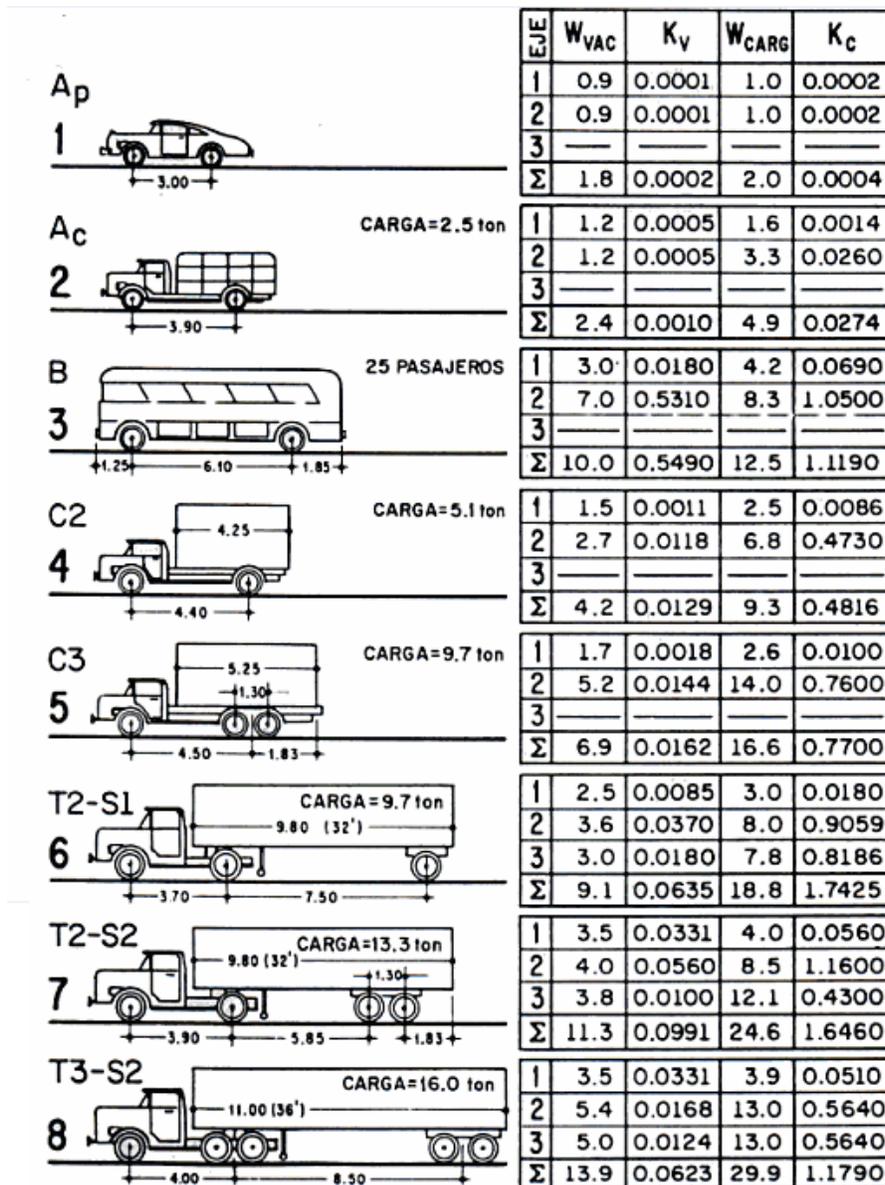


Imagen 3.1.- Conversión de vehículos a ejes equivalentes.

3.2.- Objetivo.

El objetivo principal de la presente tesis es la comparación del diseño de pavimento flexible ya construido del tramo de la carretera Carapan-Uruapan Km 16+000 al 17+000 y el diseño que se presenta dentro de esta investigación, para poder ver que este cumpla con los requerimientos y las normativas necesaria para la buena funcionalidad de esta carretera.

3.3.- Resumen ejecutivo.

El tramo dedicado a esta investigación se encuentra dentro del municipio de San Lorenzo, Michoacán. El fin de la investigación es obtener información sobre si el pavimento flexible ya construido entra dentro de las normativas y si actualmente se encuentra en buenas condiciones para su transitabilidad, para lo cual se hará un diseño que se comparará con el ya hecho y de ahí se obtendrán conclusiones.

Otra parte que es importante saber es que este tramo ha sido actualmente ampliado debido a que el ancho de la vía era muy reducido y por lo tanto exigía una ampliación de la cual sin duda presento un gran cambio al estar terminado este proyecto de modernización y construcción.

Otra de las variantes a verificar son las normativas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes las cuales dependen del tipo de trafico que pasa por las vías terrestres o carreteras así como también los tipos de carreteras, un aforo vehiculos como el mostrado anteriormente en la imagen 3.1. También dentro de las normativas entra la velocidad de diseño que para el tramo de la carretera Uruapan-

Zamora es una carretera tipo C por lo cual la velocidad de diseño será de 60 km/hr de acuerdo al reglamento de la SCT.

3.4.- Entorno geográfico.

El tramo de la carretera Carapan-Uruapan en el Km 16+000 al 17+000 se encuentra situado dentro del estado de Michoacán de Ocampo, el cual cuenta con una extensión de territorio de 58,585 km² y que dentro de la nación es el estado número 16 con extensión de terreno dentro de los 32 estados de la república mexicana.



Imagen 3.2.- Ubicación del edo. Michoacán dentro de México.

Fuente: www.revistaemet.net.

Como ya fue mencionado, el tramo de esta investigación se encuentra dentro del municipio de San Lorenzo en la carretera Carapan-Uruapan, del cual se referirá específicamente en el Km16+000 al 17+000 de dicha carretera y que se encuentra dentro de las coordenadas $19^{\circ}31'51''$ de la latitud oeste y en $102^{\circ}05'40''$ en la longitud oeste a una altitud de 2157 metros sobre nivel del mar (m.s.n.m.).



Imagen 3.3.- Ubicación del municipio de San Lorenzo dentro de México.

Fuente: Google Earth.

3.5.- Macro y Micro localización.

Como se observa en la imagen 3.2., San Lorenzo se encuentra en el estado de Michoacán de Ocampo, México. Para una vista más detallada se puede observar la imagen 3.3. La cual es la macro localización de dicho municipio.

Seguidamente de la macro localización como se muestra en la imagen 3.4. se muestra la micro localización en donde se aprecia el tramo de la carretera Carapan-

Uruapan Km 16+000 al 17+000 que se encuentra dentro del municipio de San Lorenzo.



Imagen 3.4.- Ubicación del municipio de San Lorenzo, Macro localización.

Fuente: Google Maps.

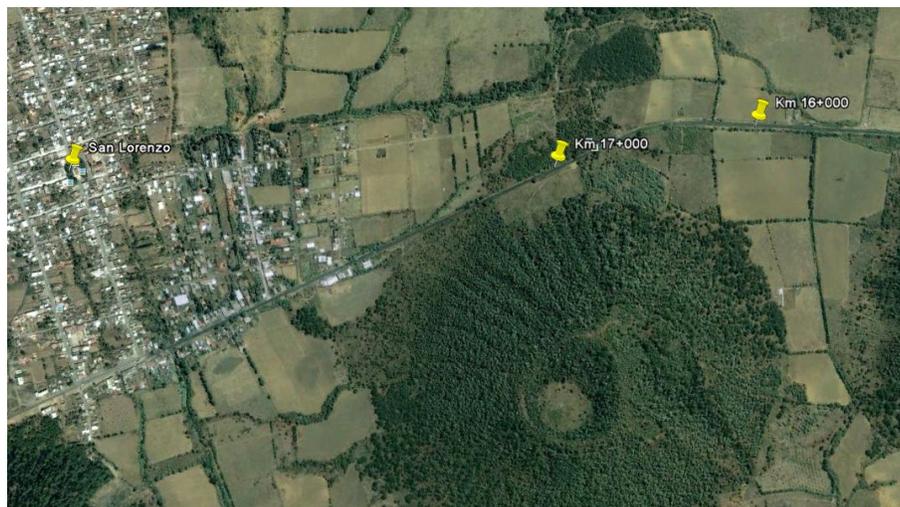


Imagen 3.5.- Ubicación del tramo Km16+000 al 17+000 Carapan-Uruapan.

Fuente: Google Earth.

3.6.- Hidrografía.

Dentro de la región de San Lorenzo sólo se puede encontrar con ríos efímeros puesto que la gran parte del terreno es arenas lo cual hace posible la infiltración del agua en el terreno produciendo así dichos ríos.

Esto quiere decir que el agua es un poco escasa o difícil de encontrar dentro de esta región, solo podemos encontrar ríos superficiales durante la temporada de lluvias pero estos desaparecen con ellas.

3.7.- Actividades de la región.

Como ya fue mencionado antes la mayoría de los alrededores son bosques de los cuales la comunidad hace uso para la obtención de madera lo cual se convierte en una de las actividades principales de San Lorenzo y de igual manera esta comunidad se dedica mucho a la agricultura principalmente de maíz.

3.8.- Informe fotográfico.

En la siguiente imagen se puede observar que la superficie de rodamiento se encuentra en buenas condiciones, ya que ésta tiene muy poco tiempo de construida y a simple vista se ve muy cómoda factor importante de un buen pavimento.



Imagen 3.6.- Tramo 16+000 al 17+000 Carapan-Uruapan.

Fuente: Elaboración propia.

Una de las primeras cosas importantes que se pueden observar al transitar sobre la carretera es que ésta se encuentra en buenas condiciones pero sus alrededores no cuentan con la misma suerte, ya que debido a la falta de cultura dentro de esta región se encuentran demasiados desperdicios o basura como se muestra en la imagen 3.7.



Imagen 3.7.- Entorno contaminado del tramo 16+000 al 17+000 Carapan-Uruapan.

Fuente: Propia.

Dentro del ecosistema de este municipio resalta mucho el gran bosque de pinos con los que cuenta, que cada vez son menos debido a que las personas de esta región emplean mucha de esa madera para sus labores diarias. Este bosque podemos apreciar un poco en las imágenes 3.8 y 3.9.



Imagen 3.8.- Vegetación del tramo 16+000 al 17+000 Carapan-Uruapan.

Fuente: Propia.



Imagen 3.9.- Vegetación del tramo 16+000 al 17+000 Carapan-Uruapan.

Fuente: Propia.

También en la imagen que a continuación se muestra se puede apreciar que ésta es una población en crecimiento ya que el tránsito con el que cuenta esta carretera aún es muy descongestionado o muy pocos automóviles circulan a la vez.



Imagen 3.10.- población de San Lorenzo cercana al tramo 16+000 al 17+000
Carapan-Uruapan.

Fuente: Propia.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Dentro de este capítulo se indica el método y procedimientos que se emplearon para el análisis y la solución de la presente investigación, así como también se presentan los cálculos empleados para el diseño del pavimento flexible.

4.1.- Método empleado.

Tamayo (2000) comenta que un método es un orden epistemológico, el cual surge de la teoría por medio de la lógica del pensamiento científico. También menciona que la metodología es la parte instrumental de la investigación.

Dentro de esta investigación debido a que es un diseño de pavimento en el cual se requieren una serie de cálculos y estudios cuantitativos el método que más que se va a emplear es el método matemático.

4.1.1.- Método matemático.

El método matemático es un método cuantitativo, es decir, que se basa en números o cantidades. Para el caso de esta investigación se hace uso de cálculos numéricos y estudios cuantitativos.

Dentro de la vida diaria se aplica un procedimiento científico cuando se comparan cantidades que tienen un valor económico, esta es una forma muy usual de esta aplicación. De igual manera se aplica este procedimiento para el diseño de un pavimento flexible.

Ahora bien, por otra parte también es necesario utilizar el método matemático ya que éste es empleado en las denominadas ciencias exactas, para diseñar un pavimento flexible es necesario hacerse con exactitud empleando cálculos muy adecuados para solucionar el problema, aquí es donde entra la ingeniería civil que entra dentro de las llamadas ciencias exactas.

4.2.- Enfoque de la investigación.

Se sabe que una investigación es la búsqueda de soluciones a problemas que son necesarios resolver, así como también puede ser la búsqueda de conocimientos para una determinada área de la ciencia.

Debido a que la presente investigación es para diseñar un pavimento flexible, se trabajará con la investigación cuantitativa, ya que con esta se pueden obtener resultados más ampliamente y también se puede tener más control sobre los procesos que son necesarios realizar, con este tipo de investigación también podemos facilitar la comparación con otras investigaciones similares a la presente investigación que se va a realizar.

4.2.1.- Alcance de la investigación.

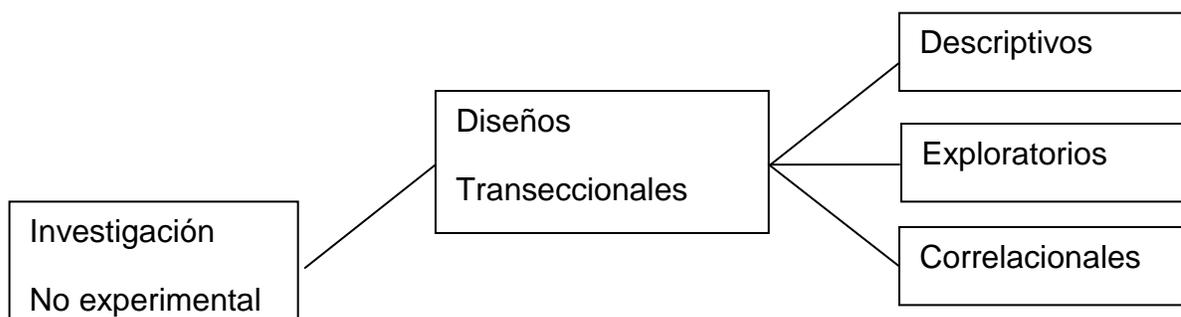
Esta investigación se puede clasificar como de alcance descriptivo, ya que está tiene como propósito el describir hechos, eventos y situaciones. Entendiéndolo mejor como ejemplo con este alcance descriptivo podemos decir como es el pavimento que se va a diseñar y cuáles son los fenómenos que presenta.

“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).

La presente tesis se ha estado realizando mediante la obtención de información para poder describir la investigación que se está efectuando, así como también obtención de datos numéricos que sirven para los cálculos de diseño o para las diferentes mediciones que son necesarias dentro de dicho calculo, por estas y otras razones más es que fue elegido este alcance descriptivo.

4.3.- Diseño de investigación.

Existen dos tipos de diseños: transeccionales también denominados transversales y diseños longitudinales como se muestra en el esquema 4.1. Cabe señalar que para la presente tesis se usara el diseño transversal. Pues se recopilaran datos en un momento único.



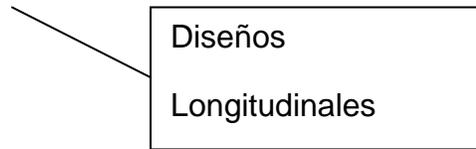


Imagen 4.1.- Investigación no experimental.

Fuente: Elaboración propia (información de Hernández y cols; 2005; 272).

Como se puede apreciar en la imagen 4.1. los diseños transversales se subdividen en exploratorios, descriptivos y correlacionales.

El propósito del diseño transeccional exploratorio es comenzar a conocer una o varias variables que se presenten en nuestra investigación, por otra parte como se menciono que era en un momento único es justo en ese momento donde se hace la exploración.

Para el descriptivo, su objetivo es la observación de los valores que se presenten en el momento único y así poder proporcionar una descripción. También este diseño muchas de las ocasiones sirve como descripción comparativa, como en este caso comparar el diseño de este pavimento flexible con otro del mismo tipo.

Dentro del diseño transversal correlacional se trata de hacer una relación de un concepto o variable con otro en un momento único ya sean correlaciones o relaciones casuales. Lo que se analiza dentro de este diseño correlacional es entre categorías, conceptos, objetos y variables.

Para la presente tesis se tomara un diseño transeccional o transversal descriptivo, ya que los datos que se obtienen para esta investigación son tomados en un único momento describiendo variables y observando su incidencia.

4.4.- Instrumentos de recopilación de datos.

Dentro de dicha investigación se han recopilado datos por medio de una observación cuantitativa, es decir por medio de un aforo vehicular el cual consiste en la medición del número de vehículos que transita por un camino durante un lapso definido de tiempo, también tomando en cuenta las características de los vehículos si son vehículos ligeros o pesados.

Aprovechando la oportunidad del aforamiento también se realizó una investigación cualitativa, la cual consiste en entrevistar personas cercanas al tramo en el cual se está basando la investigación y de esa manera recopilando datos sobre el tránsito vehicular y los problemas que llegan a presentarse.

Otra fuente de recopilación usada es la obtención del tránsito vehicular por medio del INEGI, el cual no proporciona una cifra aproximada al número de vehículos que pasan por dicho tramo dependiendo de cada día de la semana.

4.5.- Descripción del procedimiento de investigación.

Seguidamente de la ubicación del tramo sobre el cual se realiza esta tesis, se hizo uso de cartas topográficas las cuales fueron consultadas en el INEGI. Ya bien ubicado el tramo se procedió a hacer una visita al tramo para poder aforar el tránsito

vehicular que transito sobre este, con uso de una cámara fotográfica se hicieron diferentes capturas de imágenes que mas adelante serán mostradas.

Se realizo una consulta sobre las normativas (AASHTO) para el diseño de un pavimento flexible, para ver que dichas normas fueran cumplidas y no presentara problemas este diseño de pavimento flexible.

Una vez que se cuenta con los datos necesarios y los requerimientos normativos, se procedió a hacer el cálculo del diseño de pavimento flexible para el cual fue necesario el uso de programas de cómputo como el programa de la paquetería de Microsoft Office denominado Excel y Word, así como también el empleo de algunos programas más avanzados como es el programa de diseño asistido por computadora AutoCAD en su versión 2008.

4.6.- Análisis e interpretación de resultados.

Para el diseño del pavimento flexible de la presente investigación se usará el método de diseño de la UNAM. Sabiendo que este es un camino tipo “B” o secundario que cuenta con 2 carriles y se le dará al proyecto 20 años de vida útil, con una tasa de crecimiento del 4% anual, también tomando en cuenta que su Transito Promedio Diaria Anual (TPDA) igual a 3683 vehículos los cuales se clasifican de acuerdo a la carga transmitida por cada uno de sus ejes.

Para este diseño es necesario tomar en cuenta un nivel de confianza (Q_u) el cual puede variar desde 1 a 0, cuando mayor sea este nivel como consecuencia se tendrá una mejor estructuración del pavimento pero también mayores espesores de las capas que conforman el pavimento, lo cual implica que con este aumento de espesores de cada capa también es un incremento en el costo del pavimento.

Para poder otorgar un nivel de confianza el analista debe de tomar en cuenta el procedimiento de la construcción, el tipo y la importancia de la carretera y así como también el control de la construcción, conservación de la estructura y los riesgos que se pueden presentar.

Entonces para el diseño de la presente tesis se tomará un nivel de confianza igual a 0.7, ya que se tiene un camino secundario tipo “B” y tomando en cuenta que los procedimientos y control de construcción contarán con una buena supervisión por parte del analista.

Los Valores Relativos de Soporte de la base, sub base y de la subrasante serán tomado de las normativas de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte

(SCT), y para el VRS del terreno natural se tomara 7 % de acuerdo con el estudio de mecánica de suelos realizado que se presenta en los anexos.

4.7.- Análisis del tránsito acumulado para ejes sencillos de 8.2 ton

De acuerdo con el método de la UNAM para este diseño se considera el tránsito con la variable ΣL , esta variable representa el transito acumulado al cabo de 20 años de vida útil para esta investigación, los representa en ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton.

Para la determinación de ΣL se tiene la ecuación:

$$\Sigma L = (Kc)(CAT)(TPDA)$$

Donde:

ΣL : tránsito acumulado.

Kc: coeficiente de daño, según el tipo de vehículo (tabla)

CAT: coeficiente de acumulación de transito.

TPDA: tránsito promedio diario anual en un sólo sentido del camino.

$$CAT = \left[\frac{(1+r)^P - 1}{r} \right] \times 365$$

Donde:

r: tasa de crecimiento anual.

P: años de servicio.

Para obtener el coeficiente de daño de un vehículo se realiza la suma de todos los coeficientes individuales de sus ejes o grupos de ejes a una profundidad. Debido a que el coeficiente de daño varía dependiendo de la profundidad y como no se conoce el espesor de cada capa del pavimento flexible se recomienda lo siguiente:

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

Para el diseño de sub base y terracerías se considera una profundidad $z=15$ cm.

Por lo que se tendrán entonces 2 valores del tránsito acumulado (ΣL).

VEHICULO	COMPOSICION %	COEFICIENTE DE DAÑO		COEFICIENTE PROPORCIONAL DE DAÑO	
		Ko(Z=0)	Kd(Z=15)	Kop	Kdp
A	85.6	0.004	0	0.0034	0.0000
B	4.5	2.000	1.01	0.0900	0.0455
C2	1.2	2.000	1.07	0.0240	0.0128
C3	1.2	3.000	1.19	0.0360	0.0143
T3S2	3.1	5.000	3.491	0.1550	0.1082
T3S3	1.1	5.000	3.491	0.0550	0.0384
T3S2R4	3.3	5.000	3.491	0.1650	0.1152
$\Sigma =$				0.5284	0.3344

Kco=	0.5284	para z=0
Kcd=	0.3344	para z=15

Entonces para el coeficiente de acumulación de tránsito se tiene:

	2 carriles	1 carril	
TPDA=	3683	1841.5	
$\Sigma L = kc(CAT)(TPDA)$			
$\Sigma L_o =$	10,576,544.32	1.06×10^7	ejes de 8.2 ton.
$\Sigma L_d =$	6,693,003.23	6.69×10^6	ejes de 8.2 ton.

4.8.- Determinación de los espesores del pavimento.

Por normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para la determinación de los espesores del pavimento se tomaran los valores mínimos de VRS para la base, sub base y subrasante que a continuación se muestran. Y como ya se mencionó el VRS del terreno natural ésta dado por el estudio de mecánica de suelos que se proporciona en los anexos.

De acuerdo a la normativa N-CMT-4-02-002/04 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes el VRS mínimo para bases hidráulicas es de 80%. De acuerdo a la norma N-CMT-1-03/02 de la SCT el VRS mínimo para subrasantes es de 20%. De acuerdo a la norma N-CMT-1-02/02 de la SCT el VRS mínimo para subyacentes es de 10%.

CAPA	VRS %	ΣL	Espesor equivalente sobre la capa
Base	80	1.06×10^7	z1= 16 cm
Subrasante	20	6.69×10^6	z2= 22 cm
Subyacente	10	6.69×10^6	z3= 36 cm
Terreno Natural	7	6.69×10^6	z4= 46 cm

Los espesores de las capas son obtenidos en base a la figura que a continuación se presenta, entrando con el VRS y ΣL .

Espesor de la carpeta asfáltica.

Si se tiene en cuenta que $a_1=2$ y $a_2=a_3=a_4=1$.

$$Z_i = \sum 1 a_i D_i$$

$$Z_1 = a_1 D_1$$

$$D_1 = \frac{Z_1}{a_1} = \frac{16}{2}$$

$z_1=$	16	cm
$D_1=$	8	cm

Como $a_1= 2$ entonces se tiene que $D_1= 8$ cm de carpeta asfáltica.

Espesor de la base hidráulica.

$$D_2 = \frac{Z_2 - Z_1}{a_2} = \frac{22 - 16}{1}$$

$Z_2=$	22	cm
$D_2=$	6	cm

$D_2= 15$ cm de base hidráulica.

Espesor de la sub base.

$$D_3 = \frac{Z_3 - Z_2}{a_3} = \frac{36 - 22}{1}$$

$z_3=$	36	cm
$D_3=$	14	cm

$D_3= 20$ cm de sub base.

Espesor de la subrasante.

$$D4 = \frac{Z4 - Z3}{a4} = \frac{46 - 36}{1}$$

z4=	46	cm
D4=	10	cm

D4= 10 cm de subrasante.

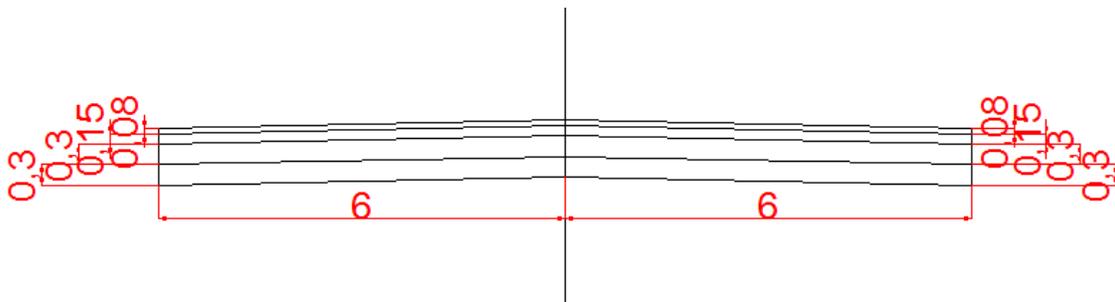
Presentado ya el diseño del pavimento flexible se tiene:

- Espesor de la carpeta asfáltica de 8 cm.
- Espesor de la base hidráulica de 15 cm.
- Para el espesor de la subrasante a pesar de lo obtenido en el diseño, de acuerdo a la norma N-CTM-1-03/02 dentro de los requisitos de calidad indica que cuando la intensidad de tránsito (ΣL) se encuentra entre 1 millón a 10 millones de ejes equivalentes tendrá un espesor mínimo de 30 cm.
- Para el espesor de la subyacente a pesar de lo obtenido en el diseño, de acuerdo a la norma N-CTM-1-02/02 dentro de los requisitos de calidad indica que se tendrá un espesor mínimo de 30 cm.

4.9.- Estructuras de pavimento.

-Estructura del pavimento de la presente tesis.

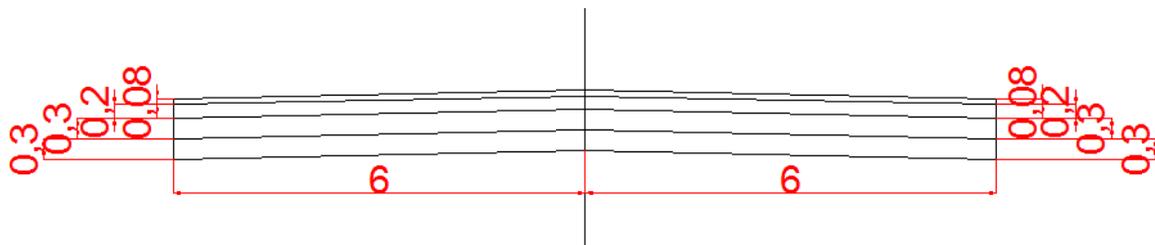
Estructura del pavimento de tesis.	
Capa	Espesor (cm)
carpeta asfáltica	8
base hidráulica	15
subrasante	30
subyacente	30



Dentro de esta estructura del pavimento se encuentran las capas del pavimento en el siguiente orden: carpeta asfáltica, base hidráulica, subrasante y subyacente. Las acotaciones se encuentran en metros y esta compuesto por dos carriles, cada uno de ellos cuenta con un ancho de 6 metros como se muestra en la figura. La línea que se encuentra al centro representa el eje del camino.

-Estructura del pavimento existente en el tramo carretero Carapan - Uruapan del km 16+000 al km 17+000 en la localidad de San Lorenzo.

Estructura del pavimento existente.	
Capa	Espesor (cm)
carpeta asfáltica	8
base hidráulica	20
subrasante	30
subyacente	30



Dentro de esta estructura del pavimento se encuentran las capas del pavimento en el siguiente orden: carpeta asfáltica, base hidráulica, subrasante y subyacente. Las acotaciones se encuentran en metros y esta compuesto por dos carriles, cada uno de ellos cuenta con un ancho de 6 metros como se muestra en la figura. La línea que se encuentra al centro representa el eje del camino.

CONCLUSIÓN.

Dentro de la presente tesis se ha verificado que el pavimento flexible existente en el tramo carretero Carapan-Uruapan cumple con la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), ya que los resultados arrojados de los diferentes espesores de las capas que conforman el pavimento flexible de la presente investigación cumplen con los requisitos de calidad de las normas de la SCT y son prácticamente los mismos espesores en comparación con los del pavimento existente en dicho tramo.

Los resultados obtenidos indican que los espesores del pavimento existente en el tramo carretero de Carapan-Uruapan en el km 16+000 al 17+000 son los necesarios para cumplir con las normas de calidad de la SCT. Por lo tanto se concluye que el objetivo principal de esta investigación se aprueba satisfactoriamente ya que se demostró que con el diseño de pavimento flexible de la presente tesis se obtienen resultados similares y aprobatorios con respecto al pavimento existente.

Por otra parte, también se dio respuesta a los demás objetivos de la presente investigación como el explicar que un pavimento es una estructura que recibe de forma directa las cargas de tránsito hacia los estratos inferiores de esta estructura en forma disipada, la parte superior de esta estructura es conocida como superficie de rodamiento la cual debe de ser funcional.

Así también se mencionó cómo están conformados y cuáles son los elementos de los diferentes tipos de pavimentos, como se vio anteriormente que un pavimento flexible puede estar conformado de diferentes capas de materiales de las cuales los

principales elementos que destacan son: carpeta asfáltica, base, sub base, subrasante, rasante, concreto hidráulico, entre otras mas ya que existe una gran cantidad de materiales que se pueden emplear dentro de la construcción y el diseño de un pavimento, así también se menciona que un pavimento rígido está conformado por concreto hidráulico, sub base, entre otras más.

También se habló sobre las ventajas y desventajas de los tipos de pavimento la cual de manera muy concreta se puede decir que una de las ventajas del pavimento flexible es que su costo de construcción es mucho más barato que un pavimento rígido pero la gran desventaja que este pavimento tiene que sus costos por mantenimiento y reparación suelen ser muy costoso ya que no es muy durable ni muy resistente como el pavimento rígido ante cambios climáticos y otros diversos factores que causan daño en el. La gran ventaja de un pavimento rígido es que durante su vida útil no se realizan ningún mantenimiento ni reparación lo cual sus costos debido a estos medios son nulos esto a excepción de algún tipo de catástrofe, y una de las principales desventajas que resalta dentro de los pavimentos rígidos es el costo de su construcción debido a que utiliza materiales muy caros como el cemento es donde se dispara el costo a comparación de un pavimento flexible.

BIBLIOGRAFÍA.

Crespo, Carlos. (2004)

VÍAS DE COMUNICACIÓN

Limusa. México

Crespo Escobar, Santiago. (2010)

MATERIALES DE CONSTRUCCION PARA LA EDIFICACION Y OBRA CIVIL

Editorial club universitario. España

Crespo Villalaz, Carlos. (2004)

Mecánica de Suelos y Cimentaciones

Limusa. México

Juárez Badillo, Eulalio. (2004)

Mecánica de Suelos (tomo 1)

Limusa. México

Juárez Badillo, Eulalio. (2004)

Mecánica de Suelos (tomo 2)

Limusa. 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 MICHOACAN”

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

Mier Suárez, José Alfonso. (1987)

Introducción a la Ingeniería de Caminos

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México

Olivera Bustamante, Fernando. (1986)

ESTRUCTURACION DE VÍAS TERRESTRES

CECSA. México

Rico Rodríguez, Alfonso, Del Castillo, Hermilio. (1993)

La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres vol.2

Editorial Limusa. México

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN.

http://arrendadoraconstructo.com/html/03_16_RentaEquipo.html

<http://www.metso.com/es>

<http://www.ablisa.com>

http://www.uc.cl/sw_educ/construccion/urbanizacion/html/concepto.html

<http://civilesuni.com/foro/viewtopic.php?t=75&sid=2cedbb10f27639a0513fbd2902c7364c>

http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0718-025X2004000100005&script=sci_arttext

<http://search.4shared.com/q/1/sucs>

http://www.revistaemet.net/new_emet/noticia.php?id=8745

<http://www.fiicsa.com/?q=node/68>

http://www.alein.com.ar/data/productos/suelos_01c_g.htm

<http://normas.imt.mx/carr.htm>

<http://caralampio.com.mx/?m=urbanizacion>

